วารสาร

วิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ปีที่ 41 ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน - ธันวาคม 2565

JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
MAHASARAKHAM UNIVERSITY
INDEXED IN

DOAJ DIRECTORY OF OPEN ACCESS JOURNALS

EBSCOhost

TCI ศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย Thai Journal Citation Index Centre

ISSN (Print Edition) : 1686-9664
ISSN (Online Edition) : 2586-9795

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

วัตถุประสงค์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแหล่งเผยแพร่ผลงานทางวิชาการที่มีคุณภาพของนักวิชาการทั้งในและต่างประเทศ โดยเผยแพร่บทความวิจัย (research article) บทความปริทัศน์ (review article) ในสาขาวิชาต่างๆ ได้แก่ คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ เกษตรศาสตร์ แพทยศาสตร์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เจ้าของ

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
สำนักงานกองบรรณาธิการ
กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
โทรศัพท์ภายใน 1754 โทรศัพท์/โทรสาร 0-4375-4416

ที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ ใบไม้
ศาสตราจารย์ ดร.วิชัย บุญแสง
ศาสตราจารย์ ดร.พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.ศิริธร ศิริอมรพรรณ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.วรพล เองวานิช
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.วัลยา สุทธิขำ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ บุญเกิด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ละออศรี เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อ่านเปรื่อง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒ เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.วงศา เล้าหศิริวงศ์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมธากุล
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ นายแพทย์ศิริเกษม ศิริลักษณ์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา บุญยะลีพรรณ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา อารมย์ดี
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขาวสิทธิวงษ์
สถาบันบัณฑิตพัฒนาบริหารศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนนแก้ว
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แสงประดับ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.อรวิชญ์ กุมพล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต บุญปก
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์เทอดศักดิ์ คำเหม็ง
มหาวิทยาลัยนครพนม
รองศาสตราจารย์ยืน ภู่วรวรรณ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ พุทธกาล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชา เพียรชนะ
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุขะเสนา
มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วลัยพร ทองเจริญบัวงาม
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ ละม่อม
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.ณฐพล ภูมิพันธุ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ เภสัชกร ดร.รักษ์จินดา วัฒนาลัย
มหาวิทยาลัยสยาม
Dr.Adrian Roderick Plant
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เลขานุการ

ฉวีวรรณ อรรคะเศรษฐัง

ผู้ช่วยเลขานุการ

พักตร์วิไล รุ่งวิสัย
จิรารัตน์ ภูสีฤทธิ์

กำหนดเผยแพร่

ปีละ 6 ฉบับ
ฉบับที่ 1 มกราคม-กุมภาพันธ์
ฉบับที่ 2 มีนาคม-เมษายน
ฉบับที่ 3 พฤษภาคม-มิถุนายน
ฉบับที่ 4 กรกฎาคม-สิงหาคม
ฉบับที่ 5 กันยายน-ตุลาคม
ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน-ธันวาคม

บทความและความคิดเห็นในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นความคิดเห็นของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป และบทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สงวนสิทธิ์ตามกฎหมายไทย การจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากกองบรรณาธิการเท่านั้น

บทบรรณาธิการ

สวัสดีครับท่านผู้อ่านวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคามทุกท่าน ในสภาวะปัจจุบันทั่วโลกต่างตื่นตัวและให้ความสำคัญอย่างยิ่งต่อประเด็นเรื่องความมั่นคงทางอาหาร เนื่องจากภายใต้สภาวะวิกฤตที่ต้องเผชิญทั้งการแพร่ระบาดของโรคอุบัติใหม่ รวมถึงความขัดแย้งระหว่างประเทศที่นำไปสู่สงคราม ล้วนแต่ส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อการผลิตอาหารเพื่อเลี้ยงประชากรโลก ซึ่งเป็นผลพวงจากปัจจัยต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น และการจำกัดการส่งออกสินค้าประเภทอาหารของประเทศผู้ผลิต ดังนั้นการแสวงหาแหล่งทรัพยากรใหม่ๆ ที่เป็นแหล่งอาหารจึงมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง ประเทศไทยนับว่าอยู่ในสถานะที่ได้เปรียบในเชิงทรัพยากรและภูมิปัญญาในการนำทรัพยากรที่มีในท้องถิ่นมาประกอบอาหาร เช่น ผักพื้นบ้าน แมลง กุ้ง หอย ปู ปลา เป็นต้น ที่มีอยู่อย่างหลากหลายในแต่ละท้องถิ่น อย่างไรก็ตามการยกระดับทรัพยากรท้องถิ่นเหล่านี้เพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารที่มั่นคงในอนาคตยังจำเป็นต้องผ่านกระบวนการวิจัยที่บูรณาการศาสตร์แขนงต่างๆ ได้แก่ การสำรวจ รวบรวมความหลากหลาย การตรวจวิเคราะห์อัตลักษ์ทางพันธุกรรมเฉพาะถิ่น การตรวจวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ การตรวจสอบด้านความปลอดภัย กระบวนการผลิต การตลาด รวมถึงมิติที่เกี่ยวโยงกับวัฒนธรรมภูมิปัญญาต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ในอนาคตการวิจัยที่มุ่งเน้นการบูรณาการศาสตร์แขนงต่างๆ เพื่อศึกษาทรัพยากรท้องถิ่นสำหรับพัฒนาเป็นแหล่งอาหารคุณค่าและมูลค่าสูงจะมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งในการสร้างความมั่นคงด้านอาหารจะเป็นหัวใจสำคัญประการหนึ่งสำหรับการพัฒนาประเทศให้มีความเข้มแข็งและมั่นคง

ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล

กองบรรณาธิการ วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

สารบัญ

Biological Science

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสและอีลาสเตสของผัก 10 ชนิด ในจังหวัดนครราชสีมา **277**

Antioxidant, tyrosinase and elastase inhibition activities of 10 vegetables cultivated in Nakhon Ratchasima Province

ลัดดาวัลย์ พะวร, คงศักดิ์ บุญยะประณัย, อรอุมา จันทร์เสถียร, มินตรา อานนท์, สุพจน์ ทับทิมใหญ่, อนุสรา อันพิมพ์

Laddawan Phaworn, Kongsak Boonyapranai, Onuma Chansatein, Mintra Arnon, Suphod Tabtimyai, Anusara Anpim

การสกัดเพคตินจากเปลือกเสาวรสสีม่วงด้วยกรดผลไม้ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม **285**

Optimization of pectin extraction from possum purple passion fruit peel (*Passiflora edulis*) with fruit acids

วัฒนา อัจฉริยะโพธา, เบญจางค์ อัจฉริยะโพธา

Wattana Aschariyaphotha, Benjang Aschariyaphotha

Engineering

การปรับปรุงกระบวนการทำงานเพื่อติดตั้งสตัทฝังในโครงสร้างเสาคอนกรีต **294**

Work process improvement of anchor bolt installation in concrete columns

เทพศักดิ์ ศศิสุวรรณ, อสุธารณ์ แก้วกิติชัย, สิทธิชัย รัชยศโยธิน

Thapsak Sasisuwan, Asutharn Keokitichai, Sitthichai Ruchayosyothin

อุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาโดยใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิกร่วมกับเซนเซอร์ตรวจจับความเอียง **304**

Portable height measuring device using ultrasonic sensor with tilt dumping sensor

องอาจ ทับบุรี, กันยารัตน์ เอกเอี่ยม

Ong-art Tubburee, Kanyarat Ek-iam

Geoinformatics Science

การสร้างสมการเพื่อทำนายผลผลิตอ้อยด้วยค่าดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 กรณีศึกษา อำเภอไชยวาน จังหวัดอุดรธานี **317**

The development of equation of sugarcane yield prediction using vegetation index from Sentinel-2 satellite imagery: A case study in Chaiwan District, Udon Thani Province

คมปกรณ์ ไทยเจริญ, จิระเดช มาจันแดง

Kompakorn Thaicharoen, Jiradech Majandang

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสและอีลาสเตสของผัก 10 ชนิด ในจังหวัดนครราชสีมา

Antioxidant, tyrosinase and elastase inhibition activities of 10 vegetables cultivated in Nakhon Ratchasima Province

ลัดดาวัลย์ พะวร[1]*, คงศักดิ์ บุญยะประณัย[2], อรอุมา จันทร์เสถียร[1], มินตรา อานนท์[3],
สุพจน์ ทับทิมใหญ่[3], อนุสรา อันพิมพ์[3]
Laddawan Phawon[1]*, Kongsak Boonyapranai[2], Onuma Chansatein[1],
Mintra Arnon[3], Suphod Tabtimyai[3], Anusara Anpim[3]

Received: 29 March 2022 ; **Revised**: 23 May 2022 ; **Accepted**: 14 June 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสและเอนไซม์อีลาสเตสของผักในจังหวัดนครราชสีมา จำนวน 10 ชนิด ได้แก่ กะทกรก ผักแว่น ย่านาง ผักหนอก ชะพลู กระถิน ผักแพว ผักแขยง ผักโขมและมะตูมซาอุ โดยนำส่วนใบของผักมาล้าง อบให้แห้ง แล้วบดให้ละเอียด สกัดด้วยวิธีแช่ (Maceration) ด้วยตัวทำละลายเอทานอลเข้มข้น 95% การวิจัยประกอบด้วย 4 การทดลอง คือ การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมด้วยวิธี Folin-Ciocalteu method ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสด้วยวิธี Dopachrome method และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์อีลาสเตสด้วยวิธี Spectrophotometric method พบว่าผักทั้ง 10 ชนิด มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมอยู่ระหว่าง 47.56 - 307.83 mg GAE/g DW สารสกัดหยาบจากใบของกระถินมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมมากที่สุด เท่ากับ 307.83±6.11 mg GAE/g DW การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระพบว่ากระถินมีฤทธิ์ดีที่สุดมีค่าเท่ากับ 145.62±5.61 mg QAE/g DW รองลงมาคือ ผักโขม (123.51±5.57 mg QAE/g DW) และย่านาง (106.35±4.32 mg QAE/g DW) ตามลำดับ สำหรับการวิเคราะห์ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสและอีลาสเตส จากการศึกษาพบว่าสารสกัดหยาบของใบกะทกรกมีฤทธิ์ยับยั้งดีที่สุด เท่ากับ 47.34±3.21% และ 45.21±3.33% ตามลำดับ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่ากระถิน กะทกรก ย่านางและ ผักโขม เป็นพืชที่มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ มีศักยภาพที่จะพัฒนาไปเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพและความงามต่อไปได้

คำสำคัญ: ผัก ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์อีลาสเตส

Abstract

The research objective was to screen total phenolic compounds, antioxidants, tyrosinase and elastase inhibition activities of 10 indigenous vegetables in Nakhon Ratchasima province. The plants were *Passiflora foetida* Linn., *Marsilea crenata* Presl., *Tiliacora triandra* Diels., *Hydrocotyle javanica* Thunb., *Piper sarmentosum* Roxb., *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit., *Polygonum odoratum* Lour., *Limnophila geoffrayi* Bonati., *Amaranthus gracilis* Desf. and *Schinus terebinthifolius* Raddi. Leaves were washed, dried and ground to fine powder. Maceration with 95% ethanol

[1] สาขาวิทยาศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ วิทยาลัยนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา 30000
[2] ศูนย์วิจัยโรคไม่ติดเชื้อและอนามัยสิ่งแวดล้อม สถาบันวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200
[3] นักศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์การแพทย์ คณะสหเวชศาสตร์ วิทยาลัยนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา 30000
* ติดต่อผู้นิพนธ์ ลัดดาวัลย์ พะวร สาขาวิทยาศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ วิทยาลัยนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา 30000
อีเมล์: laddawan@nmc.ac.th
[1] Science, Faculty of Education, Nakhon Ratchasima College, Nakhon Ratchasima 30000
[2] Ph.D., Research Center for Non-communicable Disease and Environmental Health, Research Institute for Health Sciences, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200
[3] Medical science, Faculty of Allied Health Sciences, Nakhon Ratchasima College, Nakhon Ratchasima 30000
* **Corresponding author:** Laddawan Phaworn, Science, Faculty of Education, Nakhon Ratchasima College, Nakhon Ratchasima 30000, Email: laddawan@nmc.ac.th

was conducted for the extraction. There were 4 experiments including analysis of phenolic compounds, antioxidant activity and tyrosinase and elastase inhibition using Folin-Ciocalteu method, DPPH radical scavenging activity assay, dopachrome method and spectrophotometric method, respectively. Total phenolic contents of crude extracts of all indigenous vegetables ranged between 47.56 and 307.83 mg GAE/g DW. The highest total phenolic compounds were found in leaf extract of *Limnophila leucocephala* (Lam.) de Wit. with 307.83±6.11 mg GAE/g DW. When analyzed for antioxidant activity, the crude extract from *Limnophila leucocephala* (Lam.) de Wit. showed the highest antioxidant activity, with 145.62±5.61 mg QAE/g DW, followed by *Tiliacora triandra* Diels. (123.51±5.57 mg QAE/g DW) and *Amaranthus gracilis* Desf. (106.35±4.32 mg QAE/g DW), respectively. The best tyrosinase and elastase inhibitor activities were found in *Passiflora foetida* Linn. leaf extract at 47.34±3.21% and 45.21±3.33%, respectively. This study showed that the leaves of *Limnophila leucocephala* (Lam.) de Wit., *Passiflora foetida* Linn., *Tiliacora triandra* Diels. and *Amaranthus gracilis* Desf. are rich in bioactive compounds. They could be developed as health and beauty products ingredients in the future.

Keywords: Indigenous vegetables, antioxidant activity, tyrosinase inhibitiose inhibition activity

บทนำ

ผิวหนัง เป็นอวัยวะที่สำคัญของร่างกาย ทำหน้าที่รับความรู้สึก ป้องกันสิ่งแปลกปลอมเข้าสู่ร่างกาย รวมถึงป้องกันความเสียหายจากผลกระทบของสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น แสงอุลตร้าไวโอเล็ต (Ultraviolet light) หรือแสงยูวี (UV light) ที่มากับแสงแดด (จำเนียร ชมภู และคณะ, 2563) ซึ่งการได้รับแสงยูวีมากเกินไปจะส่งผลทำให้เกิดการสะสมของอีลาสติคไฟเบอร์ (Elastic fibers) ลดการสร้างคอลลาเจน (Collagen) และเกิดการสะสมของสารในกลุ่มไกลโคซามิโนไกลแคน (Glycosaminoglycan) ซึ่งผลกระทบเหล่านี้ทำให้ผิวหนังขาดความยืดหยุ่นเกิดรอยเหี่ยวย่นก่อนวัย รวมถึงความสดใสอ่อนเยาว์ของผิวหนัง (Oikarnin & Kallionen, 1989) การสูญเสียความแข็งแรงและความยืดหยุ่นในผิวหนัง มีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์อีลาสเตส (Elastase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สามารถทำลายเส้นใยอีลาสตินและคอลลาเจนที่บริเวณผิวหนังได้ (Itoh *et al.*, 2019) นอกจากนี้แสงยูวียังกระตุ้นให้เกิดการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส (Tyrosinase) ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญที่ควบคุมกลไกการสร้างเม็ดสีเมลานิน (Melanin pigment) ในเซลล์เมลาโนไซท์ (Melanocyte) ซึ่งหากมีการสะสมของเม็ดสีที่ผิวหนังมากเกินไป อาจส่งผลเกิดความผิดปกติขึ้นที่ผิวหนังได้ เช่น ผิวหมองคล้ำ หรือเกิดจุดด่างดำ ฝ้า กระ เป็นต้น (Zaidi *et al.*, 2016) ดังนั้นหากต้องการไม่ให้ผิวหนังขาดความยืดหยุ่น เกิดรอยเหี่ยวย่นก่อนวัย และไม่ต้องการให้เซลล์ผิวหนังสร้างเมลานินมากเกินไป (hyperpigmentation) วิธีหนึ่งที่สามารถทำได้คือยับยั้งการทำงานของเซม์อีลาสเตสและไทโรซิเนส

ปัจจุบันเครื่องสำอางค์งค์มีการใช้สารที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมสภาพของผิวหนัง (Skin Aging-related Enzyme) และสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมาใช้เป็นสารออกฤทธิ์ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่ช่วยเพิ่มความกระจ่างใสให้ผิว และลดริ้วรอยมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารที่มาจากแหล่งธรรมชาติ เช่น พืช พืชสมุนไพร และผักพื้นบ้าน เป็นที่นิยมนำมาเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เนื่องจากมีแนวโน้มว่ามีความปลอดภัยกว่าการใช้สารสังเคราะห์และลดการใช้สารเคมีที่อาจเป็นอันตรายต่อผิวหนัง (Klinsoonthorn *et al.*, 2013)

จากการศึกษางานวิจัย พบว่าพืชหลายชนิดมีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานเอนไซม์ไทโรซิเนส เช่น ดาวเรือง (Vallisuta *et al.,* 2014) ย่านาง (Soradech *et al.*, 2018) และใบหม่อน (Insain *et al.*, 2018) เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่ามีการศึกษาวิจัยทางด้านความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระจากสารสกัดจากผักพื้นบ้าน พบว่าผักพื้นบ้านหลายชนิดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เช่น ผักแพว ผักแขยง (เกตุการ ดาจันทา และคณะ, 2562) ผักโขม (สมนึก พรมแดง และคณะ, 2562) กระถิน (Chen *et al.*, 2018 ; คณาทิพย์ สิงห์สาย และคณะ, 2563) และย่านาง (บุญเลี้ยง สุพิมพ์ และคณะ, 2653) เป็นต้น และจากการตรวจสอบข้อมูลงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาพืชผักพื้นบ้านที่มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส และอีลาสเตสร่วมกับการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วย ยังมีการศึกษาไม่แพร่หลายมากเท่าที่ควร และผักพื้นบ้านบางชนิดยังไม่มีการรายงานมาก่อน ด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาผักพื้นบ้านที่มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสและอีลาสเตส ในระดับหลอดทดลองในเขตจังหวัดนครราชสีมา รวมทั้งศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total phenolic content) และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Free radical scavenging activity) ร่วมด้วย โดยหวังว่าผลจากการศึกษานี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐาน ช่วยให้ทราบชนิดของผักพื้นบ้านที่มีศักยภาพในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง สำหรับผิวขาวกระจ่างใส

ลดรอยเหี่ยวย่น และเป็นแนวทางสำคัญในการพัฒนาเพิ่มมูลค่าผักพื้นบ้านให้สูงและยั่งยืนต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

ผักพื้นบ้านที่ใช้ในการวิจัย

ผักพื้นบ้าน 10 ชนิด ได้แก่ กะทกรก ผักแว่น ย่านาง ผักหนอก ชะพลู กระถิน ผักแพว ผักแขยง ผักโขมและมะตูมซาอุ โดยเลือกเก็บส่วนใบของผักพื้นบ้านในเขตอำเภอเมือง อำเภอขามทะเลสอ อำเภอสูงเนิน อำเภอโนนสูง และอำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดนครราชสีมา ตรวจเอกลักษณ์ด้วยรูปวิธานโดยศูนย์วิจัยโรคไม่ติดเชื้อและอนามัยสิ่งแวดล้อม วิจัยวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Local vegetables used in the study

Local Name	Scientific name	Family	Collected area
Ka thok rok	*Passiflora foetida* Linn.	Passifloraceae	Sung Noen District
Phak Waen	*Marsilea crenata* Presl.	Marsileaceae	Mueang District
Yanang	*Tiliacora triandra* Diels.	Menispermaceae	Mueang District
Phak Nok	*Hydrocotyle javanica* Thunb.	Araliaceae	Non Sung District
Chaplu	*Piper sarmentosum* Roxb.	Piperaceae	Kham Thale So District
Kra Thin	*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.	Mimosaceae	Kham Thale So District
Phak Phaew	*Polygonum odoratum* Lour.	Polygonaceae	Sung Noen District
Phak Kha Yaeng	*Limnophila geoffrayi* Bonati.	Scrophulariaceae	Non Sung District
Phak Khom	*Amaranthus gracili*s Desf.	Amaranthaceae	Mueang District
Matoom Saudi	*Schinus terebinthifolius* Raddi.	Anacardiaceae	Chaloem Phra Kiat District

การเตรียมสารสกัดเอทานอลจากผักพื้นบ้าน

เก็บตัวอย่างผักพื้นบ้าน 10 ชนิด นำส่วนของใบมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำไปอบด้วยเครื่องอบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างแห้ง จากนั้นนำไปบดให้ละเอียด นำผงของตัวอย่างผักพื้นบ้านที่ได้ทำการสกัดด้วยวิธี Maceration technique โดยชั่งใบพืชที่ผ่านการบดละเอียดแล้วนำไปใส่ในภาชนะที่มีฝาปิดสนิทแล้วสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล 95% อัตราส่วนของใบพืชแห้งต่อตัวทำละลายเท่ากับ 30 กรัม ต่อตัวทำละลาย 300 มิลลิลิตร แช่สารสกัดไว้เป็นเวลา 7 วัน ทำการเขย่าทุกวัน จากนั้นกรองแยกเก็บส่วนสารละลายด้วยกระดาษกรอง นำไปทำให้แห้งโดยใช้เครื่องระเหยสารสุญญากาศ (Rotary evaporator) และนำไปทำให้แห้งด้วยการแช่เยือกแข็ง (Lyophilization) จากนั้นชั่งน้ำหนักสารสกัดหยาบจากผักพื้นบ้านที่ได้คำนวณหาร้อยละของสารสกัดหยาบ (% Crude Extract) เทียบกับน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง และเก็บสารสกัดหยาบที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการตรวจวิเคราะห์ต่อไป

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม

นำสารสกัดหยาบจากผักพื้นบ้านทั้ง 10 ชนิด มาวิเคราะห์หาปริมาณสารฟีนอลิกรวม ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu Method (Mohd-Esa *et al.*, 2010) เทียบกับสารมาตรฐานกรดแกลลิก (Gallic acid) ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.05-0.70 mg/ml วิธีโดยสังเขปดังนี้ ชั่งตัวอย่างมา 0.1 กรัม ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ละลายด้วยน้ำ DI และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายตัวอย่าง ปริมาตร 50 ไมโครลิตร (เข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ใส่ลงใน 96-well plate นำมาทำปฏิกิริยากับสารละลาย 10% Folin-Ciocalteu reagent ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร และ 7.5% Na_2CO_3 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปบ่มที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร โดยวิเคราะห์ซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง จากนั้นนำมาคำนวณปริมาณฟีนอลิกรวม โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก รายงานปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมในหน่วยของ mg GAE/g DW

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH free radical scavenging ดัดแปลงจาก González-Mendoza *et al.* (2010) โดยใช้เคอร์ซิติน (Quercetin) เป็นสารมาตรฐานที่ความเข้มข้นในช่วง 0.0125 - 0.20 mg/ml วิธีโดยสังเขปดังนี้ เตรียมสารละลายของสารสกัดเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร 100 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายของสารสกัดที่ความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร เติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.05 *มิลลิโมลาร์* ปริมาตร 1.8 มิลลิลิตร เขย่า

ให้เข้ากัน บ่มที่อุณหภูมิห้องในที่มืด เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ และคำนวณหาร้อยละของการต้านอนุมูลอิสระ (% DPPH free radical inhibition) จากสูตร

% DPPH free radical inhibition = [(A-B)/A] x100

เมื่อ

A คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ที่ไม่มีสารทดสอบ

B คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ที่มีสารทดสอบ

การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส

ทดสอบด้วยวิธี Dopachrome method เทียบกับสารมาตรฐานเชิงบวก คือ กรดโคจิก (Kojic acid) เป็นวิธีที่ดัดแปลงจาก Masuda *et al.* (2005) วิธีสังเขปดังนี้ เตรียมสารสกัดจากผักพื้นบ้านมาละลายด้วยเอทานอล 95% ให้ได้ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปทดสอบฤทธิ์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส เทียบกับสารละลายมาตรฐานกรดโคจิกความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยปิเปตสารสกัดหรือสารมาตรฐานปริมาตร 50 ไมโครลิตรผสมกับ 0.1 M phosphate buffer pH 6.7 ปริมาตร 100 ไมโครลิตร เอนไซม์ไทโรซิเนส (mushroom tyrosinase) (100 unit/mL) โดยใช้ phosphate buffer pH 6.7 เป็นตัวทำลาย ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ใน 96 well plate ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องและเก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นเติมสารละลาย 2.5 mM L-DOPA ปริมาตร 50 ไมโครลิตร แล้วบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis microplate reader จากนั้นนำไปอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส 15 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงอีกครั้งที่ความยาวคลื่นเดิม (ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ) จากนั้นคำนวนหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส (% inhibition) ดังสมการ

% inhibition = [(A-B)/A] x 100

เมื่อ

A คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ 490 นาโนเมตร ของสารละลายที่ไม่มีสารสกัด

B คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ 490 นาโนเมตร ของสารละลายที่มีสารสกัด

การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อีลาสเตส

ทดสอบฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อีลาสเตสด้วยวิธี Spectrophotometric method ดัดแปลงตามวิธีของ Wittenauer *et al.* (2015) วิธีโดยสังเขปดังนี้ นำสารสกัดจากพืชพื้นบ้านมาละลายด้วยเอทานอล 95% ให้ได้ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เทียบกับกับสารมาตรฐานเชิงบวก คือ Phenylmethylsulfonyl Fluoride: PMSF ความเข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปทดสอบฤทธิ์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อีลาสเตสใน 96- well plate ที่มีเอนไซม์ 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร Elastase ใน 200 มิลลิโมลาร์ Tris-HCl buffer pH 8.0 ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลานาน 10 นาที ก่อนเติม 5 มิลลิโมลาร์ N-Suc-$(Ala)_3$ -nitroanilide ซึ่งเป็นสับสเตรตของเอนไซม์ ตั้งทิ้งให้ทำปฏิกิริยาต่อไปอีก 10 นาที จากนั้นจึงนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงอีกครั้งที่ความยาวคลื่นเดิม (ทำซ้ำ 3 ครั้ง) จากนั้นคำนวนหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อีลาสเตส (% inhibition) ดังสมการ

% inhibition = [(A-B)/A] x 100

เมื่อ

A คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ 410 นาโนเมตร ของสารละลายที่ไม่มีสารสกัด

B คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ 410 นาโนเมตร ของสารละลายที่มีสารสกัด

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลโดยการนำข้อมูลค่าสังเกตมาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและนำเสนอในรูปแบบ Mean ± S.D.

ผลการวิจัย

ผลการเตรียมสารสกัดหยาบจากผักพื้นบ้าน

จากการนำส่วนของใบผักพื้นบ้านทั้ง 10 ชนิด มาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วนำมาสกัดโดยวิธีการแช่ด้วยตัวทำละลายเอทานอล 95% เป็นระยะเวลา 7 วัน จากนั้นนำไประเหยแห้งด้วยเครื่องระเหยสารสูญญากาศและนำไปแช่เยือกแข็ง พบว่าสารสกัดหยาบจากผักพืชบ้านมีลักษณะทางกายภาพเป็นของเหลวข้นหนืดสีเขียวเข้มจนถึงสีดำ จากนั้นชั่งน้ำหนักสารสกัดหยาบจากผักพื้นบ้านที่ได้คำนวณหาร้อยละของส่วนสารสกัดหยาบเทียบกับน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (30 กรัม) พบว่าร้อยละของส่วนสารสกัดหยาบจากผักพื้นบ้านทั้ง 10 ชนิด มีค่าระหว่าง 5.60%-10.70% ดังแสดงข้อมูลใน Table 2

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม

การหาปริมาณฟีนอลิกรวมของสารสกัดหยาบจากใบของผักพื้นบ้านทั้ง 10 ชนิด ที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล 95% โดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu method เทียบกับสารมาตรฐานคือกรดแกลลิก สามารถคำนวณโดยใช้สมการเส้นตรงของกรดแกลลิก สมการ y = 1.2038x + 0.058 R^2 = 0.9974 พบว่าสารสกัดหยาบจากผักพื้นบ้านมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมแตกต่างกัน ดังแสดงไว้ใน Table 2 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมตั้งแต่ 47.56-307.83 mg GAE/g DW โดยมีสารสกัดหยาบของผักพื้นบ้าน 4 ชนิด ที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงกว่า 100 mg GAE/g DW ได้แก่ ย่านาง ผักหนอก กระถิน และผักโขม โดยสารสกัดหยาบของกระถินมีปริมาณสารประกอบ ฟีนอลสูงที่สุด เท่ากับ 307.83 mg GAE/g DW และพบว่าสารสกัดหยาบของผักพื้นบ้านที่มีปริมาณฟีนอลิกรวมสูงมีความสอดคล้องกับร้อยละผลผลิตของสารสกัดหยาบ (% Yield Crude Extract) งานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Nanasombat *et al.* (2019) ที่ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของใบย่านาง พบว่าใบย่านางมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่า 100 mg GAE/g DW โดยมีค่าเท่ากับ 101.25 ± 1.8 mg GAE/ g DW และสอดคล้องกับงานวิจัยของเกตุการ ดาจันทา และคณะ (2562) ที่ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของกระถิน ในจังหวัดพิษณุโลกที่สกัดด้วยเมทานอล 80% พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม เท่ากับ 307.83 ± 22.11 mg GAE/g DW งานวิจัยในครั้งนี้แตกต่างจากงานวิจัยของสัมพันธ์ สร้อยกล่อม (2557) ที่ศึกษาปริมาณสารโพลีฟีนอลและประสิทธิภาพการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในใบผักโขมด้วยการสกัดแบบเย็นแบบแช่ในเอทานอล 70% พบว่ามีปริมาณสารโพลีฟีนอลเท่ากับ 101.905 ± 0.623 mg GAE/g DW ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการวิจัยในครั้งนี้ที่สกัดด้วยเอทานอล 95% มีค่าเท่ากับ 235.62 ± 6.44 mg GAE/g DW งานวิจัยในครั้งนี้แตกต่างจากงานวิจัยของ Sivakumar *et al.* (2017) ที่ศึกษาสารสกัดจากผักหนอกที่สกัดด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ เบนซิน เอทิลอะซิเตท เมทานอล และเอทานอล พบว่าผักหนอกที่สกัดด้วยเมทานอลมีปริมาณฟีนอลิกสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 1.02g 100g-1 ในขณะที่งานวิจัยในครั้งนี้สกัดผักหนอกด้วยเอทานอล 95% มีปริมาณฟีนอลิกรวมเท่ากับ 171.26 ± 9.70 mg GAE/g DW

ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

จากการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากใบของผักพื้นบ้านที่สกัดด้วยเอทานอล 95% โดยใช้วิธี DPPH radical scavenging และใช้เคอร์ซิติน (Quercetin) เป็นสารมาตรฐาน สามารถคำนวณโดยใช้สมการเส้นตรงของเคอร์ซิติน สมการ y = 717.27x + 2.4478 R^2 = 0.9923 ผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารมาตรฐานและสารสกัดหยาบจากผักพื้นบ้านทั้ง 10 ชนิด ได้แสดงเป็นค่าร้อยละการต้านอนุมูลอิสระ (% DPPH free radical inhibition) ซึ่งพบว่า สารสกัดหยาบจากผักพื้นบ้านมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ตั้งแต่ 12.43-145.62% โดยสารสกัดหยาบที่แสดงร้อยละการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด 3 อันดับแรก คือ กระถิน (145.62± 5.61%) ผักโขม (123.51±5.57%) และย่6.35±4.32%) ดังแสดงในTable Table 2 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม เนื่องจากผักพื้นบ้านทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูง ซึ่งสารประกอบ ฟีนอลิกมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยหมู่ ฟีนอล สามารถรับอิเล็กตรอนจากอนุมูลอิสระและกลายเป็นอนุมูลของสารประกอบฟีนอลที่เสถียร ซึ่งทำลายวงจรของความเสียหายที่เกิดจากอนุมูลอิสระในเซลล์ได้ พนิดา แสนประกอบ (2561) การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากผักพื้นบ้านในครั้งสอดคล้องกับงานวิจัยที่เคยรายงานมาก่อน อาทิ เช่น สอดคล้องกับการศึกษาของเกศศิณี ตระกูลทิวากร และจันทร์เพ็ญ ศักดิ์สิทธิพิทักษ์ (2543) ที่ศึกษาศักยภาพในการต้านสารอนุมูลอิสระของสารสกัดจากผักพื้นบ้านไทยที่สกัดด้วยเมทานอลพบว่า ผักโขม มีศักยภาพสูงในการต้านสารอนุมูลอิสระ มีค่าระหว่าง 25-100 มิลลิกรัมสาร BHA เทียบเท่าใน ผักสด 100 กรัม สอดคล้องกับการศึกษาของสมนึก พรมแดง และคณะ (2563) ที่ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในใบผักโขม 12 สายพันธุ์ด้วยวิธี DPPH assay พบว่าผักโขมมีศักยภาพเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดี สอดคล้องกับการศึกษาของ Soradech *et al.* (2018) ที่พบว่าใบย่านางที่สกัดด้วยเอทานอลมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้เช่นกัน และจากการทบทวนการศึกษาที่เกี่ยวข้องพบการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดกระถิน และชะพลูจากเมทานอล 80% ของเกตุการ ดาจันทา และคณะ (2562) ด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity พบว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 65.70 ± 1.53, 7.65 ± 0.65 mg AAE/g dw ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกับงานวิจัยในครั้งนี้ที่พบว่าใบกระถิน และใบชะพลูที่สกัดด้วยเอทานอล 95% มีค่าเท่ากับ 145.62± 5.61 และ 12.43±2.75 mg QAE/g DW ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการสกัดผักพื้นบ้านด้วยเอทานอล 95% เป็นวิธีการสกัดอีกวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการสกัดสำหรับนำไปทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระหรือทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป

ผลการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส

จากการนำสารสกัดหยาบจากใบผักพื้นบ้านที่สกัดด้วยเอทานอล 95% จำนวน 10 ชนิด มาทดสอบฤทธิ์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส ด้วยวิธี Dopachrome method และเทียบกับสารมาตรฐานกรด โคจิก พบว่าสารสกัด

หยาบของใบกะทกรก สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสได้สูงที่สุด เท่ากับ 47.34±3.21% รองลงมาคือ สารสกัดหยาบของใบชะพลู (40.22 ± 2.14%) และสารสกัดหยาบของใบผักแว่น (36.72±2.37%) ตามลำดับ แต่ค่าร้อยละการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดหยาบของผักพื้นบ้านที่สกัดด้วยเอทานอล 95% ทั้ง 10 ชนิด มีค่าต่ำกว่าสารมาตรฐานกรดโคจิก ซึ่งเท่ากับ 80.73±2.54% ดังแสดงใน Table 2 จากผลดังกล่าวข้างต้น อาจเนื่องมาจากสารสกัดหยาบของใบผักพื้นบ้านเป็นสารที่มาจากธรรมชาติ และสารสกัดหยาบมีองค์ประกอบทางเคมีที่หลากหลายจึงทำให้สารสกัดหยาบมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการทำงานเอนไซม์ไทโรซิเนสที่น้อยกว่าสารมาตรฐานซึ่งเป็นสารบริสุทธิ์ที่มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานเอนไซม์ไทโรซิเนสที่มีประสิทธิภาพสูง และจากการทบทวนการศึกษาฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสจากใบกะทกรกของ Chiavaroli *et al.* (2020) ที่สกัดด้วยเอทิลอะซิเตต เมทานอล เมทานอล-น้ำ (80%) และ น้ำ พบว่าใบกะทกรกที่สกัดด้วยเอทิลอะซิเตตมีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสดีที่สุด มีค่าเท่ากับ 48.48 ± 3.68 % ซึ่งมีค่าร้อยละการยับยั้งใกล้เคียงกับงานวิจัยในครั้งนี้ที่สกัดด้วยเอทานอล 95% เท่ากับ 47.34 ± 3.21% แสดงให้เห็นว่าสารสกัด เอทานอล 95% จากใบของกะทกรกที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ไม่แตกต่างจากการศึกษาของ Chiavaroli *et al.* (2020) ดังนั้นการเลือกใช้ใบกะทกรกในรูปแบบของสารสกัดจากเอทานอล 95% หรือสกัดด้วยเอทิลอะซิเตตสามารถนำไปใช้สำหรับการพัฒนาเวชสำอางได้

ผลการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์อีลาสเตส

จากการนำสารสกัดหยาบของใบผักพื้นบ้าน 10 ชนิด ที่สกัดด้วยเอทานอล 95% มาทดสอบฤทธิ์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อีลาสเตส เทียบกับสารมาตรฐานเชิงบวก คือ Phenylmethylsulfonyl Fluoride: PMSF พบว่าสารสกัดหยาบของใบกะทกรก สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อีลาสเตสได้สูงที่สุด เท่ากับ 45.21±3.33 % รองลงมาคือ สารสกัดหยาบของใบของผักหนอก (30.67±2.43 %) และสารสกัดหยาบของใบมะตูมซาอุ (25.92±1.85%) ตามลำดับ ส่วนสารสกัดหยาบของใบผักแพวสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อีลาสเตสได้ต่ำที่สุด เท่ากับ 3.21±0.48 % ดังแสดงใน Table 2 และพบว่าค่าร้อยละการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อีลาสเตสของสารสกัดหยาบจากใบของผักพื้นบ้านทั้ง 10 ชนิด มีค่าต่ำกว่าสาร PMSF ซึ่งเท่ากับ 67.83±3.21% โดยอาจเนื่องจากผักพื้นบ้านที่ใช้ในการวิจัยไม่ได้ถูกสกัดแยกให้บริสุทธิ์ทำให้มีสารออกฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์อีลาสเตสต่ำกว่าสารมาตรฐาน อย่างไรก็ตามงานวิจัยครั้งนี้เป็นการรายงานฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อีลาสเตสเป็นครั้งแรกในไทยของผักพื้นบ้านทั้ง 10 ชนิด งานวิจัยในครั้งนี้จะเป็นฐานข้อมูลการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์อีลาสเตสสำหรับพืชผักพื้นบ้าน

Table 2 Shows the percentage yield of the extract. total amount of phenolic compounds and percentage of antioxidants Inhibitory percentage of tyrosinase and elastase of crude extra from leaves of 10 local vegetables.

Local name	% Yield Crude Extract	Total phenolic compound (mg GAE/g DW)	% DPPH free radical inhibition (mg QAE/g DW)	Tyrosinase inhibition (%)	Elastase inhibition (%)
Ka thok rok	6.20	95.34±4.97	60.31±4.21	47.34±3.21	45.21±3.33
Phak Waen	7.70	70.81±3.01	30.65±2.67	36.72±2.37	20.12±0.32
Yanang	10.70	294.24±5.05	106.35±4.32	20.54±1.67	8.67±0.45
Phak Nok	9.50	171.26±9.70	68.54± 3.75	14.53±0.63	30.67±2.43
Chaplu	5.60	65.48±4.33	12.43±2.75	40.22±2.14	15.95±1.45
Kra Thin	10.20	307.83±6.11	145.62± 5.61	31.58±2.53	15.34±1.21
Phak Phaew	7.60	47.56±3.21	24.07±0.35	8.45±0.32	3.21±0.48
Phak Kha Yaeng	8.40	67.24±2.87	13.42±1.07	21.64±1.84	6.79±0.86
Phak Khom	8.47	235.62±6.44	123.51±5.57	15.32±0.74	23.29±1.75
Matoom Saudi	8.17	83.23±5.45	22.65±1.87	25.23±1.75	25.92±1.85
** Quercetin	-	-	85.29±0.32	-	-
** Kojic acid	-	-	-	80.73±2.54	-
** PMSF	-	-	-	-	67.83±3.21

ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD), n = 3

** สารมาตรฐาน

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยในครั้งนี้ ทดสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสและเอนไซม์อีลาสเตสจากผักพื้นบ้าน 10 ชนิด สกัดด้วยเอทานอล 95% พบว่า กระถิน ย่านาง และผักโขม มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูง ซึ่งผักพื้นบ้านเหล่านี้จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการบริโภคเป็นอาหารเพื่อลดความเสี่ยงของการเกิดโรคที่มีสาเหตุจากอนุมูลอิสระ ในขณะที่สารสกัดหยาบจากผักพื้นบ้านต่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส พบว่าสารสกัดหยาบจากใบกะทกรกมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสดีที่สุด งานวิจัยครั้งนี้เป็นการรายงานฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสเป็นครั้งแรกในไทยของผักแว่น ผักหนอก ชะพลู ผักแขยง และผักโขม ผลการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อีลาสเตส พบว่าสารสกัดหยาบจากใบกะทกรกมีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของอีลาสเตสดีที่สุด งานวิจัยครั้งนี้เป็นการรายงานฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อีลาสเตสเป็นครั้งแรกในไทยของผักพื้นบ้านทั้ง 10 ชนิด ซึ่งงานวิจัยในครั้งนี้จะเป็นฐานข้อมูลการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งไทโรซิเนสและอีลาสเตสสำหรับพืชผักพื้นบ้านต่อไป ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าใบกระถิน กะทกรก ย่านาง และ ผักโขม มีศักยภาพที่สามารถนำไปศึกษาต่อยอดเพื่อประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพและความงาม ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผักพื้นบ้าน อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ยับยั้งไทโรซิเนสและอีลาสเตสด้วยวิธีวิเคราะห์ที่แตกต่างและหลากหลายในการศึกษาวิจัยในอนาคตต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ สำนักวิจัยและพัฒนา วิทยาลัยนครราชสีมา ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณคณะสหเวชศาสตร์ วิทยาลัยนครราชสีมา ที่ให้ความอนุเคราะห์เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับทำวิจัย และขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่เพื่อใช้ในการวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการที่เสียสละเวลาให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกแก่ผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา

เอกสารอ้างอิง

เกศศิณี ตระกูลทิวากร และ จันทร์เพ็ญ ศักดิ์สิทธิพิทักษ์. (2543). ศักยภาพในการต้านสารอนุมูลอิสระของสารสกัดจากผักพื้นบ้านไทย. *อาหาร, 30*(3), 164-178.

เกตุการ ดาจันทา, หทัยทิพย์ ร้องคำ, ทรงพรรณ สังข์ทรัพย์เปรม, นภา สีโสภา. (2562). ปริมาณสารประกอบฟีนอล ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ของผักพื้นบ้านในจังหวัดพิษณุโลก. *แก่นเกษตร, 47 (ฉบับพิเศษ 1)*, 1541-1548.

คณาทิพย์ สิงห์สาย, อภิษฎา ศักดาวิโรจน์, กนกพิชญ์ เวชพาณิชย์กิจกุล, อสมาภรณ์หมุนสมัย, อภิษฎา ศักดาวิโรจน์. (2563). การเปรียบเทียบสารประกอบฟีนอลิก สารฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดเอทานอลจากยอดอ่อน ใบ ผล และเมล็ดของกระถินไทย. *วารสารนเรศวรพะเยา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 13*(3), 66-73.

จำเนียร ชมภู, ธนพงศ์ ไกรพุฒ, สุนิสา อุยะตุง, ทศพล พรพรหม. (2563). ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมสภาพของผิวหนังของดอกวัชพืชในวงศ์ Asteraceae บางชนิด. *วารสารเกษตร, 36*(3), 301- 312.

บุญเลี้ยง สุพิมพ์, สุระเดช ไชยตอกเกี๊ย, จิตติมา พีรกมล, สุพรรณี พฤกษา. (2563). ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเครื่องดื่มน้ำผักสมุนไพร และผลไม้ เทศบาลตำบลนาอ้อ อำเภอเมือง จังหวัดเลย. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 25*(3), 968-982.

พนิดา แสนประกอบ. (2561). การศึกษาสารประกอบฟีนอลิกรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้านในจังหวัดร้อยเอ็ด. *วารสารวิชาการเกษตร, 36*(3), 293-301.

สมนึก พรมแดง, ลักขณา เบ็ญจวรรณ์, อุทัยวรรณ ด้วงเงิน. (2562). ปริมาณออกซาเลตและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในผักโขม 12 สายพันธุ์. *แก่นเกษตร, 48(suppl.1)*, 1065-1072.

สัมพันธ์ สร้อยกล่อม. (2557). *ปริมาณสารโพลีฟีนอลและประสิทธิภาพการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัด ผักโขม*. file:///C:/Users/dell/Downloads/ KC5201050.pdf.

Chen, H., Song, W., Sun, K.K.& Du, H.W. (2018). Structure elucidation and evaluation of antioxidant and tyrosinase inhibitory effect and mechanism of proanthocyanidins from leaf and fruit of *leucaena leucocephala*. *Journal of Wood Chemistry and Technology, 38*(6), 430-444.

Chiavaroli, A., Simone, S.C.D., Sinan, K.I, Ciferri, M.C., Flores, G.A., Zengin, G., Etienne, O.K., Ak, G., Mohamad Jugreet, F.M.S., Cziáky, Z., Jek, J., Recinella, L., Brunetti, L., Leone, S., Angelini, P., Menghini, R.V.L., Ferrante C. & Orlando, G. (2020). Pharmacological properties and chemical profiles of *passiflora foetida* l. extracts. *Novel Insights for Pharmaceuticals and Nutraceuticals. Processes, 8*, 1034. doi:10.3390/pr809103.

González-Mendoza, D., Grimaldo-Juárez, O., Soto-Ortiz, R., Escoboza-Garcia, F. & Hernández, J.F.S. (2010). Evaluation of total phenolics, anthocyanins and antioxidant capacity in purple tomatillo (*Physalis ixocarpa*) genotypes. *African Journal of Biotechnology, 9*(32), 5173-5176.

Insain, P. (2018). Inhibition of melanogenesis from Thai berries. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 12*(2), 69-82.

Itoh, S., Yamaguchi, M., Shigeyama, K. & Sakaguchi, I. (2019). The anti-aging potential of extracts from *chaenomeles sinensis*. *Cosmetics, 6*, 21, doi:10.3390/cosmetics6010021.

Klinsoonthorn, N., Nutsatapana, C. & Mapradit, P. (2013). Prohibited substances in acne melasma whitening cosmetic products in lower central provinces during 2010-2013. *FDA Journal, 20*(3), 28-36.

Masuda, T., Yamashita, D., Takeda, Y. & Yonemori, S. (2005). Screening for tyrosinase inhibitors among extract of seashore plant and identification of potent inhibitors from Garciniasubelliptica. *Japan Society for Bioscience Biotecnology and Agrochemistry, 69,* 197-201.

Mohd-Esa, N., Hern, F.S., Ismail, A. & Yee, C.L. (2010). Antioxidant activity in different parts of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extracts and potential exploitation of the seeds. *Food Chemistry, 122*, 1055-1060.

Nanasombat, S., Yansodthee, K. & Jongjaited, I. (2019). Evaluation of antidiabetic, antioxidant and other phytochemical properties of Thai fruits, vegetables and some local food plants. *Walailak J Sci & Tech, 16*(11), 851-866.

Oikarnin, A., Kallionen, M. (1989). A biochemical and immunohistochemical study of collagen in sun exposed and protected skin. *Photo-dermatology, 6*, 24-31.

Sivakumar, V., Evanjaline, M. & Ananthi, R.M. (2017). Determination of in vitro antioxidant activity of *Hydrocotyle javanica* Thumb whole plant extracts. *World Journal of Pharmaceutical Research, 6*(9), 824-836.

Soradech, S., Kusolkumbot, P. & Thubthimthed, S. (2018). Development and characterization of microemulsions containing *Tiliacora triandra* Diels as an active ingredient for antioxidant and melanogenesis stimulating activities. *Journal of Applied Pharmaceutical Science, 8*(3), 046-054.

Vallisuta, O., Nukoolkarn, V., Mitrevej, A., Sarisuta, N., Leelapornpisid, P., Phrutivorapongkul, A. & Sinchaipanid, N. (2014). In vitro studies on the cytotoxicity, and elastase and tyrosinase inhibitory activities of marigold (*Tagetes erecta* L.) flower extracts. *Experimental and therapeutic medicine, 7*, 246-250.

Wittenauer, J., Mackle, S., Submann, D., Schweiggert-Weisz, U., & Carle, R. (2015). Inhibitory effects of polyphenols from grape pomace extract on collagenase and elastase activity. *Fitoterapia, 101*, 179-187.

Zaidi, K.U., Ali, S.A. & Ali, A.S. (2016). Effect of purified mushroom tyrosinase on melanincontent and melanogenic protein expression. *Biotechnology Research International, 2016*, 1-8.

การสกัดเพคตินจากเปลือกเสาวรสสีม่วงด้วยกรดผลไม้ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม

Optimization of pectin extraction from possum purple passion fruit peel (*Passiflora edulis*) with fruit acids

วัฒนา อัจฉริยะโพธา[1]*, เบญจางค์ อัจฉริยะโพธา[2]
Wattana Aschariyaphotha[1]*, Benjang Aschariyaphotha[2]

Received: 17 March 2022 ; **Revised**: 18 May 2022 ; **Accepted**: 6 June 2022

บทคัดย่อ

เพคตินเป็นสารประกอบพอลิเมอร์ประเภทเฮเทอโรพอลิแซคคาไรด์ที่มีอยู่ในผนังเซลล์ของพืชทำหน้าที่ในการยึดเหนี่ยวเซลล์เข้าด้วยกันโดยมีคุณสมบัติพิเศษคือ เมื่อละลายน้ำจะพองตัวเป็นเจลทำหน้าที่เป็นสารก่อสภาพเจลและเป็นสารให้ความข้นหนืดโดยเฉพาะในแยมและเยลลี่ตลอดจนเป็นแหล่งของใยอาหาร งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสกัดเพคตินจากเปลือกเสาวรสสีม่วงและหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินด้วยกรดผลไม้โดยใช้น้ำมะกรูดเทียบกับน้ำมะนาวแป้นพิจิตร และน้ำส้มซ่า ผลการทดลองพบว่าร้อยละผลได้ของเพคตินที่ คือ 12.74%, 11.92% และ 10.82% ตามลำดับ ชนิดของเพคตินที่ได้จากการสกัดจากกรดผลไม้ทั้ง 3 ชนิด เป็นเพคตินที่มีเมทอกซิลต่ำ (Low methoxyl pectin, LMP) การหาสภาวะที่เหมาะของการสกัดด้วยน้ำมะกรูด 100% ด้วยพื้นผิวตอบสนองที่ออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design (BBD) พบว่าที่สภาวะเวลาในการสกัด 120 นาที อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนของน้ำมะกรูดต่อผงเพคติน (L:S) คือ 15:1 มิลลิลิตรต่อกรัม ให้ปริมาณร้อยละผลได้ (%Yield) ของเพคตินสูงที่สุดถึง 12.81% การออกแบบการทดลองสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการสกัดเพคตินจากเปลือกผลไม้อื่นๆ ได้

คำสำคัญ: การสกัดเพคติน เปลือกเสาวรสสีม่วง น้ำมะกรูด เพคตินชนิดเมทอกซีต่ำ

Abstract

Pectin is a heteropolysaccharide polymer compound present in the primary cell walls of plants, where it binds cells together. It will swell into a gel, acting as a gelling agent, when it is dissolved in water. It is used as a thickening agent, especially in jams and jellies, as well as a source of dietary fiber. The purpose of this study is to study the extraction of pectin from possum purple passion fruit peel and to optimize conditions for fruit acid pectin extraction using kaffir lime juice compared to lemon 'Pan Phichit' juice and bitter orange juice. The pectin yields were 12.74%, 11.92% and 10.82%, respectively. The pectin extracted from fruit acids was low methoxyl pectin. Determination of the ideal conditions for kaffir lime juice extraction employed response surface methodology using Box-Behnken Design (BBD). It was found that the extraction time of 120 min, 90 °C, and L:S ratio 15:1 ml/g resulted in the highest %yield of 12.81%. The results of the experimental design confirmed that the pectin extraction model could be used as a guide for the extraction of pectin from other fruit peel.

Keywords: Pectin extraction, possum purple passion fruit peel, kaffir lime, low methoxyl pectin

---

[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรนวัตกรรมชีวผลิตภัณฑ์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี 13180
[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี 13180
[1] Assistant Professor, Department of Bio-products Innovation, Faculty of Science and Technology, Valaya Rajabhat University, Pathumthani, Thailand 13180
[2] Assistant Professor, Department of Home Economics, Faculty of Science and Technology, Valaya Rajabhat University, Pathumthani, Thailand 13180
* Correspondent author: wattana@vru.ac.th

บทนำ

เปลือกเสาวรสพันธุ์สีม่วง (*Passiflora edulis*) เป็นส่วนรกหุ้มเมล็ดที่แยกจากกระบวนการผลิตน้ำเสาวรสสด ซึ่งโดยปกติแล้วจะถูกนำไปเป็นอาหารสัตว์หรือถูกทิ้งโดยไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ จากการรายงานก่อนหน้านี้พบว่าเสาวรสหนึ่งผลมีส่วนเปลือกคิดเป็น 50-60% ของน้ำหนักทั้งผล ซึ่งเปลือกเสาวรสมีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญอยู่ในปริมาณสูง ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ซึ่งมีเพคตินเป็นส่วนของคาร์โบไฮเดรตของเปลือกโดยในเพคตินพที่พบเปลือกของเสาวรสนั้นเป็นเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำได้ (Yapo & Koffi, 2006) เพคตินเป็นสารประกอบพอลิเมอร์ที่พบในพืชจัดเป็นสารประกอบพอลิแซคคาไรด์เช่นเดียวกับแป้งและเซลลูโลส พบได้ในเซลล์ของพืชที่มีอายุน้อย ในบริเวณผนังเซลล์โดยรวมตัวอยู่กับเซลลูโลสจะทำหน้าที่ในการยึดเหนี่ยวเซลล์เข้าด้วยกัน เพคตินสามารถนำมาใช้เป็นสารเติมแต่งอาหารในอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องดื่ม เพื่อทำให้เกิดเนื้อสัมผัสตามต้องการ โดยมีคุณสมบัติพิเศษคือ เมื่อละลายน้ำ จะพองตัวเป็นเจล ทำหน้าที่ได้ทั้งการเป็นสารก่อสภาพเจล (Gelling agent) (Adetunji *et al*., 2007) ใช้เป็นสารเพิ่มความเข้มข้นของของเหลว (Thickner) และสารเพิ่มความคงตัว (Stabilizer) จึงมีการนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม เช่น ใช้เป็นส่วนผสมในการทำผลิตภัณฑ์แยม เยลลี่ เป็นสารเพิ่มความข้นหนืดในซอสและผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ มายองเนส น้ำสลัด เครื่องดื่ม และนำมาใช้ผลิตอาหาร นอกจากเพคตินจะใช้ในอุตสาหกรรมเป็นสารผสมอาหารโดยตรงแล้ว ยังสามารถนำมาใช้เป็นเส้นใยอาหารในรูปของอาหารเสริมสุขภาพ เช่น ช่วยลดคอเลสเตอรอล และลดระดับน้ำตาลในเลือด ใช้เป็นเส้นใยอาหารป้องกันโรคระบบทางเดินอาหาร และยังใช้ในด้านเภสัชกรรมโดยจะช่วยเพิ่มการทำงานของยาเป็นต้น (ชวนิฎฐ์ สิทธิดิลกรัตน์ และคณะ, 2548) เนื่องจากเพคตินเป็นส่วนประกอบในเส้นใยเซลลูโลส นักวิจัยจึงให้ความสนใจในการศึกษาถึงวิธีการสกัดเพคตินออกจากเส้นใยเซลลูโลส เช่น การใช้กระบวนการไฮโดรไลซิสในการสกัดเพคติน (Sukboonyasatit, Pornnikom and Natyay, 2018, Maran, 2015, Wai *et al*., 2010) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพคติน เช่น ความเข้มข้นของกรดที่ใช้ในการสกัด อัตราส่วนวัตถุดิบต่อปริมาณของสารสกัด เวลาที่ใช้สกัด และอุณหภูมิในการสกัดเป็นต้น และนักวิจัยยังมีการศึกษาการใช้กรดต่างๆ เป็นตัวสกัด เช่น กรดไฮโดรคลอริก (Wai *et al*., 2010) กรดแอซิติก (Wittayapapakorn & Taweekasemsombat, 2013) และซิตริก (Shaha *et al*., 2013) เป็นต้น โดยปัจจุบันประเทศไทยยังคงนำเข้าเพคตินในราคาสูง โดยราคาเพคตินจะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบตั้งต้นที่นำมาสกัดและคุณภาพของเพคตินซึ่งในทางด้านการค้าแล้วนิยมสกัดเพคตินจากเปลือกผลไม้ตระกูลส้มและกากแอปเปิ้ล ทั้งนี้ถ้าหากนำเศษวัสดุเหลือทิ้งที่สามารถนำมาสกัดเพคตินได้จะทำให้เกิดเศรษฐกิจสีเขียวขึ้น (Green economy) ด้วยเหตุผลที่น่าสนใจนี้นักวิจัยจึงได้มีการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมและผลของปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของเพคตินที่สกัดได้จากวัตถุดิบเหลือทิ้งต่างๆ โดยใช้กรดผลไม้ เช่น น้ำมะกรูด และน้ำส้มซ่า ซึ่งเป็นกรดจากธรรมชาติ และไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นกรดที่สามารถรับประทานได้ ซึ่งมีการใช้การตอบสนองพื้นผิว (Response Surface Methodology, RSM) (พงษ์เสริฐ ศรีพรหม และคณะ, 2561; Maran, 2015) เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาการสกัดเพคตินจากเปลือกเสาวรสสีม่วง ซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งโดยการใช้น้ำมะกรูด น้ำส้มซ่า และน้ำมะนาวแป้นพิจิตร ซึ่งเป็นกรดที่ไม่อันตรายเช่นกัน และหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยการออกแบบการทดลองแบบ Box-benhken design (BBD) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดและหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคติน ซึ่งจะเป็นแนวทางในการนำไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมอาหารและเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตเหลือทิ้งทางการเกษตรต่อไป

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

1. การเตรียมตัวอย่าง

เปลือกเสาวรสสีม่วงจากร้านขายน้ำเสาวรส อำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี ปอกส่วนที่เป็นสีม่วงของเปลือกออกให้เหลือแต่ส่วนสีขาว หั่นเป็นชิ้นขนาด 0.5x0.5 เซนติเมตร นำไปชั่งน้ำหนักสด แล้วอบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักแห้ง เก็บไว้ในที่ปลอดความชื้นโดยไม่ต้องบด

2. การเตรียมของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (Emaga *et al*., 2008)

การกำจัดของแข็งที่ละลายในแอลกอฮอล์ออกก่อนการสกัดโดยใช้อัตราส่วนปลือกเสาวรสที่อบแห้งต่อเอทานอล 95% คือ 1:40 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ให้ความร้อนในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง จากนั้นล้างตะกอนด้วยเอทานอล 95% อีก 2 ครั้ง นำตะกอนที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3. การสกัดเพคตินด้วยกรดผลไม้ (Emaga *et al*., 2008)

นำตะกอนเสาวรสที่อบแห้ง มาเติมน้ำผลไม้ ได้แก่ น้ำมะกรูด 100% (pH 2.4±0.2), น้ำส้มซ่า 100% (pH 3.61±0.4) และน้ำมะนาวแป้นพิจิตร 100% (pH 2.5±0.2) ในอัตราส่วนของน้ำผลไม้ต่อตะกอนเสาวรสคือ 1:12 (น้ำหนักต่อปริมาตร) จากนั้นนำไปให้ความร้อนในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 98

องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 120 นาที กรองตะกอนด้วยกระดาษกรอง จากนั้นเติมเอทานอล 95% ปริมาณ 4 เท่าของปริมาตรสารละลาย เพื่อตกตะกอนเพคติน แล้วกรองตะกอนเพคตินด้วยผ้าขาวบาง นำไปทำให้แห้งด้วยโถดูดความชื้น แล้วบดให้เป็นผง เก็บไว้ในที่ปลอดความชื้น และนำเพคตินที่ได้มาหาค่าปริมาณร้อยละผลได้ (%Yield) ได้ดังสมการที่ 1

$$\%Yield = \frac{\text{น้ำหนักของเพคตินที่สกัดได้ (กรัม)}}{\text{มวลทั้งหมดของตะกอนเสาวรสที่อบแห้ง (กรัม)}} \times 100 \quad (1)$$

4. การหาระดับการเกิดเอสเทอริฟิเคชัน

การหาระดับเอสเทอริฟิเคชั่น (degree of esterification, %DE) ตามวิธีการของธานุวัฒน์ ลาภตันศุภผล และคณะ (2556) โดยชั่งน้ำหนักเพคตินผงที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำมะกรูด น้ำส้มซ่า และน้ำมะนาวแป้นพิจิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ขวดละ 0.5 กรัม เติมเอทานอล 95% ขวดละ 2 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำที่ปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์ 100 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วหยดฟีนอล์ฟทาลีน 5 หยด ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เป็นปริมาตรที่ 1 จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ 10 มิลลิลิตร เขย่าทิ้งไว้ 15 นาที แล้วเติมสารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาณ 10 มิลลิลิตร เขย่าจนสีชมพูหายไป หยด ฟีนอล์ฟทาลีน 5 หยด แล้วไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ จนสีชมพูเริ่มปรากฏ แล้วบันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เป็นปริมาตรที่ 2 ค่า %DE ที่ได้ไปหาปริมาณเมทอกซิลที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดเอสเทอริฟิเคชันกับปริมาณเมทอกซิล (อรพิน ภูมิภมร, 2523)

$$\text{ระดับเอสเทอริฟิเคชัน} = \frac{\text{ปริมาณ NaOH ที่ 2}}{\text{ปริมาณ NaOH ที่ 1 +ปริมาณ NaOH ที่ 2}} \times 100 \quad (2)$$

5. การออกแบบการทดลอง

การสกัดเพคตินจากเปลือกเสาวรสสีม่วงด้วยน้ำมะกรูด ใช้การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken design (BBD) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่ให้ปริมาณ ร้อยละผลได้ที่มากที่สุดโดยมีปัจจัยที่มีผลต่อการสกัด 3 ปัจจัย ได้แก่ อัตราส่วนของน้ำมะกรูดต่อตะกอนเสาวรสที่อบแห้ง (L:S), อุณหภูมิในการสกัด (T), และระยะเวลาการสกัด (t) และระดับปัจจัย 3 ระดับ โดยขอบเขตของปัจจัยที่ศึกษาดังแสดงใน Table 1 จากการออกแบบการทดลองได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 45 การทดลอง (Table 2)

Table 1 Factor and Experiment Box-Behnken Design

Factor	Unit	Level	
		Low	High
L:S Ratio	g/ml	5:1	25:1
Temp	°C	100	140
Time	Min	100	140

Table 2 Experiment Box-Behnken design

RunOrder	Factor			
	Time (min) (X_1)	Temp (°C) (X_2)	L:S Ratio (ml/g) (X_3)	Yield (%)
1	100	90	25	7.50
2	120	90	15	12.79
3	100	90	25	7.21
4	100	100	15	8.13
5	120	80	5	7.99
6	100	80	15	6.77
7	120	80	25	10.12
8	140	90	5	5.22

Table 2 Experiment Box-Behnken design (cont.)

RunOrder	Factor			
	Time (min) (X_1)	Temp (°C) (X_2)	L:S Ratio (ml/g) (X_3)	Yield (%)
9	140	90	25	5.67
10	120	80	25	9.89
11	100	80	15	6.84
12	140	80	15	6.85
13	120	90	15	12.69
14	100	80	15	6.56
15	100	100	15	8.09
16	120	90	15	12.8
17	120	100	5	8.23
18	120	90	15	12.81
19	140	100	15	6.03
20	120	100	5	8.46
21	120	90	15	12.77
22	120	90	15	12.77
23	140	100	15	6.19
24	120	80	25	10.02
25	120	100	25	9.34
26	120	90	15	12.69
27	100	100	15	7.86
28	120	90	15	12.80
29	100	90	25	7.55
30	120	100	25	9.59
31	120	80	5	8.05
32	140	90	25	5.99
33	100	90	5	5.13
34	120	100	5	7.89
35	140	100	15	5.88
36	120	100	25	9.89
37	100	90	5	5.18
38	120	90	15	12.81
39	140	80	15	7.84
40	140	80	15	7.27
41	140	90	25	6.05
42	140	90	5	5.18
43	100	90	5	5.20
44	120	80	5	8.03
45	140	90	5	5.03

ผลการศึกษา

1. ปริมาณร้อยละของผลผลิต

ปริมาณร้อยละผลได้ของเพคตินที่ได้จากการนำเปลือกเสาวรสสีม่วงอบแห้งมาสกัดเพคตินด้วยกรดผลไม้ 100% พบว่าเพคตินที่สกัดด้วยน้ำมะกรูด 100% มีปริมาณร้อยละผลได้ของเพคตินมากที่สุด คือ 12.74% รองลงมาคือ เพคตินที่สกัดด้วยน้ำมะนาวแป้นพิจิตร 100% และน้ำส้มซ่า กรดซิตริก 100% ที่ได้ร้อยละ เพคติน คือ 11.92% และ 10.82% ตามลำดับ (Table 3)

Table 3 Pectin yield (%)

	Weigh of peel (g)	Weigh of pectin (g)	Yield (%)
Kaffir lime juice (100 %)	10	1.26	12.74±0.62
Lemon 'Pan- Phichit' juice (100 %)	10	1.26	11.92±0.52
Bitter orange juice (100 %)	10	0.38	10.82±0.60

2. การหาปริมาณเมทอกซิล

นำปริมาตรของสาระละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากการไทเทรต ไปคำนวณหาค่า %DE และนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับตารางความสัมพันธ์ระหว่างค่า %DE กับปริมาณ เมทอกซิลจะได้ปริมาณเมทอกซิล ดังแสดงในTable 4 คือ เพคตินที่สกัดได้จากเปลือกเสาวรสสีม่วง พบว่าเพคตินที่ได้จากการสกัดโดยใช้น้ำมะกรูด 100% มีปริมาณเมทอกซิลมากที่สุด คิดเป็น 37.5% เพคตินที่ได้จากการสกัดโดยใช้น้ำมะนาวแป้นพิจิตร 100% คิดเป็น 27.27% และเพคตินที่ได้จากการสกัดโดยใช้น้ำส้มซ่า 100% มีปริมาณเมทอกซิลน้อยที่สุดคิดเป็น 23.08% เมื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง %DE นำไปเทียบกับตารางความสัมพันธ์กับปริมาณเมทอกซิล พบว่าเพคตินที่สกัดได้จากกรดผลไม้ทั้ง 3 ชนิด เป็นเพคตินที่มีเมทอกซิลต่ำ (Low methoxyl pectin, LMP) ซึ่งเพคตินที่มีเมทอกซิลต่ำมีลักษณะที่สามารถจะเกิดเจลได้ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ต้องมีของแข็งที่ละลายได้ (Soluble solid) แต่ต้องมีไอออนของโลหะบางชนิดช่วยในการเกิดเจล เช่น แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) อยู่ประมาณ 3% และมีของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid) ตั้งแต่ 10 - 80% ที่ pH ในช่วงตั้งแต่ 2.9 - 5.5 ลักษณะเจลที่ได้จะเป็นเจลชนิดที่สามารถอ่อนตัวลงเปลี่ยนกลับเป็นของเหลวเมื่อได้รับความร้อน (Thermoreverible gel) เนื้อสัมผัสของเจลจะมีความอ่อนนุ่มและยืดหยุ่นมากกว่าเจลที่ได้จากเพคตินที่มีเมทอกซิลสูง (อรพิน ภูมิภมร, 2523) งานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ได้ศึกษาการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มซ่าเพื่อผลิตแยมส้มซ่า (สุรีวัลย์ สิมชาติ และคณะ, 2562) พบว่าปริมาณเมทอกซิลในเพคตินจากเปลือกส้มซ่าที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกเป็นเพคตินที่มีเมทอกซิลต่ำ (LMP) เช่นเดียวกับเพคตินจากเปลือกเสาวรสสีม่วง แต่ปริมาณเมทอกซิลในเพคตินของส้มซ่า ที่สกัดด้วยกรดซิตริกเป็นเพคตินที่มีเมทอกซิลสูง (Hight methoxyl pectin, HMP)

Table 4 Methoxyl of pectin from possum purple passion fruit peel

	Percent of Methoxyl	Degree of esterification (%DE)	Methoxyl
Kaffir lime juice (100 %)	7.35±0.14	37.50	LMP
Lemon juice (100 %)	4.45±0.21	27.27	LMP
Bitter orange juice (100 %)	3.76±0.12	23.08	LMP

* LMP = Low methoxyl pectin

3. ผลการศึกษาสภาวะที่ใช้ในการสกัดเพคตินจากเปลือกเสาวรสสีม่วงด้วยน้ำมะกรูด

การหาสภาวะที่เหมาะของการสกัดเพคตินทำการออกแบบการทดลองแบบ BBD ซึ่งสามารถนำมาหาความสัมพันธ์ที่ทำให้ได้ปริมาณร้อยละผลได้ของเพคตินมากที่สุด พบว่า ร้อยละผลได้ของเพคตินอยู่ในช่วงร้อยละ 5.03-12.81 ดังแสดงใน Table 2 จากการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของปริมาณร้อยละผลได้ พบว่าค่า R-Sq มีค่าเท่ากับ 99.58% ที่ ($p<0.05$) สามารถสร้างสมการทำนายเพื่อหาค่าปริมาณผลผลิตร้อยละได้ดังนี้

$$\%Yield = -299.21 + 2.9389X_1 + 2.833X_2 + 1.1719X_3 - 0.010992X_1X_1 - 0.013475X_2X_2 - 0.024642X_3X_3 - 0.003237X_1X_2 - 0.001862X_1X_3 - 0.001433X_2X_3$$

โดยที่ X_1 คือ เวลาที่ใช้ในการสกัด (นาที), X_2 คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด (องศาเซลเซียส), X_3 คือ อัตราส่วนของน้ำมะกรูดต่อผงเพคติน (L:S) การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองพหุนามอันดับสองจากกราฟ Residual plot เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองดัง Figure 1 (a) พบว่าข้อมูลความน่าจะเป็นปกติ (Normal Probability Plot) มีการกระจายของข้อมูล (Residual) อยู่บนเส้นตรงแสดงว่าไม่มีชุดการทดลองที่แสดงค่าความผิดพลาดอย่างมีนัยสำคัญซึ่งแสดงถึงความถูกต้องของข้อมูล เมื่อพิจารณากราฟฮิสโทแกรม (Histogram) ดัง Figure 1 (b) พบว่ามีลักษณะเป็นเส้นโค้งระฆังคว่ำ โดยมีแนวโน้มวิ่งเข้าสู่ศูนย์แสดงว่าข้อมูลที่ได้มีการกระจายตัวเป็นแบบปกติและมีความถูกต้อง เมื่อพิจารณากราฟค่าความผิดพลาดมาตรฐานกับค่าที่ได้จากการคำนวณดัง Figure 1 (c) พบว่าชุดข้อมูล (Residual) มีการกระจายตัวที่ดีแสดงให้เห็นว่าไม่มีสัญญาณใดบ่งบอกถึงความผิดปกติของข้อมูล (Bias) และเมื่อพิจารณากราฟค่าความผิดพลาดมาตรฐานกับค่าที่ได้จากการทดลองดัง Figure 1 (d) พบว่าข้อมูลมีการแกว่งขึ้นลงในคาบของศูนย์โดยภาพแบบลักษณะการแกว่งที่มีอิสระต่อกัน แสดงถึงข้อมูลที่ได้มีความถูกต้องซึ่งการพิจารณาความถูกต้องของข้อมูลทั้งหมดข้างต้นเพียงพอที่จะสรุปได้ว่าสมการที่ทำนายจากผลการทดลองนี้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ

4. ผลของปัจจัยร่วมที่มีผลต่อการสกัดเพคตินจากเปลือกเสาวรสสีม่วงด้วยน้ำมะกรูด

ผลของระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณร้อยละผลได้จากการสกัดเพคติน พบว่าเวลาในการสกัดในช่วง 109-130 นาที ให้ปริมาณร้อยละผลได้สูงที่สุด เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการสกัดยาวนานจะสามารถทำลายโครงสร้างของผนังเซลล์ได้อย่างทั่วถึง ทำให้เพคตินที่อยู่ชั้นมิลเดิลลาเมลลาของผนังเซลล์สลายตัวออกมาได้มาก (Wilaiwan & Choojun, 2011) แต่เมื่อใช้เวลาในการสกัดมากกว่า 130 นาที ปริมาณเพคตินจะลดลง เนื่องจากระยะเวลานานจะส่งผลให้เพคตินที่มีโพลิเมอร์สายยาวถูกย่อยสลาย (Ström *et al.*, 2007) เมื่อนำมาตกตะกอนด้วยเอทานอลจึงไม่เกิดเจลทำให้ปริมาณผลผลิตของเพคตินต่ำ และผลอุณหภูมิในช่วง 87-94 องศาเซลเซียส ให้ ปริมาณร้อยละผลได้สูงสุดและเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 90 องศาเซลเซียส พบว่าความสามารถในการสกัดมีแนวโน้มลดต่ำลง แสดงว่าปริมาณผลผลิตมากที่อุณหภูมิสูงทำให้ปริมาณผลผลิตต่ำกว่า 10% ดัง Figure 2

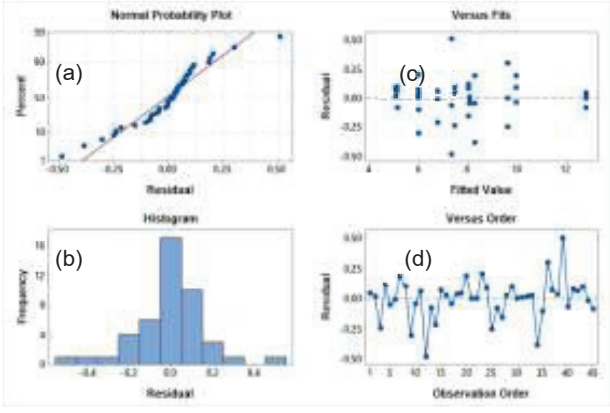


Figure 1 Residual plot for pectin yield ; % ; (a) Normal Probability Plot (b) Histogram (c) Residual plot versus Fits (d) Residual plot versus order

ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดและอัตราส่วนของน้ำมะกรูดต่อตะกอนเสาวรสอบแห้งที่มีต่อปริมาณร้อยละผลได้ จากการสกัดเพคติน แสดงให้เห็นว่าการสกัดที่อุณหภูมิ 83-96 องศาเซลเซียส จะให้ปริมาณร้อยละผลได้เพคตินสูงสุด เนื่องจากอุณหภูมิระดับนี้สามารถทำลายโครงสร้างของผนังเซลล์ได้อย่างทั่วถึง ซึ่งสอดคล้องกับหลายการทดลอง Kurita *et al.* (2008) ที่กล่าวว่าปริมาณร้อยละผลได้ของเพคตินจะลดต่ำลงจนถึงอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส แต่การสกัดจะมีร้อยละผลได้เพิ่มขึ้นเมื่อใช้อัตราส่วนของน้ำมะกรูดต่อตะกอนเสาวรสอบแห้ง 12:1-22:1 มล./ก. แสดงว่าปริมาณร้อยละผลได้จะมากที่อัตราส่วนของน้ำมะกรูดต่อตะกอนเสาวรสอบแห้งสูงเนื่องจากยิ่งอัตราส่วนต่อของเหลวมากความเข้มข้นก็จะลดลงทำให้การเกาะตัวกันของเพคตินทำได้ง่ายขึ้นเมื่อตกตะกอนจึงเกิดเป็นเจลเพิ่มขึ้นซึ่งมีแนวโน้มการเพิ่มอัตราส่วนของของเหลวในการสกัดว่าถ้ามีอัตราส่วนของน้ำมะกรูดสูงจะทำให้มีผลต่อการละลายของเพคตินได้ดีแต่ถ้าสูงมากจะทำให้อัตราการเกิดร้อยละผลได้ลดลง ดังแสดงใน Figure 3

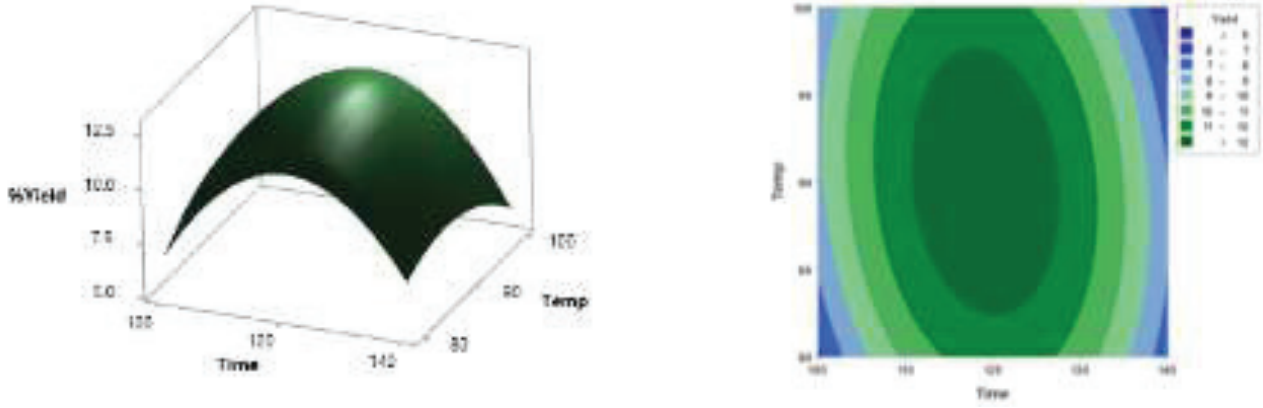


Figure 2 Response surface plot of extraction time and temperature

ผลของเวลาที่ใช้ในการสกัดและอัตราส่วนของน้ำมะกรูดต่อผงเพคตินที่มีต่อปริมาณร้อยละผลได้ จากการสกัดเพคติน แสดงให้เห็นว่าการสกัดที่เวลา 113-127 นาทีจะให้ปริมาณร้อยละผลได้เพคตินสูงสุด เนื่องจากการใช้เวลานานทำให้สารสกัดสามารถเข้าทำลายโครงสร้างของผนังและอัตราส่วนของน้ำมะกรูดต่อผงเพคตินและมีแนวโน้มว่าถ้าใช้อัตราส่วนของน้ำมะกรูดต่ำและที่ประมาณ 100 องศาเซลเซียส จะทำให้ได้ร้อยละผลได้น้อยกว่า 10% ดังแสดงใน Figure 4

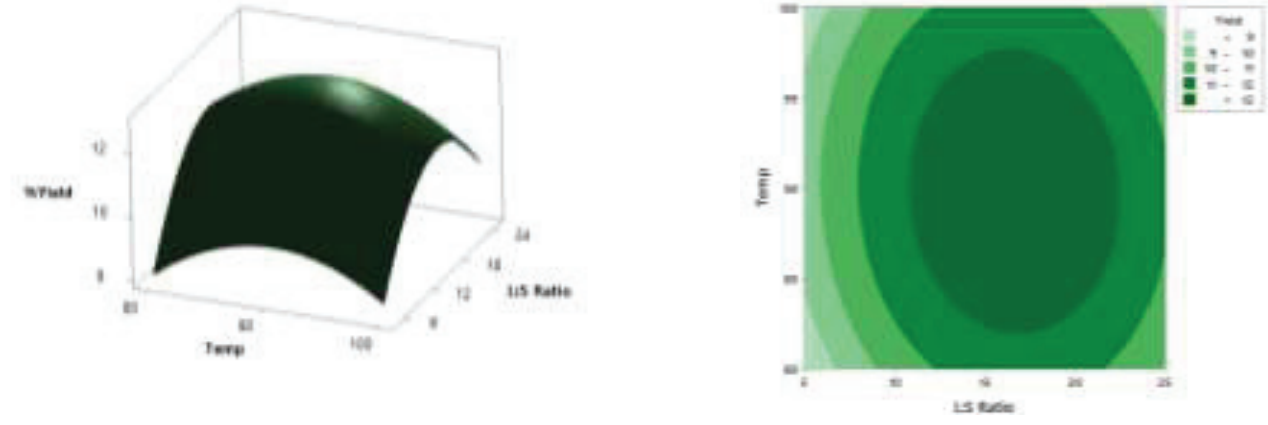


Figure 3 Response surface plot of extraction temperature and L: S Ratio

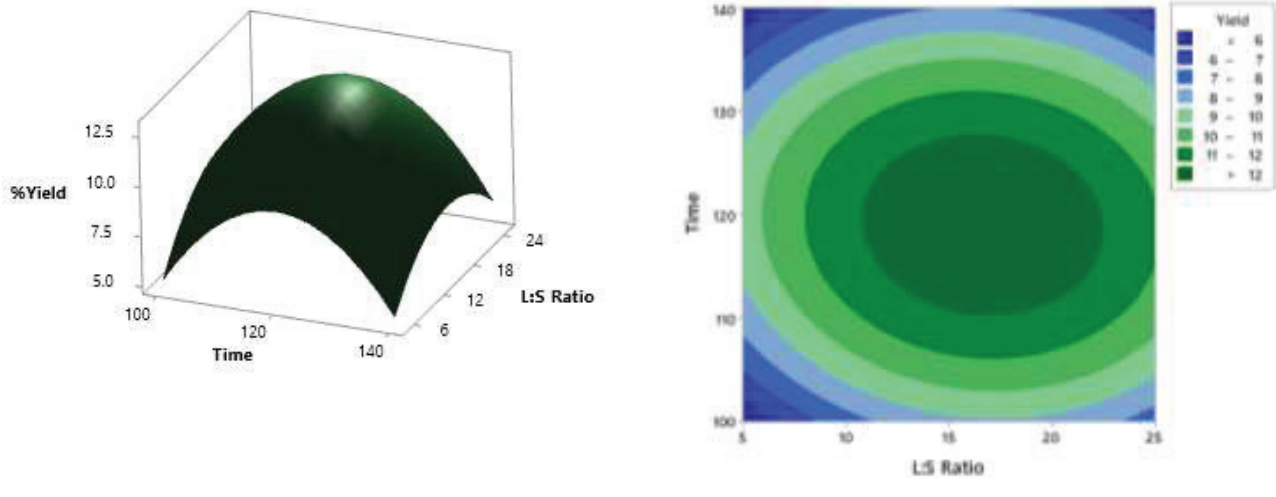


Figure 4 Response surface plot of extraction time and L: S Ratio

5. ผลสภาวะที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองสามารถหาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดเพคตินจากเปลือกเสาวรสสีม่วงด้วยน้ำมะกรูด 100% ที่ให้ปริมาณร้อยละผลได้ของเพคตินสูงที่สุด พบว่า ที่เวลาในการสกัด 120 นาที อุณหภูมิในการสกัด 90 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนของของเหลวต่อของแข็ง 15:1 มล./ก. สามารถสกัดเพคตินได้สูงสุด 12.77±0.07% ซึ่งผลการยืนยัน สภาวะที่เหมาะสมให้ค่าใกล้เคียงกับที่ได้จากการทำนายด้วยสมการ งานวิจัยก่อนหน้านี้มีการใช้กรดที่แตกต่างกัน ได้แก่ กรดซิตริก กรดอะซิติก กรดไฮโดรคลอริก กรดไนตริก และกรดซัลฟูริก เพื่อสกัดเพคตินจากเปลือกมะกรูดซึ่งเพคตินที่ได้จากการสกัดด้วยกรดซิตริกมีร้อยละของผลผลิตสูงที่สุด และสภาวะที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 100 นาที ค่าพีเอช 1 และ อัตราส่วนในการสกัดตัวอย่างต่อกรด 1:60 (จตุพล หาญดี และคณะ, 2559) เช่นเดียวกับ นวลกมล อำนวยสิน และคณะ (2561) ที่ใช้กรดซิตริกสกัดเพคตินจากเปลือกกล้วยหอมทองแต่เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้กรดอินทรีย์ได้แก่ กรดซิตริก และกรดไฮโดรคลอลิก ในการสกัดเพคตินจากเปลือกกล้วยหอมทองจะได้ปริมาณเพคตินที่สูงแต่ได้เมทอกซิลที่ต่ำอาจเป็นผลมาจากการสกัดด้วยกรดแก่ทำให้ความสามารถในการละลายของเพคตินเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดที่ไม่สามารถตกตะกอนได้โดยการเติมเอทานอล จึงทำให้ปริมาณผลผลิตเพคตินที่ได้น้อยกว่าการสกัดด้วยกรดอ่อน (นวลกมล อำนวยสิน และคณะ, 2561)

วิจารณ์และสรุปผล

จากการใช้กรดผลไม้เพื่อสกัดเพคตินจากเปลือกเสาวรสสีม่วงด้วยกรดผลไม้ซึ่งสามารถหาได้ในตลาดทั่วไปซึ่งไม่เป็นอันตรายและสามารถรับประทานได้ โดยการสกัดเพคตินจากเปลือกเสาวรสสีม่วงยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเศษเหลือทิ้งทางการเกษตรหรือทางอุตสาหกรรมเครื่องดื่มผลไม้ ผลการใช้กรดผลไม้ได้ผลว่าน้ำมะกรูดเข้มข้น 100% มีความสามารถในการสกัดเพคตินได้ดีกว่าน้ำมะนาวแป้นพิจิตรเข้มข้น 100% และน้ำส้มซ่าเข้มข้น 100% นอกจากนี้ที่สภาวะนี้ได้ระดับการเกิดเอสเทอริฟิเคชันของเพคตินได้ 37.50% ซึ่งเพคตินที่ได้เป็นชนิดเมทอกซิลต่ำ (LMP) ในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด เพคตินจากเปลือกเสาวรสสีม่วงโดยใช้น้ำมะกรูดเข้มข้น 100% โดยการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design สามารถให้ปริมาณร้อยละผลได้สูงถึง 12.81% เมื่อใช้เวลาในการสกัด 120 นาที อุณหภูมิในการสกัด 90 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนของน้ำมะกรูดต่อผงเพคติน หรือ อัตราส่วนของเหลวต่อของแข็ง (L:S) 15:1 มล./ก. ผลการออกแบบการทดลองสามารถยืนยันได้ว่าแบบจำลองการสกัดเพคตินจากเปลือกเสาวรสสีม่วงด้วยน้ำมะกรูด 100% สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการสกัดเพคตินจากเปลือกผลไม้อื่นๆ ได้จริง

เอกสารอ้างอิง

จตุพล หาญดี, วิชัย เสริมผลและ วราวุธ ธนะมูล. (2559). การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกมะกรูด. *การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ*.อาคารพจน์ สารสิน มหาวิทยาลัย ขอนแก่น .

ชวนิฏฐ์ สิทธิดิลกรัตน์, พิลาณี ไวถนอมสัตย์ล จิราพร เชื้อกูล และปริศนา สิริอาชา. (2548). *การผลิตเพคตินจากเปลือกและกากผลส้มเหลือทิ้ง* [วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์]. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธานุวัฒน์ ลาภตันศุภผล, ปฏิมา ทองขวัญ และศิริลักษณ์ สรงพรมทิพย์. (2556). *การสกัดเพคตินจากเปลือกผัก และผลไม้* [วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ]. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

นวลกมล อำนวยสิน, ณัฐญาภรณ์ เสือชุมแสง และ เทพปัญญา เจริญรัตน์. (2561). การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกกล้วยหอมทองด้วยกรดไฮโดรคลอริกและกรดซิตริก. *Thai Journal of Science and Technology, 7(5).*

พงษ์เสริฐ ศรีพรหม กัญญารัตน์ เกิดศิริ พรสวรรค์ อัศวแสงรัตน์ และ ปธานิน แสงอรุณ. (2561).การหาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียนด้วยน้ำส้มสายชู. *วิศวสารลาดกระบัง, 35*(3), 9-15.

สุรีวัลย์ สิมชาติ สุภาวิตา บุดดาเวียง นิภาพร พลเยี่ยม และ วัฒนา อัจฉริยะโพธา. (2562). การสกัดเพคตินจากเปลือกส้มซ่าเพื่อผลิตแยมส้มซ่า. *การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างสถาบัน ครั้งที่ 7.* มหาวิทยาลัยรังสิต.

อรพิน ภูมิภมร. (2523). *คาร์โบไฮเดรตในสารอาหารพอลีแซ็คคาไรด์* [วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเกษตร- ศาสตร์]. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Adetunji, L.R., Adekunle A., Orsat V., and Raghavan V., (2007). Advances in the pectin production process using novel extraction techniques: A review. *Food Hydrocolloids, 62*, 239-250.

Emaga, H. T. ; Robert, C., Ronkart, S.N., Wathelet, B. and Paquot, M., (2008). Dietaryfibre components and pectin chemical features of peels during ripening in banana andplantain varieties. *Bioresource Technology, 99*, 4346-4354.

Kurita, O., Fujiwara T., & Yamazaki E., (2008). Characterization of the pectin extracted from citrus peel in the presence of citric acid, *Carbohydrate Polymer, 74*, 725-730.

Maran, P.J. (2015). Statistical optimization of aqueous extraction of pectin from waste durian rinds. *International Journal of Biological Macromolecules, 73*, 92-98.

Shaha, R.K., Nayagi, A.P.Y., Punichelvana & Afandi A. (2013). Optimized extraction condition and characterization of pectin from kaffir lime (*Citrus hystrix*). *Research Journal of Agriculture and forestry Sciences, 1*(2), 1-11.

Ström, A., Ribelles P., Lundin L., Norton I., Morris E.R. & Williams A.K., (2007). Influence of pectin fine structure on the mechanical properties of calcium-pectin and acid-pectin gels. *Biomacromolecules, 8*, 2668-2674.

Sukboonyasatit, D., Pornnikom, N. & Natyay, N., (2018). Chemical and physical properties of pectin from okra. *Khon Kaen Agriculture Journal, 48*, 419-1422.

Wai, W.W., Alkarkhi, F.M.A. & Easa, A.M. (2010). Effect of extraction conditions on yield and degree of esterification of durian rind pectin: An experimental design. F*ood and Bioproducts Processing, 88*, 209-214.

Wilaiwan, O. & Choojun, S., (2554). Application of pectin crude extracts from Krung Kha Mao leaves (*Cissampelos pareira* L.) to immobilized cells of *Lactobacillus casei* subsp. rhamnosus TISTR 108 and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. Bulgaricus TISTR 1339 for lactic acid production. *Proceedings of 48th Kasetsart University Annual Conference*: Science. Kasetsart University.

Wittayapapakorn, S. & Taweekasemsombat, S. (2013). The optimum conditions of extracting pectin from agricultural materials. *Research Journal Special Issue the 5th Rajamangala University of Technology National Conference: Science*. Rajamangala University of Technology.

Yapo, B.M. & Koffi, K. L. (2006). Yellow passion fruit rind—A potential source of low-methoxyl pectin. *Journal of Agriculture and Food Chemistry, 54*, 2738-2744. http://dx.doi.org/10.1021/jf052605q

การปรับปรุงกระบวนการทำงานเพื่อติดตั้งสตัทฝังในโครงสร้างเสาคอนกรีต
Work process improvement of anchor bolt installation in concrete columns

เทพศักดิ์ ศศิสุวรรณ*, อสุธารณ์ แก้วกิติชัย, สิทธิชัย รัชยศโยธิน
Thapsak Sasisuwan*, Asutharn Keokitichai, Sitthichai Ruchayosyothin

Received: 15 February 2022 ; **Revised**: 23 May 2022 ; **Accepted**: 9 June 2022

บทคัดย่อ
การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงและพัฒนากระบวนการติดตั้งสตัทฝังในคอนกรีต (Anchor Bolt) เป็นเหล็กเส้นรูปตัวอักษรเจ มีปลายด้านหนึ่งเป็นเกลียวไว้ยึดนัท เพื่อยึดแน่นและติดตั้งโครงสร้างเสาโดยพิจารณาจากการวัดผลทางประสิทธิภาพการทำงานรวม ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับ 3 ตัวชี้วัดในการทำงาน ได้แก่ อัตราการทำงาน ประสิทธิภาพการทำงาน และอัตราคุณภาพ เมื่อทำการโดยออกแบบและพัฒนากระบวนการโดยใช้ตัวจับยึดที่ช่วยสนับสนุนการติดตั้งชิ้นส่วนในการจับยึดโครงสร้างและควบคุมระยะคลาดเคลื่อนดังกล่าว 3 แกน คือ แนวการเคลื่อนตัวในทิศทางองค์ประกอบของระนาบฐานและระดับความสูง โดยอุปกรณ์ช่วยจับยึดดังกล่าวสามารถลดเวลาในการปรับตำแหน่งการวางตัวในตำแหน่งตามมาตรฐานที่กำหนด ผลการปรับปรุงพบว่าการติดตั้งโครงสร้างเสาขนาดหน้าตัด 36 ตารางเซนติเมตร และมีความสูง 20 เมตร จำนวน 1 เสา ใช้เวลาโดยเฉลี่ย 22 นาทีต่อต่อเสาโครงสร้างเมื่อทำการเปรียบเทียบการทำงานก่อนและภายหลังการปรับปรุงกระบวนการพบว่าระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมีระยะลดลง ร้อยละ 45 หลังปรับปรุงกระบวนการทำงาน ทำให้อัตราทำงาน (A) เพิ่มขึ้นร้อยละ 4 ประสิทธิภาพการทำงาน (P) เพิ่มขึ้นร้อยละ 5 อัตราคุณภาพ (Q) เพิ่มขึ้นร้อยละ 4 ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานรวม (OEE) เพิ่มขึ้นร้อยละ 11 ค่าความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (C_p) เพิ่มขึ้นจากก่อนปรับปรุงที่ระดับ 1.14 และหลังปรับปรุงที่ระดับ 2.22 ซึ่งมีผลต่อการลดต้นทุนในการดำเนินการได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: การติดตั้งสตัทฝังในคอนกรีต ประสิทธิภาพการทำงานรวม อุปกรณ์กำหนดตำแหน่งและจับยึด

Abstract
This research aims to improve J-type Anchor bolt installation in the column structure process. Determining the impact of the joining process on those Anchor bolts and column bases, the work was concerned with the Overall Equipment Effectiveness (OEE) data. Three major process indicators corresponded to the scale of OEE ; Availability, Performance, and Quality rate. The use of jig and fixture has been a well-established approach to control the column base within the standard position. All of the control points have been measured on the 3D axis, as 2D in the support plane and the vertical level of the column base. Consequently, the problem of downtime loss due to the adjustment of column base position was decreased. Complete one job installation of a column with 36 CM^2 cross-section and 20m of the height, took an averaged-cycle time of 22 minutes. Also, the before and after improvement of the process were compared resulting to an increase in the rate of the first right job by 45 percent. Availability increased by 4%, Performance increased by 5%, Quality rate increased by 4%. resulting in an overall equipment effectiveness increase of 11%, and the Process Capability Index (C_p) was increased from 1.14 to 2.22 leading to suitable operating costs.

Keywords: Anchor bolts setting, overall equipment effectiveness, Jig

[1] สาขาวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช จังหวัดนนทบุรี ประเทศไทย
[1] School of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat University,Nonthaburi,Thailind
* Corresponding author ; e-mail address: dongdoog@hotmail.com

บทนำ

ปัจจุบันการทำงานในงานสำหรับการติดตั้งโครงสร้างของอาคารในรูปแบบโครงถักด้วยวัสดุเหล็กเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย โดยมีงานฐานราก (Foundation) ถือเป็นจุดที่สำคัญในงานโยธาและติดตั้งเครื่องจักรทุกชนิด (ณัฐพงศ์ มกระธัช และยศพงศ์ วงศ์ระวีกุล, 2556) ตลอดจนงานโครงถักชิ้นส่วนชนิดเหล็ก โดยงานฐานรากของงานโครงถักชนิดเหล็กนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งคือ งานคอนกรีตชนิดเสริมเหล็ก ส่วนที่สอง คือ งานคอนกรีตฝังยึดด้วย สตัทฝังในคอนกรีต โดยเนื้อหาของงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงงานฐานรากในส่วน สตัทฝังในคอนกรีต ซึ่งใช้พื้นฐานรากของโครงสร้างหลังคาโครงงาน

โดยเนื้อหาของงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงงานฐานรากในส่วนสตัทฝังในคอนกรีต ซึ่งใช้พื้นฐานรากของละเอียดและมีความแม่นยำที่สูงเพื่อใช้ในการปรับระดับของฐานรากให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดหากระดับความสูงของ สตัทฝังในคอนกรีต มีระยะที่ผิดพลาดจะเป็นผลทำให้เกิดปัญหากับระยะของโครงสร้างเสาที่คลาดเคลื่อนผิดเพี้ยนไปจากแบบแปลนการก่อสร้าง จนส่งผลกระทบเกี่ยวเนื่องทำให้โครงสร้างอาคารมีตำแหน่งผิดเพี้ยนไปทุกๆ จุด หากการติดตั้งสตัทฝังในคอนกรีต มีระดับต่ำกว่าค่าที่กำหนดจะส่งผลให้การขันยึดด้วยนัท เพื่อยึดกับเกลียวสตัท ไม่สามารถทำได้เนื่องจากระยะเกลียวสั้นจนไม่สามารถขันนัทยึดแผ่นเพลทกับโคนเสาได้

อีกปัญหาหนึ่งในการทำงานสตัทฝังในคอนกรีต คือ กระบวนการทำงาน และขั้นตอนการทำงาน ที่มีความยุ่งยากมีข้อจำกัดที่เป็นอุปสรรค เช่น การปรับตั้งระดับของสตัทต้องยึดเกาะกับเหล็กโครงสร้างเสาปูน ซึ่งการจะยึดเกาะได้อย่างแข็งแรงนั้น ต้องทำการเชื่อมสตัทฝังในคอนกรีตติดกับเหล็กโครงสร้างเหล็กเสริมแรงเสาปูนในขณะการใช้ลวดเชื่อมความร้อนสูงเชื่อมสตัทฝังในคอนกรีต กับเหล็กโครงสร้างเหล็กเสริมแรงเสาปูน จะทำให้ทั้งสตัทฝังในคอนกรีตและเหล็กโครงสร้างเสาปูนเสียโครงสร้างในการรับแรงภายในตัวเหล็กเนื่องจากเกิดความเค้นเนื่องจากความร้อนขึ้น จึงต้องมีการหาวิธีแก้ไขและวิธีการทำงานแบบใหม่เพื่อปรับปรุงกระบวนการการทำงานที่เกิดข้อเสียหายนี้ ไม่ว่าจะเป็นการมัดสตัทฝังในคอนกรีตด้วยลวดผูกเหล็ก หรือการมัดเหล็กปลอกเข้ากับโครงสร้างเสาปูนแล้วทำการเชื่อมสตัทฝังในคอนกรีตเข้ากับเหล็กปลอกแต่วิธีการที่กล่าวมาทั้งสองวิธีนี้ยังมีข้อบกพร่องหลังจากเทคอนกรีตฝังสตัทฝังในคอนกรีต เมื่อเกิดการแข็งตัว จะมีความคลาดเคลื่อน ทั้งตำแหน่งและระดับความสูงของตัว สตัทผิดพลาด ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบกับคุณภาพของงานติดตั้งโครงสร้างเหล็กตามมา รวมถึงขั้นตอนการทำงาน เวลาการทำงานที่มีความยุ่งยากหลายขั้นตอน เวลาการทำงานต่อหนึ่งสถานีการทำงานใช้เวลามากกว่าแบบเดิม (พงษ์ณัฐจ์ สุทธิกุลสมบัติ และปณัทพร เรืองเชิงชุม ,2563) จึงเป็นที่มาของงานวิจัยเพื่อปรับปรุงกระบวนการและขั้นตอนการทำงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพงานสตัทฝังในคอนกรีต ซึ่งจะช่วยปรับปรุงแก้ไขในเรื่องของขั้นตอนการทำงาน เวลาการทำงาน โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของงานหลังจากทำการปรับปรุง

อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

การทดลองครั้งนี้ออกแบบเพื่อศึกษาวิธีการปรับปรุงกระบวนการทำงาน และหาค่าประสิทธิภาพโดยรวมของการทำงานติดตั้งสตัทฝังในคอนกรีต ฝังคอนกรีตเริ่มทำการวิจัยทดลองกับกลุ่มตัวอย่างสัปดาห์แรกของเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2564 สิ้นสุดการเก็บตัวอย่างทดลองสัปดาห์ที่สุดท้ายของเดือนกันยายนพ.ศ.2564 แบ่งประชากรทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม แต่ละกลุ่มที่ตัวอย่างทดลอง 133 ตัวอย่าง โดยจะใช้ตัวชี้วัดผลเปรียบเทียบ 2 ประการคือ1คุณภาพงาน 2ประสิทธิภาพการทำงานรวม อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้แบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่1จะใช้อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งสตัทฝังในคอนกรีตแบบเชื่อมยึดติดกับโครงสร้างเหล็กในเสาปูน โดยใช้เทคนิคการเชื่อมแบบไฟฟ้า ซึ่งใช้ผู้ปฏิบัติงาน 3 คน ดัง Figure 1

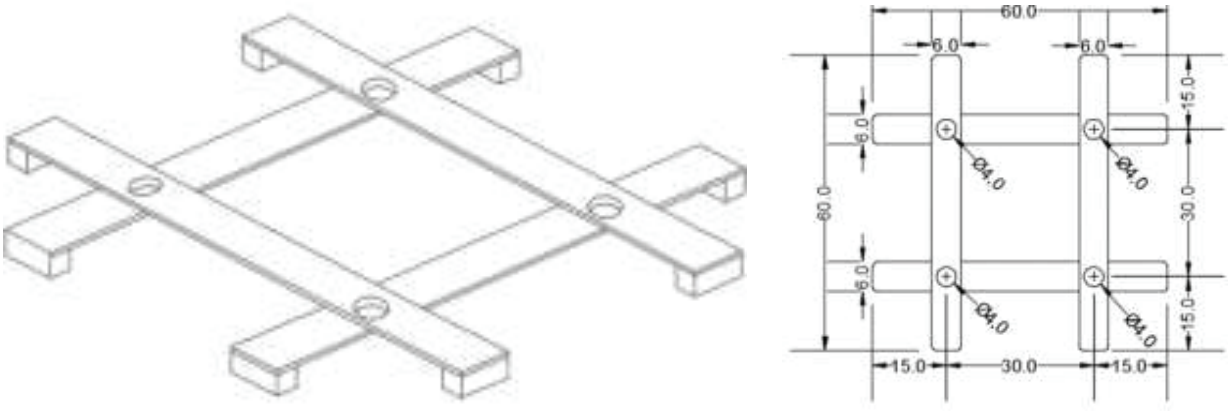
Figure 1 The setting anchor bolts use the electric welding cabinet. (before improving the work process.)

กลุ่ม 2 จะใช้อุปกรณ์ในการติดตั้งสตัทฝังในคอนกรีตแบบจุ่มอุปกรณ์กำหนดตำแหน่งและจับยึดซึ่งได้ทำการออกแบบนำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ โดยมีรูปแบบของอุปกรณ์กำหนดตำแหน่งและจับยึด ดัง (Figure 3) รวมถึงผู้ช่วยในการวิจัยขั้นตอนการติดตั้งสตัทฝังในคอนกรีต หลังปรับปรุงขบวนการ 2 คนโดยเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียม อุปกรณ์กำหนดตำแหน่ง และจับยึดประกอบเข้ากับสตัทฝังในคอนกรีต Figure 2 (a1) ขั้นตอนต่อมาทำการตรวจสอบระยะขอบแบบเสาปูนให้ถูกต้องก่อนทำการติดตั้งกับสตัทฝังในคอนกรีต Figure 2 (a2) ทำการจุ่มลงในแบบเสาคอนกรีตหลังจากปูนแข็งตัว Figure 2 (a3) ทำการตรวจวัดค่าระยะ Figure 2 (a4) เขียนค่าความคลาดเคลื่อนไว้บนหัวเสา Figure 2 (a5) แล้วทำการจดบันทึกข้อมูล Figure 2 (a6)

(a1) (a2) (a3)

(a4) (a5) (a6)

Figure 2 Anchor bolts setting use jig.



(b1) (b2)

Figure 3 Jig design

การทดลองครั้งนี้เริ่มทำการทดลองพร้อมกันกับโครงการก่อสร้างที่มีสภาพปัจจัยแวดล้อมที่ใกล้เคียงกันทั้งสภาพพื้นที่การทำงานลักษณะเฉพาะของงาน เริ่มทำการเก็บข้อมูลจากการทำงานสตัทฝังในคอนกรีตก่อนมีการปรับปรุงกระบวนการทำการเก็บข้อมูลเรื่องของเวลาที่ใช้ในการทำงาน จำนวนแรงงานที่ใช้ในการทำงาน และคุณภาพงานหลังจากการทำงานกับกลุ่มตัวอย่างทดลองที่ 1 เริ่มทำการเก็บข้อมูลจากการทำงานสตัทฝังในคอนกรีตฝังคอนกรีตภายหลังจากการปรับปรุงกระบวนการทำการเก็บข้อมูลเรื่องการศึกษาเวลาที่ใช้ในการทำงาน จำนวนแรงงานที่ใช้ในการทำงาน และตัวชี้วัดคุณภาพงาน (พิพัฒพงษ์ เพ็ญศิริ และสิทธิพร พิมพ์สกุล, 2558) หลังจากการทำงานกับกลุ่มตัวอย่างทดลองที่ 2 ดำเนินการเก็บข้อมูลการทดลอง ดำเนินการวิเคราะห์เปรียบเทียบการกระจายของข้อมูลโดยใช้แผนภูมิควบคุมทดสอบคุณภาพของกลุ่มตัวอย่างทดลองโดยจะทำการเปรียบเทียบและประเมินผล การทดลองออกเป็นสองส่วน

ส่วนที่หนึ่งประเมินเรื่องเวลาและขั้นตอนการทำงานโดยจะใช้หลักการการวิเคราะห์ขั้นตอนในการปรับปรุงกระบวนการ การทำงาน (ECRS) ในการปรับปรุงกระบวนการในการทำงาน ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานโดยการตัดสิ่งที่ไม่จำเป็นในการทำงานในระบบ (Elimination) การหาวิธีรวมงานเข้าด้วยกันเพื่อประหยัดเวลา (Combination) การจัดเรียงลำดับขั้นตอนการทำงานใหม่เพื่อให้เกิดความง่าย (Rearrangment) และ การปรับปรุงวิธีการทำงานให้ง่ายขึ้นเพื่อลดวิธีการทำงาน (Simplification) โดย 4 ขั้นตอนนี้จะถูกนำมาเปรียบเทียบว่าปัจจัยใดที่เป็นสาเหตุหลักส่งผลต่อการสูญเสีย เพื่อก่อให้เกิดมีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงในกระบวนการทำงาน ผลของการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงทำให้ประสิทธิผลในการทำงาน ก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการส่งผลอย่างไร เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนา (มงคล กิตติญาณขจร และคณะ, 2562) และใช้เทคนิคการประเมินผลและทบทวนโครงการดำเนินการการวิเคราะห์ข่ายงาน PERT มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิถีวิกฤตของโครงการ ขั้นตอนการวิเคราะห์ข่ายงานประกอบด้วย การแยกประเภทงาน (Job breakdown) เป็นขั้นตอนการแบ่งหมวดหมู่ของกิจกรรมต่างๆ ที่จำเป็นต้องทำในโครงการทั้งหมดว่ามีกิจกรรมอะไรบ้างที่ต้องทำ มีความสัมพันธ์กันอย่างไร กิจกรรมใดต้องทำก่อน กิจกรรมใดต้องทำหลัง การประมาณการเวลาของกิจกรรม (Activity time estimation) เป็นการประมาณการเวลาที่ต้องใช้ทำแต่ละกิจกรรมโดยอาศัยผู้ชำนาญงาน สำหรับข่ายงาน (กาญจนา จำนงค์นารถ และสุนีรัตน์ กุศลาศัย, 2562)

ส่วนที่สองประเมินเรื่องคุณภาพของงานโดยใช้ค่าอัตราความสามารถของกระบวนการมาทำการชี้วัด ซึ่งความสามารถของกระบวนการในการทดลอง เป็นการ วิเคราะห์แหล่งที่มาของความผันแปรที่เกิดขึ้นใน กระบวนการผลิต ซึ่งเป็นการพิจารณาจากแหล่งความผัน แปรที่เกิดจากการวัดค่าของข้อมูลจากตัวอย่าง การวัด ความสามารถของกระบวนการจะมีความสามารถหรือไม่ นั้นขึ้นอยู่กับค่าตัวเลขที่ได้จากขีดจำกัดควบคุมบนและล่าง (สุรพงศ์ บางพาน, 2559) โดยกำหนดค่า USL คือ ค่ากำหนดมาตรฐานด้านบน LSL คือค่ากำหนดมาตรฐานด้านล่าง UCL คือค่าแสดงสภาวะปกติของข้อมูลด้านบน LCL คือค่าแสดงสภาวะปกติของข้อมูลด้านล่าง (วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์, 2552) เป็นค่าทางวิศวกรรมที่ได้มาจากการคำนวณโดยหาได้จาก (DeWolf & Bieker, 1990) ตำแหน่ง m และ n ดัง Figure 4

$$m = \frac{(N - xb)}{2} \quad (1) \qquad n = \frac{(B - yd)}{2} \quad (2)$$

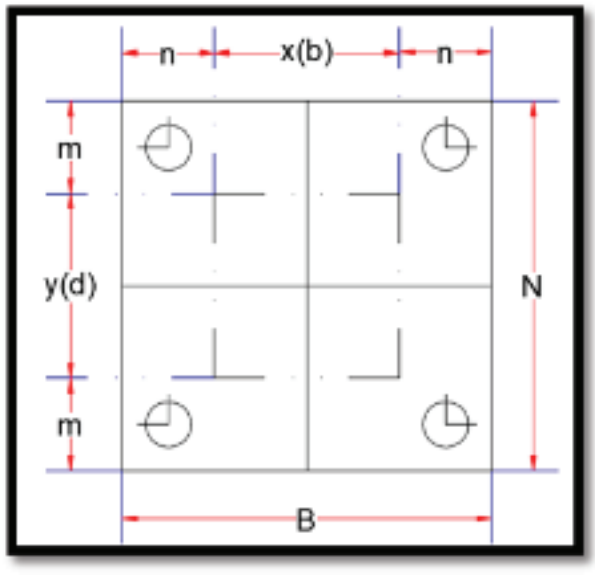


Figure 4 Column base plate dimension design

ประสิทธิภาพการทำงานรวมทั้งหมดของกระบวนการโดยใช้วิธีการหาค่าประสิทธิผลโดยรวมในการทำงาน (OEE) มาทำการเปรียบเทียบกระบวนการทำงานก่อนปรับปรุงกระบวนการและหลังปรับปรุงกระบวนการว่ามีผลอย่างไร โดยการคำนวณหาค่า OEE จะมีส่วนประกอบสามอย่างคือ อัตราการทำงาน (Availability) ประสิทธิภาพการทำงาน (Performance efficiency) และอัตราคุณภาพ (Quality rate) ค่า OEE ที่ได้จะนำมาชี้วัดประสิทธิภาพการทำงานรวมของการทดลองทั้งสองกลุ่มตัวอย่าง วิเคราะห์เปรียบเทียบ (Overall equipment effectiveness: OEE) ของการทำงานว่ามีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นหรือลดลง

ผลการศึกษา

1. ผลการศึกษาด้านคุณภาพงาน จากการทดลองและเก็บตัวอย่างข้อมูลพบว่าหลังปรับปรุงกระบวนการสามารถลดการกระจายตัวระยะความห่าง จาก สตัท ถึง สตัท ดัง Figure 5 ได้ร้อยละ 47 เมื่อเทียบกับการทำงานก่อนปรับปรุงกระบวนการ รายละเอียดตัวอย่างข้อมูล ดัง Figures 6

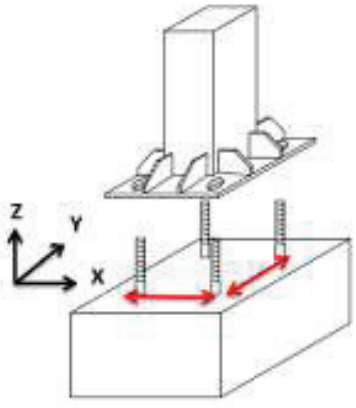
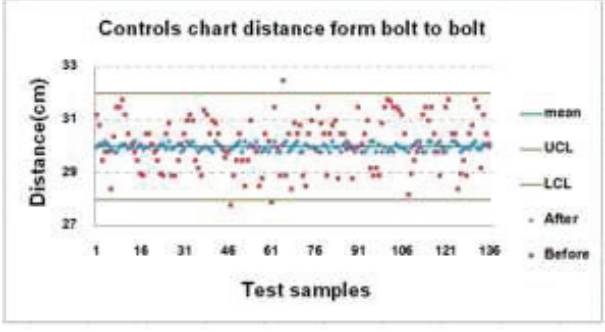
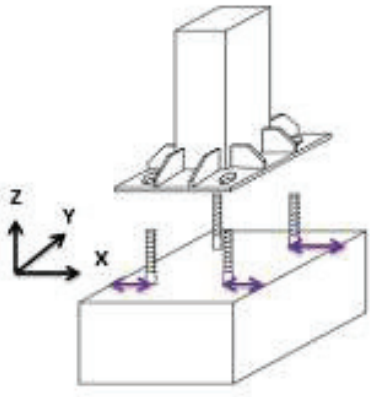


Figure 5 Distance of bolt to bolt

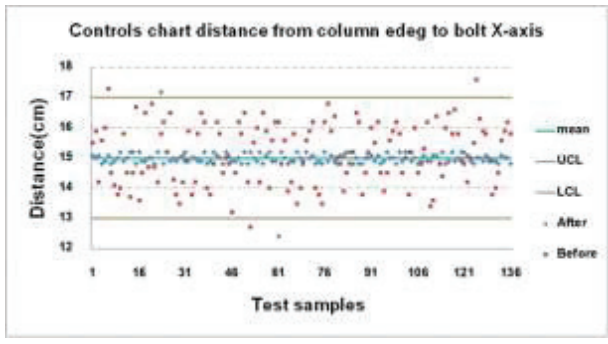


Figures 6 Control chart distance from bolt to bolt

หลังปรับปรุงกระบวนการสามารถลดการกระจายตัวระยะความห่าง จากขอบเสาถึงสตัทในแนวแกน X ดัง Figure 7 ได้ร้อยละ 83 เมื่อเทียบกับการทำงานก่อนปรับปรุงกระบวนการ รายละเอียดตัวอย่างข้อมูล ดัง Figures 8



Figures 7 Distance of column edge to bolt X-axis



Figures 8 Distance control chart of column edge to bolt X-axis

หลังปรับปรุงกระบวนการสามารถลดการกระจายตัวระยะความห่างจากขอบเสาถึงสตัทในแนวแกน Y ดัง Figure 9 ได้ร้อยละ 91 เมื่อเทียบกับการทำงานก่อนปรับปรุงกระบวนการ รายละเอียดตัวอย่างข้อมูล ดัง Figures 10

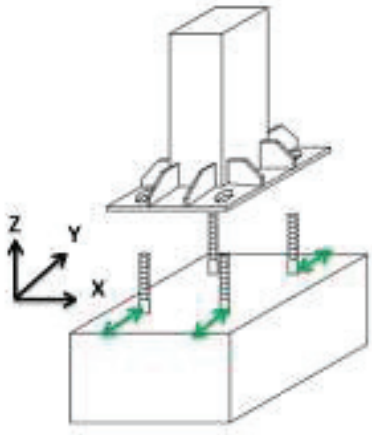
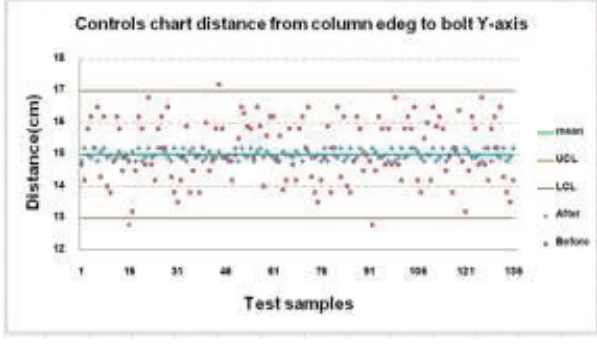


Figure 9 Distance of column edge to bolt Y-axis



Figures 10 Control chart distance of column edge to bolt Y-axis

หลังปรับปรุงกระบวนการสามารถลดการกระจายตัวระดับความสูงจาก Base plate ถึงปลายสตัทในแนวแกน Z ดัง Figure 11 ได้ร้อยละ 61 เมื่อเทียบกับการทำงานก่อนปรับปรุงกระบวนการ รายละเอียดตัวอย่างข้อมูล ดัง Figures 12

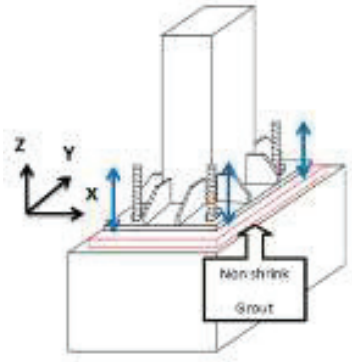
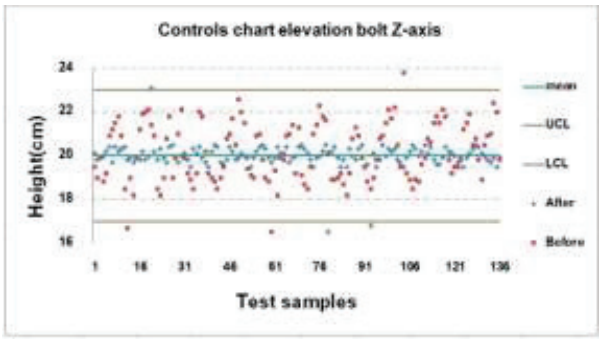


Figure 11 Elevation bolt in Z-axis



Figures 12 Control chart of elevation bolt in Z-axis

จากข้อมูลการทดลองทำให้อัตราค่าความสามารถของกระบวนการ (C_P) เพิ่มขึ้นโดยพิสูจน์ได้จาก (Steiner *et al*., 2014)

$$C_P = \frac{USL-LSL}{UCL-LCL} \quad (3)$$

พบว่าก่อนปรับปรุงกระบวนการทำงานค่าความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ

$$C_{P\text{ก่อนปรับปรุง}} = 1.14$$

และหลังปรับปรุงกระบวนการทำงานค่าความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ

$$C_{P\text{หลังปรับปรุง}} = 2.22$$

จากค่าความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการหลังปรับปรุงกระบวนการทำงานเมื่อค่า C_P มากกว่า 2.00 ถือว่าค่าความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ อยู่ในระดับดีเลิศ (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2551)

2. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานรวม ผลการเปรียบเทียบ การรอคอยในการทำงาน งานติดตั้ง สตัทฝังในคอนกรีตเปรียบเทียบระหว่างการทำงาน ก่อนปรับปรุงกระบวนการและหลังปรับปรุงกระบวนการพบว่า มีขั้นตอนในการทำงานก่อนปรับปรุงกระบวนการที่มากกว่าหลังปรับปรุงขบวนการโดยมีผังขั้นตอนการทำงานเปรียบเทียบดัง Figure 13 และ Figure 14 โดยมีรายละเอียดเวลาการทำงาน ติดตั้งสตัทฝังในคอนกรีตก่อนและ หลังปรับปรุงกระบวนการทำงานดัง Table 1 และ Table 2

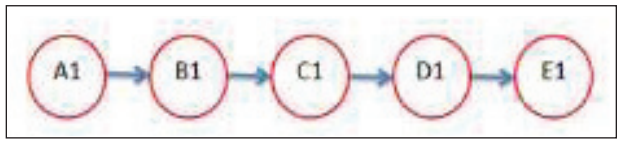


Figure 13 Flowchart of process before improvement

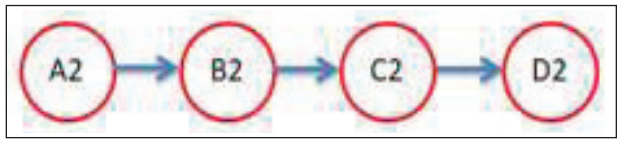


Figure 14 Flowchart of after process after improvement

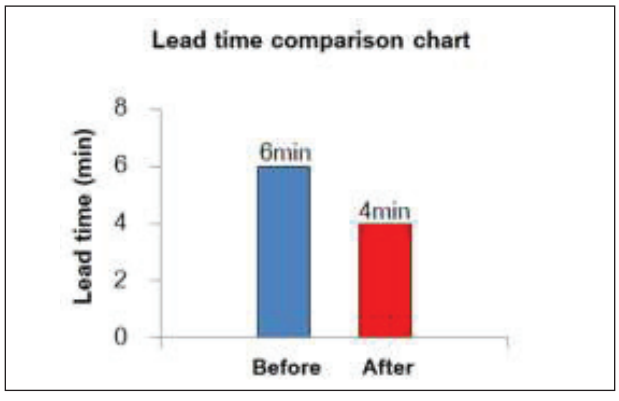
Table 1 Time measurement of process before improvement

Process.	Time. (min)
A1 = Prepare anchor bolts.	5
B1 = Measure distance.	10
C1 = Welding anchor bolt.	20
D1 = Edit distance.	5
E1 = Phase check.	4
Total time.	44

Table 2 Time measurement of process after improvement.

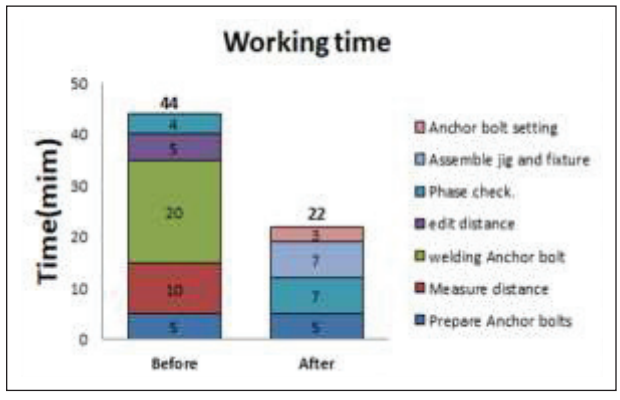
Process.	Time. (min)
A2 = Prepare anchor bolts.	5
B2 = Assemble jig and fixture.	7
C2 = Phase check.	7
D2 = Anchor bolt setting.	3
Total time.	**22**

หลังปรับปรุงกระบวนการลดลงถึง 2 นาทีต่อ 1 ชิ้นงาน จากเดิมก่อนการปรับปรุงกระบวนการใช้เวลาการทำงานเฉลี่ย 6 นาที แต่หลังปรับปรุงกระบวนการ สามารถลดเวลาการทำงานได้เหลือ 4 นาที เนื่องจากหลังปรับปรุงกระบวนการไม่มีการรอคอยในการเชื่อมด้วยตู้เชื่อมไฟฟ้าและขั้นตอนในการติดตั้งลดลง แสดงรายละเอียดข้อมูล ดัง Figures 15



Figures 15 The averaged lead time for each job

จากผลการทดลองหลังปรับปรุงกระบวนการทำงาน สามารถลดปัญหาเรื่องเวลาการทำงานที่ใช้เวลาการติดตั้งสตัทฝังในคอนกรีตฝังในคอนกรีต โดยสามารถลดเวลาในการทำงานต่อชิ้นงานได้ถึง 22 นาทีโดยขั้นตอนที่ทำให้เวลาสามารถลดลงกว่าครึ่งส่งผลมาจากหลังปรับปรุงกระบวนการไม่มีการเชื่อมสตัท และการตรวจสอบระยะติดตั้งของสตัททีละจุด ต่างกับการติดตั้งแบบใช้อุปกรณ์กำหนดตำแหน่งและจับยึด ซึ่งจะมีการยึดตำแหน่งของสตัททุกตัวของตัวอย่างทดลองไว้ แสดงรายละเอียดข้อมูล ดัง Figures 16



Figures 16 The averaged working time for each job

ผลการเปรียบเทียบเวลาการทำงาน ทั้งหมดจนจบโครงการได้ผลเวลาการทำงานก่อนการปรับปรุงกระบวนการทั้งหมด 6,010 นาที เปรียบเทียบกับการทำงานหลังปรับปรุงกระบวนการใช้เวลาทั้งหมด 3,040 นาที ซึ่งสามารถลดเวลาการทำงานทั้งโครงการ ของเวลาการทำงานในงานสตัทฝังในคอนกรีต ทั้งโครงการได้ถึง 2,970 นาที

จากผลการทดลองข้อมูลเวลาในการทำงาน เวลาการทำงานก่อนปรับปรุงกระบวนการหลังปรับปรุงกระบวนการและเวลาตามแผนงาน รายละเอียดข้อมูล ดัง Table 3 และ Table 4 สามารถนำมาแปรผลหาค่าผลการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานรวม Overall equipment effectiveness เปรียบเทียบ 2 การทดลอง ได้ผลการทดลอง (ทวีชัย อวยพรกชกร, 2555)

Table 3 Working period data

Working period.			
Experimental results.	**Before improving process.(min)**	**After improving process.(min)**	**Schedule time.(min)**
Time/piece	44.19	22.35	50
Total time	6,010	3,040	6,800
Lead time/ piece	6.10	4.11	15

Table 4 Results of the samples test before and after the process improvement.

Samples test before and after the process improvement.		
Sample group.	**Complete piece.**	**Number of samples.**
Before improving process.	125 pc	133 pc
After improving the process.	130 pc	133 pc

$$OEE = A \times P \times Q \quad (4)$$

* หมายเหตุ A = อัตราการทำงาน
P = ประสิทธิภาพการทำงาน
Q = อัตราคุณภาพ

$$A = \frac{\text{เวลาการทำงาน (ตามแผน) - เวลาที่รอคอย}}{\text{เวลาการทำงาน (ตามแผน)}} \quad (5)$$

$$P = \frac{\text{(เวลาการทำงานจริง x จำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้)}}{\text{ผลรวมเวลาที่ใช้ในการทำงาน}} \quad (6)$$

$$Q = \frac{\text{(งานที่ผลิต - งานที่เสีย)}}{\text{งานที่ผลิต}} \quad (7)$$

จากข้อมูลการทดลองที่ได้จาก Table 3 และ Table 4 จึงนำมาสู่การแปลผลได้ค่า A P Q และ OEE จากสมการ (4) (5) (6) และ (7) ได้ผลการทดลองแสดงผลดัง Table 5

Table 5 The overall equipment effectiveness of experimental result

Experimental results.		
	Before improving process.	**After improving process.**
A	87%	91%
P	91%	96%
Q	93%	97%
OEE	73%	84%

จากผลการทดลองเปรียบเทียบก่อนการปรับปรุงกระบวนการทำงาน และหลังการปรับปรุงกระบวนการทำงาน ได้ข้อสรุปของผลการทดลองตรงตาม สมติฐานว่า หลังการปรับปรุงกระบวนการทำงานทำให้ค่าประสิทธิภาพการทำงานรวม Overall equipment effectiveness ในกระบวนการทำงานเพิ่มขึ้นแสดงรายละเอียดข้อมูล ดัง Diagram 7

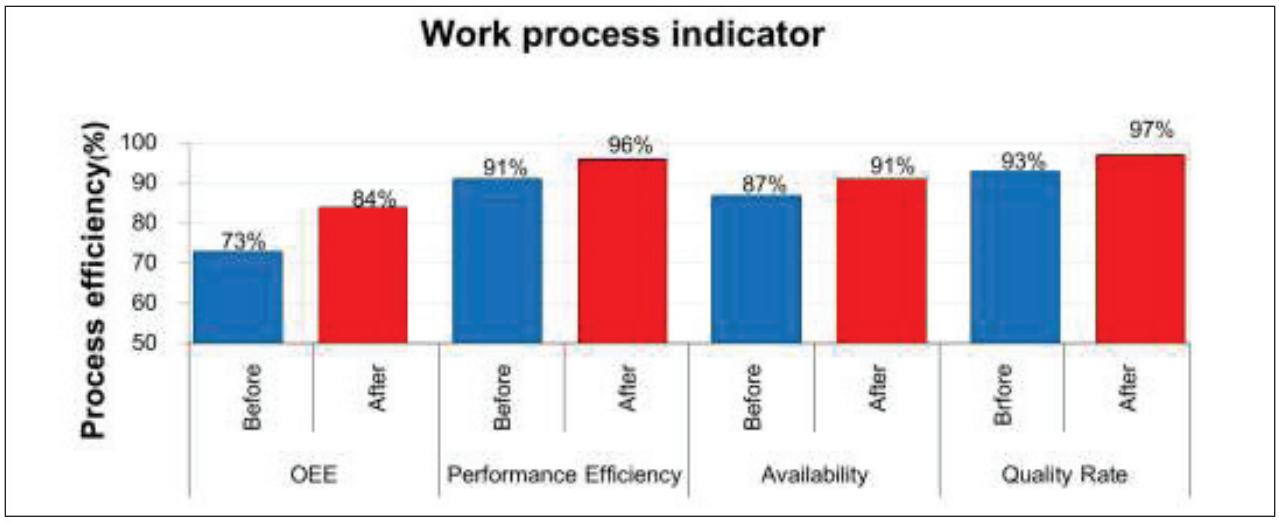


Diagram 7 Work process indicator

ผลข้อมูลด้านคุณภาพจากการวิจัยทดลองพบว่า หลังการปรับปรุงกระบวนการงานสตัทฝังในคอนกรีต มีความคลาดเคลื่อนของระยะติดตั้ง จากข้อมูลระยะความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ย 2.6 เซนติเมตรก่อนปรับปรุงกระบวนการ หลังปรับปรุงกระบวนการระยะความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.3 เซนติเมตร ทำให้หลังปรับปรุงกระบวนการค่าความคลาดเคลื่อนลดลงถึงร้อยละ 88 การกระจายตัวของข้อมูลจาก การวัดการกระจายตัวของข้อมูลที่พิจารณาจากความแปรปรวนดังนี้

$$S^2 = \frac{\sum X^2}{N} - (\bar{X})^2 \qquad (8)$$

S^2ก่อนปรับปรุง = 1.1

S^2หลังปรับปรุง = 0.6

สามารถลดการกระจายตัวของข้อมูลพิจารณาจากความแปรปรวนได้ถึงร้อยละ45 (Leelaphaiboon & Phuenaree, 2021) มีระยะความคลาดเคลื่อนของ สตัทฝังในคอนกรีตจากขอบเสาถึงสตัทในระยะตามแนวแกน X ลดลงถึงร้อยละ 85 และสามารถลดการกระจายตัวของข้อมูลได้ถึงร้อยละ 83 มีระยะความคลาดเคลื่อนของสตัทฝังในคอนกรีต จากขอบเสาถึงสตัทในแนวแกน Y ลดลงถึงร้อยละ 86 มีระดับความคลาดเคลื่อนของปลายสตัทฝังในคอนกรีตถึง Base plate ลดลงถึงร้อยละ 86 สามารถลดการกระจายตัวของข้อมูลตามแนวแกน Z ได้ถึงร้อยละ 61

สรุปผล

จากการทดลองหลังการนำอุปกรณ์ อุปกรณ์กำหนดตำแหน่ง และจับยึดที่ทำการออกแบบ มาใช้ในการติดตั้งสตัทฝังในคอนกรีต หลังปรับปรุงกระบวนการทำงาน เปรียบเทียบกับการติดตั้งสตัทฝังในคอนกรีตแบบใช้ตู้เชื่อมไฟฟ้า ที่เป็นกระบวนการทำงานก่อนปรับปรุงการติดตั้งสตัทฝังในคอนกรีต หลังปรับปรุงกระบวนการทำงาน สามารถลดเวลาในการทำงาน และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานรวมของกระบวนการได้ โดยไม่ทำให้คุณภาพงานลดลง จากการ เก็บผลข้อมูลและแปลค่าจะได้ผลข้อมูลค่าอัตราการทำงานก่อนการปรับปรุงกระบวนการจะได้ อัตราการทำงานที่ร้อยละ 87 แต่หลังจากปรับปรุงกระบวนการทำงาน ค่าอัตราการทำงานได้เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 91 จากค่าอัตราการทำงานที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 4

ประสิทธิภาพการทำงานก่อนการปรับปรุงกระบวนการจะได้ ประสิทธิภาพการทำงานที่ร้อยละ 91 แต่หลังจากปรับปรุงกระบวนการทำงาน ประสิทธิภาพทำงานได้เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 96 จากค่าประสิทธิภาพการทำงานที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 5

ค่าอัตราคุณภาพก่อนการปรับปรุงกระบวนการจะได้อัตราคุณภาพที่ร้อยละ 93 แต่หลังจากปรับปรุงกระบวนการทำงาน อัตราคุณภาพได้เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 97 จากค่าอัตราคุณภาพที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 4

ค่าประสิทธิภาพการทำงานรวม ก่อนการปรับปรุงกระบวนการทำงานที่ร้อยละ 73 และค่าประสิทธิภาพการทำงานรวมหลังปรับปรุงกระบวนการทำงานที่ร้อยละ 84 จากค่าประสิทธิภาพการทำงานรวมที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 9 หลังปรับปรุงกระบวนการทำงาน

ค่าความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (C_p) ก่อนปรับปรุงกระบวนการอยู่ที่ 1.44 อยู่ในระดับดี หลังปรับปรุงกระบวนการ ค่าความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ เพิ่มขึ้นเป็น 2.22 ซึ่งอยู่ในระดับดีเลิศ

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาให้คำปรึกษาแนะนำรวมถึงให้กำลังใจจาก ดร.สิทธิชัย รัชยศโยธิน ประธานกรรมการประจำสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณคุณกิตติพงษ์ ผ่องอ่อน ผู้จัดการทั่วไป บริษัท เอสทีเฟรมแอนทรัส จำกัด ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำเรื่องการออกแบบอุปกรณ์กำหนดตำแหน่งและจับยึด พร้อมทั้งให้คำปรึกษาในกระบวนการทำงานที่ซับซ้อนในงานก่อสร้าง ขอขอบพระคุณทีมงานผู้ช่วยงานวิจัยที่สละเวลาให้ความร่วมมือในการทดลอง เก็บรวบรวมข้อมูลตัวอย่างวิจัยภาคสนาม

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช เพื่อนนักศึกษาและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำวิจัยครั้งนี้ทุกท่านที่ได้กรุณาให้การสนับสนุน ช่วยเหลือ และให้กำลังใจตลอดมา

เอกสารอ้างอิง

ณัฐพงศ์ มกระธัช และยศพงศ์ วงศ์ระวีกุล. (2556). เทคนิคการก่อสร้างฐานรากคอนกรีตขนาดใหญ่ ในงานอาคารสูง.*วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, 3*, 166-182.

ทวีชัย อวยพรกชกร. (2555). กระบวนการหาค่าประสิทธิผลโดยรวม (OEE) ด้วยพฤติกรรมเวลา. *วารสารร่มพฤกษ์มหาวิทยาลัยเกริก, 30*(1) ,1-24.

พงษ์ณัฐฐ์ สุทธิกุลสมบัติ และปณัทพร เรืองเชิงชุม. (2563). การลดความสูญเสียจากเวลาหยุดเดินเครื่องจักรด้วยการปรับปรุงประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรและควบคุมอัตราความเร็วในกระบวนการพิมพ์แบบออฟเซ็ท. *วารสารการบัญชีและการจัดการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 12*(3), 143-156.

พิพัฒพงษ์ เพ็ญศิริ และสิทธิพร พิมพ์สกุล. (2558). การปรับปรุงกระบวนการผลิตเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต โดยแนวคิดของการผลิตแบบลีน กรณีศึกษา.*วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและ พัฒนา, 26*, 81-96.

มงคล กิตติญาณขจร, นภัสสร โพธิสิงห์ และธนวัตร พัดเพ็ง. (2562). การประยุกต์ใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิต: กรณีศึกษา กระบวนการผลิตก้อนเชื้อเห็ด. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต, 9*(2) ,71-89.

กาญจนา จำนงค์นารถ และสุนีรัตน์ กุศลาศัย. (2562). การดำเนินงานในโครงการก่อสร้างบ้านจัดสรรด้วยรูปแบบการทำงานที่มีลักษณะซ้ำกัน. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, 31*(1), 11-21.

สุรพงศ์ บางพาน. (2559). ความสามารถกระบวนการของการตัดชิ้นทดสอบความแข็งโดย การประยุกต์เทคนิคเชิงสถิติ.*วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 23*(2), 67-78.

วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์. (2552). *การหาค่าพิกัดของแผนภูมิควบคุม*. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2551). *การวิเคราะห์ความสามารถของขบวนการ (5).* สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

DeWolf & Bieker. (1990). *Column Base Plats*. American Institute of Steel Construction.

Leelaphaiboon, M. & Phuenaree, B. (2021). Two-sample location tests under violation of the normality and variance homogeneity assumptions. *Current Applied Science and Technology, 21*(4), 721-734.

Steiner, S., Abraham, B. & Mackay, J. (2014). *Understanding process capability Indices*. http://www.stats.uwaterloo.ca/~shsteine/papers/cap.pdf, 2021.

อุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาโดยใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิกร่วมกับเซนเซอร์ตรวจจับความเอียง

Portable height measuring device using ultrasonic sensor with tilt dumping sensor

องอาจ ทับบุรี[1*], กันยารัตน์ เอกเอี่ยม[1]
Ong-art Tubburee[1*], Kanyarat Ek-iam[1]

Received: 26 March 2022 ; **Revised**: 9 May 2022 ; **Accepted**: 1 July 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาที่ใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิก บนฐานการตรวจจับความเอียงของอุปกรณ์วัดส่วนสูงด้วยเซนเซอร์ตรวจจับความเอียงแบบสามแกน โดยหลักการทำงานจะเริ่มต้นด้วยการตรวจสอบการขนานกับพื้น โดยใช้ค่าความเร่งเชิงเส้นและความเร็วเชิงมุมที่ได้จากเซนเซอร์ตรวจจับความเอียงแบบสามแกน รุ่น GY-521 เพื่อใช้เป็นเงื่อนไขเริ่มต้นให้เซนเซอร์อัลตราโซนิก รุ่น HC-SR04 ส่งและรับคลื่นเสียงความถี่สูงพร้อมทั้งนำค่าเวลาที่ใช้ในการเดินทางไป-กลับของคลื่นเสียงดังกล่าวส่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น ESP-8266 เพื่อคำนวณหาส่วนสูงที่ได้และส่งไปแสดงผลผ่านหน้าจอแอลซีดี ผลการทดสอบวัดส่วนสูงของฉากเรียบที่ระยะ 50-200 เซนติเมตร ภายในห้องปฏิบัติการทั้งในสภาวะปกติและภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิห้องที่เปลี่ยนแปลงระหว่าง 20-35 องศาเซลเซียส รวมทั้งเงื่อนไขการวางอุปกรณ์วัดส่วนสูงให้เอียงอยู่ระหว่างมุม 0 จนถึง ±10 องศา ยืนยันให้เห็นว่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับเครื่องวัดส่วนสูงมาตรฐานมีค่าไม่เกินร้อยละ 1.00 นอกจากนี้ผลการทดสอบใช้วัดส่วนสูงของอาสาสมัครจำนวน 50 ราย ที่มีความสูงอยู่ระหว่าง 119-181 เซนติเมตร พบว่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 0.72 ซึ่งไม่เกินกว่าร้อยละ 1.00 ตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้

คำสำคัญ: อุปกรณ์วัดส่วนสูง เซนเซอร์อัลตราโซนิก เซนเซอร์ตรวจจับความเอียง ไมโครคอนโทรลเลอร์

Abstract

The aim of this research is to design a portable height measurement system using an ultrasonic sensor, based on the height measurement device's tilt detection using a tilt dumping sensor projecting. The operating principle starts with checking for ground parallel using the values of linear acceleration and angular velocity obtained from a tilt dumping sensor (GY-521). This is used as a starting reference for the ultrasonic sensor (HC-SR04) in transmitting and receiving high-frequency sound waves as well as their time travelled to the microcontroller (ESP-8266). This is for calculating the height and to display the results on the LCD screen. The height of a piece of cardboard was measured in the laboratory at a distance of 50-200 cm in normal conditions and at room temperatures, ranging from 20-35 °C, including the condition of placing the height measuring device inclined between 0 and ±10 degree. This confirmed that the percentage error of the standard height measuring device was less than 1.00%. Furthermore, the test results obtained from measuring the height of 50 volunteers, whose heights ranged from 119 cm to 181 cm showed that the largest error was determined to be 0.72%, which is less than the specified error of 1.00%.

Keywords: Height measuring device, ultrasonic sensor, tilt dumping sensor, microcontroller

---

[1] อาจารย์, สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 13180
[*] ติดต่อ: ongart.tub@vru.ac.th, tubburee.o@gmail.com
[1] Lecture, Department of Industrial Electrical Technology, Faculty of Industrial Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, Tambon Klong Neung, Pathumthani 13180 Thailand
[*] Corresponding author: E-mail: ongart.tub@vru.ac.th, tubburee.o@gmail.com

บทนำ

การประเมินภาวะโภชนาการโดยการวัดสัดส่วนของร่างกายเป็นวิธีการที่เริ่มใช้มาตั้งแต่ช่วงปลายศตวรรษที่ 19 โดยนักมานุษยวิทยา เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประเมินภาวะการขาดสารอาหาร (Protein energy malnutrition) และภาวะโภชนาการเกิน (สำนักโภชนาการ, 2561) ปัจจุบันการวัดสัดส่วนของร่างกายเพื่อประเมินภาวะต่างๆ ยังคงถูกนำมาใช้อย่างต่อเนื่องและเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการหาค่าดัชนีมวลกาย (Body mass index) หรือที่นิยมเรียกสั้นๆ ว่าค่าบีเอ็มไอ (BMI) ซึ่งเป็นค่าที่สะท้อนปริมาณไขมันในร่างกายได้ดี เชื่อถือได้ และหาได้ง่ายโดยการทราบเพียงน้ำหนักและส่วนสูง (Nunnaphat & Thanach, 2019) โดยส่วนสูงของร่างกายคือ ค่าที่ได้จากการวัดระยะจากส่วนบนสุดของศีรษะลงมาจนถึงฝ่าเท้า ซึ่งนอกจากจะใช้เป็นข้อมูลขั้นต้นในการคำนวณค่าดัชนีมวลกายแล้ว ยังเป็นสัดส่วนของร่างกายที่สามารถบ่งบอกถึงการเจริญเติบโตของโครงกระดูก ซึ่งปกติแล้วส่วนสูงของร่างกายจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งอายุอยู่ในช่วงวัยรุ่นตอนปลายจึงจะหยุดการเจริญเติบโต (ลัดดา เหมาะสุวรรณ, 2552) แต่หากร่างกายขาดอาหารเรื้อรังก็จะส่งผลให้ร่างกายชะงักการเจริญเติบโตได้ จนทำให้ส่วนสูงต่ำกว่ามาตรฐานตามเกณฑ์ของช่วงอายุต่างๆ

ปัจจุบันการวัดส่วนสูงเป็นวิธีการที่พบเห็นได้โดยทั่วไปในหน่วยงานต่างๆ อาทิเช่น สถานศึกษา โรงพยาบาล คลีนิค หรือแม้กระทั่งที่พักอาศัยโดยทั่วไป เพราะเป็นวิธีที่ง่าย และไม่มีค่าใช้จ่ายจากการวัด อีกทั้งอุปกรณ์วัดส่วนสูงยังสามารถหาซื้อได้ง่ายและมีราคาไม่แพง แต่อย่างไรก็ตามการใช้ไม้วัดส่วนสูงแบบอ่านค่าจากสเกลยังคงเป็นอุปกรณ์วัดส่วนสูงที่มีใช้งานอย่างแพร่หลาย แต่ข้อด้อยของการวัดส่วนสูงด้วยวิธีการนี้จะต้องใช้ผู้ทำการวัดเพื่อทำหน้าที่วัดและอ่านค่าส่วนสูงให้กับผู้ที่ถูกวัดส่วนสูง และหากระดับสายตาของผู้ทำการวัดและอ่านค่าส่วนสูงอยู่ในระดับที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน เนื่องจากตำแหน่งการอ่านที่ไม่ถูกต้อง (Parallax error) รวมถึงจากการประมาณค่าของผู้ทำการวัด หากความสูงที่วัดได้ไม่ตรงกับสเกลที่ระบุไว้ (Thunyarat *et al*., 2017) การลดค่าความคลาดเคลื่อนจากสาเหตุดังกล่าว ทำได้โดยอาศัยหลักการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วในปัจจุบันเข้ามาช่วยตรวจวัด ประมวลผล และแสดงผลที่วัดได้แทนมนุษย์ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า การสร้างอุปกรณ์วัดส่วนสูงอัตโนมัติแบบพกพา (Marathe *et al*., 2014 ; Onuma *et al*., 2017) โดยใช้เซนเซอร์อินฟาเรด (Infrared sensor) ทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์และแสดงผลผ่านหน้าจอแอลซีดีทำให้ได้อุปกรณ์วัดส่วนสูงที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ใช้งานได้สะดวก และความคลาดเคลื่อนจากการวัดมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 2.00 อย่างไรก็ตามการใช้เซนเซอร์อินฟาเรดนั้นหากเกิดการสะท้อนแสงของวัตถุ รวมถึงหากมีแสงจากแหล่งกำเนิดแสงอื่นๆ มารบกวน อาทิเช่น แสงจากดวงอาทิตย์หรือจากหลอดไฟฟ้าจะส่งผลให้ความคลาดเคลื่อนจากการวัดมีค่ามากขึ้น การลดผลกระทบดังกล่าวทำได้จากการเปลี่ยนมาใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิก (Ultrasonic sensor) ทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแสดงผลผ่านหน้าจอแอลซีดี (Rattanasuda *et al*., 2019 ; Thunyarat *et al*., 2017) ที่สามารถวัดส่วนสูงได้ตั้งแต่ระยะ 2-200 เซนติเมตร โดยมีความคลาดเคลื่อนจากการวัดอยู่ระหว่างร้อยละ 0.60-1.00 แต่ด้วยลักษณะของอุปกรณ์วัดส่วนสูงที่ออกแบบให้เหมือนกับไม้วัดส่วนสูง โดยการใช้เซนเซอร์อัลตรา-โซนิกติดตั้งบนปลายไม้วัดที่ความสูง 200 เซนติเมตร ทำให้อุปกรณ์วัดส่วนสูงมีขนาดใหญ่ และไม่สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายไปใช้งานในที่ต่างๆ อย่างไรก็ตามเพื่อให้ส่วนสูงที่วัดได้มีความถูกต้อง และสะดวกต่อการวัดส่วนสูงมากยิ่งขึ้น จึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาที่ใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิกจำนวน 2 ตัว เพื่อวัดส่วนสูงเป็นข้อมูลส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์และแสดงผลผ่านหน้าจอแอลซีดี (Alexander *et al*., 2017) ทำให้ได้อุปกรณ์วัดส่วนสูงที่น้ำหนักเบา ใช้งานได้สะดวก และมีความคลาดเคลื่อนจากการวัดน้อยกว่าร้อยละ 1.00 แต่ด้วยวิธีการวัดที่จะต้องวางอุปกรณ์วัดส่วนสูงไว้บนศีรษะ โดยมีเงื่อนไขว่าเซนเซอร์อัลตรา-โซนิกที่ติดตั้งบริเวณปลายทั้ง 2 ด้านของอุปกรณ์วัดจะต้องอยู่ในระดับที่เท่ากันเป็นสิ่งที่ทำได้ไม่สะดวกในกรณีที่ทำการวัดส่วนสูงด้วยตนเอง และที่สำคัญคือการ ตรวจสอบระดับที่ความสูงที่เท่ากันด้วยเซนเซอร์อัลตรา-โซนิกทั้ง 2 ตัว สามารถยืนยันระดับการวัดที่ถูกต้องได้เพียงแนวแกนเดียวเท่านั้น

Table 1 An increased rate of growth in height according to age

Age	Increased rate of growth in height	Growth in height according to age
Newborn	-	50 cm
1-6 Months	2.5 cm/month	65 cm
6-12 Months	1 cm/month	75 cm
1-7 Years	7.5 cm/month	125 cm
8-15 Years	5 cm/month	165 cm

ผลการศึกษาพบว่าเซนเซอร์อัลตราโซนิก รุ่น HC-SR04 เป็นเซนเซอร์ที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้กับระบบวัดส่วนสูง (Panatsada, 2017) สาเหตุเพราะมีพิสัยในการวัดระยะทางอยู่ในช่วง 2-400 เซนติเมตร อีกทั้งยังได้รับการออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ราคาไม่แพง และหาซื้อได้ง่าย อย่างไรก็ตามด้วยขนาดลำคลื่นสะท้อนที่กว้าง ประกอบกับคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ในการกำเนิดเสียงและรูปร่างตัวลำโพง (Horn) ของเซนเซอร์อัลตราโซนิกรุ่นดังกล่าวทำให้เซนเซอร์รุ่นนี้มีมุมวัด (Measuring angle) ที่เกิดขึ้นได้ในช่วง ±15 องศา (Cytron Technologies, 2013) ลักษณะดังกล่าวอาจส่งผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของระยะทางที่วัดได้ โดยพบว่าการนำเซนเซอร์อัลตรา-โซนิก รุ่น HC-SR04 ไปออกแบบและสร้างเป็นอุปกรณ์วัดความสูงแบบดิจิทัลที่มีลักษณะเป็นไม้วัดส่วนสูงแบบตั้งพื้น โดยการติดตั้งเซนเซอร์อัลตราโซนิกไว้บนปลายไม้วัดที่ความสูง 200 เซนติเมตร ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของส่วนสูงที่วัดได้คิดเป็นร้อยละ 1.00 (Thunyarat *et al.*, 2017) ด้วยสาเหตุดังกล่าวคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาโดยใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิก รุ่น HC-SR04 เพื่อทำหน้าที่วัดส่วนสูง แต่ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะการใช้งานอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายและนำไปวางไว้ ณ จุดที่ต้องการวัดส่วนสูงได้สะดวกกว่าอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบไม้วัด อาจส่งผลให้ส่วนสูงที่วัดได้มีความแตกต่างจากส่วนสูงจริง ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงได้กำหนดเงื่อนไขของการเริ่มวัดส่วนสูงบนพื้นฐานการตรวจวัดความเอียงของอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพา จากการตรวจวัดความเร่งเชิงเส้นและความเร็วเชิงมุม เพื่อส่งข้อมูลให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลเอวีอาร์ประมวลผลพร้อมแสดงข้อมูลผ่านหน้าจอแอลซีดี ซึ่งจะทำให้ได้อุปกรณ์วัดส่วนสูงที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ใช้งานได้สะดวก ตลอดจนช่วยลดความคลาดเคลื่อนของส่วนสูงที่วัดได้ โดยอาจเกิดขึ้นจากลักษณะการวางอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาที่ไม่ขนานกับพื้น ซึ่งจะทำส่วนสูงที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนไม่เกินกว่าร้อยละ 1.00 เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์วัดความสูงแบบดิจิทัลที่มีลักษณะเป็นไม้วัดส่วนสูงแบบตั้งพื้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อทดสอบหาความคลาดเคลื่อนจากการวัดส่วนสูงอันเนื่องมาจากการวางอุปกรณ์วัดส่วนสูงที่ไม่ขนานกับพื้น

2. เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาแสดงข้อมูลผ่านหน้าจอแอลซีดี ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าร้อยละ 1.00

3. เพื่อทดสอบหาความคลาดเคลื่อนของส่วนสูงที่ได้จากอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาที่นำเสนอเทียบกับส่วนสูงที่ได้จากอุปกรณ์วัดส่วนสูงมาตรฐาน

ทฤษฎีและหลักการ

1. ส่วนสูงของร่างกาย

ส่วนสูงของร่างกายเป็นพัฒนาการที่มีต่อเนื่องมาตั้งแต่การเติบโตในวัยเด็ก ซึ่งเป็นผลมาจากการดื่มนม การออกกำลังกาย รวมถึงการได้นอนหลับพักผ่อนอย่างเพียงพอในเวลาที่ร่างกายหลั่งโกรทฮอร์โมน (Growth hormone) ดังนั้นหากเด็กได้รับสารอาหารไม่เพียงพอเป็นเวลานาน หรือมีการเจ็บป่วยบ่อย ๆ จะมีผลให้อัตราการเจริญเติบโตของกระดูกเป็นไปอย่างเชื่องช้าหรือชะงักงัน ทำให้เป็นเด็กตัวเตี้ย (Stunting) หรือมีส่วนสูงต่ำกว่ามาตรฐาน ดังนั้นการวิเคราะห์ส่วนสูงตามเกณฑ์อายุตาม Table 1 จึงเป็นดัชนีบ่งชี้ภาวะการเจริญเติบโต (ของโครงสร้างร่างกาย) ได้ชัดเจนกว่าการใช้ข้อมูลน้ำหนักตามเกณฑ์อายุ (สำนักโภชนาการ, 2561) อีกทั้งยังสามารถบ่งชี้ให้เห็นถึงการเจริญเติบโตของเด็กในท้องถิ่นต่าง ๆ ว่ามีลักษณะเป็นอย่างไรได้ด้วย

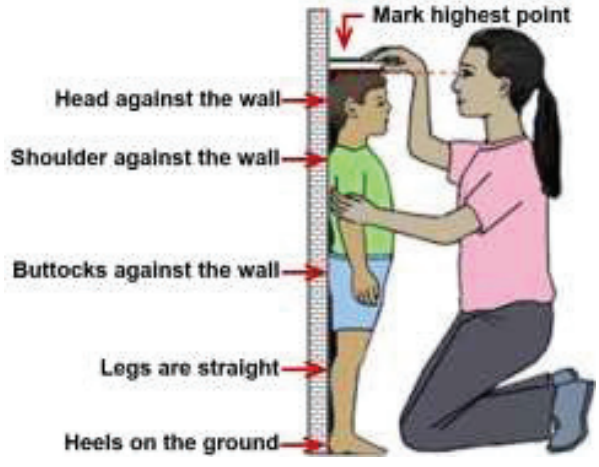


Figure 1 Standard height-measuring principle

การวัดส่วนสูงในเด็กเล็กที่มีอายุต่ำกว่า 2 ปี องค์การอนามัยโลก (World health organization) กำหนดให้ใช้การวัดความยาวของตัวเด็กในท่านอนหงายลงบนแผ่นไม้พื้นราบที่มีขีดบอกความยาว ซึ่งควรจะต้องใช้ผู้ทำการวัดอย่างน้อย 2 คน ทั้งนี้หากผู้ที่ถูกวัดส่วนสูงมีอายุมากกว่า 2 ปี จะใช้วิธีการวัดส่วนสูงด้วยไม้วัดส่วนสูงหรือโลหะที่เลื่อนขึ้นลงเพื่อวัดส่วนสูงหรืออาจเป็นแถบเทปที่ขึงจากห่วงด้านบนแล้ววัดส่วนสูงลงมาก็ได้ โดยผู้ที่ถูกวัดส่วนสูงจะต้องถอดรองเท้าหรือถุงเท้าแล้วยืนบนพื้นราบ เท้าทั้งสองข้างชิดกัน และยืนขาตรง ในขณะที่ส้นเท้า หลัง ก้น ไหล่ และศีรษะจะต้องสัมผัสกับไม้วัด จากนั้นผู้ทำการวัดจะเลื่อนไม้ฉากในการอ่านค่าส่วนสูงมาให้สัมผัสกับศีรษะของผู้ที่ถูกวัด และทำการอ่านค่าตัวเลขส่วนสูงที่ได้ออกมาตาม Figure 1 ทั้งนี้ไม่ว่าจะเป็นการวัดความยาวของเด็กในท่านอนหงายหรือการวัดส่วนสูงด้วยไม้วัดส่วนสูงก็จะต้องใช้อุปกรณ์วัดที่มีความละเอียดของสเกลไม่น้อยกว่า 0.10 เซนติเมตร (ณัฐวรรณ

เชาวน์ลิลิตกุล และคณะ, 2558)

2. เซนเซอร์อัลตราโซนิก

อัลตราโซนิก คือ คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 กิโลเฮิรตซ์ (kHz) ซึ่งมีความถี่สูงเกินกว่าการรับรู้และการได้ยินเสียงจากหูของมนุษย์ที่อยู่ในระหว่าง 20 เฮิรตซ์ ถึง 15 กิโลเฮิรตซ์ ข้อโดดเด่นของคลื่นเสียงคือ เป็นคลื่นที่ใช้อากาศเป็นพาหะ อีกทั้งยังสามารถเดินทางผ่านก๊าซ และของเหลวได้ (Rattanasuda *et al.*, 2019) ประกอบกับเมื่อคลื่นเสียงมีความถี่ (f) สูงขึ้น จะทำให้ความยาวคลื่น (λ) สั้นลง ตามสมการ (1) มีผลทำให้คลื่นเสียงที่ส่งออกมาจะไม่แตกกระจายเป็นวงกว้าง ดังนั้นคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงจึงสามารถเดินทางไปยังตำแหน่งหรือเป้าหมายที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ

$$\lambda = \frac{v}{f} \qquad (1)$$

เซนเซอร์อัลตราโซนิกที่ได้รับความนิยมใช้งานกันโดยทั่วไป คือคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงประมาณ 40 กิโลเฮิรตซ์ สาเหตุเพราะเป็นความถี่ที่ทำให้มีระยะเดินทางเพียงพอต่อการใช้งาน แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะมีผลต่ออัตราเร็วของเสียง (v) ซึ่งหากอุณหภูมิของอากาศเพิ่มสูงขึ้น ณ ความดันคงที่ จะทำให้อากาศขยายตัวออกและความหนาแน่นของอากาศจะลดลง ส่งผลให้อัตราเร็วของเสียงเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ (T) ที่มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (°C) เขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$v = 331 + 0.606T \qquad (2)$$

หลักการทำงานของเซนเซอร์อัลตราโซนิก แสดงเป็นไดอะแกรมได้ดัง Figure 2 โดยตัวสร้างสัญญาณนาฬิกา (Clock generator) จะส่งสัญญาณนาฬิกาไปที่ตัวควบคุมการทำงาน (Controller) เพื่อควบคุมการทำงานของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic transducer) ซึ่งจะประกอบด้วยตัวส่งและตัวรับคลื่นอัลตราโซนิก โดยที่ตัวส่งจะมีหน้าที่สร้างคลื่นอัลตราโซนิกจากสัญญาณไฟฟ้าเพื่อส่งออกไปเป็นแนวตรง และเมื่อคลื่นอัลตราโซนิกไปกระทบกับวัตถุใดๆ จะสะท้อนกลับมาที่ตัวรับคลื่น และแปลงเป็นสัญญาณ ไฟฟ้าส่งให้ตัวประมวลผล (Processor) คำนวณหาระยะเวลาที่คลื่นอัลตราโซนิกใช้ในการเดินทางไปและเดินทางกลับ (t) เพื่อส่งให้ตัวส่งสัญญาณเอาต์พุต (Output signal) ดังนั้นหากทราบอัตราเร็วในการเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิก และนำมาคูณกับระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางไป-กลับของคลื่น ก็จะทำให้ทราบระยะทางไปและกลับของคลื่น เขียนได้ดังสมการ

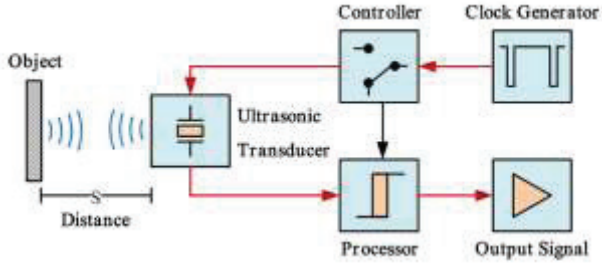


Figure 2 Operating diagram of an ultrasonic sensor

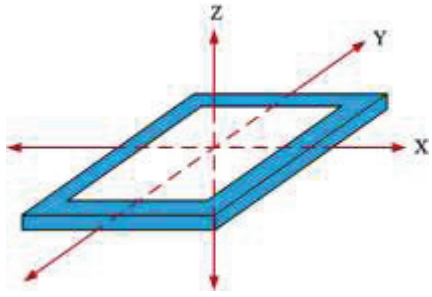


Figure 3 A relationship when a small model of a rectangular room is placed in parallel to the floor and the X, Y, and Z axes

$$s = v \times t \qquad (3)$$

จากสมการ (3) จะพบว่าเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาระยะทางเป็นเวลารวมที่คลื่นอัลตราโซนิกใช้ในการเดินทางออกจากตัวส่งไปกระทบกับวัตถุเป้าหมายและเดินทางกลับมายังตัวรับ ดังนั้นการได้มาซึ่งระยะห่างระหว่างตัวส่งกับวัตถุเป้าหมายจึงจะต้องใช้เวลาเพียงครึ่งหนึ่งของเวลารวม ($t/2$) มาคำนวณจึงจะทำให้ได้ระยะห่างที่ถูกต้อง

3. เซนเซอร์ตรวจจับความเอียงแบบสามแกน

การตรวจจับความเอียงของวัตถุแบบสามแกนจากการวัดความเร่งเชิงเส้น (Linear acceleration) ด้วยการสร้างสัญญาณทางไฟฟ้าแบบอนาล็อก (Analog signal) ที่แปรผลมาจากแรงของสปริงที่ติดตั้งอยู่ทุกด้านของแบบจำลองกำแพงห้องสี่เหลี่ยมเล็กๆ ซึ่งหากห้องสี่เหลี่ยมวางเอียงอยู่จะทำให้เกิดการยุบตัวหรือยืดตัวของสปริงออกไปตามแรงโน้มถ่วงของโลก (Wutichai *et al.*, 2016) ร่วมกับใช้การวัดค่าความเร็วเชิงมุม (Angular velocity) หรือใช้ ไจโรสโคป (Gyroscope) ด้วยวิธีการคำนวณหาการเคลื่อนไหวแบบหมุนรอบตัวเอง ดังนั้นไม่ว่าการใช้งานอุปกรณ์จะอยู่ในแนวแกนและมุมใดก็ตาม การตอบสนองต่อการเคลื่อนไหวก็จะแม่นยำมากขึ้น

จาก Figure 3 พบว่า ในสภาวะหยุดนิ่ง (Static) ค่าความเร่งเชิงเส้นที่เกิดขึ้นในแนวแกน X และแกน Y ซึ่งขนานกับพื้นจะมีค่าเป็น 0 ในขณะที่ทิศทางในแนวแกน Z จะตั้งฉากกับพื้นโลก ส่งผลให้มีความเร่งเชิงเส้นเกิดขึ้นเท่ากับแรง

โน้มถ่วงของโลกที่กระทำอยู่ โดยมีค่าเท่ากับ 9.80 m/s^2 หรือประมาณ 10 m/s^2 เขียนเป็นสมการได้ คือ

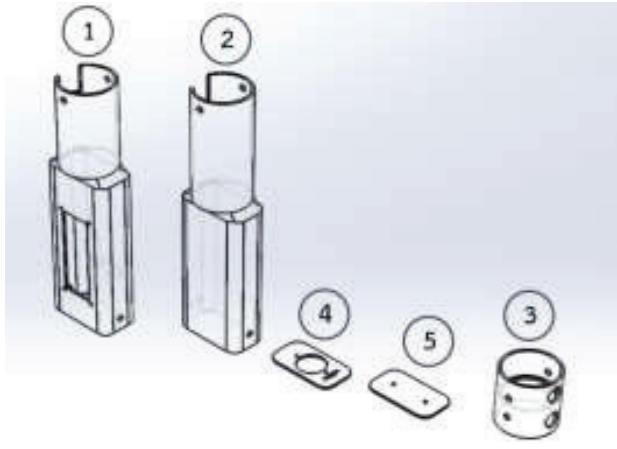
$$\begin{cases} X = 0 \\ Y = 0 \\ Z = 0 \end{cases} \quad (4)$$

ดังนั้น หากนำเซนเซอร์ตรวจจับความเอียงของวัตถุแบบสามแกนไปใช้งานและได้รับสัญญาณทางไฟฟ้าที่เป็นแบบอนาล็อกซึ่งแปลผลมาเป็นค่าความเร่งเชิงเส้นในแต่ละแนวแกนแล้วไม่เป็นไปตามสมการ (4) จะหมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้งานยังวางไม่ขนานกับพื้น

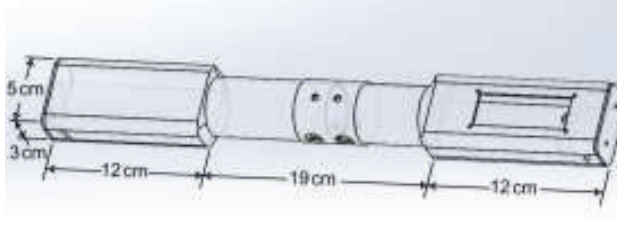
วิธีดำเนินการวิจัย

1. การออกแบบลักษณะและโครงสร้างของอุปกรณ์

เป้าหมายของการออกแบบโครง (Frame) ของอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพา เพื่อใช้บรรจุอุปกรณ์ควบคุมการทำงาน อุปกรณ์แสดงผล รวมถึงสายวงจรต่างๆ ไว้ภายใน โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้พลาสติกพีวีซี (PVC) เนื่องจากมีคุณสมบัติทนต่อสารเคมี ก๊าซ และน้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ อีกทั้งยังเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี น้ำหนักเบา ตลอดจนมีราคาไม่แพง ด้วยการนำมาตัดและขึ้นรูปโดยใช้ความร้อน ซึ่งสามารถแยกเป็นส่วนประกอบทั้งหมด 5 ชิ้นส่วนดัง Figure 4(a) โดยมีรายละเอียด คือ หมายเลข ① มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมพื้นผ้ายาว 21 เซนติเมตร กว้าง 5 เซนติเมตร และสูง 3 เซนติเมตร โดยตัดเป็นกรอบและเจาะรูไว้เพื่อติดตั้งจอแอลซีดี และเซนเซอร์อัลตราโซนิก หมายเลข ② มีขนาดและลักษณะเหมือนส่วนประกอบหมายเลข ① เพียงแต่ไม่มีการตัดกรอบและเจาะรู เนื่องจากใช้บรรจุอุปกรณ์ควบคุมและสายวงจรต่างๆ หมายเลข ③ เป็นข้อต่อตรงสำหรับต่อส่วนประกอบหมายเลข ① และหมายเลข ② เข้าด้วยกัน พร้อมทั้งมีรูสำหรับติดตั้งสวิตช์เริ่มวัดส่วนสูง (Start) และสวิตช์รีเซ็ตค่าส่วนสูง (Reset) หมายเลข ④ คือฝาปิดหัว-ท้ายอุปกรณ์ (End plate) สำหรับส่วนประกอบหมายเลข ② ซึ่งมีการเจาะรูไว้เพื่อติดตั้งสวิตช์เปิด-ปิดอุปกรณ์ และหมายเลข ⑤ คือฝาปิดหัว-ท้ายอุปกรณ์ สำหรับส่วนประกอบหมายเลข ①



(a)



(b)

Figure 4 Design of a portable height measuring device's frame. (a) components of a device (b) Overview of the device frame

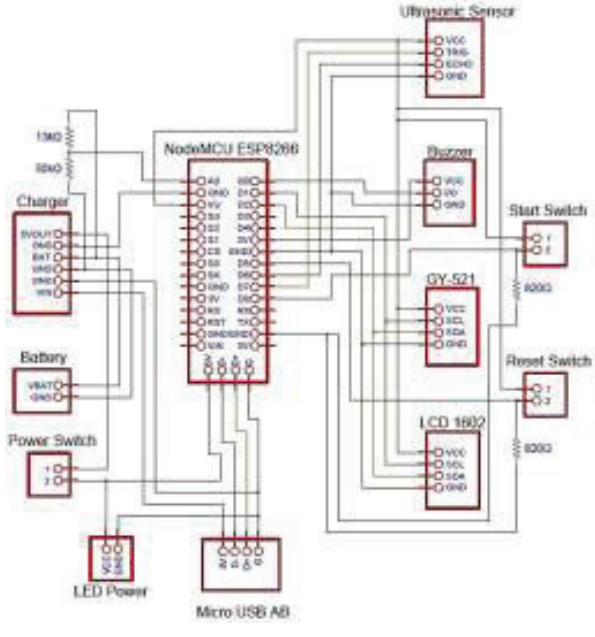


Figure 5 A diagram of control system and display operation

Table 2 Details of devices connecting with node MCU ESP 8266

Input Devices				ESP 8266	Output Devices	
Start SW.	Reset SW.	GY-521	HC-SR04		LCD 1602	Buzzer
				PD0		I/O
		SCL		PD1	SCL	
		SDA		PD2	SDA	
	Low			PD5		
			ECHO	PD6		
			TRIG	PD7		
Low				PD8		

การนำส่วนประกอบทั้ง 5 ชิ้นส่วนมาประกอบเข้าด้วยกันจะทำได้โครงของอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพา ดัง Figure 4(b) ที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกยาว 43 เซนติเมตร กว้าง 5 เซนติเมตร และสูง 3 เซนติเมตร โดยที่ความหนาของผิวโครงจากพลาสติกพีวีซีที่เลือกใช้มีค่าเท่ากับ 0.22 เซนติเมตร

2. การออกแบบระบบควบคุมการทำงาน

ระบบควบคุมการทำงานของอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพา ได้รับการออกแบบและพัฒนาขึ้นตามไดอะแกรมใน Figure 5 ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor) ตัวประมวลผล อุปกรณ์แสดงผล (Display) และแหล่งจ่ายพลังงาน (Power supply) โดยรายละเอียดของการออกแบบและเลือกใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ของการทำงานในแต่ละส่วนมีดังนี้

2.1 ตัวประมวลผล

ตัวประมวลผลที่ใช้ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาในงานวิจัยนี้ เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์โนดเอ็มซียู อีเอสพี 8266 ซึ่งเป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลเอวีอาร์ ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟแวร์ทำให้ใช้งานได้ง่าย และสามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้โดยตรงผ่านสายยูเอสบี (USB) และที่สำคัญคือวงจรมีขนาดเล็ก และราคาไม่แพง เพื่อรับข้อมูลอินพุตจากสวิตช์กดติด-ปล่อยดับจำนวน 2 ตัว (Start & Reset switch) เซนเซอร์ตรวจจับความเอียงแบบสามแกน (GY-521) และเซนเซอร์อัลตราโซนิก (HC-SR04) มาประมวลผลเป็นค่าส่วนสูงที่วัดได้ และส่งข้อมูลให้กับหน้าจอแอลซีดี (LCD screen) รวมทั้งลำโพงบัซเซอร์ (Buzzer) เพื่อแสดงผลการวัดส่วนสูงที่ได้ รวมทั้งการแจ้งเตือนต่าง ๆ โดยมีรายละเอียดการต่อใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ภาคอินพุตและเอาต์พุตตาม Table 2

2.2 ระบบวัดส่วนสูง

การออกแบบระบบวัดส่วนสูงของอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพา เพื่อให้ผู้ที่ต้องการวัดส่วนสูงสามารถนำอุปกรณ์วัดส่วนสูงมาวางไว้บนศีรษะก็สามารถแสดงค่าส่วนสูงได้นั้น จะต้องทำการตรวจสอบว่าอุปกรณ์วัดส่วนสูงวางอยู่ในระนาบที่ขนานกับพื้น (ไม่เอียง) ซึ่งจะทำให้ความคลาดเคลื่อนจากการวัดน้อยกว่าร้อยละ 1.00คณะผู้วิจัยได้ทดสอบวัดส่วนสูงที่ระยะตั้งแต่ 50 จนถึง 200 เซนติเมตร โดยการปรับมุมเอียงของอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาทั้งในแนวแกน X และแกน Y ดัง Figure 6 ผลที่ได้พบว่าความคลาดเคลื่อนที่มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 1.00 จะเกิดขึ้นที่องศาของการวางอุปกรณ์เอียงไม่เกิน ±10 องศา ทั้งในแนวแกน X และแกน Y จากผลที่ได้รับ คณะผู้วิจัยจึงต่อใช้งานเซนเซอร์ตรวจจับความเอียงแบบสามแกนดังรายละเอียดการต่อ

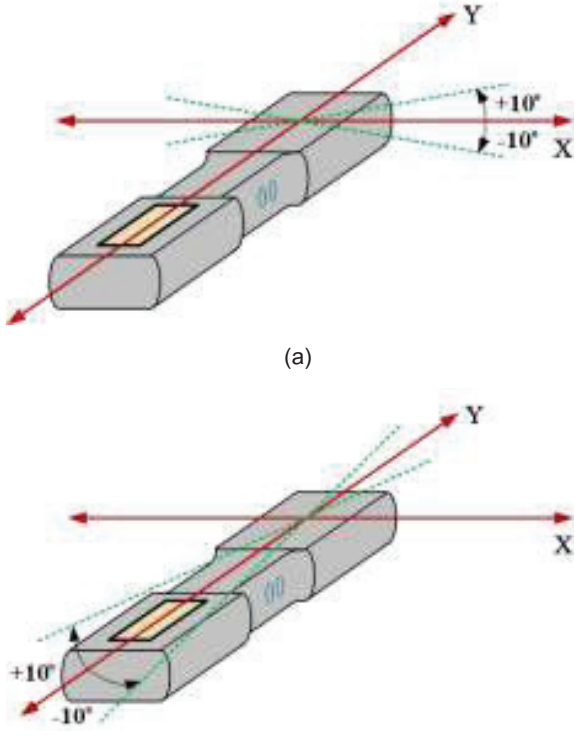


Figure 6 The inclination angle of a portable height measuring device. (a) Tilt from the X-axis (b) Tilt from the Y-axis

Table 3 Linear acceleration result when measuring device is inclined at an angle of -10°and +10° degrees

Trial	Linear acceleration of -10°		Linear acceleration of +10°	
	X	Y	X	Y
1st testing	0.010	-0.041	0.861	-0.902
2nd testing	0.012	-0.040	0.860	-0.904
3rd testing	0.011	-0.040	0.862	-0.901
4th testing	0.010	-0.038	0.858	-0.893
5th testing	0.009	-0.039	0.860	-0.901
Average	**0.010**	**-0.040**	**0.860**	**-0.900**

ใน Table 2 และทดสอบหาค่าความเร่งเชิงเส้นในแนวแกน X และแกน Y ที่ได้รับจากเซนเซอร์วัดความเร่ง โดยการวางอุปกรณ์วัดส่วนสูงให้เอียงที่ขอบเขตสูงสุดตาม Figure 6 คือ -10° และ +10° ทั้งในแนวแกน X และแกน Y และบันทึกผลลัพธ์ที่ได้ซ้ำ 5 ครั้ง โดยแต่ละครั้งจะเว้นช่วงเวลาห่างกัน 10 นาที เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของค่าความเร่งเชิงเส้นที่ได้ดังแสดงใน Table 3 เพื่อใช้กำหนดเป็นข้อมูลอินพุตให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับตรวจสอบความเอียงของอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาก่อนเริ่มวัดส่วนสูง ผลที่ได้สามารถแสดงเป็นช่วงของค่าความเร่งเชิงเส้นในแนวแกน X และแกน Y ดังนี้

$$\begin{cases} 0.01 \geq X \geq 0.86 \\ -0.04 \geq Y \geq -0.90 \end{cases} \quad (5)$$

เมื่ออุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาวางอยู่ในระนาบที่กำหนดตามสมการ (5) จึงจะเริ่มวัดส่วนสูงด้วยการแปลผลอัตราเร็วของการเดินทางไป-กลับของคลื่นเสียงความถี่สูงจากเซนเซอร์อัลตราโซนิกมาเป็นระยะทาง พร้อมทั้งใช้ค่าอุณหภูมิแวดล้อมที่ได้จากเซนเซอร์ตรวจจับความเอียงแบบสามแกน คูณเข้าไปในสมการเพื่อช่วยลดความคลาดเคลื่อนของส่วนสูงที่เกิดจากอุณหภูมิแวดล้อมที่แตกต่างกันตามสมการ (2) แต่เนื่องจากผลของการติดตั้งเซนเซอร์อัลตราโซนิกเข้ากับโครงที่ได้ออกแบบไว้ ทำให้ตำแหน่งปล่อยและรับคลื่นเสียงอัลตราโซนิกอยู่ต่ำกว่าระดับสูงสุดของศีรษะที่สัมผัสกับอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาเป็นระยะทาง 1.26 เซนติเมตร ดังนั้นเพื่อปรับตั้งให้ผลการวัดส่วนสูงที่ได้มีความถูกต้องตามตำแหน่งที่อุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาวางอยู่บนศีรษะทำได้โดยการบวกค่าคงตัวเท่ากับ 1.26 เพิ่มเข้าไปในสมการ (3) ได้ผลดังสมการ

$$s = [(331 + 0.606T)\frac{t}{2}] + 1.26 \quad (6)$$

2.3 ระบบแสดงผลและการแจ้งเตือน

การแจ้งเตือนสถานะการวัดส่วนสูงให้ผู้ทำการวัดส่วนสูงทราบว่าอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาที่วางอยู่บนศีรษะวางขนานกับพื้นหรือไม่ จะใช้สัญญาณเสียงจากลำโพงบัซเซอร์แบบพาสซีฟ (Passive buzzer) รุ่น MH-FMD โดยต่อรับสัญญาณควบคุมการทำงานจากพอร์ตดิจิตอล 0 (PD0) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ อีเอสพี 8266 และแสดงผลการวัดส่วนสูงตลอดจนแจ้งขั้นตอนการทำงานให้ผู้ใช้อุปกรณ์วัดส่วนสูงได้ทราบผ่านทางหน้าจอแอลซีดีขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด ที่ต่อรับสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ อีเอสพี 8266 ด้วยรูปแบบการสื่อสารแบบอนุกรม (I2C) จากพอร์ตดิจิตอล 1 (PD1) และพอร์ตดิจิตอล 2 (PD2) ตามรายละเอียดใน Table 2

2.4 แหล่งจ่ายพลังงาน

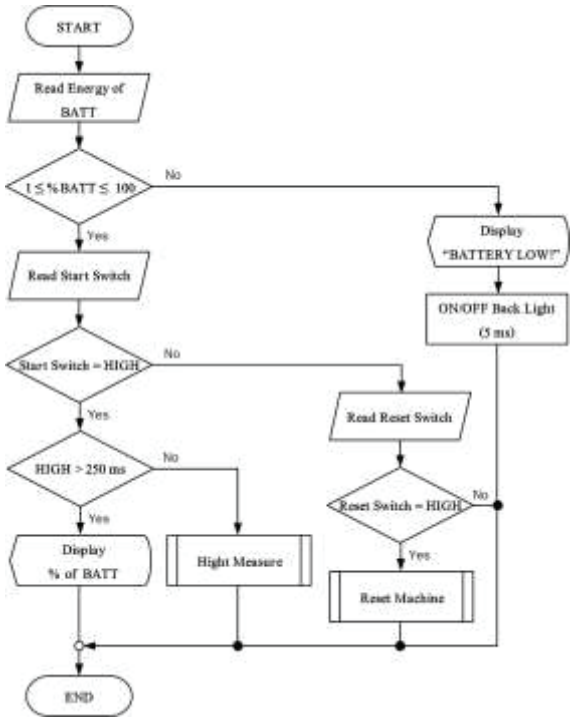
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบควบคุมการทำงานตลอดจนไฟเลี้ยงอุปกรณ์ต่าง ๆ ถูกส่งมาจากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนโพลิเมอร์ขนาด 1,700 มิลลิแอมป์ชั่วโมง (mAh) พิกัดแรงดันสูงสุด 4.2 โวลต์ ผ่านอุปกรณ์ควบคุมการคายประจุ (Discharge) และการอัดประจุ (Charge) ให้แบตเตอรี่ด้วยอุปกรณ์ควบคุมการประจุไฟฟ้าที่ใช้ชิปไอซี 5305 ที่สามารถอัดประจุเข้าไปในแบตเตอรี่ได้ใหม่จากแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าภายนอก อาทิเช่น เต้ารับไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 220 โวลต์ และแบตเตอรี่สำรอง ฯลฯ ผ่านพอร์ตไมโครยูเอสบี ทั้งนี้หากเกิดความผิดปกติขึ้นที่แบตเตอรี่ อันได้แก่ อุณหภูมิสูงขึ้น เกิดการลัดวงจร หรือเกิดเหตุขัดข้องต่าง ๆ อุปกรณ์ควบคุมการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้จะหยุดการอัดและคายประจุไฟฟ้าทันที เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับผู้ใช้งานและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในวงจร

3. การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงาน

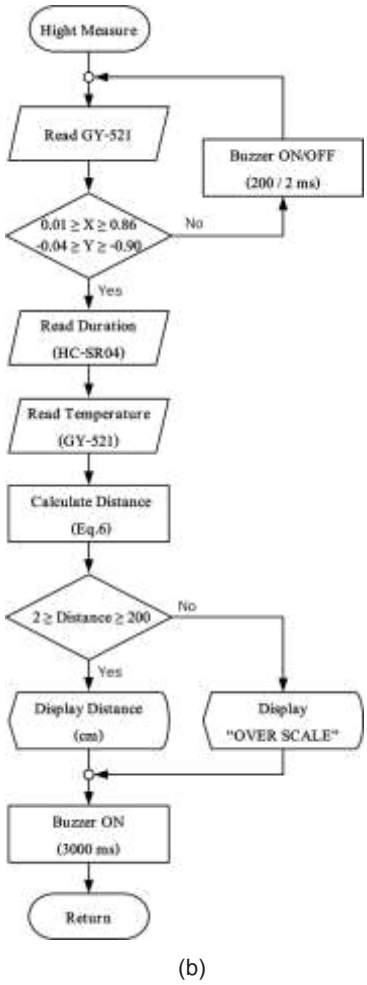
แผนผังการออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานของอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาแสดงใน Figure 7(a) เริ่มต้นด้วยการกดสวิตช์เพื่อเปิดอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพา จากนั้นระบบจะตรวจสอบพลังงานไฟฟ้าที่เหลือในแบตเตอรี่ โดยหากแบตเตอรี่มีพลังงานไฟฟ้าเหลือเกินกว่าร้อยละ 1.00 จึงจะสามารถสั่งงานผ่านสวิตช์ต่างๆ ได้ แต่หากพลังงานในแบตเตอรี่มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 1.00 โปรแกรมจะส่งข้อความ “BATTERY LOW!” ไปแสดงผลที่จอแอลซีดี พร้อมกับควบคุมให้แสงสว่างของจอแอลซีดีกระพริบเป็นเวลา 5 วินาที หลังจากนั้นแสงสว่างของจอแอลซีดีจะดับและไม่สามารถใช้งานอุปกรณ์วัดส่วนสูงได้จนกว่าค่าความจุของแบตเตอรี่จะมากกว่าร้อยละ 1.00 หรือมีการอัดประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ใหม่

การควบคุมการทำงานทั้งหมดของอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาจะใช้สวิตช์แบบกดติดปล่อยดับจำนวน 2 ตัว คือสวิตช์สตาร์ทและสวิตช์รีเซ็ต เมื่อกดสวิตช์สตาร์ทจะมีผลให้สัญญาณลอจิก HIGH ไปปรากฏที่พอร์ตดิจิตอล 8 (PD8) ส่งผลให้เกิดการข้ามไปทำงานยังโปรแกรมย่อยที่ชื่อว่า Hight Measure เพื่อเริ่มวัดส่วนสูงดังแสดงใน Figure 7(b) แต่หากกดสวิตช์สตาร์ทค้างไว้เกินกว่า 250 มิลลิวินาที จะเป็นการสั่งให้หน้าจอแอลซีดีแสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เหลือในแบตเตอรี่ ซึ่งได้จากการคำนวณแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมแบตเตอรี่ออกมาเป็นค่าร้อยละ แต่หากมีการกดสวิตช์รีเซ็ตจะทำให้มีสัญญาณลอจิกเป็น HIGH ไปปรากฏที่พอร์ตดิจิตอล 5 (PD5) ที่มีการสั่งใช้งานแบบอินเตอร์รัพท์ (Interrupt) ส่งผลให้โปรแกรมข้ามไปทำงานยังโปรแกรมย่อยที่ชื่อว่า Reset Machine เพื่อทำการรีเซ็ตค่าส่วนสูง สถานะตัวแปรต่างๆ และหน้าจอแอลซีดีเพื่อกลับไปอยู่ในสภาวะเริ่มต้นใช้งานใหม่อีกครั้ง

การวัดส่วนสูงด้วยโปรแกรมย่อย Hight Measure ดัง Figure 7(b) จะเริ่มด้วยการตรวจสอบการขนานกับพื้นของอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพา โดยการอ่านค่ามุมในแนวแกน X และแกน Y ที่ได้จากเซนเซอร์ตรวจจับความเอียงแบบสามแกนมาเปรียบเทียบตามสมการ (5) ทั้งนี้หากมุมในแนวแกน X และแกน Y ไม่เป็นไปตามที่กำหนดจะแจ้งเตือนให้ผู้ใช้งานทราบด้วย



(a)



(b)

Figure 7 A programing flowchart of the proposed system. (a) Main program (b) Sub program

เสียงบัซเซอร์ดังและเงียบสลับกันตลอดเวลา แต่หากอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาวางขนานกับพื้นแล้ว โปรแกรมจะสั่งให้เซนเซอร์อัลตราโซนิกปล่อยคลื่นอัล-ตราโซนิกออกไปกระทบกับพื้นสัมผัส และนำระยะเวลาที่คลื่นอัลตราโซนิกเดินทางไป-กลับมาคำนวณร่วมค่าอุณหภูมิแวดล้อมที่ได้จากเซนเซอร์ตรวจจับความเอียงแบบสามแกน เพื่อหาส่วนสูงที่ได้ตามสมการ (6) ทั้งนี้หากส่วนสูงที่วัดได้อยู่ระหว่าง 2-200 เซนติเมตร อุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาจึงจะแสดงค่าส่วนสูงที่ได้ทางหน้าจอแอลซีดี พร้อมทั้งแจ้งเตือนให้ผู้ใช้งานทราบด้วยเสียงบัซเซอร์ดังต่อเนื่องเป็นเวลา 3 วินาที หลังจากนั้นค่าส่วนสูงที่วัดได้จะถูกแสดงผลค้างไว้ที่หน้าจอแอลซีดี ซึ่งผู้ทำการวัดสามารถนำลงมาจากศีรษะเพื่ออ่านค่าส่วนสูงได้ด้วยตนเอง จนกว่าจะมีการกดสวิตช์รีเซ็ตเพื่อลบค่าส่วนสูงดังกล่าวออกจากหน้าจอแอลซีดี แต่หากส่วนสูงที่วัดได้อยู่นอกเหนือจากขอบเขตดังกล่าวจะแสดงข้อความ OVER SCALE ทางหน้าจอแอลซีดีแทน พร้อมทั้งยังคงแจ้งเตือนให้ผู้ใช้งานทราบด้วยเสียง บัซเซอร์ดังต่อเนื่องเป็นเวลา 3 วินาทีเช่นกัน

ผลการทดสอบและอภิปรายผล

คณะผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาขึ้นตามหลักและวิธีการที่ให้รายละเอียดไว้ จนได้มาซึ่งอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาโดยใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิกร่วมกับเซนเซอร์ตรวจจับความเอียงแบบสามแกนแสดงผลผ่านหน้าจอแอลซีดี ดังแสดง Figure 8 ซึ่งมีขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 43 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตร น้ำหนัก 572 กรัม ทั้งนี้เพื่อยืนยันความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของวิธีการออกแบบและสร้างที่นำเสนอ จึงได้ทำการทดสอบโดยการนำไปใช้วัดส่วนสูงที่ระดับต่างๆ ทั้งในสภาวะปกติและสภาวะที่มีการวางอุปกรณ์วัดส่วนสูงไม่ขนานกับพื้น รวมถึงการใช้งานภายใต้อุณหภูมิแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงภายในห้องปฏิบัติการ ตลอดจนการนำไปทดสอบวัดส่วนสูงของอาสาสมัครทั้งเพศชายและเพศหญิง โดยมีรายละเอียดดังนี้

Figure 8 A prototype of a portable height measuring device

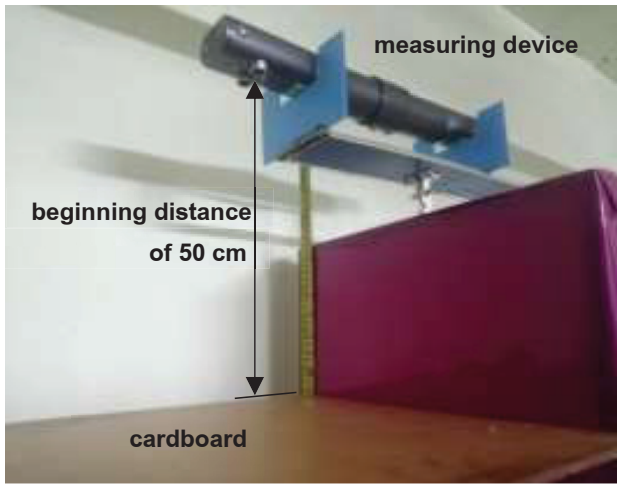


Figure 9 Installation of a portable height measuring device for performance assessment in the lab

1. การทดสอบใช้งานในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบใช้งานอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาที่นำเสนอ ภายในห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีไมโครคอนโทรลเลอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี ซึ่งได้มีการปรับตั้งให้อุณหภูมิภายในห้องให้มีค่าเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส จากการปรับตั้งค่าอุณหภูมิของระบบปรับอากาศภายในห้อง จากนั้นจึงทำการการติดตั้งอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาให้ขนานกับพื้น และใช้ฉากเรียบที่สามารถปรับเลื่อนขึ้น-ลงได้ทำหน้าที่เป็นพื้นที่ผู้ทำการวัดส่วนสูงยืนอยู่ ดังแสดงตาม Figure 9 เพื่อทดสอบหาความคลาดเคลื่อนจากการวัดส่วนสูงระดับต่างๆ โดยเริ่มตั้งแต่การวัดส่วนสูงที่ระยะ 50 เซนติเมตร จากนั้นเลื่อนฉากเรียบให้ออกห่างจากอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาครั้งละ 1 เซนติเมตร ไปจนถึงระยะ 200 เซนติเมตร โดยทดสอบวัดส่วนสูงด้วยวิธีการดังกล่าวซ้ำ 3 ครั้ง ทั้งนี้การทดสอบในแต่ละครั้งจะเว้นช่วงเวลาห่างกัน 1 วัน เพื่อนำส่วนสูงระยะต่างๆ ที่ได้ในแต่ละครั้งมาคำนวณหาร้อยละของความคลาดเคลื่อนจากความสูงจริงที่ได้จากตำแหน่งของฉากเรียบซึ่งวางทับอยู่บนสเกลของสายวัดของตลับเมตรยี่ห้อสแตนเลย์ รุ่น 30-656N ได้ผลดัง Figure 10

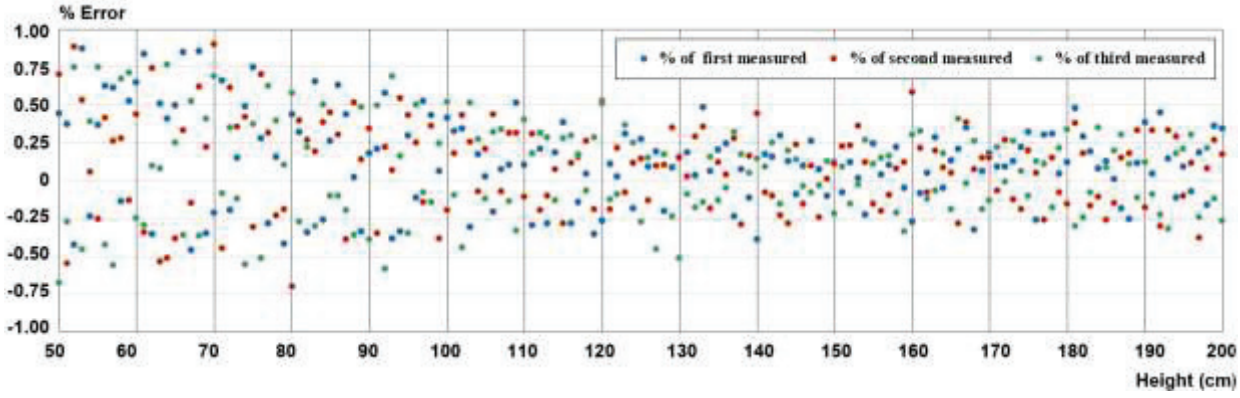
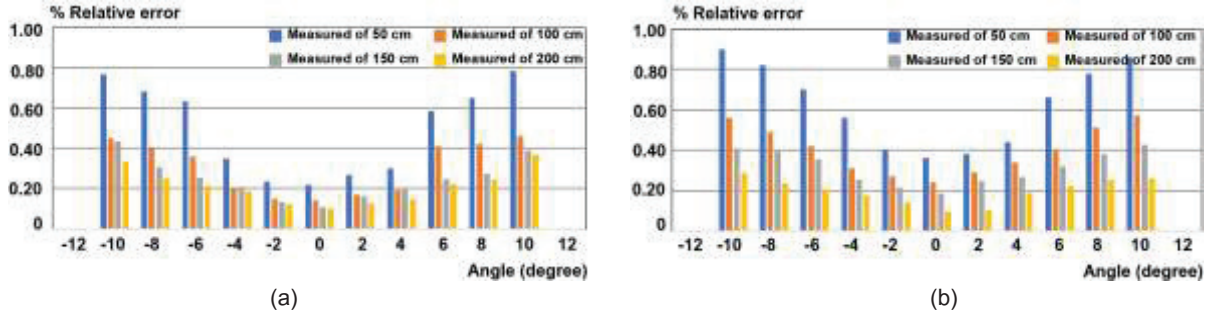


Figure 10 Percentage error occurred from height measuring a range of 50-200 centimeters

จาก Figure 10 พบว่าเมื่อนำอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาไปทดสอบวัดส่วนสูงของฉากเรียบที่ระยะ 50-200 เซนติเมตร ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่แตกต่างกันออกไป โดยแนวโน้มความคลาดเคลื่อนจะลดลงหากระยะส่วนสูงที่วัดมีค่ามากขึ้น ตัวอย่างเช่น การวัดส่วนสูงในช่วงระยะระหว่าง 50-100 เซนติเมตร

ความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าร้อยละ 0.90 โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนตลอดช่วงการวัดดังกล่าวเท่ากับร้อยละ 0.41 แต่หากพิจารณาความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการวัดส่วนสูงที่ระยะ 100-200 เซนติเมตร จะพบว่ามีค่าสูงสุดเป็นร้อยละ 0.58 โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนตลอดช่วงการวัดดังกล่าวเท่ากับร้อยละ 0.20 อย่างไรก็ตามหากพิจารณาตลอดย่านการวัดส่วนสูง 50-200 เซนติเมตร จะพบว่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมีค่าร้อยละ 0.26 โดยความคลาดเคลื่อนสูงสุดมีค่าร้อยละ 0.90 ซึ่งต่ำกว่าร้อยละ 1.00 ตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้



(a) (b)

Figure 11 Percentage relative error of placing the portable height measuring device that is not paralleled. (a) Tilt from the X axis (b) Tilt from the Y axis

จาก Figure 11 แสดงผลการวัดส่วนสูงด้วยอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาที่นำเสนอ ภายใต้เงื่อนไขการวางอุปกรณ์วัดส่วนสูงให้ทำมุมตั้งแต่ -12 องศาจนถึง 12 องศา ทั้งในแนวแกน X และแนวแกน Y ด้วยการติดตั้งอุปกรณ์วัดส่วนสูงไว้บนแผ่นอะคริลิคที่สามารถปรับความเอียงได้ และใช้ไม้โปรแทรกเตอร์วัดมุมเอียง เพื่อหาความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการวัดส่วนสูงตั้งแต่ระยะ 50 จนถึง 200 เซนติเมตร พบว่าหากติดตั้งอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาให้ทำมุมเอียงเกินกว่า ±10 องศา ทั้งในแนวแกน X และแกน Y อุปกรณ์จะไม่วัดส่วนสูงและไม่แสดงผลออกมาให้ทราบ แต่หากติดตั้งอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาให้ทำมุมเอียงน้อยกว่า 10 องศา ทั้งในแนวแกน X และแกน Y จะสามารถวัดส่วนสูงได้ โดยความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการวางอุปกรณ์ให้เอียงในแนวแกน X มีค่าสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 0.78 เกิดจากการติดตั้งอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาให้เอียง 10 องศาเพื่อวัดส่วนสูงที่ระยะ 50 เซนติเมตร ในขณะที่ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการวางอุปกรณ์ให้เอียงในแนวแกน Y มีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 0.90 จากการติดตั้งอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาเอียง -10 องศาเพื่อวัดความสูงที่ระยะ 50 เซนติเมตรเช่นกัน อย่างไรก็ตามจะพบว่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดจะลดลงจากสองปัจจัย ได้แก่ มุมเอียงของการติดตั้งอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาที่มีค่าเข้าใกล้ 0 องศา และระยะส่วนสูงของการวัดที่มีค่ามากขึ้นตามลำดับ

การยืนยันความถูกต้องของการใช้ค่าอุณหภูมิแวดล้อมที่ได้จากเซนเซอร์ตรวจจับความเอียงแบบสามแกนมาเป็นตัวคูณเพื่อช่วยลดความคลาดเคลื่อนของส่วนสูง

อันเนื่องมากจากความยาวคลื่นอัลตราโซนิกที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิแวดล้อมขณะใช้งาน โดยการทดสอบวัดส่วนสูงในห้องที่มีการปรับอุณหภูมิให้มีความแตกต่างกันไป โดยคณะผู้วิจัยยังคงทดสอบวัดส่วนสูงภายในห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยการปรับตั้งอุณหภูมิภายในห้องทั้งจากการใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อทำให้อุณหภูมิในห้องต่ำลง และใช้สภาพแวดล้อมจากภายนอกเข้ามาช่วยทำให้อุณหภูมิในห้องสูงขึ้น จนค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณที่วางอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาไว้มีค่าเท่ากับ 20 25 30 และ 35 องศาเซลเซียส คงที่เป็นระยะเวลา 3 นาที จากนั้นจึงทดสอบวัดส่วนสูงของฉากเรียบที่ระยะ 50 100 150 และ 200 เซนติเมตร และบันทึกผลการวัดมาคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อน ได้ผลดัง Figure 12 พบว่าความคลาดเคลื่อนที่จะมีค่าสูงขึ้นหากอุณหภูมิในสถานที่ใช้งานมีค่ามากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามหากพิจารณาจากภาพรวมของผลการทดสอบจะเห็นว่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าร้อยละ 0.52 เกิดจากการวัดส่วนสูงระยะ 50 เซนติเมตรที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าไม่เกินกว่าร้อยละ 1.00

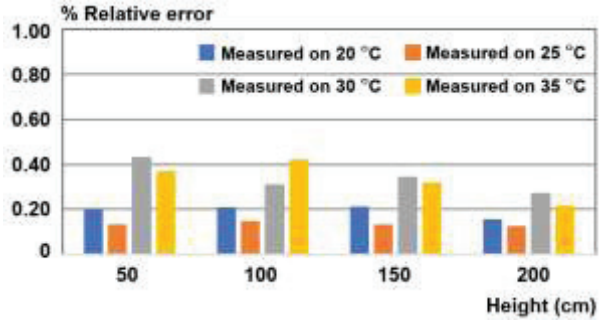


Figure 12 Percentage relative error of measuring height in the rooms with different temperatures

2. การทดสอบใช้งานจริงกับอาสาสมัคร

การทดสอบใช้งานจริงเพื่อยืนยันความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของระบบควบคุมและประมวลผลการทำงานของอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาที่นำเสนอ โดยการนำไปใช้วัดส่วนสูงของอาสาสมัครทั้งเพศชายและเพศหญิงที่มีอายุระหว่าง 8-50 ปี ณ สถานที่ต่างๆ จำนวน 50 คน เพื่อนำค่าส่วนสูงที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับส่วนสูงที่วัดได้จากเครื่องชั่งน้ำหนักและวัดส่วนสูง ยี่ห้อ ZEPPER รุ่น MK250C และคำนวณหาความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ได้ผลดัง Figure 13

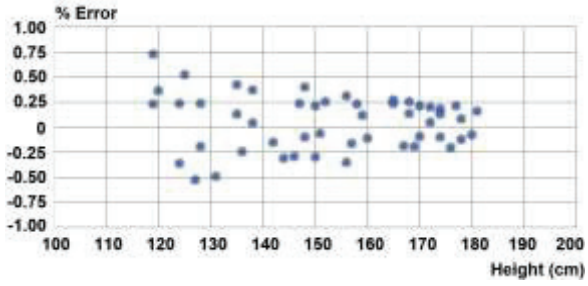


Figure 13 Percentage error occurred from measuring the height of 50 volunteers

จาก Figure 13 แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจะมีค่าลดลงหากส่วนสูงของอาสาสมัครที่ถูกวัดมีค่ามากขึ้น โดยความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยจากการวัดส่วนสูงของอาสาสมัครที่มีส่วนสูงระหว่าง 119-150 เซนติเมตร มีค่าร้อยละ 0.31 ที่ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 0.72 ขณะที่ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยจะมีค่าลดลงเหลือร้อยละ 0.18 จากการวัดส่วนสูงของอาสาสมัครที่มีส่วนสูงระหว่าง 150-181 เซนติเมตร และมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 0.35 อย่างไรก็ตามหากพิจารณาความคลาดเคลื่อนจากการวัดส่วนสูงของอาสาสมัครทั้ง 50 คน พบว่าเกิดความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าไม่เกินร้อยละ 1.00 ตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาและการวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาด้วยการใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิกมาทำหน้าที่วัดส่วนสูงบนพื้นฐานการตรวจวัดความเอียงของอุปกรณ์วัดส่วนสูงที่วางอยู่บนศีรษะ โดยใช้การตรวจวัดความเร่งเชิงเส้นและความเร็วเชิงมุม เพื่อส่งข้อมูลให้กับไมโคร-คอนโทรลเลอร์ตระกูลเอวีอาร์ประมวลผลพร้อมแสดงข้อมูลผ่านหน้าจอแอลซีดี ผลการทดสอบใช้งานในห้องปฏิบัติการเพื่อวัดส่วนสูงของฉากเรียบที่ระยะ 50-200 เซนติเมตร ภายใต้การปรับตั้งอุณหภูมิห้องปฏิบัติการให้มีค่าอยู่ระหว่าง 20-35 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดจะมีค่าสูงขึ้นจากสองสาเหตุ ได้แก่ ส่วนสูงที่มีค่าน้อย และอุณหภูมิขณะใช้งานที่มีค่าสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดสอบทั้งหมดที่ได้รับในห้องปฏิบัติการพบว่าจะมีความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกินร้อยละ 1.00 ซึ่งเป็นไปตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้ และยังมีความโดดเด่นกว่าผลงานวิจัยของ Tunji *et al*. (2020) ที่ได้ออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดส่วนสูงและชั่งน้ำหนัก โดยใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิกและโหลดเซลล์เพื่อแสดงผลผ่านหน้าจอแอลซีดี ซึ่งผลการทดสอบวัดความสูงตั้งแต่ 40-210 เซนติเมตร เกิดความคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่างร้อยละ 0.48-2.00 โดยที่ความคลาดเคลื่อนจะมีค่าน้อยลงหากความสูงที่วัดมีค่ามากขึ้น

จากการทดสอบวัดส่วนสูงของฉากเรียบที่ระยะ 50-200 เซนติเมตร ภายใต้การติดตั้งอุปกรณ์วัดส่วนสูงที่นำเสนอให้เอียงทำมุมตั้งแต่ -12 องศาจนถึง 12 องศา ทั้งในแนวแกน X และแนวแกน Y ผลปรากฏว่าอุปกรณ์วัดส่วนสูงที่นำเสนอ จะทำการวัดและแสดงค่าส่วนสูงในกรณีที่มุมเอียงอยู่ระหว่าง -10 ถึง +10 องศา ซึ่งผลการทดสอบวัดส่วนสูงที่ได้จะมีความคลาดเคลื่อนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 0.90 เกิดจากการติดตั้งอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาให้เอียง -10 องศาในแนวแกน Y เพื่อวัดส่วนสูงที่ระยะ 50 เซนติเมตร ซึ่งมีต่ำกว่าร้อยละ 1.00 ตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้ อีกทั้งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจะมีค่าลดต่ำลงหากมุมเอียงจากการวางอุปกรณ์มีค่าเข้าใกล้ 0 องศา ทั้งในแนวแกน X และแนวแกน Y ทั้งนี้หากนำอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาที่นำเสนอไปเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยของ Alexander *et al*. (2017) ที่ได้ออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาโดยใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิก พบว่ามีข้อโดดเด่นกว่าในเรื่องจำนวนของเซนเซอร์อัลตราโซนิกที่ใช้น้อยกว่า 1 ตัว ประกอบกับน้ำหนักที่เบากว่าคิดเป็นร้อยละ 32.73 โดยที่ผลการทดสอบวัดส่วนสูงก็ยังคงได้รับความคลาดเคลื่อนไม่เกินกว่าร้อยละ 1.00 ไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้จากการนำอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาที่นำเสนอไปทดสอบใช้จริงด้วยการวัดส่วนสูงของอาสาสมัครทั้งเพศชายและเพศหญิงที่มีอายุระหว่าง 8-50 ปี ณ สถานที่ต่างๆ จำนวน 50 ราย ซึ่งมีความสูงอยู่ระหว่าง 119-181 เซนติเมตร พบว่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.72 ซึ่งต่ำกว่าผลงานวิจัยของ Thunyarat *et al*. (2017) ที่ได้ออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบดิจิทัลโดยใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิก ซึ่งได้รับผลการทดสอบวัดความสูงของอาสาสมัครที่มีอายุระหว่าง 9-12 ปี จำนวน 106 ราย ที่มีความสูงต่ำกว่า 130 เซนติเมตร ไปจนถึง 167 เซนติเมตร ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเท่ากับร้อยละ 1.00

ข้อเสนอแนะ

1. การใช้อุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ได้รับการออกแบบและสร้างมาให้สามารถวัดส่วนสูงได้ด้วยการนำไปวางไว้บนศีรษะให้ขนานกับพื้น ดังนั้นในการวัดส่วนสูงแต่ละครั้งให้ได้ผลที่ถูกต้องจะต้องมั่นใจว่าผู้ที่กำลังวัดส่วนสูงต้องไม่ใส่รองเท้าหรือมีวัสดุอื่นใดมารองเท้าอยู่ อีกทั้งการยืนจะต้องอยู่ในลักษณะที่ศีรษะตั้งตรงและมองไปข้างหน้า ตลอดจนคอ หลัง รวมถึงขาต้องตั้งตรง

2. ระบบวัดส่วนสูงที่คณะผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างขึ้นในครั้งนี้ อาศัยการคำนวณหาระยะทางจากเวลาที่ใช้เดินทางไป-กลับของคลื่นเสียงความถี่สูงจากเซนเซอร์อัลตราโซนิก ดังนั้นผู้ที่กำลังวัดส่วนสูงจึงควรยืนอยู่บนพื้นผิวที่มีความหนาแน่นสูง และมีความเรียบเพื่อให้การสะท้อนกลับของคลื่นเสียงความถี่สูงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ (Panatsada, 2017) ซึ่งจะส่งผลต่อความถูกต้องของส่วนสูงที่วัดได้

3. ระบบวัดส่วนสูงที่คณะผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างขึ้นในครั้งนี้ กำหนดเงื่อนไขของการเริ่มวัดส่วนสูงเมื่ออุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาจะต้องวางเอียงไม่เกินกว่า ±10 องศา ทั้งในแนวแกน X และแกน Y เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของส่วนสูงที่ได้ให้มีค่าไม่เกินร้อยละ 1.00 อย่างไรก็ตามค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าว สามารถทำให้ลดลงได้ด้วยการกำหนดเงื่อนไขมุมเอียงของการเริ่มวัดส่วนสูงเมื่อวางอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาให้มีค่าน้อยกว่า ±10 องศา ทั้งในแนวแกน X และแกน Y แต่ทั้งนี้อาจทำให้ผู้วัดส่วนสูงจะต้องใช้เวลาในการวัดส่วนสูงแต่ละครั้งนานขึ้น จากการที่อุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาจะอยู่ในตำแหน่งที่ขนานกับพื้นมากยิ่งขึ้น

4. การเพิ่มระบบและอุปกรณ์เพื่อบันทึกข้อมูลการวัดส่วนสูงเข้าไปในอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพา จะช่วยอำนวยความสะดวกต่อการใช้งานมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่นำไปใช้ในสถานที่ที่มีผู้ที่ต้องการวัดส่วนสูงเป็นจำนวนมาก ตลอดจนมีความจำเป็นต้องนำค่าส่วนสูงของแต่ละบุคคลไปวิเคราะห์ผลอื่นๆ ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ และเครื่องมือทดสอบที่ใช้ในการวิจัย และขอขอบคุณอาสาสมัครทั้ง 50 ท่าน ที่กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าเพื่อมาร่วมทดสอบใช้งานอุปกรณ์วัดส่วนสูงแบบพกพาที่นำเสนอจนทำให้ได้มาซึ่งข้อมูลผลการทดสอบใช้งานจริง

เอกสารอ้างอิง

ณัฐวรรณ เชาวน์ลิลิตกุล, สุพจน์ รื่นเริงกลิ่น และลักษณิน รุ่งตระกูล. (2558). *คู่มือการใช้มาตรฐานการเจริญเติบโตขององค์การอนามัยโลก ปี ค.ศ. 2006 ในเด็กแรกเกิด - 5 ปี.* โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

ลัดดา เหมาะสุวรรณ. (2552). *รายงานการสำรวจสุขภาพประชาชนไทยโดยการตรวจร่างกาย*. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

สำนักโภชนาการ. (2561). *รู้เท่าทันน้ำหนัก-ส่วนสูง แนวทางการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ: ด้านโภชนาการ*. กระทรวงสาธารณสุข.

Alexander, N., Michael, H., Anthony, M., Jiang, W. & Ying, S. (2017). An ultrasonic sensor based portable height measuring device. *Proceedings of the 43rd Annual Northeast Bioengineering Conference*. New Jersey, USA.

Cytron Technologies. (2013). *Product user's manual - HCSR04 ultrasonic sensor*. Cytron Technologies.

Marathe, R., Kulkarni, A. & Devkar, U. (2014). Portable automatic height detector. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR), 3*(10), 2693-2698.

Nunnaphat, T., & Thanach, K. (2019). Obesity in the elderly: Evaluation and prevention. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 13*(1), 16-26.

Onuma, W., & Panatsada, A. (2017). Digital thickness meter using infrared sensor. *Journal of Associated Medical Sciences, 50*(3), 442-449.

Panatsada, A. (2017). Performance of infrared sensor and ultrasonic sensor for medical applications. *Srinakharinwirot Science Journal, 33*(1), 135-145.

Rattanasuda, S., Theerathawan, P. & Jureeporn, S. (2019). The design and creation of automatic body mass index (BMI) projecting by internet network. *Journal of Industrial Technology, 14*(2), 73-85.

Thunyarat, W., Panatsada, A. & Chayanon, A. (2017). Digital height meter using ultrasonic sensor. *Journal of Associated Medical Sciences, 50*(3), 435-441.

Tunji, J. E., Dayo, H. O. & Ibrahim, B. A. (2020). Parametric design of height and weight measuring system. *International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering (IJIREEICE), 8*(7), 22-34.

Wutichai, P., Butree, K. & Kornsuma, P. (2016). The study and design device to data records the forward head posture, for a worker using computer and users using smartphones: phototype design. *Proceedings of the 2016 Thailand National Ergonomics Conference*. Pathum Thani.

การสร้างสมการเพื่อทำนายผลผลิตอ้อยด้วยค่าดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 กรณีศึกษา อำเภอไชยวาน จังหวัดอุดรธานี

The development of equation of sugarcane yield prediction using vegetation index from Sentinel-2 satellite imagery: A case study in Chaiwan District, Udon Thani Province

คมปกรณ์ ไทยเจริญ[1], จิระเดช มาจันแดง[2*]
Kompakorn Thaicharoen[1], Jiradech Majandang[2*]

Received: 31 March 2022 ; **Revised**: 20 May 2022 ; **Accepted**: 14 June 2022

บทคัดย่อ

การทำนายผลผลิตอ้อยช่วยในการประมาณวัตถุดิบเข้าสู่โรงงาน รวมถึงคาดการณ์ปริมาณน้ำตาลทรายที่สามารถผลิตได้ ส่งผลต่อการวางแผนจัดการผลผลิตที่จะเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายในการทำนายผลผลิตอ้อย ด้วยค่าดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 กรณีศึกษา อำเภอไชยวาน จังหวัดอุดรธานี ค่าดัชนีพืชพรรณที่ใช้ประกอบด้วย Ratio Vegetation Index (RVI) Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Normalized Ratio Vegetation Index (NRVI) Ashburn Vegetation Index (AVI) Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) Transformation Vegetation Index (TVI) และ Infrared Percentage Vegetation Index (IPVI) ร่วมกับข้อมูลผลผลิตอ้อยจากแปลงตัวอย่างขนาด 20x20 เมตร ทั้งหมด 100 แปลง แบ่งเป็นข้อมูลที่ใช้สร้างสมการ 70 แปลง และใช้ตรวจสอบความถูกต้อง 30 แปลง ผลการศึกษาพบว่า สมการถดถอยจากดัชนีพืชพรรณ NDVI NRVI SAVI TVI และ IPVI ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงสุด เท่ากับ 0.88 และสมการถดถอยจากดัชนีพืชพรรณ NDVI NRVI และ SAVI มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 1.82 สมการที่ได้สามารถนำไปประเมินผลผลิตอ้อย เพื่อใช้ในการวางแผนบริหารจัดการผลผลิตที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

คำสำคัญ: ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ค่าดัชนีพืชพรรณ การทำนายผลผลิตอ้อย

Abstract

Predictions of sugarcane production can estimate the amount of raw product prior to it entering the factory and the final amount of cane sugar produced. Thus, the prediction can help the efficient management of cane sugar manufacturing. The objective of this study is to create a simple linear regression equation to predict sugarcane production by using vegetation indices from Sentinel-2 satellite images in Chai Wan district, Udon Thani province and the data of sugarcane production from sample fields. The vegetation indices included Ratio Vegetation Index (RVI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Ratio Vegetation Index (NRVI), Ashburn Vegetation Index (AVI), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), Transformation Vegetation Index (TVI) and Infrared Percentage Vegetation Index (IPVI). A total of 100 sample fields (20x20 meter each) were used in this study: 70 of them were used to create the equation and 30 of them were used to check the accuracy. The results revealed that the linear regression equation from NDVI, NRVI, SAVI, TVI, and IPVI has the highest coefficient of determination and equals to 0.88. The linear regression equation from NDVI, NRVI, and SAVI had the mean absolute percentage error equal to 1.82. The equations can further be utilized to determine sugarcane production and manage cane sugar manufacturing in the future.

Keywords: Sentinel-2 satellite images, vegetation indices, prediction of sugarcane production

---

[1] นิสิตปริญญาตรี, ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 44150
[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 44150
[1] Bachelor degree student., Faculty of Humanities and Social Sciences, Mahasarakham University, 44150
[2] Assist. Prof., Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, Mahasarakham University, 44150
[*] Corresponding author; Jiradech Majandang, Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, Mahasarakham University, 44150, Thailand. Jiradech.m@msu.ac.th

บทนำ

อ้อยมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Saccharum officinarum* L. แหล่งกำเนิดดั้งเดิมอยู่ในเกาะนิวกินี ประเทศอินโดนีเซีย โดยชาวพื้นเมืองปลูกอ้อยไว้สำหรับเคี้ยวมาตั้งแต่โบราณ การปลูกอ้อยในประเทศไทยไม่ปรากฏหลักฐานว่าเริ่มปลูกในสมัยใด แต่อ้อยได้เข้ามามีบทบาทต่อขนบธรรมเนียมประเพณีของไทยมาช้านาน (คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2535) อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายของไทยมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันประเทศไทยส่งออกน้ำตาลประมาณ 7 ล้านตันต่อปี จัดเป็นอันดับสองของประเทศที่ส่งออกน้ำตาลมากที่สุดในระดับโลก รองจากบราซิล (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2562) ในปี พ.ศ.2563 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกอ้อยทั้งประเทศประมาณ 12 ล้านไร่ โดยอ้อยที่ได้รับความนิยมในการเพาะปลูกคือ พันธุ์ขอนแก่น 3 มีพื้นที่ปลูกประมาณ 5,701,344 ไร่ และพันธุ์ LK92-11 มีพื้นที่ปลูกประมาณ 3,520,813 ไร่ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2563)

จากรายงานสถานการณ์การปลูกอ้อยในประเทศ ปี พ.ศ. 2563 พบว่า ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ปลูกมากที่สุด ประมาณ 5,229,405 ไร่ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2563) โดยจังหวัดอุดรธานี เป็นจังหวัดที่มีการปลูกมากที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และมีการตั้งโรงงานมากที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือถึง 5 แห่ง ทำให้มีความต้องการอ้อยส่งเข้าโรงงานถึง 4,674,002 ตันต่อปี ส่งผลให้เกษตรกรมีการปลูกอ้อยจำนวนมาก ในปี พ.ศ. 2563 มีพื้นที่ปลูกประมาณ 748,540 ไร่ (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดอุดรธานี, 2563) อำเภอไชยวานเป็นอีกอำเภอของจังหวัดอุดรธานีที่มีการปลูกอ้อยอย่างแพร่หลาย ในปี พ.ศ.2562 มีเกษตรกรผู้ปลูกอ้อยในพื้นที่ถึง 1,478 ครัวเรือน (สำนักงานเกษตรอำเภอไชยวาน, 2562) อย่างไรก็ตามโรงงานน้ำตาลทรายในพื้นที่ยังเผชิญปัญหาเกี่ยวกับปริมาณที่เป็นวัตถุดิบเข้าสู่โรงงาน ที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการในการผลิตน้ำตาลทราย เนื่องจากผลผลิตอ้อยจากเกษตรกรที่ส่งเข้าสู่โรงงานลดลง โรงงานน้ำตาลทรายต้องประเมินพื้นที่ปลูกอ้อยเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มวัตถุดิบสำหรับทำน้ำตาลทราย (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2563) ดังนั้น การประเมินผลผลิตอ้อยจึงมีความสำคัญเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการบริหารจัดการผลผลิตในอนาคต

ปัจจุบันการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลเพื่อการเกษตรได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะการทำนายผลผลิตพืชผลชนิดต่างๆ เช่น ข้าว (สมสิริ สวัสดิ์เฉลิม, 2550 ; ภราดร กาญจนสุธรรม, 2557 ; วลดา เดชะพงศ์ธนา, 2559) อ้อย (จีรวัฒน์ โนดไธสง และคณะ, 2562) และมันสำปะหลัง (วลัยพร ศะศิประภา, 2555) เป็นต้น การทำนายผลผลิตพืชทางการเกษตรด้วยการวิเคราะห์ถดถอยเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย การหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับค่าดัชนีพืชพรรณ (Vegetation indices) และใช้สมการความสัมพันธ์ที่ได้มาทำนายผลผลิตที่จะเกิดขึ้น ดัชนีพืชพรรณเป็นค่าที่บอกถึงความสมบูรณ์ของพืช จากการดูดกลืนช่วงคลื่นแสงสีแดงของคลอโรฟิลล์ในพืชพรรณชนิดต่าง ๆ และสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ ทำให้สามารถใช้ในการตรวจสอบการเจริญเติบโตของพืชพรรณได้ดี (Noureldin *et al.*, 2013) การเลือกใช้ดัชนีพืชพรรณให้เหมาะสม ต้องคำนึงถึงความแตกต่างของสภาพแวดล้อมทั้งในส่วนของความหลากหลาย และคุณลักษณะของพืชพรรณแต่ละชนิด (Xue & Su, 2017)

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญในการทำนายผลผลิตอ้อยล่วงหน้า เพื่อประเมินความเพียงพอของปริมาณวัตถุดิบอ้อยที่จะเข้าสู่โรงงานน้ำตาล การศึกษาในครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการรับรู้จากระยะไกล เพื่อคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 กับข้อมูลผลผลิตอ้อยที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม เพื่อสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายในการทำนายผลผลิตอ้อยใน อำเภอไชยวาน จังหวัดอุดรธานี

วิธีการศึกษา

1. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ดาวน์โหลดจากเว็บไซต์ https://earthexplorer.usgs.gov/ เป็นข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ โดยเลือกภาพที่บันทึกในเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2563 ตามระยะการเก็บผลผลิตอ้อย ทำการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต (Geometric correction) ความคลาดเคลื่อนเชิงรังสี (Radiometric correction) และตัดภาพตามขอบเขตพื้นที่ศึกษา

ข้อมูลผลผลิตอ้อยจากการสำรวจภาคสนาม ได้จากแปลงตัวอย่าง (Plot sampling) โดยการสุ่มตัวอย่างแปลงอ้อยแบบเจาะจงจากเกษตรกรที่ยินยอมให้สามารถตัดและชั่งน้ำหนักอ้อยภายในแปลงได้ และอ้อยภายในแปลงมีการเจริญเติบโตเต็มที่ กำหนดแปลงตัวอย่างทั้งหมด 100 แปลง มีขนาด 20x20 เมตร โดยคำนวณผลผลิตรายแปลงได้จาก น้ำหนักต่อแถวคูณด้วยจำนวนแถวต่อแปลง โดยน้ำหนักต่อแถวหาจากน้ำหนักต่อพุ่มคูณด้วยจำนวนพุ่มต่อแถว และน้ำหนักต่อพุ่มหาจากน้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นคูณด้วยจำนวนต้นต่อพุ่ม

2. การคำนวนค่าดัชนีพืชพรรณ

ค่าดัชนีพืชพรรณที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้การคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ 7 ดัชนี โดยแต่ละวิธีมีการคำนวณจากข้อมูลช่วงคลื่น (แบนด์) ที่บันทึกจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ดังนี้

1) Ratio Vegetation Index (RVI) เป็นดัชนีที่ใช้ในการประเมินและติดตามการปกคลุมของพืชพรรณ คำนวณได้ง่ายไม่ซับซ้อน เป็นอัตราส่วนระหว่างช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้กับช่วงคลื่นสีแดง โดยทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึงไม่มีที่สิ้นสุด ค่า RVI สูงแสดงว่าบริเวณนั้นมีพืชหนาแน่น (Jordan, 1969) มีสูตรดังนี้

$$RVI = \frac{NIR}{RED} \quad (1)$$

เมื่อ

NIR คือ ค่าสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

RED คือ ค่าสะท้อนช่วงคลื่นสีแดง

2) Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) เป็นดัชนีที่นิยมนำมาใช้ศึกษาเกี่ยวกับพืช ทั้งในส่วนของการเจริญเติบโต ความสมบูรณ์ รวมถึงจำแนกชนิดพืช โดยเป็นสัดส่วนระหว่างค่าความต่างของช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้กับช่วงคลื่นสีแดง กับผลบวกของทั้งสองช่วงคลื่น ทำให้มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 หากมีค่าเป็นลบแสดงถึงพื้นที่ที่ไม่ใช่พืชพรรณ ค่า 0 แสดงว่าไม่มีพืชปกคลุมในพื้นที่ และถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงถึงพื้นที่ที่มีพืชพรรณปกคลุมสูง (Rouse *et al*., 1974) มีสูตรดังนี้

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (2)$$

เมื่อ

NIR คือ ค่าสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

RED คือ ค่าสะท้อนช่วงคลื่นสีแดง

3) Normalized Ratio Vegetation Index (NRVI) เป็นดัชนีที่พัฒนามาจาก RVI และที่มีลักษณะคล้าย NDVI ในการปรับให้ค่าดัชนีมีการกระจายตัวแบบปกติ ช่วยลดผลกระทบจากสภาพภูมิประเทศ และชั้นบรรยากาศ ค่าที่น้อยกว่า 0.0 แสดงว่าเป็นพื้นที่พืชพรรณ ส่วนค่ามากกว่า 0.0 ไม่ใช่พื้นที่พืชพรรณ (Baret & Guyot, 1991) มีสูตรดังนี้

$$NRVI = (RVI-1)/(RVI+1) \quad (3)$$

เมื่อ

RVI คือ ค่าดัชนี RVI

4) Ashburn Vegetation Index (AVI) เป็นดัชนีที่ใช้วัดการเจริญเติบโตของพืช ในช่วงฤดูแล้ง หรือในพื้นที่ที่มีความแห้งแล้ง ค่า AVI สูงแสดงว่าบริเวณนั้นมีพืชเจริญเติบโตหนาแน่น (Ashburn, 1978) มีสูตรดังนี้

$$AVI = 2.0NIR-RED \quad (4)$$

เมื่อ

NIR คือ ค่าสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

RED คือ ค่าสะท้อนช่วงคลื่นสีแดง

5) Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) พัฒนาเพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากค่าสะท้อนของพื้นดินที่พบในดัชนี NDVI โดยในพื้นที่ที่มีค่า SAVI สูงแสดงถึงพื้นที่ที่มีพืชพรรณปกคลุมสูง (Huete, 1988) มีสูตรดังนี้

$$SAVI = \frac{NIR-RED}{(NIR+RED+L)}(1+L) \quad (5)$$

เมื่อ

NIR คือ ค่าสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

RED คือ ค่าสะท้อนช่วงคลื่นสีแดง

L คือ เป็นค่ากลางความหนาแน่นพืชพรรณ โดยทั่วไปมีค่าเท่ากับ 0.5

6) Transformation Vegetation Index (TVI) พัฒนามาจาก NDVI เพื่อให้ค่าดัชนีที่ได้มีค่าเป็นบวกทั้งหมด นิยมใช้ประเมินในพื้นที่ทุ่งหญ้า สามารถรวมกลุ่มจุดภาพที่มีค่าสะท้อนใกล้เคียงกัน แล้วตีความปริมาณพืชพรรณ ค่า TVI สูงแสดงว่าบริเวณนั้นมีพืชเจริญเติบโตหนาแน่น (Deering *et al*., 1975) มีสูตรดังนี้

$$TVI = \sqrt{\frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)}} + 0.5 \quad (6)$$

เมื่อ

NIR คือ ค่าสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

RED คือ ค่าสะท้อนช่วงคลื่นสีแดง

7) Infrared Percentage Vegetation Index (IPVI) พัฒนามาจาก NDVI เพื่อให้ค่าดัชนีที่ได้มีค่าเป็นบวกทั้งหมด โดยนำช่วงคลื่นสีแดงในตัวเศษออก มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ค่า 0 แสดงว่าไม่มีพืชปกคลุมในพื้นที่ และถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงถึงพื้นที่ที่มีพืชพรรณปกคลุมสูง (Crippen, 1990) มีสูตรดังนี้

$$IPVI = \frac{\left(\frac{NIR}{NIR+RED}\right)}{2}(NDVI+1) \quad (7)$$

เมื่อ

NIR คือ ค่าสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

RED คือ ค่าสะท้อนช่วงคลื่นสีแดง

NDVI คือ ค่าดัชนี NDVI

3. การสร้างสมการทำนายผลผลิตอ้อย

แบ่งข้อมูลผลผลิตอ้อยที่ได้จากแปลงตัวอย่างเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 จำนวน 70 แปลงใช้ในการสร้างสมการทำนายผลผลิต ส่วนที่ 2 จำนวน 30 แปลง ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของการทำนาย

สร้างสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายเพื่อใช้ทำนายผลผลิตอ้อย โดยข้อมูลผลผลิตอ้อยที่ได้จากแปลงตัวอย่างเป็นตัวแปรตาม (y) และค่าดัชนีพืชพรรณที่คำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ทั้ง 7 ดัชนี เป็นตัวแปรอิสระ (x) มีรูปแบบสมการดังนี้

$$y = \beta_0 + b_1 x + \varepsilon \quad (8)$$

เมื่อ

y คือ ผลผลิตอ้อยที่เก็บเกี่ยวได้จากแปลงตัวอย่าง (กิโลกรัมต่อแปลง)

x คือ ค่าดัชนีพืชพรรณที่คำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2

β_0 คือ พารามิเตอร์แสดงค่าคงที่

β_1 คือ พารามิเตอร์แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

ε คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม (Random Error)

โดยกำหนดความเชื่อมั่นทางสถิติที่ P<0.05

การคัดเลือกสมการในการทำนายผลผลิตอ้อยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2) เป็นค่าที่บอกถึงความเชื่อมั่นของสมการถดถอยเชิงเส้น (Cheng *et al.*, 2014) โดยพิจารณาจากสัดส่วนที่ตัวแปรอิสระสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม หากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่ามาก แสดงว่าตัวแปรอิสระของสมการถดถอยสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้มาก มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 มีสูตรดังนี้

$$R^2 = \left(\frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)}{\sqrt{\left[n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2\right] \times \left[n\sum_{i=1}^{n} y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)^2\right]}} \right)^2 \quad (9)$$

เมื่อ

y_i คือ ผลผลิตอ้อยที่เก็บเกี่ยวได้จากแปลงตัวอย่างที่ i (กิโลกรัมต่อแปลง)

x_i คือ ค่าดัชนีพืชพรรณที่คำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ของแปลงตัวอย่างที่ i

n คือ จำนวนแปลงตัวอย่าง

4. การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของการทำนาย

ค่าที่ใช้ในการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของการทำนายประกอบด้วย ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) โดยแต่ละค่ามีสูตรคำนวณดังนี้

1) ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(Ai - Fi)^2}{n}} \quad (10)$$

เมื่อ

Ai คือ ผลผลิตอ้อยที่เก็บเกี่ยวได้ของแปลงตัวอย่างที่ i

Fi คือ ผลผลิตอ้อยของแปลงตัวอย่างที่ i ที่ทำนายได้จากสมการถดถอย

n คือ จำนวนแปลงตัวอย่าง

2) ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE)

$$MAPE(\%) = \left(\frac{100}{n}\right)\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{Ai - Fi}{Ai}\right| \quad (11)$$

เมื่อ

Ai คือ ผลผลิตอ้อยที่เก็บเกี่ยวได้ของแปลงตัวอย่างที่ i

Fi คือ ผลผลิตอ้อยของแปลงตัวอย่างที่ i ที่ทำนายได้จากสมการถดถอย

n คือ จำนวนแปลงตัวอย่าง

ผลการศึกษา

การสำรวจผลผลิตอ้อยจากแปลงตัวอย่าง เลือกแปลงตัวอย่างภายใต้การยินยอมของเกษตรกรเจ้าของแปลง ให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา (Figure 1) โดยเลือกแปลงทั้งในส่วนของอ้อยตอ และอ้อยปลูกใหม่ รวมถึงแปลงที่มีความสมบูรณ์ และไม่สมบูรณ์คละกัน พบว่าผลผลิตอ้อยจากแปลงตัวอย่างมีค่าอยู่ระหว่าง 1.04 ถึง 12.53 กิโลกรัม เมื่อนำข้อมูลผลผลิตอ้อยจากแปลงตัวอย่างมาสร้างกราฟการกระจาย โดยแบ่งน้ำหนักของผลผลิตอ้อยเป็น 7 ช่วงค่า ช่วงค่าละ 2 กิโลกรัม พบว่าส่วนใหญ่มีน้ำหนักระหว่าง 4 ถึง 6 กิโลกรัม จำนวน 29 แปลง (Figure 2) น้ำหนักระหว่าง 2 ถึง 4 กิโลกรัม จำนวน 27 แปลง และน้ำหนักระหว่าง 6 ถึง 8 กิโลกรัม จำนวน 25 แปลง

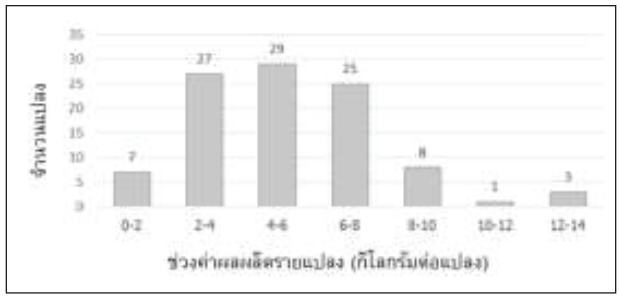


Figure 2 Frequency distribution of the sugarcane yield form Plot sampling

จากการสร้างสมการทำนายผลผลิตอ้อย ด้วยดัชนีพืชพรรณทั้ง 7 ดัชนี ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 พบว่าสมการที่ได้จากดัชนีพืชพรรณ NDVI NRVI TVI IPVI และ SAVI ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงสุดเท่ากัน คือ 0.88 (Table 1) รองลงมาคือสมการจากค่า RVI มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เท่ากับ 0.85 และสมการจากค่า AVI มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจต่ำที่สุดคือเท่ากับ 0.52 โดยดัชนีพืชพรรณทั้ง 7 ดัชนี สามารถทำนายผลผลิตอ้อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

Table 1 Equation of sugarcane yield forecasting and coefficient of determination

Vegetation Index	Prediction Equation	R^2
RVI	y = 17.366 - 28.530x	0.85
NDVI	y = - 7.021 + 29.998x	0.88
NRVI	y = - 7.021 - 29.998x	0.88
AVI	y = - 4.392 + 0.002x	0.52
SAVI	y = - 7.021 + 19.999x	0.88
TVI	y = - 22.020 + 59.997x	0.88
IPVI	y = - 37.019 + 59.997x	0.88

การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของการทำนาย พบว่าสมการถดถอยจากดัชนีพืชพรรณ RVI มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด มีค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.54 และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 1.81 แต่ยังใกล้เคียงกับสมการถดถอยจากดัชนีพืชพรรณ NDVI NRVI และ SAVI โดยมีค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.55 และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 1.82 (Table 2)

Table 2 Root mean square error and mean absolute percentage error

Vegetation Index	RMSE	MAPE
RVI	0.54	1.81
NDVI	0.55	1.82
NRVI	0.55	1.82
AVI	1.31	4.36
SAVI	0.55	1.82
TVI	2.75	9.16
IPVI	2.75	9.16

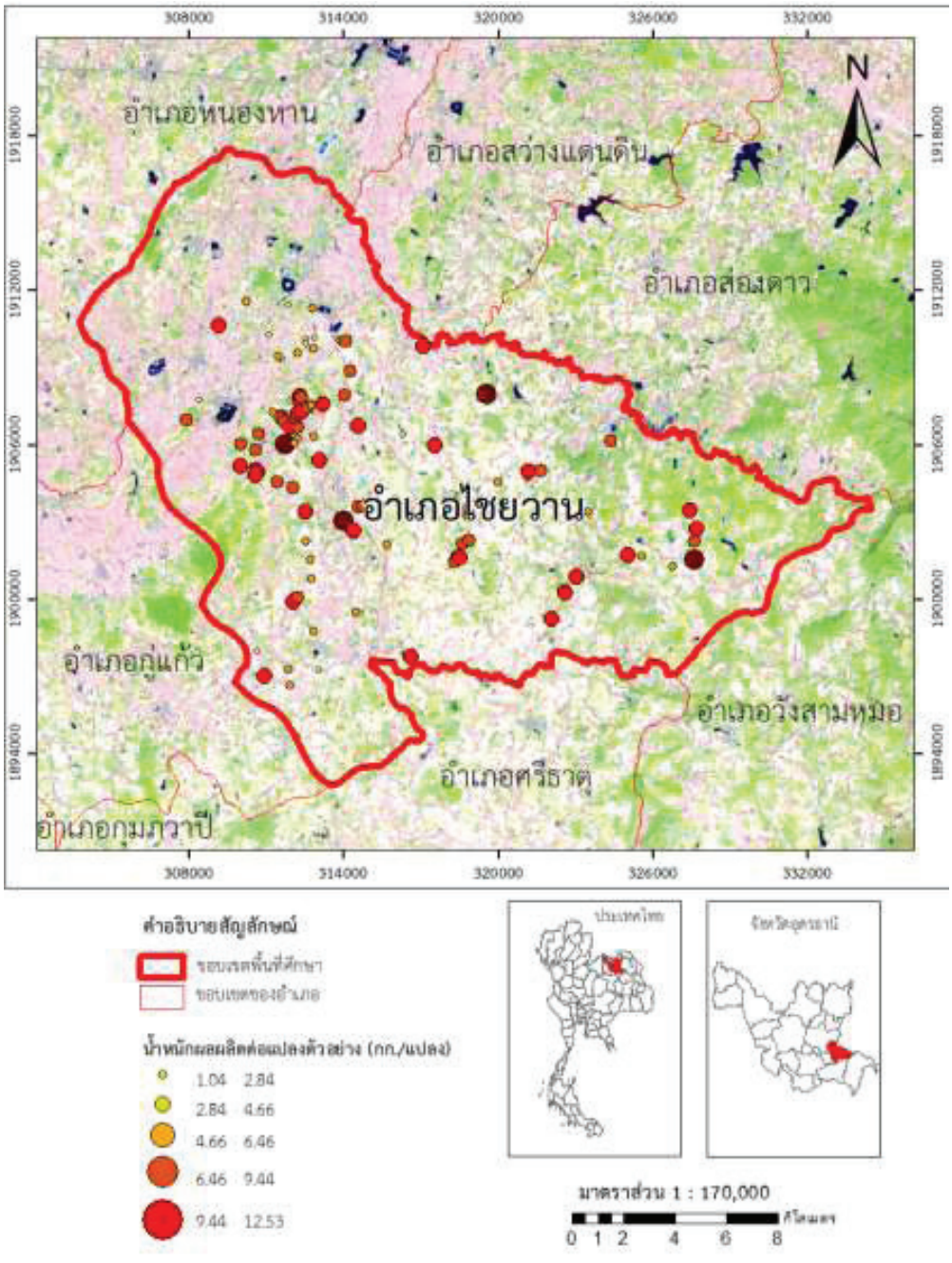


Figure 1 Spatial distribution of Plot sampling

ดังนั้น จากผลการศึกษาผู้วิจัยจึงเลือกสมการถดถอยจากดัชนีพืชพรรณ NDVI เป็นสมการแนะนำในการทำนายผลผลิตอ้อย เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงสุด และค่าความคลาดเคลื่อนไม่ได้ต่างจากสมการที่ได้จากค่า RVI มากนัก อีกทั้งยังเป็นสมการที่นิยมนำมาใช้ในการศึกษาด้านพืชพรรณ และเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลาย การคำนวณค่าดัชนีทำได้ง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และโปรแกรมด้านการรับรู้ระยะไกลบางส่วนก็มีฟังก์ชันการคำนวณหรือมีสมการสำเร็จให้ใช้ได้

วิจารณ์และสรุปผล

จากการสร้างสมการเชิงเส้นอย่างง่ายเพื่อทำนายผลผลิตอ้อย โดยใช้ค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 7 ดัชนีเป็นตัวทำนาย ประกอบด้วยค่า NDVI RVI NRVI AVI SAVI TVI และ IPVI ค่าดัชนีพืชพรรณเหล่านี้คำนวณจากภาพถ่าย ดาวเทียม Sentinel-2 ร่วมกับข้อมูลผลผลิตอ้อยจากแปลงตัวอย่าง ผลจากการศึกษาพบว่าสมการถดถอยที่ใช้ดัชนีพืชพรรณ NDVI เป็นตัวทำนาย คือ y = -7.201 + 29.998x เป็นสมการถดถอยที่มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ทำนายผลผลิตอ้อยมากที่สุด เนื่องจากสมการนี้ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงที่สุด ถึงแม้ว่าจะไม่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด แต่ก็ให้ค่าต่ำใกล้เคียงกับค่าต่ำที่สุด อีกทั้ง NDVI ยังเป็นดัชนีที่ได้รับความนิยมนำมาใช้ในการศึกษาด้านพืชพรรณอย่างแพร่หลาย สอดคล้องกับงานวิจัยของรัตนพร กิจโป้ และรัศมี สุวรรณวีระกำธร (2556) พบว่าค่า NDVI ของพื้นที่ปลูกอ้อย ที่คำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม SMMS สามารถนำมาใช้สร้างสมการทำนายผลผลิตได้แม่นยำ อีกทั้งการนำไปใช้ในการทำนายผลผลิตของพืชชนิดอื่นก็ให้ความแม่นยำสูง โดย วรนุช สุทธชยานนท์ (2550) ได้ศึกษาการประมาณผลผลิตต่อไร่ของลำไย ด้วยสมการถดถอยอย่างง่าย จากดัชนี RVI NDVI PVI และ SAVI พบว่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของค่า NDVI มีค่าสูงที่สุด คือ 0.848 หรือการคาดการณ์ผลผลิตต่อไร่ของข้าวนาปรังด้วยค่า NDVI ของ ภราดร กาญจนสุธรรม และคณะ (2557) พบว่า บริเวณที่มีค่า NDVI สูง ผลผลิตของข้าวนาปรังจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

งานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการสร้างสมการเพื่อทำนายผลผลิตทางการเกษตรของพืชชนิดอื่นๆ และองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้จะมีประโยชน์ต่อภาครัฐ เกษตรกร และผู้ที่เกี่ยวข้อง ในการนำค่าทำนายที่ได้ไปใช้ในการบริหารจัดการ วางแผนการเพาะปลูกที่เหมาะสมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้การสนับสนุน และอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2535). *พฤติกรรมและรูปแบบการใช้พลังงานในการเพาะปลูกอ้อย*. http://e-lib.dede.go.th/mm-data/bib8326-อ้อย.pdf.

จีรวัฒน์ โนดไธสง, ขวัญตรี แสงประชาธนารักษ์, Chanreaksa Chea, เจษฎา โพธิ์สม, เสรี วงส์พิเชษฐ, ศุภสิทธิ์ คนใหญ่, มหิศร ว่องผาติ. (2562). การศึกษาความเป็นไปได้ในการทำนายผลผลิตอ้อยในแปลงโดยใช้ ดัชนีพืชพรรณ NDVI, CIred edge และปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข. *แก่นเกษตร*, *47*(4), 679-694.

ภราดร กาญจนสุธรรม, นิพนธ์ ตั้งธรรม, เรืองไร โตกฤษณะ. (2557). การประมาณผลผลิตต่อไร่ของข้าวนาปรังด้วยข้อมูลดาวเทียม SMMS โดยใช้ดัชนีความแตกต่างพืช พรรณ (NDVI): กรณีศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 22*(1), 55-66.

รัตนพร กิจโป้ และรัศมี สุวรรณวีระกำธร. (2556). การประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมและเครื่องมือวัดค่าการสะท้อนแสงเพื่อตรวจวัดค่าดัชนีพืชพรรณ: กรณีศึกษาจังหวัดขอนแก่น. *การประชุมวิชาการด้านภูมิสารสนเทศสำหรับนักศึกษาบัณฑิตศึกษาและนักวิจัยรุ่นใหม่ ครั้งที่ 1* (หน้า 231-241). นครราชสีมา.

วรนุช สุทธชยานนท์. (2550). *การประมาณเนื้อที่ยืนต้นและผลผลิตของลำไย โดยใช้ดัชนีพืชพรรณ กรณีศึกษา: ตำบลท่าวังตาล อำเภอสารภี จังหวัดเชียงใหม่* [ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา].

วลดา เดชะพงศ์ธนา. (2559). *การตรวจวัดอุณหภูมิพื้นผิวของนาข้าวตามระยะการเจริญเติบโต โดยใช้ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน ด้วยข้อมูลจากดาวเทียม กรณีศึกษา อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา* [ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา].

วลัยพร ศะศิประภา, นรีลักษณ์ วรรณสาย, สุภาพร ราจันทึก, และณิชา โป่ทอง. (2555). ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณผล ต่างแบบนอร์แมลไลซ์กับผลผลิตมันสำปะหลังในจังหวัดกำแพงเพชร. *วารสารวิชาการเกษตร, 30*(3), 290-299.

สมสิริ สวัสดิ์เฉลิม. (2550). *การประมาณผลผลิตต่อไร่ของข้าวนาปรัง จากการสะท้อนพลังงาน กรณีศึกษาจังหวัดสุพรรณบุรี* [ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ].

สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดอุดรธานี. (2563). *ข้อมูลพื้นฐานด้านการเกษตรและสหกรณ์จังหวัดอุดรธานี ประจำปีงบประมาณ ปี พ.ศ. 2563*. https://www.opsmoac.go.th/udonthani-home.

สำนักงานเกษตรอำเภอไชยวาน. (2562). *ข้อมูลการเกษตร สถิติการปลูกพืช ปี 2562*. http://chaiwan.udonthani.doae.go.th/home1.html.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. (2562). *รายงานพื้นที่ปลูกอ้อย ปีการผลิต 2561/2562*. http://www.ocsb.go.th/upload/-journal/fileupload/923-9040.pdf.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. (2563). *รายงานพื้นที่ปลูกอ้อย ปีการผลิต 2562/2563*. http://www.ocsb.go.th/upload/-journal/fileupload/923-1854.pdf.

Ashburn, P. (1978). The vegetative index number and crop identification. In Lyndon, B., editor. *The LACIE Symposium, Proceedings of the Technical Session* (pp. 843-856). Houston

Baret, F. & Guyot, G. (1991). Potential and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environment, 35*, 161-173.

Cheng, C.L., Shalabh, & Garg, G. (2014). Coefficient of determination for multiple measurement error models. *Journal of Multivariate Analysis, 126*, 137-152.

Crippen, R.E. (1990). Calculating the vegetation index faster. *Journal Remote Sensing of Environment, 34*(1), 71-73.

Deering, D.W., Rouse, J.W. Haas, R.H. & Schell, J.A. (1975). Measuring “Forage Production” of Grazing Units from Landsat MSS Data. *Proceedings of the 10th International Symposium on Remote Sensing of Environment* (pp. 1169-1178).

Huete, A.R. (1988). Soil adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment, 25*, 295-309.

Jordan, C.F. (1969). Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology, 50*, 663-666.

Noureldin, N.A., Aboelghar, M.A., Saudy, H.S., & Ali, A.M. (2013). Rice yield forecasting models using satellite imagery in Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 16*(1), 125-131.

Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. & Deering, D.W. (1974). Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In Stanley, C.F., Enrico P.M. & Margaret A.B. (eds). *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium- Volume I: Technical Presentations. NASA SP-351* (pp. 309-317). Washington, D.C.

Xue, J. & Su, B. (2017). Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. *Journal of Sensors, 2017*, 1-17.

คำแนะนำสำหรับผู้นิพนธ์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม กำหนดพิมพ์ปีละ 6 ฉบับ ฉบับที่ 1 (มกราคม-กุมภาพันธ์) ฉบับที่ 2 (มีนาคม-เมษายน) ฉบับที่ 3 (พฤษภาคม-มิถุนายน) ฉบับที่ 4 (กรกฎาคม-สิงหาคม) ฉบับที่ 5 (กันยายน-ตุลาคม) ฉบับที่ 6 (พฤศจิกายน-ธันวาคม) ผู้นิพนธ์ทุกท่านสามารถส่งบทความวิจัยเพื่อรับการพิจารณาลงตีพิมพ์ได้ โดยไม่ต้องเป็นสมาชิกและไม่จำเป็นต้องสังกัดมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลงานที่ได้รับการพิจารณาในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่ทบทวนความรู้เดิมหรือองค์ความรู้ใหม่ ที่ทันสมัย รวมทั้งข้อคิดเห็นทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน และจะต้องเป็นงานที่ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อน รวมถึงไม่อยู่ระหว่างพิจารณาลงพิมพ์ในวารสารใด บทความอาจถูกดัดแปลง แก้ไข เนื้อหา รูปแบบ และสำนวน ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร ทั้งนี้ เพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากล และนำไปอ้างอิงได้

การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ แต่ละเรื่องจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์การเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถาน ให้หลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษรวมกับภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีทางแปล หรือคำที่ใช้แล้วทำให้เข้าใจง่ายขึ้น คำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนเป็นภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะ สำหรับต้นฉบับภาษาอังกฤษ ควรได้รับการตรวจสอบความถูกต้องของภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาอังกฤษก่อน

2. ขนาดของต้นฉบับ ใช้กระดาษขนาด A4 (8.5x11 นิ้ว) และพิมพ์โดยเว้นระยะห่างจากขอบกระดาษด้านละ 1 นิ้ว จัดเป็น 2 คอลัมน์

3. ชนิดของขนาดตัวอักษร ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษร **Browallia New**

3.1 ชื่อเรื่องให้ใช้อักษรขนาด **18 pt. ตัวหนา**

3.2 ชื่อผู้นิพนธ์ใช้อักษรขนาด **16 pt. ตัวปกติ**

3.3 หัวข้อหลักใช้อักษรขนาด **16 pt. ตัวหนา**

3.4 หัวข้อรองใช้อักษรขนาด **14 pt. ตัวหนา**

3.5 บทคัดย่อและเนื้อหาใช้ตัวอักษรขนาด **14 pt. ตัวบาง**

3.6 เชิงอรรถอยู่หน้าแรกที่เป็นรายละเอียดชื่อตำแหน่งทางวิชาการ และที่อยู่ของผู้นิพนธ์ใช้อักษรขนาด 12 pt. ตัวบาง และใส่ Corresponding author

4. ผู้นิพนธ์จะต้องจัดเตรียมต้นฉบับในรูปแบบของไฟล์ ".doc" (MS Word) และ ".pdf" (Portable Document Format)

5. จำนวนหน้า ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 12 หน้า รวมตาราง รูป ภาพ และเอกสารอ้างอิง

6. รูปแบบการเขียนต้นฉบับ แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทบทความรายงานผลวิจัยหรือบทความวิจัย (research article) และบทความจากการทบทวนเอกสารวิจัยที่ผู้อื่นทำเอาไว้ หรือบทความทางวิชาการ หรือบทความทั่วไป หรือบทความปริทัศน์ (review article)

7. การส่งบทความ ส่ง online ผ่านระบบ ThaiJo โดยสามารถเข้าไปดูรายละเอียดที่ www.scjmsu.msu.ac.th

8. หากจัดรูปแบบไม่ถูกต้องทางวารสารจะจัดส่งคืนผู้นิพนธ์เพื่อปรับแก้ไข ก่อนเสนอผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณา ซึ่งอาจทำให้กระบวนการตีพิมพ์ล่าช้า

บทความวิจัย/บทความวิชาการ ให้เรียงลำดับหัวข้อดังนี้

ชื่อเรื่อง (Title) ชื่อเรื่องให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้น กะทัดรัด และสื่อเป้าหมายหลักของงานวิจัย ไม่ใช้คำย่อ ความยาวไม่เกิน 100 ตัวอักษร

ชื่อผู้นิพนธ์ [Author (s)] และที่อยู่ ให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และระบุตำแหน่งทางวิชาการ หน่วยงาน หรือสถาบันที่สังกัด และ E-mail address ของผู้นิพนธ์ไว้เป็นเชิงอรรถของหน้าแรก เพื่อกองบรรณาธิการสามารถติดต่อได้

บทคัดย่อ (Abstract) เป็นการย่อเนื้อความงานวิจัยทั้งเรื่องให้สั้น และมีเนื้อหา ประกอบด้วย วัตถุประสงค์ ผลการค้นพบที่สำคัญ และสรุป มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยบทคัดย่อภาษาอังกฤษมีความยาวไม่เกิน 300 คำ สำหรับบทคัดย่อภาษาไทยให้สอดคล้องกับบทคัดย่อภาษาอังกฤษ

คำสำคัญ (Keywords) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ไม่เกิน 5 คำ ให้ระบุไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษา

บทนำ (Introduction) เป็นส่วนเริ่มต้นของเนื้อหา ที่บอกความเป็นมา เหตุผล และวัตถุประสงค์ ที่นำไปสู่งานวิจัยนี้ ให้ข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องจากการตรวจสอบเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีรายงานการศึกษาก่อนหน้า

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา (Materials and Methods) ให้ระบุรายละเอียด วัสดุอุปกรณ์ สิ่งที่นำมาศึกษา จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา อธิบายวิธีการศึกษา แผนการทดลองทางสถิติ วิธีการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์และการแปรผล

ผลการศึกษา (Results) รายงานผลที่ค้นพบ ตามลำดับขั้นตอนของการวิจัย อย่างชัดเจนได้ใจความ ถ้าผลไม่ซับซ้อนและมีตัวเลขไม่มากควรใช้คำบรรยาย แต่ถ้ามีตัวเลข หรือ ตัวแปรมาก ควรใช้ตารางหรือแผนภูมิประกอบการรายงานผลการศึกษา

วิจารณ์และสรุปผล (Discussion and Conclusion) การอภิปรายผลการศึกษาว่าตรงกับวัตถุประสงค์และเปรียบเทียบกับสมมติฐานของการวิจัยที่ตั้งไว้ หรือแตกต่างไปจากผลงานที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และมีพื้นฐานอ้างอิงที่เชื่อถือได้ ผู้นิพนธ์อาจมีข้อเสนอแนะที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือทิ้งประเด็นคำถามการวิจัย ซึ่งเป็นแนวการสำหรับการวิจัยต่อไป

ตาราง รูป ภาพ แผนภูมิ (Table, Figures, and Diagrams) ควรคัดเลือกเฉพาะที่จำเป็น แทรกไว้ในเนื้อเรื่อง โดยเรียงลำดับให้สอดคล้องกับคำอธิบายในเนื้อเรื่อง และมีคำอธิบายเป็นภาษาอังกฤษ ที่สื่อความหมายได้สาระครบถ้วน กรณีที่เป็นตาราง คำอธิบายอยู่ด้านบน ถ้าเป็นรูป ภาพ แผนภูมิ คำอธิบายอยู่ด้านล่าง

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements) ระบุว่างานวิจัยได้รับการสนับสนุนงบประมาณ หรือสนับสนุนด้านอื่นๆ รวมถึงความช่วยเหลือจากองค์กรใดหรือผู้ใดบ้าง

เอกสารอ้างอิง (References) ระบุรายการเอกสารที่นำมาใช้อ้างอิงให้ครบถ้วนไว้ท้ายเรื่อง โดยใช้ APA Style ดังตัวอย่าง สามารถดูรายละเอียดและตัวอย่างเพิ่มเติมได้ที่ www.scjmsu.msu.ac.th

เอกสารอ้างอิงให้เขียนตามรูปแบบ “Publication Manual of the American Psychilogical Association” (7th Edition)

1. หนังสือ (ในรูปแบบรูปเล่ม)

ชื่อ-สกุล. (ปีพิมพ์). *ชื่อเรื่อง (*พิมพ์ครั้งที่). สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง:

วิธาน ฐานะวุฑฒ์. (2547). *หัวใจใหม่-ชีวิตใหม่*. ปิติศึกษา.

2. บทความในวารสารอิเล็กทรอนิกส์

ชื่อ-สกุล. (ปีพิมพ์). ชื่อบทความ. *ชื่อวารสาร*, *เลขของปีที่* (เลขของฉบับที่), เลขหน้า. /https://doi.org/เลขdoi

ตัวอย่าง:

มานะ สินธุวงษานนท์. (2549). ปัจจัยส่งเสริมการจัดการศึกษาที่ส่งผลต่อคุณภาพนักเรียนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. *วารสารครุศาสตร์*, *18* (2), 115-116.

3. รายงานการประชุมเชิงวิชาการ (Proceeding)

ชื่อ-สกุล. (ปี). ชื่อบทความ. ใน/ชื่อบรรณาธิการ (บ.ก.), *ชื่อหัวข้อการประชุม. ชื่อการประชุม* (น. เลขหน้า). ฐานข้อมูล.

ตัวอย่าง:

พัชราภา ตันติชูเวช. (2553). การศึกษาทั่วไปกับคุณลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ในประเทศมาเลเซีย และสิงคโปร์ ศึกษาโดยเปรียบเทียบกับประเทศไทย. ใน ศิริชัย กาญจนวาสี (บ.ก.), *การขับเคลื่อนคุณภาพการศึกษาไทย. การประชุมวิชาการและเผยแพร่ ผลงานวิจัยระดับชาติ (*น. 97-102). คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

4. หนังสือพิมพ์และหนังสือพิมพ์ออนไลน์

ชื่อสกุล. (ปี, /วัน/เดือน). ชื่อคอลัมน์. *ชื่อหนังสือพิมพ์*, เลขหน้า.

ตัวอย่าง:

พงษ์พรรณ บุญเลิศ. (2561, 15 สิงหาคม). เดลินิวส์วาไรตี้: ‘สื่อพิพิธภัณฑ์’ เชื่อม ยุคสมัย เข้าถึงด้วย ‘มิติใหม่’ อินเทรนด์. *เดลินิวส์*, 4.

5. หนังสือ (ในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์)

ชื่อ สกุล. (ปีพิมพ์). *ชื่อเรื่อง (*พิมพ์ครั้งที่). URL

ตัวอย่าง:

กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *หลักสูตรการศึกษาปฐมวัย พุทธศักราช 2560 สำหรับเด็กอายุ ต่ำกว่า 3-5 ปี*. http://drive.google.com/file/d/1HiTwiRh1Er73h VYIMh1cYWzQiaNl_Vc/view

Intruction for Authors

Research manuscripts relevant to subject matters outlined in the objectives are **Accepted** from all institutions and private parties provided they have not been preprinted elsewhere. The context of the papers may be **Revised** as appropriate to the standard. The manuscript must be interesting topic, review knowledge, modern knowledge, and academic comments that are beneficial to readers. The journal publishes 6 issues a year. Vol.1 (January-February) Vol.2 (March-April) Vol.3 (May-June) Vol.4 (July-August) Vol.5 (September-October) Vol.6 (November-December).

Preparation of manuscripts:

1. Manuscripts can be written in either Thai or English with the abstract in both Thai and English. The use of Thai language adheres to the principles of vocabulary, transliteration in English according to the principles of the Royal Society of Thailand. Manuscript should be specific, clear, concise, accurate, and consistent. Mixing Thai and English should be avoided except for the case of necessity, such as academic vocabulary with no translation or mixing words for easier understanding. English vocabulary written in Thai must use all lowercase except for unique names. English language manuscripts should be checked by an English language editor prior to submission.

2. Manuscript should be on A4 standard size paper. Each side must have 1” margins with 2 columns.

3. Browallia New font is required with font size as follows:

3.1 Title of the article: **18 pt. Bold**

3.2 Name (s) of the authors: **16 pt. Unbold**

3.3 Main Heading: **16 pt. Bold**

3.4 Sub-heading: **14 pt. Bold**

3.5 Body of the text: **14 pt. Unbold**

3.6 Footnotes for authors and their affiliations: **12 pt. Unbold**, must be cited at the bottom of the first page. Academic position and corresponding author must be added at footnotes.

4. Manuscripts should be typed in MS word “.doc” and “.pdf” (Portable Document Format)

5. The number of pages are limited to 12 pages, including references, tables, graphs, or pictures.

6. Types of manuscripts: research articles and review articles.

7. Manuscript submission: online submission via www.scjmsu.msu.ac.th.

8. Manuscript with uncorrected format will be sent back to the author before review process which can delay the publication process.

Research article / review article must be in sequence as follows:

Title: denoted in both Thai and English, must be concise and specific to the point, normally less than 100 characters.

Name (s) of the author (s) : denoted with affiliation must be in Thai and English, academic position must be specified, and email address for contact the author.

Abstract: This section of the paper should follow an informative style, concisely covering all the important of findings. The abstract must include objectives, findings, and conclusion. Thai and English abstract is required. The English abstract is restricted to **300 words**. Thai abstract should be relevant to English version.

Keywords: Give 4-5 concise words to specify your article

Introduction: This section is the initial part of the article, contain information about background, reasons, purposes, and review section.

Materials and Methods: A discussion of the materials used, and a description clearly detailing how the experiment was undertaken, e.g., experimental design, data collection and analysis, and interpretation

Results: Present the output. Li the information in complicated, add tables, graphs, diagrams etc., as necessary.

Discussion and Conclusion: Discuss how the results are relevant/oppose to the objective and hypothesis. How the result is different/relevant when comparing to the former findings. Give us your reason why result is like that base on reliable researches. This part should end with suggestions for research utilization or providing questions for future studies.

Tables, figures, diagrams: Selected only necessary objects to insert in the body of manuscript in accordance with the description in the text. The short description is required in English with completely meaningful. For figures and diagrams, the description is below the picture. But, for table, the description is on top of the table.

Acknowledgement: the name of the persons, organization, or funding agencies who helped support the research are acknowledged in this section.

References: listed and referred in APA.

Reference are written in "Publication Manual of the American Psychilogical Association" (7th Edition)

1. Book

Mertens, D.M. (2014). *Research and evaluation in education and psychology: Integrating diversity with quantitative, qualitative, and mixed methods* (4th ed.). SAGE.

2. Academic Journal

Herbst-Damm, K.L., & Kulik, J.A. (2005). Volunteer support, marital status, and the survival times of terminally ill patients. *Health Psychology*, 24, 225-229. https://doi.org/10.1037/0278-6133.24.2.225

3. Conference Proceeding

Katz, I., Gabayan, K., & Aghajan, H. (2007). A multi-touch surface using multiple cameras. In J. Blanc-Talon, W. Philips, D. Popescu, & P. Scheunders (Eds.), *Lecture notes in computer science: Vol. 4678. Advanced concepts for intelligent vision systems* (pp. 97-108). Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74607-2_9

4. Newspaper / Online Newspaper

Brody, J.E. (2007, December 11). Mental reserves keep brain agile. *The New York Times*. http://www.nytimes.com

5. E-book

Dahlberg, G., & Moss, P. (2005). *Ethics and politics in early childhood education*. https://epdf.tips/ethics-and-politics-in-early-childhoodeducation-contesting-early-childhood.html

Mahasarakham University Journal of Science and Technology

Aim and Scope:
The Journal of Science and Technology aims to disseminate of scientific knowledge in the discipline of Mathematics, Science, Technology, Engineering, Agriculture, Medicine, Health Science, Interdisciplinary in science and tehnology. The journal publishes both research article and review article.

Ownership
Mahasarakham University
Editorial Office
Division of Research Facilitation and Dissemination,
Khamriang Sub-distict, Kantharawichai District,
Maha Sarakham Province 44150
Tel & Fax: 0 4375 4416 ext. 1754

Advisors
President of Mahasarakham University
Professor Dr.Visut Baimai
Professor Dr.Vichai Boonsaeng
Professor Dr.Peerasak Srinives

Editor-in-Chief
Professor Dr.Preecha Prathepha

Assistant Editors
Professor Dr.Pairot Pramual
Mahasarakham University
Professor Dr.Sirithon Siriamornpun
Mahasarakham University
Professor Dr.Anongrit Kangrang
Mahasarakham University
Associate Professor Dr.Worapol Aengwanich
Mahasarakham University
Associate Professor Dr.Vallaya Sutthikhum
Mahasarakham University

Editorial Board
Professor Dr.Thaweesakdi Boonkerd
Chulalongkorn University
Professor Dr.La-orsri Sanoamuang
Khon Kaen University
Professor Dr.Pranee Anprung
Chulalongkorn University Professor
Professor Dr.Niwat Sonoamuang
Khon Kaen University
Professor Dr.Wongsa Laohasiriwong
Khon Kaen University
Professor Dr.Kwanjai Kanokmedhakul
Khon Kaen University
Professor Dr.Sirikasem Sirilak
Naresuan University
Associate Professor Dr.Sunan Saikrasun
Mahasarakham University
Associate Professor Dr.Suwanna Boonyaleepun
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Chantana Aromdee
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Boonchong Chawsithiwong
National Institute of Development Administration
Associate Professor Dr.Porntep Tanonkeo
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Narumon Sangpradub
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Orawich Goompol
Mahasarakham University
Associate Professor Dr.Chawalit Boonpok
Mahasarakham University
Associate Professor Terdsak Khammeng
Nakhon Phanom University
Associate Professor Yuen Poovarawan
Kasetsart University
Assistant Professor Dr.Napparat Buddhakala
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assistant Professor Dr.Anucha Pranchana
Ubon Ratchathani Rajabhat University
Assistant Professor Dr.Seckson Sukhasena
Naresuan University
Assistant Professor Dr.Walaiporn Tongjaroenbuengam
Mahasarakham University
Assistant Professor Dr.Alongkorn Lamom
Mahasarakham University
Assistant Professor Dr.Natapol Pumipuntu
Mahasarakham Universsity
Assistant Professor Dr.Somnuk Puangpronpitag
Mahasarakham University
Dr.Rakjinda Wattanalai
Siam University
Dr.Adrian Roderick Plant
Mahasarakham University

Secretary
Chaweewan Akkasesthang

Assistant secretary
Phakwilai Rungwisai
Jirarat Puseerit

Six issues per year
Number 1 January-February
Number 2 March-April
Number 3 May-June
Number 4 July-August
Number 5 September-October
Number 6 November-Decembers