

สารบัญ

❖ บทความรับเชิญ	หน้า
• Inactivation of <i>Staphylococcus aureus</i> in Orange Juice by Pulsed Electric field Technology..... <i>Papol Saryoung Chatchawan Kantala and Panich Intra</i>	1
❖ บทความวิจัย	
• เปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัดสารโรทีโนนจากรากหางไหลโดยใช้สนามไฟฟ้าพัลส์ สุรกานต์ ตาตัน และอรุณ ใสตทิกุล	11
• การปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิตถ่าน ด้วยเตาขนาด 200 ลิตร..... อุตพี สือนิ และพิสิษฐ์ มณีโชติ	21
• การออกแบบและสร้างต้นแบบระบบการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ด้วยสนามไฟฟ้าพัลส์ระดับ อุตสาหกรรม..... ชัชวาลย์ กันทะลา นิตติกร วงศ์จันทร์แก้ว พดุงศักดิ์ รัตนเดโช และพานิช อินต๊ะ	35
• การผลิตน้ำมันดีเซลผสมแบบไม่แยกกลีเซอรินจากน้ำมันพืชเหลือทิ้งสำหรับเครื่องยนต์ สูบน้ำ..... จารุกิตต์ พิมูลนฤตม ภาคิน มณีโชติ เทพ เกื้อทวีกุล และอัมภางค์ บุญศรี	57
• การวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองเชิงมวล PM _{2.5} และ PM ₁₀ ในบรรยากาศด้วยเครื่อง ตรวจวัดฝุ่นละอองไร้สายในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย..... ฐิฎาพร สุภาณี พานิช อินต๊ะ เสริมเกียรติ จอมจันทร์ยอง และเศรษฐ์ สัมภิตตะกุล	65

วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม

บรรณาธิการที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประพัฒน์ เชื้อไทย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

บรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.พานิช อินต๊ะ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

รองบรรณาธิการ

ดร.สุรพล ใจวงศ์ษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศาสตราจารย์ ดร.สนอง เอกสิทธิ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร.นคร ทิพย์วงศ์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ศาสตราจารย์ ดร.ประยุทธ์ อัครเอกผาลิน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ศาสตราจารย์ ดร.พญ.อรพรรณ โพชนุกูล

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

รองศาสตราจารย์ ดร.เศรษฐ์ สัมภิตตะกุล

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รองศาสตราจารย์ ดร.พีระพงศ์ ทิมสกุล

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รองศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร ลัคนทินวงศ์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

รองศาสตราจารย์ ดร.สุมาลี ชัยเจริญ

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ศรีปรัชญานันท์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

รองศาสตราจารย์ ดร.ตระกูลพันธ์ พืชเมธธา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จารุณี ชามาตย์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ดร.ธัญวดี สมใจทวีพร

สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์

ฝ่ายจัดทำ

นางมาลี จินดาแก้ว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

นางสาวลักษณ วชิรนคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

นางประภา สนั่นก้อง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

นายพิศาล หล้าใจ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

นางสาวสุคนธ์ วงศ์หาญ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

นางสาวสรศักดิ์ริกุล พยอมแย้ม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

นางพลอยภิญญา สุภาพรเหมินทร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

นางสาวรัตนา ไชยคต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

นางสาวสุธาสินี ผู้อยู่สุข

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

นางสาวสุพิชฌาย์ ถาวรลิมปะพงศ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

นางสาวณิคมล โพธิ์แก้ว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

Journal of Technology Innovative Research : JITR

Advisory Editor

Asst. Prof. Prapat Chueathai RMUTL

Editor

Assoc. Prof. Panich Intra RMUTL

Associate Editor

Ph.D. Suraphon Chaiwongsar RMUTL

Assistant Editor

Director of Research and Development Institute RMUTL

Editorial Board

Prof. Phadongsak Rantanadecho	TU
Prof. Sanong Ekgasit	CU
Prof. Nakorn Tipayawong	CMU
Prof. Prayoot Akkaraekthalin	KMUTNB
Prof. Orapan Poachanukoon	TU
Assoc. Prof. Sate Sampattagul	CMU
Assoc. Prof. Perapong Tekasakul	PSU
Assoc. Prof. Voraphat Luckanatrivong	TU
Assoc. Prof. Sumalee Chaijaroen	KKU
Assoc. Prof. Montri Siripruchyanun	KMUTNB
Assoc. Prof. Tragoonphan Patcharametha	RMUTL
Asst. Prof. Charuni Samat	KKU
Ph.D. Tunyawat Somjaitaweeporn	PIM

Coordinators

Mrs. Malee Jindakaew	RMUTL
Mrs. Saowalak Wachiranakorn	RMUTL
Mrs. Prapa Sanankog	RMUTL
Mr. Phisal Hlajai	RMUTL
Miss Sukhon Wongharn	RMUTL
Miss Sansirikul payompaem	RMUTL
Mrs. Ploypinya Supapornhemin	RMUTL
Miss Rattana Chaiyakot	RMUTL
Miss Sutasinee Puyusuk	RMUTL
Miss Suphitcha Thawornlimphong	RMUTL
Miss Nichkamol Phokaew	RMUTL

วัตถุประสงค์

เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการทางด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรม ประกอบด้วย ด้านเทคโนโลยีนวัตกรรมต่าง ๆ ดังนี้ ด้านอาหาร เกษตร และเทคโนโลยีชีวภาพ ด้านเทคโนโลยีทางการแพทย์และสุขภาพ ด้านวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม ด้านศิลปกรรมและสถาปัตยกรรมศาสตร์

กำหนดออกวารสาร

- ❖ ปีละ 2 ฉบับ
- ❖ ฉบับที่ 1 กรกฎาคม – ธันวาคม
- ❖ ฉบับที่ 2 มกราคม – มิถุนายน ของปีถัดไป

สำนักงานกองบรรณาธิการ

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
เลขที่ 98 หมู่ที่ 8 ตำบลป่าป้อง อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ 50220
โทรศัพท์ +66 532 665 18 ต่อ 1025
โทรสาร +66 532 665 22

Objective

For disseminate contributions in technology and innovation academic work in the fields of Food Technology, Agriculture Technology, Biotechnology, Medical and Health Technology, Engineering, Energy and Environment, and Fine Arts and Architecture.

Biannual Publication :

Two issues per year (July – December and January – June on next year)

Office :

Research and Development Institute Rajamangala University of Technology Lanna
98 Moo 8 Papong, Doi Saket District, Chiang Mai, Thailand 50220
Tel. +66 532 665 18 # 1025
Fax +66 532 665 22

สารจากอธิการบดี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เป็นสถาบันอุดมศึกษาที่ให้ความสำคัญกับการทำวิจัยและบริการวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแก่สังคมและชุมชน และสนับสนุนในการจัดทำวารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม เพื่อส่งเสริมให้น้องคณาจารย์ด้านเทคโนโลยีนวัตกรรมไปเผยแพร่ และสามารถต่อยอดให้เกิดประโยชน์ต่อชุมชนและสังคม สู่การพัฒนาที่ยั่งยืนในอนาคต

ในปัจจุบันประเทศไทยต้องการนวัตกรรม ซึ่งไม่เฉพาะในนวัตกรรมเทคโนโลยีเท่านั้น แต่นวัตกรรมได้แทรกอยู่ในทุกมิติของทุกสาขาอาชีพ ทุกด้านขององค์ประกอบของสังคมและในชีวิตประจำวัน ทั้งในด้านการแพทย์ เศรษฐกิจ การศึกษา ฯลฯ เพื่อเปลี่ยนสภาพที่เคยเป็นอยู่ไปสู่สภาพที่อยากเป็น โดยการสร้างนวัตกรรมหรือนำนวัตกรรมมาใช้จะเกิดผลกระทบทั้งด้านดีและไม่ดีเสมอ เพราะฉะนั้นเราต้องมีการจัดการที่มองผลกระทบให้รอบด้าน เพื่อจะได้ใช้ประโยชน์จากนวัตกรรมให้เกิดประสิทธิภาพอย่างสูงสุด

ในนามมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน ที่ได้ร่วมกันจัดทำวารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม จนเกิดองค์ความรู้ใหม่ ซึ่งเป็นกลไกการพัฒนาความรู้ทางเทคโนโลยีนวัตกรรม และรองรับไทยแลนด์ 4.0 ต่อไป



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประพัฒน์ เชื้อไทย
รักษาราชการแทนอธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

บรรณาธิการ

วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม (Journal of Innovative Technology Research : JITR) ฉบับนี้ เป็นวารสารวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ขับเคลื่อนโดยสถาบันวิจัยและพัฒนา เล่ม 2 ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2561

การพัฒนาความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมเป็นกลไกสำคัญในการยกระดับศักยภาพการแข่งขันของประเทศ และยังเป็นโครงสร้างพื้นฐานในการสนับสนุนการพัฒนาเศรษฐกิจอย่างยั่งยืน สำหรับบทความที่ตีพิมพ์ในวารสารฉบับนี้นั้น มีด้วยกัน 6 บทความ ในด้านวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม โดยได้รับเกียรติจากผู้ทรงคุณวุฒิ ได้ร่วมนำบทความลงตีพิมพ์ในฉบับนี้ด้วย

สุดท้ายนี้ กองบรรณาธิการวารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม ขอเชิญชวนคณาจารย์ บุคลากร นักวิจัยบัณฑิตศึกษา และนักวิชาการจากทุกภาคส่วน ส่งบทความต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นบทความวิจัย หรือบทความวิชาการ เพื่อให้วารสารเล่มนี้ได้รับการยกระดับคุณภาพต่อไปในอนาคต และขอขอบคุณผู้เขียนทุกท่านที่แบ่งปันผลงานที่ดีมาตีพิมพ์เผยแพร่



รองศาสตราจารย์ ดร.พานิช อินตะ
บรรณาธิการวารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม

วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม (Journal of Innovative Technology Research : JITR)

วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม เป็นวารสารพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิชาการทางด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรมของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา รวมทั้งสถาบันและหน่วยงานอื่นๆ ทั่วประเทศ ซึ่งจัดพิมพ์เป็นราย 6 เดือน โดยจำแนกเป็นปีละ 2 ฉบับ ดังนี้ ฉบับที่ 1 เดือน กรกฎาคม – ธันวาคม และ ฉบับที่ 2 เดือน มกราคม – มิถุนายน ของปีถัดไป ประกอบด้วยด้านเทคโนโลยีนวัตกรรมต่างๆ ได้แก่ (1.) ด้านอาหาร เกษตร และเทคโนโลยีชีวภาพ (2.) ด้านเทคโนโลยีทางการแพทย์และสุขภาพ (3.) ด้านวิศวกรรม พลังงานและสิ่งแวดล้อม (4.) ด้านศิลปกรรมและสถาปัตยกรรมศาสตร์

ข้อแนะนำทั่วไป

- บทความในวารสารวิจัยนี้ต้องไม่เคยเผยแพร่ในวารสาร รายงานหรือ สิ่งพิมพ์อื่นใดมาก่อน และไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่น
- ต้นฉบับจะต้องได้รับการกลั่นกรอง ตรวจสอบเชิงวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิก่อนการตีพิมพ์
- ส่งทางระบบวารสารออนไลน์ วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม

ประเภทของบทความที่ตีพิมพ์

1. บทความวิจัย (Research article) เป็นบทความที่ได้จากงานวิจัย

2. บทความวิชาการ (Academic articles) เป็นบทความที่มีลักษณะ ดังนี้

2.1 Literature Review เป็นบทความจากการทบทวนเอกสาร ซึ่งเป็นผลมาจากการวิจัยหลายๆ ครั้ง ถือเป็นบทความที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง

2.2 Technical Paper เป็นบทความนำเสนอกระบวนการในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ การทดสอบภาคสนาม รวมไปถึงเทคนิคการวิเคราะห์ใหม่ๆ

2.3 Professional Practice เป็นบทความที่มาจากประสบการณ์ หรือความชำนาญของผู้เขียน

2.4 Policy Paper เป็นบทความเกี่ยวกับนโยบายด้านต่าง ๆ ของหน่วยงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานภายหลังรับต้นฉบับ

1. ขอความยินยอมการได้รับบทความหรือสิ่งตีพิมพ์ (ต้นฉบับ) ทางอีเมล

2. กองบรรณาธิการวารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม ตรวจสอบบทความเบื้องต้น และให้ผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบบทความแล้วหากพบว่าเนื้อหายังไม่สมบูรณ์ ไม่ผ่านการพิจารณาของผู้ทรงคุณวุฒิทางวารสาร จะแจ้งทางอีเมล ส่วนบทความที่สามารถปรับปรุงแก้ไขได้ ทางวารสาร จะแจ้งสิ่งที่ต้องปรับ แก้ไขให้เจ้าของบทความทราบเพื่อทำการแก้ไขต่อไป การแก้ไขนี้อาจทำได้ 2 ครั้ง จนกว่าบทความจะมีความสมบูรณ์ได้มาตรฐานและผู้ทรงคุณวุฒิยินยอมให้ลงตีพิมพ์ได้

3. บทความที่ผ่านผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ยืนยันให้ตีพิมพ์ได้แล้ว จะเข้าสู่การพิจารณาโดยกองบรรณาธิการวารสารเป็นขั้นสุดท้าย บทความบางเรื่องอาจไม่ได้รับการพิจารณาในขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งผลการพิจารณาของกองบรรณาธิการวารสาร ถือเป็นขั้นสิ้นสุด

4. แจ้งกำหนดการตีพิมพ์ให้เจ้าของผลงานทราบทางอีเมล

การส่งต้นฉบับ ส่งแฟ้มข้อมูลบทความนามสกุล .doc ผ่านช่องทางอีเมล jitr.rmutl@gmail.com

เว็บไซต์ URL: jitr.rmutl.ac.th

INACTIVATION OF STAPHYLOCOCCUS AUREUS IN ORANGE JUICE BY PULSED ELECTRIC FIELD TECHNOLOGY

³PAPOL SARDYOUNG, ²CHATCHAWAN KANTALA, ¹PANICH INTRA

¹Research Unit of Applied Electric Field in Engineering (RUEE), College of Integrated Science and Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai 50220, Thailand

²Center of Excellence in Electromagnetic Energy Utilization in Engineering (CEEE), Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University, Pathum Thani 12121, Thailand

³Department Electrical Technology Industrial, Faculty Technology Industrial, Thepsatri Rajabhat University, Naraymarharaj road, Talachupchorn, Lopburi 15000, Thailand

Received: October 2017 Accepted: November 2017 Published online: March 2018

© 2018 Rajamangala University of Technology Lanna. All Right Reserved.

Abstract

Abstract: The inactivation of *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) in orange juice by pulsed electric field processing was experimentally investigated and compared with orange juice treated by thermal processing in this paper. The experiments were carried out by the total plate count method for the electric field strengths between 20 and 40 kV/cm and number of pulses between 10 and 50. In this study, the spectrophotometric colorimeter was used to evaluate the quality of orange juice. It was showed that both PEF and thermal treatments reduced the population of the *S. aureus* inoculated in orange juice. No viable cells were observed after thermal processing of orange juice whereas PEF treatment achieved 5 logarithmic cycle reductions of the microbial viability at the electric field strength up to 30 kV/cm and the pulse numbers of about 20 pulses. Finally, the CIE, DE, pH, Viscosity and TSS (oBrix) values of untreated orange juice (control) and orange juices treated by PEF and thermal processes was also not an important difference regarding quality.

Keywords: Pulsed electric field, Microorganisms, Pasteurization, Orange Juice.

*E-mail: ¹panich.intra@rmul.ac.th, ²chatchawan.kantala@gmail.com, ³papolaj@gmail.com

1. INTRODUCTION

Orange juice is the dominant juice manufactured in the beverage processing industry worldwide. Conventional preservation methods such as thermal pasteurization ensures safety and extends the shelf life of orange juice, but it often leads to detrimental changes in the sensory qualities of the food product. High quality foods that are nutritious, with freshly prepared flavour, texture and color, with minimal or no chemical preservatives, and above all safe, were required by consumers ^[1-2]. Therefore, newly developed food technologies usually focus on preservation while keeping food quality attributes. A non-thermal pasteurization by pulsed electric field (PEF) processing has already been demonstrated. It can alternatively be applied to deliver safe and shelf-stable products such as juices, milk, yogurt, soups and liquid eggs with fresh-like character, high nutritional value and minimal or no chemical preservatives ^[3].

PEF pasteurization process applies micro-second (s) high voltage pulses, producing high electric field strength (> 20 kV/cm) between two electrodes. Pulses can be applied to food products at temperatures below thermal pasteurization and can inactivate contaminating microorganisms without significantly affecting the quality of the food product ^[3-4]. This process is known as electroporation phenomena and is effective in the inactivation of microorganisms ^[5-6]. In the past several decades, there have been numerous

research studies and developments on the PEF processing system for microorganisms inactivation of the food juice products ^[5-8].

Generally, PEF processing system consists of a high-voltage power source, an energy storage capacitor bank, a charging resistor, a discharge switch, a pulse controller, and a treatment chamber. Electrical energy from the power supply was collected in the capacitor and is then discharged through the treatment chamber to generate the electric field strengths in the food product. The survival rate of number of microorganisms in the food product treated by PEF processing depends on process parameters including electric field strength, total treatment time, pulse width and pulse waveform, and conductivity of food ^[6]. It is known that electric field strength and number of pulses (treatment time) were the major factors determining microorganisms inactivation in PEF processing ^[9]. In this paper, we demonstrate the inactivation of endogenous microorganisms (*Staphylococcus aureus*) in orange juice was experimentally investigated.

Staphylococcus aureus is well known that a gram positive bacteria of chief concern as a food contaminant because of its ability to grow in a wide variety of foods and produce an exotoxin. The exotoxin induces gastroenteritis on the ingestion of food contaminated with *S. aureus*. Also, the quality of orange juice by pulsed electric field processing was compared with that of orange juice by thermally processing.

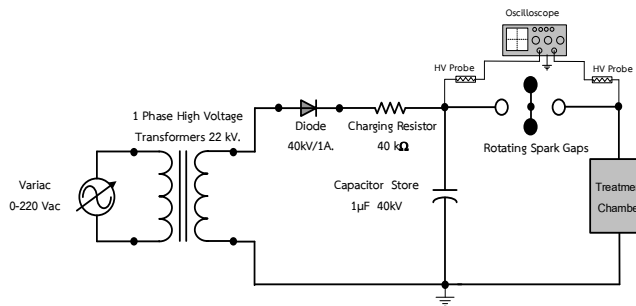


Fig.1. The PEF processing system developed by Panyamuangjai *et al.* [8]

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Mechanisms of Inactivation by PEF

Electroporation, or electro permeabilization, is the phenomenon by which the permeability of the cell membrane to ions and macromolecules is increased by exposing the cell to short high electric field pulses, allowing chemicals, drugs, or DNA to be introduced into the cell. Under the electroporation phenomena, a transmembrane potential, $U(t)$, is developed across the cell membrane in the direction of an applied electric field strength, E , is given as follows [3]

$$U(t) = 1.5rE \quad (1)$$

where r is the radius of the cell, and E is the applied electric field strength. When the transmembrane potential reached around 1 V, The lysis of the cell resulting from loss of membrane integrity was occurred. This value was termed the breakdown transmembrane potential.

A mathematical model for the survival rate, s , ratio of number of microorganisms present in the food after treatment and initial number of

microorganisms present before the treatment, as a function of electric field strength, E , and treatment time, t , is given by [4]

$$s = \left(\frac{t}{t_c} \right)^{-(E-E_c)/k} \quad (2)$$

where t is the treatment time, which is the product of number of pulses and pulse width, t_c is the critical treatment time, which is a threshold value above which inactivation occurs, E is the electric field strength, E_c is the critical electric field strength, which is a threshold value above which inactivation occurs (kV/cm), and k is the specific constant for a microorganism. Taking the logarithms to base 10 on both sides of Equation 2 gives us the following:

$$-\log(s) = \frac{(E-E_c)}{k} \log \left(\frac{t}{t_c} \right) \quad (3)$$

The left- hand side of the above equation is commonly referred to as the inactivation ratio or log reduction.

Table1: Ranges and values of variables investigated.

Variable	Range
Pulse width	10 s
Pulse frequency	1 Hz
Number of pulses	10, 20, 30, 40 and 50
Pulse voltage	10, 15 and 20 kV
Electric field strength	20, 30 and 40 kV/cm

2.2. Description of a PEF Processing System

The major components of the PEF processing system for microorganisms inactivation of orange juice developed in this study. It consists of an AC power input, a rectifier circuit, a DC high voltage power, an energy storage capacitor, a pulse controller to control number and frequency of pulse, a discharge switch to discharge energy from the energy storage capacitor across the food juice, and a treatment chamber. The schematic diagram of the PEF processing system developed by Panyamuangjai *et al.* [8] is shown in Fig. 1. A DC high voltage power in this study, step-up AC voltage from a utility line, 220 V, into 22 kV by the 22 kV, 33 kV high voltage power transformer, and then rectifies AC high voltage into DC high voltage of about 22 kV by a simple-half wave rectifier, a 40 kV, 1 A power diode was used. The energy from the DC high voltage power is stored in the energy storage capacitor, 1 μ F/ 40 kV, via the charging resistor and is discharged through the treatment chamber by the discharge switch for generating an electric field strength of about 20 to 40 kV/cm in the food material with monopolar exponential decaying pulse that causes microbial inactivation by the electroporation phenomena.

2.2. Experimental

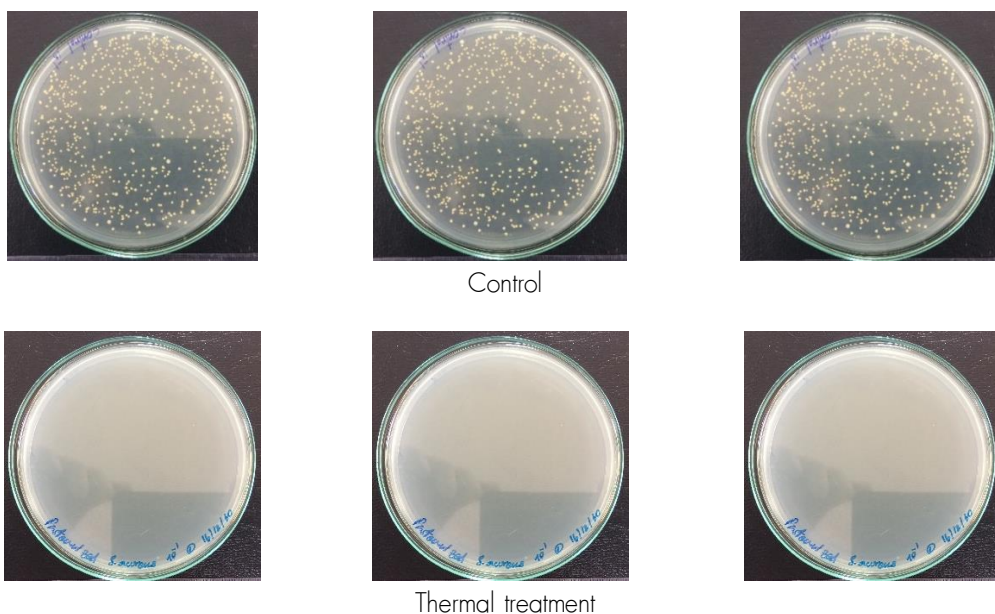
The purpose of the microorganisms inactivation and quality of orange juice studies was to examine how many of microorganisms of orange juice could be inactivated by PEF and thermal treatments. For microorganisms inactivation study, a high microorganisms load was required in orange juice. In this study, *Staphylococcus aureus* (S. aureus, TISTR 2329) were purchased from the Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR). The fresh oranges were purchased at local supermarket.

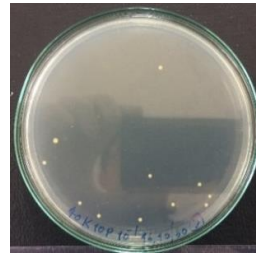
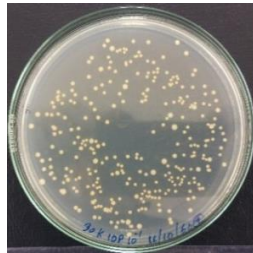
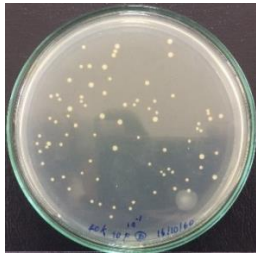
The oranges were orange honey with a screw-type juice extractor and the juice was filtered with cheese cloth and stored at 4 °C prior to treatment. Before PEF treatment, 18 mL of each incubated culture was inoculated into 1,000 mL of oranges juice for a final concentration of approximately 10^5 colony-forming units (CFU)/mL of microorganisms at 4 °C and held at 37 °C for 12 hr in order to acclimate cells prior to PEF treatment. For number of viable cells before and after PEF treatment, the total plate count method using nonselective growth medium (nutrient agar) was performed at 37 °C for 24 hr to count the initial and surviving number of viable cells in PEF treatment, thermal treatment and control orange juices. For PEF treatment, electric field strengths of about 20, 30 and 40 kV/cm corresponding to the pulse voltage of about 10, 15

and 20 kV, respectively, and pulse numbers of 10, 20, 30, 40 and 50 pulses were used. Pulse duration time and frequency (number of pulses per s) were set at 10 s and 1 Hz. For thermal treatment, orange juice was held at 70 °C for 30 s and then was cooled with cold water from a cooler to 25 °C. Table 1 shows the ranges and values of variables investigated. In this study, Hunter Lab Scan Spectrophotometric colorimeter (HunterLab model ColorQuest XE, USA) controlled by a computer that calculated color ordinates from the reflectance spectrum was used to measure the CIE (Commission Internationale l'Eclairage) values, classifies color in three dimensions; L^* , brightness, a^* , red to green color and b^* , yellow to blue color. Wavelength range of this spectrophotometer was about 400 – 700 nm. Three replications of this experiment were performed.

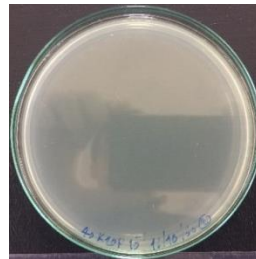
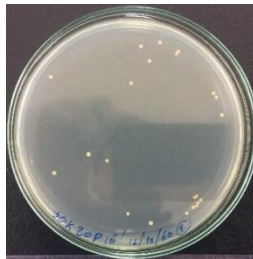
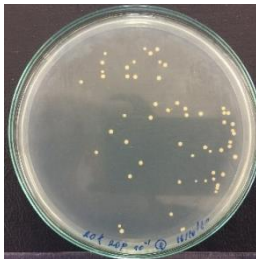
3. RESULTS AND DISCUSSION

The experimental study of the micro-organisms inactivation by PEF treatment was carried out for the electric field strengths between 20 and 40 kV/cm and the pulse numbers between 10 and 50. Fig.2 shows *S. aureus* on nutrient agar after PEF treatment compared to control sample at electric field strengths of about 20, 30 and 40 kV/cm for pulse numbers of 10, 20, 30, 40 and 50 pulses, respectively. As shown in Fig. 5, an increase in the electric field strengths and the number of pulses rise to an increase in the inactivation of microorganisms. It was observed that no viable cells after PEF treatment of orange juice at the electric field strength up to about 30 kV/cm and the pulse numbers up to about 20 pulses.

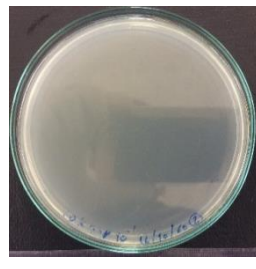
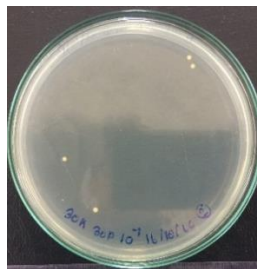
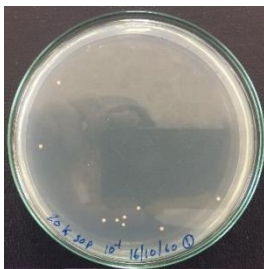




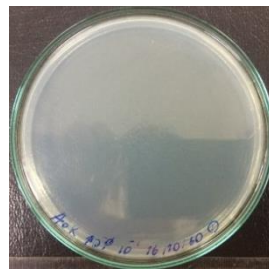
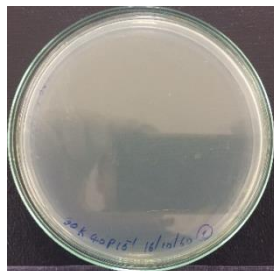
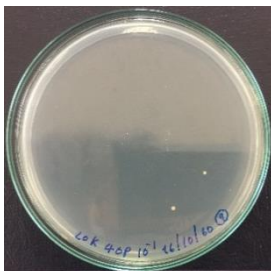
10 Pulses



20 Pulses



30 Pulses



40 Pulses

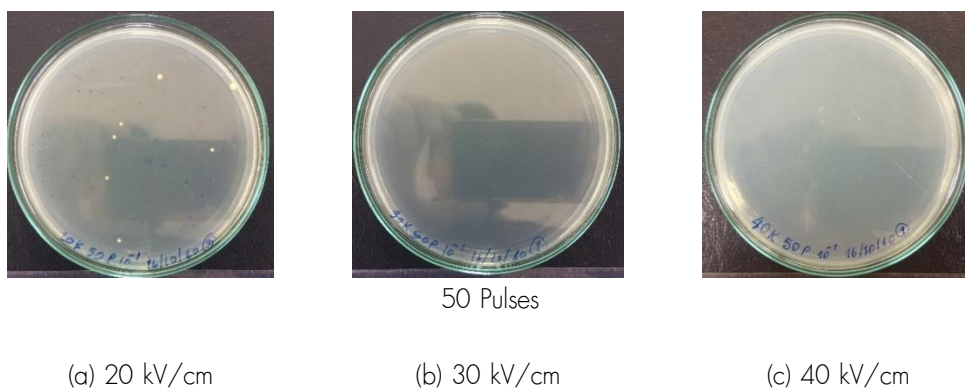


Fig.2. *S. aureus* on nutrient agar after thermal and PEF treatments compared to control sample at electric field strengths of about 20, 30 and 40 kV/cm for pulse numbers of 10, 20, 30, 40 and 50 pulses.

Table2: Variations in log cycle reduction of *S. aureus* with number of pulses at different electric field strengths.

Number of pulses	Log cycle reduction, CFU/mL		
	20 kV/cm	30 kV/cm	40 kV/cm
10	5.924	5.924	5.923
20	5.921	5.923	5.924
30	5.923	5.924	5.924
40	5.924	5.924	5.924
50	5.923	5.924	5.924

Table3: CIE, DE, pH, Viscosity and TSS values of orange juices treated by PEF and thermal.

	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	DE Value	pH	Viscosity (cP)	TSS (Brix)
Control	38.66	6.87	18.80	64.33	4.25	13.3	10
Thermal treatment	39.21	6.09	17.02	62.32	3.49	13.3	10
PEF treatment	20 kV/cm	38.67	7.06	16.28	62.01	3.45	13.3
	30 kV/cm	38.87	5.96	16.63	61.46	3.41	13.3
	40 kV/cm	38.90	6.92	16.14	61.96	3.44	13.3

Table 2 shows the variations in log cycle reduction with number of pulses at different electric field strengths. Higher electric field strengths were found to have higher log cycle reductions of microorganisms. At the same electric field strength, the log cycle reductions increased with increasing the number of pulses. At electric field strength of 20 kV/cm, the log cycle reductions of the microorganisms were achieved about 3.7, 4.0, 4.1, 4.5 and 4.3 CFU/mL for number of pulses of 10, 20, 30, 40 and 50 pulses, respectively. At electric field strength of 30 kV/cm, the log cycle reductions of the microorganisms were achieved about 4.9, 4.9, 5.0, 5.0 and 5.0 CFU/mL for number of pulses of 10, 20, 30, 40 and 50 pulses, respectively. At electric field strength of 40 kV/cm, the log cycle reductions of the microorganisms were achieved about 4.9, 5.0, 5.0, 5.0 and 5.0 CFU/mL for number of pulses of 10, 20, 30, 40 and 50 pulses, respectively. This study showed that the PEF treatment achieved 5 log cycle reductions of the microbial viability at the electric field strength larger than 30 kV/cm and the pulse numbers larger than 20 pulses.

Table 3 shows the CIE, DE, pH, Viscosity and TSS (°Brix) values of untreated orange juice (control) and orange juices treated by PEF and thermal processes. In the orange juice treated by PEF and thermal processes, L^* value is higher than the untreated orange juice, showing statistically significant differences. It was showed that a^* and b^* values decrease on the juice treated by PEF and thermal treatments with regard to a^* and b^* values of the untreated juice. There is a statistically

significant decrease of the DE and pH values with regard to the DE and pH values of the untreated juice after PEF and thermal treatments, although it is not an important difference regarding quality. The viscosity and TSS values of the PEF and thermal treatments of orange juice do not present significant differences in the viscosity and TSS values in untreated juice. These results agree the ones described by Corts *et al.*^[2] after applying PEF treatments for the orange juice.

CONCLUSIONS

In this study, the inactivation of microorganisms (*S. aureus*) in orange juice was experimentally investigated by the total plate count method for the electric field strengths between 20 and 40 kV/cm and the pulse numbers between 10 and 50, respectively. The quality of PEF processed orange juice and thermally processed orange juice was also compared. Spectrophotometric colorimeter was used to measure the CIE values in this study. Both PEF and thermal treatments reduced the population of the *S. Aureus* inoculated in orange juice. No viable cells were observed after thermal processing of orange juice whereas PEF treatment achieved 5 logarithmic reductions of the microbial viability at the electric field strength up to 30 kV/cm and the pulse numbers of about 20 pulses. Finally, an important difference regarding quality was not found in the CIE, DE, pH, Viscosity and TSS (°Brix) values of untreated orange juice (control) and orange juices treated by PEF and thermal processes.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors gratefully acknowledge the National Science and Technology Development Agency (NSTDA) for the financial support, research contract no. P-15-51038.

REFERENCES

1. M. M. Chan and C. Kane-Martinelli, "The effect of color on perceived flavor intensity and acceptance of foods by young adults and elderly adult", *Journal of the American Dietetic Association*, 97, 657 – 659, 1997.
2. C. Corts, M. J. Esteve and A. Frgola, "Color of orange juice treated by high intensity pulsed electric fields during refrigerated storage and comparison with pasteurized juice", *Food Control*, 19 (2), 151 – 158, 2008.
3. A. J. H. Sale and W. A. Hamilton, "Effects of high electric fields on microorganisms. III. Lysis of erythrocytes and protoplasts", *Biochimica et Biophysica Acta*, 163, 37 – 43, 1968.
4. H. Hulsheger, J. Potel and E. G. Niemann, "Killing of bacteria with electric pulses of high field strength", *Radiation and Environmental Biophysics*, 20, 53 – 65, 1981.
5. G. V. Barbosa-cánovas, U. R. Pothakamury, E. Palou and B. G. Swanson, *Non-thermal Preservation of Food*, Marcel Dekker, Inc., New York, 1998.
6. S. Jeyamkondan, D. S. Jayas and R. A. Holley, "Pulsed electric field processing of foods: A review", *Journal of Food Protection*, 62, 1088 – 1096, 1999.
7. P. Intra, P. Manopian, C. Pengmanee, A. Yawootti, V. Asanavijit and N. Somsri, "Inactivation of *E. coli* for milktea pasteurization by pulsed electric field", *Journal of KMUTNB*, 25, 425 – 437, 2015.
8. V. Panyamuangjai, S. Janthara, R. Kusuya, A. Yawootti and P. Intra, "Application of pulsed electric field for milk pasteurization", *KMUTT Research and Development Journal*, 35 (4), 469 – 484, 2012.
9. P. Sardyoung, C. Singkat, P. Thongbai, O. Sriyod, A. Yawootti and P. Intra, "Effect of electric field strength on quality of milk tea in pulsed electric field disinfection process", *Journal of KMUTNB*, 27 (2), 265 - 279, 2017.

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัดสารโรทีโนนจากรากหางไหลโดยใช้สนามไฟฟ้าพัลส์ สุรกันต์ ตาตัน¹ และ อรุณ ไสตติกุล²

สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

รับเมื่อ ตุลาคม 2560 ตอบรับเมื่อ ธันวาคม 2560 เผยแพร่ออนไลน์ มีนาคม 2561

© 2018 Rajamangala University of Technology Lanna. All Right Reserved.

บทคัดย่อ

การผลิตรากหางไหลด้วยวิธีการปลูกแบบไร้ดิน สามารถให้ปริมาณผลผลิตรากสดถึง 136.17 กรัม/ต้น มากกว่าการปลูกในดินผสม ที่ 51.33 กรัม/ต้น ช่วงระยะเวลาในการปลูก 7 เดือน และจากการตรวจหาปริมาณสารโรทีโนนที่มีอยู่ในรากด้วยเครื่อง HPLC พบว่ารากหางไหลที่ได้จากการปลูกในดินผสมมีสารโรทีโนนอยู่ 0.048 มิลลิกรัม/ลิตร สูงกว่าวิธีการปลูกแบบไร้ดิน ที่ 0.02 มิลลิกรัม/ลิตร และผลจากการนำสนามไฟฟ้าพัลส์มาใช้เพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดสารโรทีโนนจากรากหางไหล เพิ่มเติมจากวิธีการสกัดด้วยน้ำเปล่าเพียงอย่างเดียว และวิธีการสกัดด้วยน้ำเปล่าร่วมกับแอลกอฮอล์ 95 โดยที่ค่าของสนามไฟฟ้าเท่ากับ 4.7 กิโลโวลต์/เซนติเมตร ใช้เวลา 30 นาที พบว่าตัวอย่างรากหางไหลที่สกัดด้วยน้ำเปล่าเพียงอย่างเดียวภายหลังใช้สนามไฟฟ้าพัลส์มีค่าโรทีโนนเพิ่มขึ้นเป็น 479.41 มิลลิกรัม/ลิตร จากเดิมที่ 200.96 มิลลิกรัม/ลิตร และตัวอย่างรากหางไหลที่สกัดด้วยน้ำเปล่าร่วมกับแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ ภายหลังใช้สนามไฟฟ้าพัลส์มีปริมาณโรทีโนนอยู่ที่ 567.350 มิลลิกรัม/ลิตร จากเดิมที่ 451.73 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งตัวอย่างรากหางไหลที่ผ่านการสกัดเพิ่มเติมด้วยสนามไฟฟ้าพัลส์จะมีปริมาณโรทีโนนเพิ่มขึ้น ทั้งนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดสารจากรากหางไหลได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับนำไปใช้ป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช

คำหลัก : รากหางไหล สารสกัดจากรากหางไหล โรทีโนน สนามไฟฟ้าพัลส์

*อีเมล: surakan.tatun@gmail.com โทรศัพท์ 054 342553

Comparative Performance Study of Extracted Rotenone from Derris Root using Pulsed Electric Field

Surakan Tatun¹ and Aroon Sottikul²

Agricultural Technology Research Institute, RMUT., Lampang, Thailand

Received: October 2017 Accepted: November 2017 Published online: March 2018

© 2018 Rajamangala University of Technology Lanna. All Right Reserved.

Abstract

Derris root production with hydroponic method for 7 months yielded 136.17 g. of fresh root/plant which was higher than that growing in mix soil at 51.33 g. of fresh root/plant. After examining amount of rotenone in the root with HPLC, it was found that derris root growing in mix soil contained rotenone 0.048 mg/L which was higher than that growing with hydroponic method at 0.02 mg/L. Furthermore, results of using of high voltage in a form of pulsed electric field (4.7 kV/cm) for 30 minutes, instead of using water only and water with alcohol 95%, to enhance efficiency of rotenone extraction from derris root illustrated that the sample of derris root extracted with water had higher rotenone, increased to 479.41 mg/L from 200.96 mg/L. Amount of rotenone in the sample of derris root extracted with water with alcohol 95% increased to 567.350 mg/L from 451.73 mg/L after using pulsed electric field. It was obvious that the extracted derris root from pulsed electric field contained higher rotenone. This would enhance the efficiency of derris root extraction efficiently for pest control.

Keywords: Derris Root, Derris Root Extract, Rotenone, Pulsed Electric Field

*E-mail: surakan.tatun@gmail.com Tel. 054 342553

1. บทนำ

หางไหล มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Derris elliptica* Benth เป็นพืชที่จัดอยู่ในวงศ์ PAPILONACEAE เป็นไม้เลื้อยเนื้อแข็งเจริญงอกงามในป่าชื้นและตามชายฝั่งแม่น้ำลำคลองทั่วไป มีศักยภาพทางด้านการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชได้หลายชนิด^[1] เช่น เพลี้ยอ่อน เพลี้ยไฟ ดั๋งปีกแข็ง และหนอนผีเสื้อในพืชผักผลไม้ชนิดต่างๆ สำหรับส่วนของต้นหางไหลที่นำมาใช้ประโยชน์ คือ ในส่วนของราก ซึ่งรากของต้นหางไหลมีสารสำคัญในการออกฤทธิ์ คือ สารโรทีโนน (Rotenone) มีประมาณ 3-10 เปอร์เซ็นต์ โรทีโนนจัดอยู่ในกลุ่มของ isoflavonoids มีกลไกในการออกฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการหายใจของแมลงศัตรูพืช โดยโรทีโนนเข้าไปรบกวนการเคลื่อนย้าย Electron ในขบวนการสร้างพลังงานในไมโทคอนเดรีย^[2] ทำให้แมลงศัตรูพืชเกิดอาการกระวนกระวาย กล้ามเนื้อกระตุก เสียสมดุลของร่างกายและตายในที่สุด โรทีโนนเป็นสารที่เสื่อมสลายได้ไวในสภาวะปกติ ซึ่งอินทรีย์วัตถุในดินจะเป็นตัวดูดซับสารโรทีโนน และสลายตัวเป็นสารไม่มีพิษ^[3] สำหรับความเข้มข้นของสารโรทีโนนที่ปลอดภัยสำหรับบริโภคสามารถตกค้างได้ไม่เกิน 10 ppm^[4] และมาตรฐานทางยุโรปกำหนดให้มีสารโรทีโนนตกค้างอยู่บนผลผลิตได้อยู่ในช่วง 0.04-0.1 mg/kg^[5]

การสกัดสารโรทีโนนจากรากหางไหลนั้น ส่วนใหญ่นิยมใช้อยู่ 2 วิธี ได้แก่ การสกัดด้วยเอทานอล วิธีการนี้ไม่ยุ่งยากแต่มีต้นทุนในการสกัดสูง เนื่องจากเอทานอลที่ใช้สกัดมีราคาแพง และการนำไปใช้ต้องเจือจางด้วยน้ำ ซึ่งทำให้ปริมาณโรทีโนนมีความเข้มข้นต่ำ มีประสิทธิภาพในการศัตรูพืชบางชนิดลดลง ส่วนวิธีการสกัดด้วยน้ำเป็นอีกวิธีการที่มีต้นทุนต่ำ โดยการนำรากหางไหลมาทุบให้แตกละเอียดในปริมาณ 200 - 300 กรัม ต่อน้ำ 10 - 15 ลิตร แช่ไว้ 24 ชั่วโมง จึงนำไปใช้กำจัดศัตรูพืช วิธีนี้เกษตรกรสามารถทำได้ด้วยตนเอง แต่เนื่องจากรากหางไหลมีราคาแพงและใช้เวลานานในการผลิตราก ดังนั้นควรควรหาวิธีการสกัดด้วยวิธีอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น การสกัดด้วยไฟฟ้า ในรูปของสนามไฟฟ้าพัลส์ (Pulsed Electric Field) เพื่อให้สารโรทีโนนที่มีอยู่ในราก ถูกสกัดออกมาในปริมาณที่มากขึ้น การสกัดสารจากพืชด้วยสนามไฟฟ้าพัลส์ เป็นเทคนิคการให้กระแสไฟฟ้าที่มีความเข้มข้นของสนามไฟฟ้าสูง มีลักษณะเป็นจังหวะ (Pulse) แก่ตัวอย่างพืช โดยผ่านขั้วอิเล็กโทรดในช่วงเวลาสั้นๆ คือการให้สนามไฟฟ้าผ่านขั้วอิเล็กโทรดที่สัมผัสกับตัวอย่างพืช เกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดประจุไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์ เมื่อมีการสะสมประจุ



(ก) ต้นหางไหล



(ข) รากหางไหล

ภาพที่ 1 ต้นหางไหลและรากหางไหล

ไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์จนทำให้มีค่าความเข้มสนามไฟฟ้ามากกว่าค่าความเข้มสนามไฟฟ้าวิกฤต จึงส่งผลทำให้เกิดการแตกของเยื่อหุ้มเซลล์^[6] ซึ่งจะใช้เวลาสั้นมากและทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Electroporation หรือ Poreformation คือเยื่อหุ้มเซลล์เกิดการแตกเป็นรู ส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์มีลักษณะการเป็นเยื่อเลือกผ่านเพิ่มขึ้น มีการไหลเข้า – ออก ของสารมากขึ้น

ในการผลิตรากทางไหล ตามที่มีรายงานต้องใช้เวลาในการปลูกถึง 2 ปี จึงจะสามารถ เก็บผลผลิตเพื่อนำไปสกัดสารโรทีโนนได้โดยวิธีการปลูกนั้น ส่วนใหญ่จะใช้กิ่งปักชำลงปลูกในแปลงขนาดใหญ่ ส่วนการเก็บรากต้องใช้แรงงานมากและขั้นตอนที่ยุงยาก อีกทั้งยังได้ปริมาณที่น้อย ดังนั้นจึงควรหาวิธีการผลิตในรูปแบบอื่นที่ให้ได้ปริมาณของรากมากขึ้น ใช้เวลาในการผลิตน้อยลง เช่น วิธีการปลูกแบบไร้ดินในระบบของไฮโดรโปนิคส์ (Hydroponic)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเพื่อศึกษาการผลิตรากทางไหลโดยวิธีการปลูกแบบไร้ดิน เพื่อให้ได้ปริมาณของรากมากกว่าวิธีการปลูกแบบทั่วไปที่มีในปัจจุบันสำหรับนำมาสกัดสารโรทีโนน โดยจะนำวิธีการผลิตรากทางไหลดังกล่าวมาใช้จริงในเชิงพาณิชย์ และจะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัดสารโรทีโนนจากรากทางไหลโดยใช้สนามไฟฟ้าพัลส์เพื่อจะนำเทคนิคดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการสกัดสารโรทีโนนจากรากทางไหลได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสม

2. วิธีการวิจัย

เปรียบเทียบวิธีการปลูก ระหว่างวิธีการปลูกโดยใช้ดินผสม และการปลูกแบบไร้ดิน (Hydroponic) แบ่งออกเป็น 2 วิธี โดยวิธีที่ใช้ดินจะปลูกในถุงเพาะกล้าขนาดกว้าง 8 นิ้ว ยาว 8 นิ้ว สูง 16 นิ้ว ดินที่ใช้ปลูกเป็นดินผสมที่มีอัตราส่วนผสมระหว่าง ดินร่วน:อินทรียวัตถุ:ปุ๋ยคอก คือ 1:1:1 เปรียบเทียบกับการปลูกแบบไร้ดิน โดยจะใช้การปลูกแบบน้ำลึก (deep flow technique)

ในกระถางพลาสติกสำหรับปลูกบัวที่มีขนาด 17 นิ้ว เติมสารละลายธาตุอาหารพืชไร้ดินชนิดละลายน้ำ สูตร A และ สูตร B ทุกสัปดาห์ ในอัตราปุ๋ยอย่างละ 1 มิลลิลิตร ต่อ น้ำ 1 ลิตร และมีการเติมอากาศในระบบปลูกด้วยปั๊มลม โดยทั้งสองวิธีจะทำการปลูกทั้งหมด 12 ชุดๆ ละ 5 ต้น ปลูกในโรงเรือนตาข่ายป้องกันแมลง ซึ่งจะทำการปลูกเป็นระยะเวลา 7 เดือน หลังจากนั้นทำการเก็บข้อมูล น้ำหนักทั้งหมด (กรัม) น้ำหนักรากสด (กรัม) น้ำหนักรากแห้ง (กรัม) น้ำหนักลำต้นและใบ (กรัม) และปริมาณสารโรทีโนนที่มีอยู่ในรากของแต่ละวิธีการด้วยเครื่อง HPLC โดยมีภาวะของเครื่องดังนี้ Flow rate 1 ml./minute, Detector UV 280 nm. Column ODS 5 micron, 4.6 x 250 mm. with guard column of the same packing material, Mobile phase: Methanol/Phosphoric acid 70/30 mix and degas before use, Calculation

$$Y = 17438 (X) + 187783$$

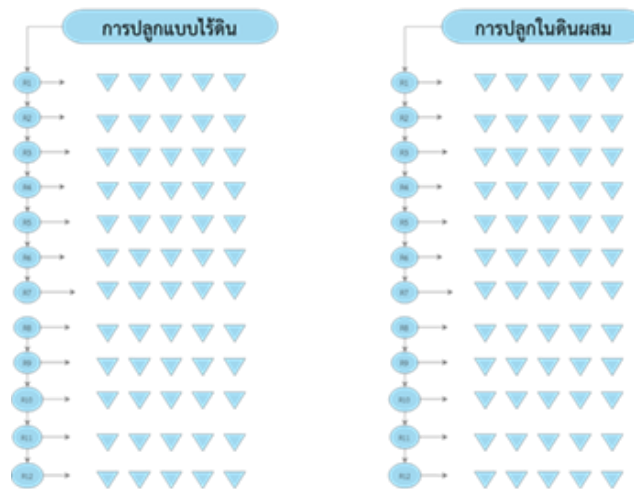
Y = Peak area sample, X = rotenone concentration (ppm.)^[6] นำรากทางไหลสดที่ได้จากการปลูกในดินผสมจำนวน 1 กรัม มาบดให้ละเอียด แบ่งออกเป็น 2 ชุดๆ ละ 0.5 กรัม ชุดแรกจะทำการสกัดด้วยน้ำเปล่าเพียงอย่างเดียว โดยการเติมน้ำ 100 มิลลิลิตร เปรียบเทียบกับชุดที่ 2 โดยใช้การสกัดด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับน้ำ ซึ่งจะเติมเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ในปริมาณน้ำ 10 มิลลิลิตร ปล่อยทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง จากนั้นเติมน้ำลงไปให้ครบ 100 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำตัวอย่างทั้ง 2 ชุดการทดลอง มาผ่านการสกัดเพิ่มเติมด้วยสนามไฟฟ้าพัลส์ (PEF) ที่ค่าของสนามไฟฟ้า 4.7 กิโลโวลต์/เซนติเมตร เป็นเวลา 30 นาที โดยทำการบันทึกค่าอุณหภูมิ (T), ค่าของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (TDS), ค่าการนำไฟฟ้า (Ec), ความเป็นกรด-เบส (pH), ค่าของแข็งที่ไม่ละลายน้ำทั้งหมด (TSS) และค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ที่ความยาวคลื่น 245 นาโนเมตร ก่อนและหลังที่ผ่านการสกัด

ด้วยกระแสไฟฟ้าแรงดันสูง PEF หลังจากนั้นนำค่าการ
ดูดกลืนแสงที่ได้ ไปคำนวณหาปริมาณโรทีโนนจาก
สมการเส้นตรงที่มีการศึกษามาแล้ว

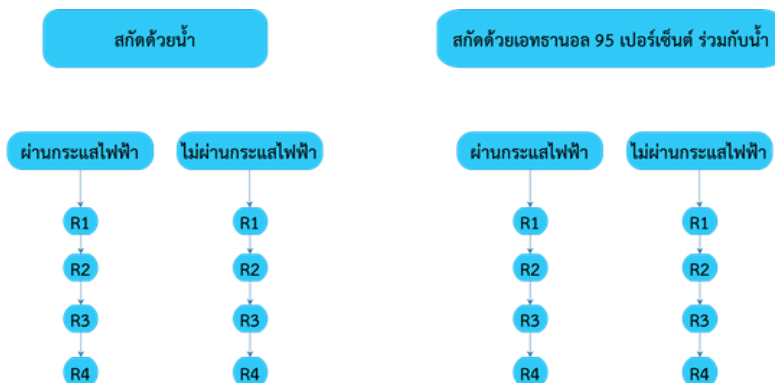
$$y = 814.20(x) - 79.128 \quad (1)$$

โดยที่ $R^2 = 0.9893$

(x = ค่าการดูดกลืนแสง และ y = ปริมาณโรทีโนน) ^[7]



ภาพที่ 2 ผังการทดลองเปรียบเทียบวิธีการปลูกทางไหลเพื่อผลิตราก



ภาพที่ 3 ผังการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัดสารโรทีโนนจากราก
ทางไหลด้วยสนามไฟฟ้าแรงดันสูง

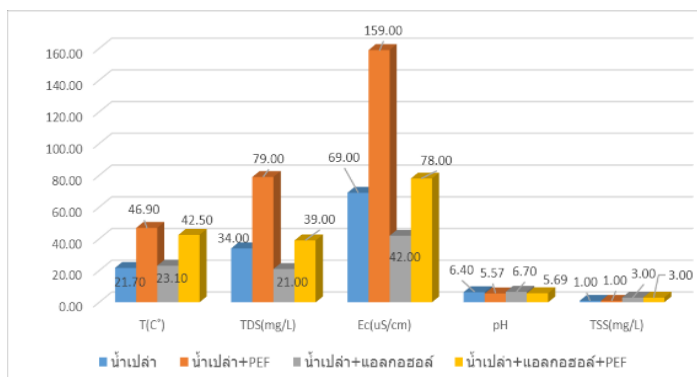
3. ผลการวิจัย

หลังจากการเปรียบเทียบวิธีการปลูกต้นทางไหล ระหว่างวิธีการปลูกแบบไร้ดิน และวิธีการปลูกในดิน ผสมเพื่อผลิตราก ในช่วงระยะเวลา 7 เดือน โดยได้ทำการเก็บข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ในส่วนของ น้ำหนักรวม (สด) น้ำหนักต้นและใบ (สด) น้ำหนักราก (สด) และน้ำหนักรากแห้งจากการนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อน (Hot air oven) พบว่า ผลการวิเคราะห์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทุกๆ ค่า โดยที่วิธีการปลูกแบบไร้ดิน มีค่าของน้ำหนักรวม (สด) น้ำหนักต้นและใบ (สด) น้ำหนักราก (สด) และน้ำหนักรากแห้ง มากกว่าวิธีการปลูกในดินผสม ที่ 686.17, 550.00, 136.17 และ 34.07 กรัม/ต้น ตามลำดับ และให้อัตราส่วนน้ำหนักรากแห้งต่อน้ำหนักรากสดที่ 25.02 เปอร์เซ็นต์ โดยที่วิธีการปลูกในดินผสมให้น้ำหนักอยู่ที่ 327.33, 276.00, 51.33 และ 19.55 กรัม/ต้น ตามลำดับ และให้อัตราส่วนน้ำหนักรากแห้งต่อน้ำหนักรากสดที่ 38.08 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำตัวอย่างรากสดของแต่ละวิธีการปลูก ไปตรวจวิเคราะห์หาสารโรทีโนนที่มีอยู่ด้วยเครื่อง HPLC พบว่า ในรากทางไหลที่ปลูกในดินผสมมีค่าของสารโรทีโนน 0.048 มิลลิกรัม/ลิตร มากกว่าในรากที่ปลูกในรูปแบบไร้ดิน ที่ 0.02 มิลลิกรัม/ลิตร จากการสังเกตยังพบว่ารากที่ได้จากการปลูกใน



ภาพที่ 5 รากทางไหลที่ได้จากการปลูกในระบบไร้ดิน

ดินผสม มีขนาดของรากที่ใหญ่กว่า และสีของรากเป็นสีน้ำตาลเข้มเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปลูกแบบไร้ดิน ที่มีลักษณะของรากเป็นระบบรากฝอยหลังจากนำสารสกัดรากทางไหลทั้ง 2 ชุด ชุดที่ 1 ใช้น้ำเปล่า และชุดที่ 2 ใช้น้ำเปล่าร่วมกับเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ มาทำการสกัดเพิ่มเติมสนามไฟฟ้าพัลส์ ที่ค่าของสนามไฟฟ้า 4.7 กิโลโวลต์/เซนติเมตร เป็นเวลา 30 นาที และได้ทำการบันทึกค่าของ ค่าอุณหภูมิ, TSD, Ec, pH, TSS และค่าการดูดกลืนแสง ดังภาพที่ 6 พบว่าตัวอย่างสารสกัดที่ผ่านการสกัดเพิ่มเติมด้วยกระแสไฟฟ้าแรงดันสูง PEF นั้น มีค่าการวิเคราะห์ต่างๆ เพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมี



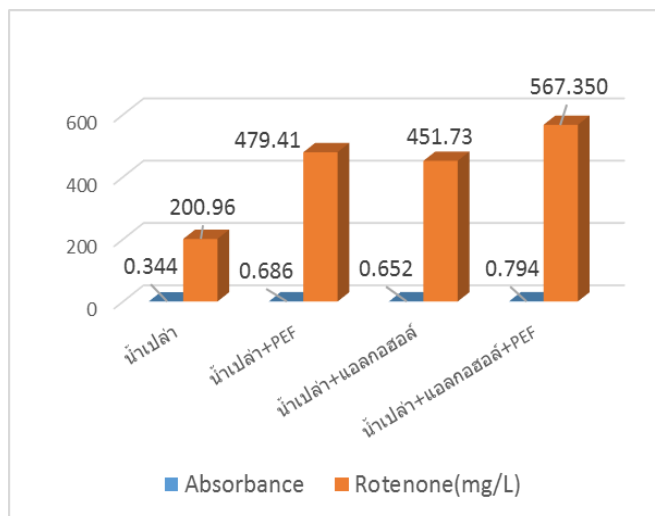
ภาพที่ 6 ค่าอุณหภูมิ ค่าของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด ค่าการนำไฟฟ้า ความเป็นกรด-เบส และค่าของแข็งที่ไม่ละลายน้ำทั้งหมดของสารสกัด ภายหลังจากการสกัด ด้วยสนามไฟฟ้าพัลส์

นัยสำคัญ โดยเฉพาะค่า TSD และ EC ซึ่งตัวอย่างสารสกัดที่ใช้น้ำเปล่ามีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 79.00 มิลลิกรัม/ลิตร และ 159.00 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร ตามลำดับ จากเดิมที่ 34.00 มิลลิกรัม/ลิตรและ 69.00 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร ตามลำดับและตัวอย่าง สารสกัดที่ใช้น้ำเปล่าร่วมกับเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 39.00 มิลลิกรัม/ลิตร และ 78.00 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร ตามลำดับจากเดิมที่ 21.00 มิลลิกรัม/ลิตร และ 42.00 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร ตามลำดับ การที่ค่า TSD และ EC เพิ่มขึ้นนั้น ส่วนหนึ่งอาจเป็นผลมาจากสารบางตัวที่มีอยู่ในรากหางไหล ทั้งในรูปที่เป็นสารแขวนลอยในน้ำและสารที่ละลายได้ในน้ำ หลุดหรือไหลออกมาเพิ่มเติมภายหลังจากที่เซลล์เสียหาย ตามหลักการของ Electroporation^[8] และการที่ค่า TSD และ EC เพิ่มขึ้น ยังส่งผลต่อค่า pH ของสารสกัด โดยมีค่าลดลงจาก 6.40-6.70 เป็น 5.57-5.69 หลังจากทำ

การวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ที่ความยาวคลื่น 245 นาโนเมตร พบว่า ตัวอย่างสารสกัดจากรากหางไหลที่สกัดด้วยน้ำเปล่า น้ำเปล่า+PEF น้ำเปล่าร่วมกับแอลกอฮอล์ และน้ำเปล่าร่วมกับแอลกอฮอล์+PEF มีค่าเท่ากับ 0.344, 0.686, 0.652 และ 0.794 ตามลำดับ และเมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปหาปริมาณโรทีโนนจากสมการเส้นตรง

$$y = 814.20(x) - 79.128$$

โดยที่ $R^2 = 0.9893$ (x =ค่าการดูดกลืนแสง, y =ปริมาณโรทีโนน) พบว่า มีปริมาณเท่ากับ 200.96, 479.41, 451.73 และ 567.350 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยที่ทั้งค่าการดูดกลืนแสง และค่าโรทีโนนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งตัวอย่างสารสกัดจากรากหางไหลที่ผ่านการสกัดเพิ่มเติมด้วยสนามไฟฟ้าพัลส์ จะมีค่าการดูดกลืนแสง และปริมาณโรทีโนนเพิ่มขึ้น แสดงว่าสนามไฟฟ้าพัลส์มีส่วนกระตุ้นทำให้รากหางไหลปลดปล่อยสารออกมาเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 7 ค่าการดูดกลืนแสง และค่าโรทีโนนในตัวอย่างสารสกัดรากหางไหลที่ผ่านสกัดเพิ่มเติมด้วยกระแสไฟฟ้าแรงดันสูง PEF

4.สรุปผลการทดลอง

จากการเปรียบเทียบวิธีการผลิตรากทางไหลด้วยรูปแบบของปลูกรุ่น พบว่า การปลูกแบบไร้ดินที่ใส่สารละลายธาตุอาหารพืชไปพร้อมกับน้ำที่ใช้ปลูกใช้เวลาในการปลูก 7 เดือน สามารถให้ปริมาณผลผลิตรากสดถึง 136.17 กรัม/ต้น มากกว่าการปลูกในดินผสม ที่ 51.33 กรัม/ต้น แต่การปลูกในดินผสมจะให้อัตราส่วนน้ำหนักรากแห้งต่อน้ำหนักรากสดที่ 38.08 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าการปลูกแบบไร้ดินที่ 25.02 เปอร์เซ็นต์ และภายหลังจากการนำตัวอย่างรากทางไหลสดของแต่ละวิธีการปลูกในปริมาณที่เท่ากันไปตรวจหาปริมาณสารโรทีโนนด้วยเครื่อง HPLC พบว่า รากทางไหลที่ได้จากการปลูกในดินผสมให้ค่าของสารโรทีโนนที่ 0.048 มิลลิกรัม/ลิตร สูงกว่าวิธีการปลูกแบบไร้ดิน ที่ 0.02 มิลลิกรัม/ลิตร แต่อย่างไรก็ตามการผลิตรากทางไหลด้วยวิธีการปลูกแบบไร้ดินให้ปริมาณของรากมากกว่าในจำนวนต้นและเวลาในการปลูกที่เท่ากัน อีกทั้งยังสามารถทำการเก็บเกี่ยวรากเพื่อนำมาใช้งานได้ง่ายและใช้แรงงานน้อยกว่า ดังนั้นควรมีการพัฒนาเพิ่มเติมในส่วนของรูปแบบวิธีการปลูกและสูตรธาตุอาหารพืชใช้ รวมไปถึงจนถึงสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นทางไหล เพื่อจะได้สารโรทีโนนมากพอในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปและผลจากการนำเทคโนโลยีของกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงในรูปของสนามไฟฟ้าพัลส์ มาใช้เพิ่มประสิทธิภาพการสกัดสารโรทีโนนจากรากทางไหล เพิ่มเดิมจากการสกัดด้วยน้ำเปล่าเพียงอย่างเดียว และน้ำเปล่าร่วมกับเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ส่งผลให้ค่า TSD และ EC ในตัวอย่างเพิ่มขึ้น ซึ่งตัวอย่างสารสกัดที่ใช้น้ำเปล่ามีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 79.00 มิลลิกรัม/ลิตร และ 159.00 ไมโครซีเมนต์/เซ็นติเมตร จากเดิมที่ 34.00 มิลลิกรัม/ลิตร และ 69.00 ไมโครซีเมนต์/เซ็นติเมตร และตัวอย่างสารสกัดที่ใช้น้ำเปล่าร่วมกับเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้นเป็น 39.00 มิลลิกรัม/ลิตร และ

78.00 ไมโครซีเมนต์/เซ็นติเมตร จากเดิมที่ 21.00 มิลลิกรัม/ลิตร และ 42.00 ไมโครซีเมนต์/เซ็นติเมตร จากการที่ค่า TSD และ EC เพิ่มขึ้นนั้น ส่วนหนึ่งอาจเป็นผลมาจากสารบางตัวที่มีอยู่ในรากทางไหล ทั้งในรูปที่เป็นสารแขวนลอยในน้ำ และสารที่ละลายได้ในน้ำ หลุดหรือไหลออกมาเพิ่มเติมภายหลังจากที่เซลล์เสียหายตามหลักการของ Electroporation และการที่ค่า TSD และ EC เพิ่มขึ้น ยังส่งผลต่อค่า pH ของสารสกัด โดยมีค่าลดลงจาก 6.40-6.70 เป็น 5.57-5.69 การวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของ ตัวอย่างสารสกัดรากทางที่มีความยาวคลื่น 245 นาโนเมตร ก่อนและภายหลังจากการสกัดเพิ่มเติมด้วยกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงในรูปของสนามไฟฟ้าพัลส์ พบว่าตัวอย่างสารสกัดจากรากทางไหลที่สกัดด้วยน้ำเปล่ามีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นเป็น 0.686 จึงส่งผลให้ค่าโรทีโนนเพิ่มขึ้นเป็น 479.41 มิลลิกรัม/ลิตร จากเดิมที่มีค่าการดูดกลืนแสงที่ 0.344 ปริมาณโรทีโนนเท่ากัน 200.96 มิลลิกรัม/ลิตร และสารสกัดรากทางไหลที่สกัดด้วยน้ำเปล่าร่วมกันเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการดูดกลืนแสงภายหลังจากการสกัดเพิ่มเติมด้วยกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงเท่ากับ 0.794 และปริมาณโรทีโนนอยู่ 567.350 มิลลิกรัม/ลิตร เพิ่มขึ้นจากเดิมที่ 0.652 และ 451.73 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งตัวอย่างสารสกัดจากรากทางไหลที่ผ่านการสกัดเพิ่มเติมด้วยสนามไฟฟ้าพัลส์ จะมีค่าการดูดกลืนแสง และปริมาณโรทีโนนเพิ่มขึ้น แสดงว่าสนามไฟฟ้าพัลส์ ส่วนกระตุ้นทำให้รากทางไหลปลดปล่อยสารออกมาเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลจากที่กระบวนการสร้างรูพรุนที่ผนังเซลล์ของรากทางไหลในระหว่างสนามไฟฟ้าพัลส์ไหลผ่านเป็นช่องทางให้สารโรทีโนนที่มีคุณสมบัติเป็นสารแขวนลอยไหลออกมาได้มากขึ้นกว่า 1 เท่าตัว ในตัวอย่างสารสกัดที่สกัดด้วยน้ำเปล่าเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้สนามไฟฟ้าพัลส์ ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดสารจากรากทางไหลได้

ซึ่งมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับแอลกอฮอล์ เป็นโอกาสที่จะพัฒนาสารสกัดจากรากหางไหลที่ไม่ต้องใช้แอลกอฮอล์ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการสกัดและสามารถพัฒนาเป็นสารสกัดแบบผงได้ต่อไป

5.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกลุ่มวิจัยการประยุกต์ใช้ไฟฟ้าสถิตในงานด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ และศูนย์แมคคาทรอนิกส์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เอื้อเพื่ออุปกรณ์ และเครื่องสร้างสนามไฟฟ้าพลัส ขอคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาที่ให้ทุนสนับสนุนส่วนหนึ่งในการศึกษาวิจัย ขอคุณสถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตรที่เอื้อเพื่ออุปกรณ์ เครื่องมือในการเตรียมสารสกัดจากรากหางไหล และขอบคุณ ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 1 จังหวัดเชียงใหม่ ที่ช่วยวิเคราะห์หาปริมาณสารโรทีโนนในตัวอย่างสารสกัดจากรากหางไหล

6.เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Sottikul. 2008. Product development from Derris root to control cabbage aphid (*Lipaphis erysimi* Kaltendbach) The Graduate School CMU. 99 pp.
- [2] Matsumura, F. 1975. Toxicology of Insecticides. Plenum New York. 598 pp.
- [3] Dawson V.K., W.H. Gingerich, R. A. Davis, and P. A . Gilderhus. 1991. Rotenone persistence in freshwater ponds : effects of temperature and sediment adsorption. North American Journal of Fisheries Management 11:226 – 231.

- [4] Lehman, A.J. 1950. Some toxicological reasons why certain chemicals may or may not be permitted as food additives. Quarterly Bulletin of the Association of food and Drug Officials. US, 14:82
- [5] WHO. 1992.. Rotenone health and safety guide (Health and safety guide no.73) World Health Organization, Geneva.
- [6] Chatchawan Kantala, Veasarach Jonjaroen, Nattayaporn Suacumsang, Papol Sardyoung and Panich Intra. 2560. Development and Preliminary Test of a Laboratory-Scale Pulsed Electric Field System for Inactivating Microorganisms in Orang Juice,JTR Vol.1 No.1 Jul – Dec 17 RMUTL, 15-25 pp.
- [7] Pitiyont, V. and A. Sangwanich. 1997. Extraction, Isolation and Identification of pesticidal compound from *Derris elliptica*. The second Conference of Agricultural Toxic substances division.Department of Agriculture. P. 84-92
- [8] J. P. Clark, Pulsed electric field processing, Food Technology, vol. 60, no. 1, pp. 66-67, 2006.

การปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิตถ่าน ด้วยเตาขนาด 200 ลิตร ลุดฟี สือนิ และพิสิษฐ์ มนต์โชติ*

สาขาพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

รับเมื่อ ตุลาคม 2560 ตอบรับเมื่อ ธันวาคม 2560 เผยแพร่ออนไลน์ มีนาคม 2561

© 2018 Rajamangala University of Technology Lanna. All Right Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเปรียบเทียบคุณภาพถ่านกะลามะพร้าวที่ได้จากกระบวนการผลิตของเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร โดยทำการปรับปรุงรูปแบบร่วมกับเทคนิคการผลิตถ่าน โดยใช้เตาเผาถ่านรุ่นมังกรพันธุ์ 84 ที่มีการเพิ่มอุปกรณ์ทรงกรวยเข้าไปในห้องเผาที่ทำจากถังน้ำมัน 200 ลิตร โดยใช้ทำการเปรียบเทียบผลของคุณภาพถ่านต่อการหุ้มฉนวนทั้ง 3 ชนิด คือ ดิน หวาย และแกลบดำ จากการศึกษาพบว่าเตาเผาถ่านแบบเพิ่มฉนวนกันความร้อนจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าเตาเผาถ่านแบบไม่มีฉนวนกันความร้อน เนื่องจากฉนวนกันความร้อนมีคุณสมบัติในการสกัดกั้นความร้อนจากด้านในเตาไม่ให้ความร้อนถ่ายเทสู่บรรยากาศได้ง่าย ลดการสูญเสียความร้อนของเตาเผาถ่านและลดระยะเวลาในการเผาถ่านได้ และฉนวนแกลบดำจะมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 735.1 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการปิดเตา 70 นาที ปริมาณถ่านที่ผลิตได้ 4.6 กิโลกรัม ที่ปริมาณไม้เริ่มต้น 25 กิโลกรัม จากการทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีน พบว่าเตาเผาถ่านที่ใช้ฉนวนแกลบดำมีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุดเท่ากับ 910.4461 มิลลิกรัมต่อกรัม และมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงสุดที่ 172.5114 ตารางเมตรต่อกรัม และปริมาตรรูพรุนของถ่านที่ 0.082566 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และมีค่าความร้อนมากที่สุด เท่ากับ 7,177 แคลอรีต่อกรัม

คำสำคัญ : เตาเผาถ่าน 200 ลิตร, ฉนวนกันความร้อน, คาร์บอนในเข้, ถ่าน

*อีเมล: renewaboy@gmail.com

สาขาพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร

Improvement Model and Charcoal Production Techniques with Stove Size 200 Liters

Lutfee Seni and Pisit Maneechot*

School of Renewable Energy Technology, Naresuan University, Muang Phitsanulok 65000

Received: October 2017 Accepted: November 2017 Published online: March 2018

© 2018 Rajamangala University of Technology Lanna. All Right Reserved.

Abstract

This research aims to comparative the quality of coconut shell charcoal obtained from the production charcoal kiln process of 200 liter by improve model with production charcoal. Using the 84 generation charcoal burners, the cone device was added to the combustion chamber. Made of 200 liter fuel tank. The researcher added insulation 3 types insulation are soils, sandy and rice husk ash. The study found that the insulated charcoal kilns have an average temperature higher than the non-insulated charcoal kilns because the insulation has the ability to block the heat from the inside of the stove does not heat transfer to atmosphere easily. Reduce the heat loss of charcoal furnaces and reduce the time to burn charcoal and rice husk ash insulation has a maximum temperature of 735.1 degrees Celsius. The time it takes to turn off the burner is 70 minutes. The amount of charcoal produced is 4.6 kilograms at a starting volume of 25 kilograms. From the iodine number test found that charcoal kilns used rice husk ash insulation had the highest iodine number value 910.4461 mg/g and has a maximum specific surface area 172.5114 m²/g and the porous volume of charcoal at 0.082566 cm³/g and has a maximum heat value of 7,177 cal/g

Keyword: Stove 200 liter, Thermal insulation, Carbonization, Charcoal

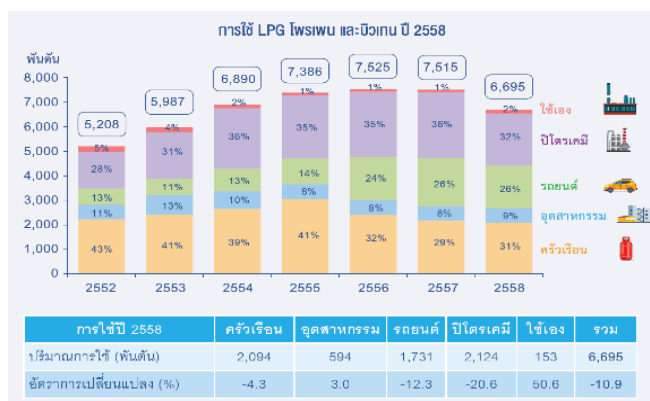
*E-mail, renewaboy@gmail.com

School of Renewable Energy Technology, Naresuan University

1. บทนำ

ปัจจุบันประชาคมโลกรวมถึงประเทศไทยได้ให้ความสำคัญในการพัฒนาด้านพลังงานทดแทน และได้ตระหนักถึงปัญหาด้านพลังงานที่ส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตทั้งทางด้านสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อมซึ่งเกิดจากฟอสซิล และนับวันประชากรโลกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและรวดเร็วทำให้การใช้พลังงานสูงมากขึ้นตามไปด้วย จากรายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย ปี 2559 สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน โดยปี 2558 ประเทศไทยมีปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจี ที่ระดับ 6,695 พันตัน และในภาคครัวเรือนคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 31 ของปริมาณการใช้ทั้งหมด มีการใช้ลดลงร้อยละ 4.3 ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการปรับราคาปลีกของแก๊สแอลพีจีเพื่อให้สะท้อนต้นทุนที่แท้จริง ส่งผลให้ราคาภาคครัวเรือนสูงกว่าปีก่อน แต่อย่างไรก็ดีปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจีในภาคครัวเรือนมีปริมาณความต้องการมากเป็นอันดับต้นๆ ของปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจีทั้งหมด^[1] ซึ่งทางด้านกระทรวงพลังงานได้วางกรอบแผนบูรณาการพลังงานแห่งชาติ และได้จัดทำแผนพลังงาน 5 แผนหลักในช่วงปี พ.ศ. 2558 – 2579 ที่สอดคล้องกับรอบของการจัดทำแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ โดยในการจัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก รัฐบาลได้กำหนดกลยุทธ์การส่งเสริมพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตพลังงานทดแทนอื่น ๆ และ

ได้มอบหมายให้กระทรวงพลังงานจัดทำแผนการพัฒนาพลังงานทดแทน และพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan : AEDP2015) จะให้ความสำคัญในการส่งเสริมการผลิตพลังงานจากวัตถุดิบพลังงานทดแทนด้วยเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสม และการพัฒนาพลังงานทดแทนเพื่อผลประโยชน์ร่วมในมิติด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมแก่ชุมชน^[2] แต่อย่างไรก็ดีประเทศไทยโดยส่วนมากจะมีอาชีพเกษตรกรเป็นหลัก ทำให้มีเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอยู่เป็นจำนวนมาก เช่น เศษไม้ แกลบ กะลามะพร้าว ซึ่งสามารถนำมาเผาเพื่อผลิตถ่านใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือนได้ ถ่านเป็นเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งที่มีความจำเป็นในการใช้ประกอบอาหารหรือการทำผลิตภัณฑ์สินค้าต่าง ๆ ในอดีตการผลิตถ่านส่วนใหญ่ได้มาจากไม้ธรรมชาติโดยการนำฟืนหรือไม้ที่ตัดมาเผาเป็นการกำจัดสารที่ไม่ให้พลังงานออกไป เมื่อฟืนผ่านกระบวนการเผาจะได้ถ่านที่มีสีดำนลักษณะมีรูพรุนและมีน้ำหนักเบา แต่เมื่อนำมาใช้จะก่อให้เกิดมลพิษ คือ เกิดควัน กลิ่นฉุน แสบตา เกิดการประทุ ให้ความร้อนไม่สม่ำเสมอและเป็นการทำลายธรรมชาติทางอ้อมอีกด้วย ปัจจุบันเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทในทุกๆ ด้าน มีการประดิษฐ์คิดค้นโดยการออกแบบและสร้างเตาลักษณะต่างๆ เพื่อพัฒนาคุณภาพของถ่านให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการใช้ประโยชน์



รูปที่ 1 การใช้แก๊สแอลพีจีของประเทศไทย^[1]

เช่น งานวิจัย พิสิญ มณีโชติ และคณะ (2558) ได้ทำการทดสอบเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบแนวตั้งด้วยเทคนิคแก๊สซิฟิเคชัน^[3] ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเตา โดยใช้ไม้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านจากการทดสอบพบว่า อุณหภูมิภายในเตาเผา 754.4 องศาเซลเซียส อุณหภูมิหน้าเตาเผา 566.7 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ปล่องควัน 678.4 องศาเซลเซียส อุณหภูมิด้านบนสุดของเตาโดยเฉลี่ย 618.6 องศาเซลเซียส ถ่านไม้ที่ผลิตได้ 7.1 กิโลกรัม ใช้เวลาในการผลิต 2 ชั่วโมง 30 นาที ทั้งนี้เพื่อช่วยลดระยะเวลาการผลิต และได้พลังงานความร้อนภายในเตาที่สูงขึ้น คุณภาพถ่านที่ผลิตได้มีคุณภาพดีกว่าเผาแบบปกติ ลดขั้นตอนความยุ่งยากในการผลิตได้

ผู้วิจัยเล็งเห็นความสำคัญ และสนใจในการศึกษาการปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิตถ่าน ของเตาขนาด 200 ลิตร ดังกล่าวที่ได้ปรับปรุงรูปแบบเตาผลิตถ่านโดยการเพิ่มท่อทรงกรวยตรงกลางของตะแกรงชั้นวางชีวมวล เมื่อจุดไฟจากด้านล่างของเตาความร้อนจะสลายโครงสร้างทางชีวเคมีที่อยู่ในเนื้อไม้จนเกิดเป็นแก๊สเชื้อเพลิง จากนั้นความร้อนจะลอยขึ้นสู่ด้านบนท่อทรงกรวย ทำให้ความร้อนกระจายไปยังไม้ฟืนได้อย่างทั่วถึง ทั้งนี้เพิ่มเทคนิคโดยการใส่หญ้าสดด้านบนไม้ฟืนเนื่องจากหญ้ามืดมีความชื้นในการดึงความร้อนขึ้นมาสู่ด้านบนของเตา โดยความชื้นจะผลิตไฮโดรเจนขึ้นมาทำให้เกิดกระบวนการความร้อนที่สูงขึ้น จากความร้อนที่สูงมากทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนจากภายในเตาผ่านผนังเตาสู่อากาศภายนอกได้ง่ายและมีผลต่อคุณภาพของถ่านภายในเตา

ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดสอบใส่ฉนวนกันความร้อนเพื่อสกัดกั้นความร้อนจากด้านในเตาไม่ให้ความร้อนออกมาได้ง่าย เป็นการลดการสูญเสียความร้อนของเตาเผาถ่าน ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งในการที่จะเพิ่มอุณหภูมิภายในเตาให้สูงขึ้น เนื่องจากถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิสูงสามารถไล่ไอน้ำมันดินที่มีสารทาร์ (Tar) ซึ่งเป็นสารก่อ

มะเร็งที่มีอยู่ในเนื้อไม้ให้ออกไปได้โดยใช้ความร้อนพาออกไป จึงทำให้ถ่านที่ได้จากการเผาด้วยเตาเผา 200 ลิตร นี้ ไม่มีสารก่อมะเร็ง เป็นถ่านบริสุทธิ์ เมื่อนำไปใช้ก็มีความปลอดภัยมากขึ้น อีกทั้งถ่านที่ได้มีคุณภาพสูงกว่าเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แนวตั้ง แบบเดิม และลดระยะเวลาในการผลิตถ่านได้ เช่น งานวิจัย ปองพล รักการงาน และคณะ (2557) ได้ทำการเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร โดยใช้ฉนวนกันความร้อนแบบเซรามิกซีโฟเบอร์^[4] ซึ่งจากการศึกษาอุณหภูมิบริเวณผนังด้านนอกของเตาเผา 200 ลิตร พบว่ามีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 750 องศาเซลเซียส โดยลดการสูญเสียความร้อน จากเตาเผาชีวมวล ทำให้เตาลดการสูญเสียความร้อนและลดระยะเวลาในการเผาของเตาชีวมวลได้ อีกทั้งยังเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้นทำให้กำจัดน้ำมันดินออกจากเนื้อไม้ได้มากขึ้นและส่งผลให้ที่ได้จากเตาชีวมวลมีความบริสุทธิ์มากขึ้นอีกด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาการเปรียบเทียบคุณภาพถ่านกะลามะพร้าวจากเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบแล้วและแบบเพิ่มฉนวนกันความร้อน

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่าน

กะลามะพร้าว หาได้จากตลาดเช้า หน้าสถานีตำรวจ ขอยบรมไตรโลกนาถ 3 ตำบลในเมือง อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก และตลาดบ้านคลองอำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก

อุปกรณ์ในการทดสอบการผลิตถ่าน

1. อุปกรณ์วัดอุณหภูมิหัววัดความร้อนเทอร์โมคัปเปิ้ล (Thermocouple) พร้อมสายเทอร์โมคัปเปิ้ล ไทพ์เคิล และเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Graph tec midi Logger GL840)
2. เครื่องมือวัดความชื้นชีวมวล (Moisturmeter) วัดความชื้นของกะลามะพร้าว
3. เตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แนวตั้ง แบบปรับปรุงรูปแบบใหม่ และทำการเพิ่มฉนวนกันความร้อนในการทดสอบ 3 ชนิด ได้แก่ ดิน หวาย และเกล็ดตา



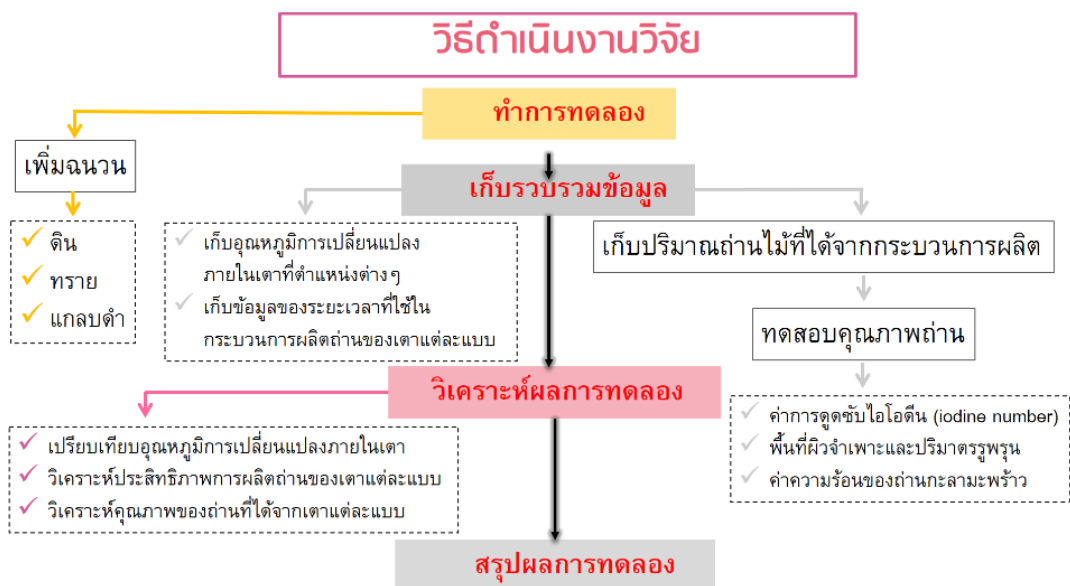
รูปที่ 2 เตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร

แบบปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิตถ่านที่ทำการเพิ่มฉนวนกันความร้อน



ITEM NO.	PART NAME	DESCRIPTION	QTY.
1	ถังน้ำมัน 200 ลิตร		1
2	ท่อปล่อยควัน	เชื่อมประกอบท่อ 2* และ 3*	3
3	ปล่องเร่ง		1
4	ช่องป้อนเชื้อเพลิงหน้าเตา	ประกอบด้วยเหล็กแผ่นบาง และเหล็กฉาก 1*	1
5	ฝาถัง		1
6	ตะแกรง		1

รูปที่ 3 ส่วนประกอบของเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แนวตั้ง แบบปรับปรุงรูปแบบใหม่



ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ตอนที่ 1 การศึกษาข้อมูลงานวิจัย

ศึกษาข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางการวิจัยในหัวข้อ การปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิตถ่านด้วยเตาขนาด 200 ลิตร ศึกษาความเป็นไปได้ในการหาวัสดุที่ใช้ในการผลิตถ่าน

กะลามะพร้าว ซึ่งกะลามะพร้าวเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่นิยมนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงเนื่องจากเมื่อนำไปใช้แล้ว จะมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดี เกิดการลุกไหม้อย่างรวดเร็ว และให้ความร้อนสูงเนื่องจากมีรูพรุน สูงกว่าถ่านประเภทอื่นๆ และยังมีคุณสมบัติดูดซับกลิ่นต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

สามารถนำมาทำหน้าที่กักป้องกันก๊าซพิษ เครื่องดูดความชื้น กลิ่นอับต่างๆ รวมถึงลักษณะที่แรงเป็นมันเมื่อนำมากระตุ่นจะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีความแรงสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่ทำจากวัสดุอื่น

ตอนที่ 2 วิธีการทดลอง

1. นำกะลามะพร้าวที่ตากแดดจนแห้ง ทำการวัดความชื้นโดยการสุ่มก่อนนำไปใส่ตะแกรงวางในเตาเผา ถ่าน ใช้กะลามะพร้าว 25 กิโลกรัม ต่อการเผา 1 ครั้ง จากนั้นให้นำหญ้าสดประมาณ 2 กิโลกรัม วางด้านบนก่อนทำการปิดเตา

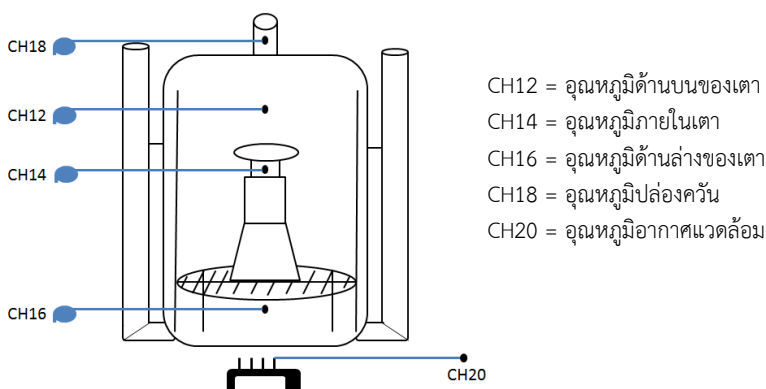
2. การเผาจะเป็นการจุดไฟที่หน้าเตา และอบให้มีความร้อนสะสม และติดไฟเอง โดยที่ไม่ได้ถูกเผาด้วยไฟโดยตรง หรือเรียกว่าวิธีคาร์บอนเซชัน คือกระบวนการที่ทำให้สารอินทรีย์ในเนื้อไม้เปลี่ยนรูปเป็นถ่าน โดยมีขั้นตอนการเผาถ่านดังนี้ ขั้นตอนแรก การเผาไหม้ เมื่อจุดไฟจากด้านล่างของเตา ความร้อนจะสลายโครงสร้างทางชีวเคมีที่อยู่ในเนื้อไม้จนเกิดเป็นแก๊สเชื้อเพลิง จากนั้นความร้อนจะลอยขึ้นสู่ด้านบนท่อทรงกรวย ทำให้ความร้อนกระจายไปยังไม้ฟืนได้อย่างทั่วถึง เป็นกระบวนการที่ต้องการปริมาณออกซิเจนจำนวนมากระหว่างการเกิดคาร์บอนเซชัน โดยให้ความร้อนกับไม้ อุณหภูมิภายในเตาสูงถึง 500 องศาเซลเซียส จากนั้นจะเป็นขั้นตอนการไล่ความชื้น เป็นการให้ความร้อนแก่ชีวมวลที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ช่วงนี้ชีวมวลจะคายน้ำที่ดูดซับอยู่ใน

ช่องว่างระหว่างเซลล์และน้ำที่อยู่ในผนังเซลล์ (Bound water) คว้นที่ออกมาจะมีสีขาวซึ่งจะมีแต่ไอน้ำ ไม่มีกลิ่นฉุน ไม่แสบตาและจุก ภายในเตาจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเร็วมากประมาณ 270-400 องศาเซลเซียส ช่วงนี้ชีวมวลสลายตัวด้วยตัวเองจากปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic reaction) อันเกิดจากความร้อนที่สะสมไว้ คว้นที่ออกมาจะมีสีขาวปนเหลืองมีกลิ่นฉุนจัดสามารถติดไฟได้ ภายในเตาจะมีอุณหภูมิสูงสุด 700 - 800 องศาเซลเซียส หลังจากกระบวนการนี้ชีวมวลจะกลายเป็นถ่านทั้งหมดแล้ว ขั้นตอนสุดท้าย การทำให้เตายืนตัว เป็นกระบวนการลดความร้อนของเตา โดยทำการปิดปล่องคว้นทั้งหมดและปิดหน้าเตาให้สนิท ไม่ให้อากาศเข้าไปภายในเตา รอให้อุณหภูมิเตาเผาเท่ากับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม เพื่อนำถ่านที่ได้ออกจากเตา ทำการเผาจนเสร็จสิ้นกระบวนการเผาถ่าน โดยทำการเผาด้วยเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบใหม่ และแบบใส่ฉนวนกันความร้อน 3 ชนิด คือ ดิน หวาย และแกลบดำ

ตอนที่ 3 เก็บรวบรวมข้อมูล

1. เก็บรวบรวมข้อมูลอุณหภูมิภายในเตาเผาที่ตำแหน่งต่างๆ ทุกๆ 1 นาที ด้วยเครื่องมือวัดอุณหภูมิ โดยทำการเจาะรูตัวเตาในตำแหน่งที่ต้องทดสอบ คือ ด้านบนของเตา ตรงกลางเตา ด้านล่างของเตา

ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตำแหน่งที่ทำการทดสอบวัดอุณหภูมิของเตาเผาถ่าน 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบใหม่

2. เก็บข้อมูลของระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตถ่านของเตาแต่ละแบบ ตั้งแต่เริ่มจุดเตาจนถึงเตาเย็นลงเมื่อเสร็จกระบวนการปิดเตา

3. เก็บปริมาณถ่าน และนำตัวอย่างของถ่านที่ได้จากกระบวนการผลิตถ่านจากเตาเผาถ่าน ของเตาแต่ละแบบ ส่งทำการทดสอบคุณภาพถ่าน ที่ศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยทำการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน (iodine number) และทดสอบหาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ และปริมาตรรูพรุนของถ่าน Surface area and porosity analyzer และค่าความร้อน (Heating value) ของถ่านกะลามะพร้าวที่ได้จากกระบวนการผลิต

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงภายในเตาของเตาเผาถ่าน 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบใหม่ และแบบเพิ่มฉนวนกันความร้อน โดยนำมาหาค่าเฉลี่ยตั้งแต่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส จนอุณหภูมิภายในเตาเผาลดลงเนื่องจากช่วงนี้ไม่กลายเป็นถ่านหมดแล้ว

2. วิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตถ่านของเตาแต่ละแบบที่ได้ทำการทดสอบ

3. วิเคราะห์คุณภาพของถ่านที่ได้จากเตาแต่ละแบบที่ได้ทำการทดสอบ

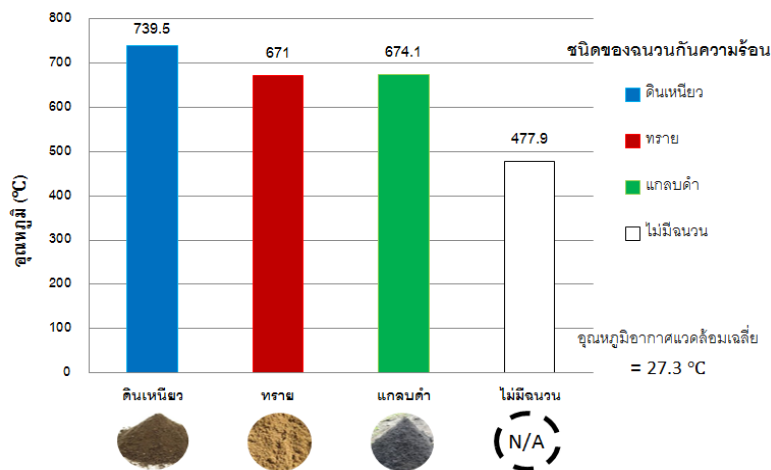
3. ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทดสอบคุณสมบัติของวัสดุดิบและทำการปรับปรุงรูปแบบร่วมกับเทคนิคการผลิตถ่านจากกะลามะพร้าว ด้วยเตาขนาด 200 ลิตร และทำการเพิ่มฉนวนกันความร้อน 3 ชนิด คือ ดินทราย และแกลบดำ

3.1 เปรียบเทียบอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงภายในเตาเผาถ่านของเตาแต่ละแบบ จากแผนภูมิในรูปที่แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของเตาเผาถ่าน 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบใหม่ และแบบเพิ่มฉนวนกันความร้อน พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของเตาเผาถ่านแบบมีฉนวนกันความร้อนจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าเตาเผาถ่านแบบไม่มีฉนวนกันความร้อน เนื่องจากเตาเผาถ่านที่ได้เพิ่มฉนวนกันความร้อนนั้น จะทำให้เตาเผาถ่านมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาสูงขึ้น และฉนวนดินจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 739.5 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมเฉลี่ย 27.3 องศาเซลเซียส และจะเห็นได้ว่าเตาเผาถ่านที่มีฉนวนกันความร้อนจะทำให้ระยะเวลาของกระบวนการผลิตถ่านใช้เวลามากกว่าเตาไม่มีฉนวน เนื่องจากเตาที่มีฉนวนกันความร้อนมีอุณหภูมิภายในเตาเผาสูงกว่า ทำให้เตาเผาที่มีฉนวนจะใช้เวลาเปิดเตานานกว่า หรือรอให้เตาเผามีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิอากาศแวดล้อมนานกว่าดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบเวลาของกระบวนการผลิตถ่านและปริมาณถ่านที่ได้จากกระบวนการผลิต

เตาเผาถ่าน 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบใหม่	เวลาที่ใช้ในการปิดเตา (min)	เวลาทั้งสิ้นของกระบวนการผลิตถ่าน (min)
ไม่มีฉนวนกันความร้อน	70	267
ฉนวนดินเหนียว	70	769
ฉนวนทราย	80	462
ฉนวนแกลบดำ	90	428



รูปที่ 6 แผนภูมิเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของเตาเผาถ่าน 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบใหม่ และแบบเพิ่มฉนวนกันความร้อน

ตารางที่ 2 แสดงประสิทธิภาพการผลิตถ่านของเตาเผาถ่าน 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบใหม่ และแบบเพิ่มฉนวนกันความร้อน

ประสิทธิภาพการผลิตถ่าน/ เพิ่มฉนวนกันความร้อน	ไม่มีฉนวน	แบบเพิ่มฉนวนกันความร้อน		
		ดินเหนียว	ทราย	แกลบดำ
ปริมาณไม้เริ่มต้น (kg)	25	25	25	25
ปริมาณถ่านที่ผลิตได้ (kg)	4.6	4.8	6	4.6
ปริมาณหญ้าสดเริ่มต้น (kg)	2	1.8	1.4	2
ปริมาณหญ้ากลายเป็นถ่าน (kg)	0.2	0.1	0.1	0.2
ปริมาณเชื้อเพลิงหน้าเตา (kg)	3	2.2	2.8	3

3.2 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตถ่านของเตาแต่ละแบบจากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตถ่านของเตาเผาถ่าน 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบใหม่ และแบบเพิ่มฉนวนกันความร้อนชนิดต่างๆ พบว่าประสิทธิภาพการผลิตถ่านของเตาเผาถ่าน 200 ลิตร แบบเพิ่มฉนวนกันความร้อนมีปริมาณถ่านที่ผลิตได้มากกว่าเตาเผาถ่านแบบไม่มีฉนวนกันความร้อน โดยฉนวนทราย มีปริมาณถ่านที่ผลิตได้ 6 กิโลกรัม

ที่ปริมาณไม้เริ่มต้น (กะลามะพร้าว) 25 กิโลกรัมเท่ากัน และเตาเผาถ่านแบบเพิ่มฉนวนกันความร้อน ใช้ปริมาณเชื้อเพลิงหน้าเตาน้อยกว่าเตาเผาถ่านแบบไม่มีฉนวนกันความร้อน เนื่องจากเตาเผาถ่านแบบเพิ่มฉนวนกันความร้อนจะมีอุณหภูมิภายในเตาเฉลี่ยสูงกว่าทำให้ไม้กลายเป็นถ่านใช้เวลาเร็วกว่า จึงทำให้ใช้ปริมาณเชื้อเพลิงหน้าเตาน้อยกว่าและไม่สิ้นเปลืองกว่าเตาเผาถ่านแบบไม่มีฉนวนกันความร้อน

3.3 วิเคราะห์คุณภาพถ่านที่ได้จากเตาเผาถ่านแต่ละแบบการวิเคราะห์คุณภาพของถ่านที่ได้จากกระบวนการผลิต ทำได้โดยการทดสอบหาค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine number) ซึ่งถ้าค่าไอโอดีนนัมเบอร์มีค่าสูงชี้ให้เห็นว่า ถ่านมีรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากส่งผลให้มีปริมาณพื้นที่ผิวในการดูดซับสูง การดูดซับไอโอดีนเป็นค่าสำคัญที่ใช้บอกถึงประสิทธิภาพของถ่าน เพราะว่าไอโอดีนถูกถ่านดูดซับได้ดี ดังนั้นค่าการดูดซับไอโอดีนจึงถูกใช้เป็นตัววัดประสิทธิภาพของถ่าน โดยวัดเป็นมิลลิกรัม (ของไอโอดีน) ต่อน้ำหนักถ่าน 1 กรัม และทำการทดสอบหาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะและค่าปริมาตรรูพรุนของถ่าน Surface area and porosity analyzer เป็นเทคนิคการวิเคราะห์หาค่าพื้นที่ผิว (Surface area) ของสารที่ต้องการวิเคราะห์ โดยอาศัยเทคนิคการแทนที่พื้นที่ผิวหรือรูพรุนด้วยแก๊สไนโตรเจน ไอโซเทิร์มการดูดซับไนโตรเจนที่อุณหภูมิ -196 องศาเซลเซียส

จากการวิเคราะห์คุณภาพของถ่านที่ได้จากกระบวนการผลิตจากเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบ

ปรับปรุงรูปแบบใหม่ และแบบเพิ่มฉนวนกันความร้อนชนิดต่าง ๆ พบว่า ถ่านที่ผลิตได้จากเตาเผาถ่าน 200 ลิตร แบบมีฉนวนกันความร้อน จะมีค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine number) มากกว่าถ่านที่ผลิตได้จากเตาเผาแบบไม่มีฉนวนกันความร้อน โดยถ่านที่ได้จากเตาเผาถ่าน 200 ลิตร ที่ใช้ฉนวนกลบดำเป็นฉนวนกันความร้อน จะมีค่าการดูดซับไอโอดีนมากที่สุดเท่ากับ 910.4461 มิลลิกรัมต่อกรัม และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 16.774 อีกทั้งยังได้ทำการทดสอบหาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ และค่าปริมาตรรูพรุนของถ่าน พบว่า ถ่านที่ผลิตได้จากเตาเผาถ่าน 200 ลิตร แบบมีฉนวนกันความร้อนจะมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูงกว่าถ่านที่ผลิตได้จากเตาเผาแบบไม่มีฉนวนกันความร้อน โดยถ่านที่ผลิตได้จากเตาเผาถ่าน 200 ลิตร ที่ใช้ฉนวนกลบดำเป็นฉนวนกันความร้อน จะมีค่าการดูดซับไอโอดีนมากที่สุดเท่ากับ 172.5114 ตารางเมตรต่อกรัม และมีค่าปริมาตรรูพรุนเท่ากับ 0.082566 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ดังตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 แสดงค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านที่ได้จากกระบวนการผลิตของเตาเผาถ่าน 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบใหม่ และแบบเพิ่มฉนวนกันความร้อน

ชนิดของฉนวนกันความร้อนเตาเผาถ่าน 200 ลิตร	การดูดซับไอโอดีน (mg/g)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ดินเหนียว	754.4541	5.1515
ทราย	714.3509	8.9687
กลบดำ	910.4461	16.774
ไม่มีฉนวนกันความร้อน	700.4828	8.2957

หมายเหตุ : ทำการวิเคราะห์โดยห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

4. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเตาเผา ถ่านขนาด 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิต ถ่าน โดยใช้กะลามะพร้าวเป็นวัตถุดิบในการผลิต ถ่าน จากการทดสอบพบว่า อุณหภูมิภายในเตาเผา 787.2 องศาเซลเซียส อุณหภูมิด้านบนของเตา 371.2 องศาเซลเซียส อุณหภูมิด้านบนสุดของเตา 704.9 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการปิดเตา 70 นาที และ เวลาที่ใช้ทั้งสิ้นของกระบวนการผลิตถ่าน 267 นาที หรือประมาณ 4 ชั่วโมง เตาจะมีอุณหภูมิเท่ากับ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และปริมาณไม้เริ่มต้น (กะลามะพร้าว) 25 กิโลกรัม จะได้ถ่าน 4.6 กิโลกรัม จากการทดสอบโดยทำการเพิ่มฉนวนกันความร้อน 3 ชนิด คือ ดินเหนียว ทราย และแกลบดำ พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของเตาเผาถ่านแบบใส่ฉนวนกันความร้อนจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าเตาเผาถ่านแบบไม่มี ฉนวนกันความร้อน เนื่องจากเตาเผาถ่านที่ได้ใส่ฉนวน กันความร้อนนั้น จะทำให้เตาเผาถ่านมีอุณหภูมิเฉลี่ย ภายในเตาสูงขึ้น และจากการทดสอบค่าความร้อนของ ถ่านกะลามะพร้าวที่ได้จากเตาเผา 200 ลิตร พบว่า เตาเผาถ่านที่ใส่ฉนวนแกลบดำ จะมีค่าความร้อนมากที่สุด เท่ากับ 7,177 แคลอรีต่อกรัม

จากผลการวิจัยเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบ ปรับปรุงรูปแบบและเทคนิคการผลิตถ่าน เพื่อทำการ เปรียบเทียบฉนวนกันความร้อน สามารถจะสรุปได้ว่า เตาเผาถ่านที่เพิ่มฉนวนแกลบดำเหมาะสมมากที่สุด สำหรับเผาถ่านกะลามะพร้าวด้วยเตาเผา 200 ลิตร จาก การวิเคราะห์คุณภาพของถ่านกะลามะพร้าวที่ได้จาก กระบวนการจากเตาเผาถ่าน 200 ลิตร แบบปรับปรุง รูปแบบใหม่ พบว่า ถ่านที่ได้จากเตาเผาแบบใส่ฉนวน แกลบดำจะมีค่าการดูดซับไอโอดีนมากที่สุดเท่ากับ 910.4461 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยมีค่าใกล้เคียงอย่างมาก กับถ่านกัมมันต์ ทั้งนี้ถ่านกัมมันต์จะมีค่าไอโอดีนอยู่ที่ 500 - 1,200 มิลลิกรัมต่อกรัม^[6] และพบว่ามีค่าพื้นที่ผิว

จำเพาะมากที่สุดเท่ากับ 172.5114 ตารางเมตรต่อกรัม และมีค่าปริมาตรรูพรุนเท่ากับ 0.082566 ลูกบาศก์ เซนติเมตรต่อกรัม ทั้งนี้ฉนวนกันความร้อนที่ใช้กับ เตาเผาถ่าน 200 ลิตร แบบปรับปรุงรูปแบบร่วมกับ เทคนิคการผลิตถ่าน ควรใช้ฉนวนกันความร้อนที่ สามารถหาได้ทั่วไปตามท้องถิ่น เช่น ดินแกลบดำ เพื่อ ลดต้นทุนในการใช้ฉนวนเซรามิกซ์ไฟเบอร์ที่มีราคาสูง เนื่องจากถ่านกะลาที่ได้จากเตาเผาถ่านที่ใช้ฉนวนกัน ความร้อนที่ได้ทำการทดสอบนั้นมีค่าประสิทธิภาพ ใกล้เคียงกับเตาเผาถ่าน 200 ลิตร ที่ใช้ฉนวนเซรามิกซ์ ไฟเบอร์นั่นเอง^[4]

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ดร.พิสิญ์ มณีโชติ อาจารย์ที่ ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำชี้แนะ และขอขอบคุณ ดร. สหทัย ทองสาร ดร.รัศมี สิทธิชันแก้ว กรรมการที่ ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณ ประวิทย์ นิลวิเชียร ผู้ออกแบบเตาเผาถ่านรุ่นซูเปอร์ 84 และขอบคุณแหล่ง ทุนวิจัยที่ได้รับ สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) รวมไปถึงวิทยาลัยพลังงานทดแทน ที่เอื้อเฟื้อพื้นที่ ติดตั้งเตาเผาถ่านและอุปกรณ์เครื่องมือสำหรับงานวิจัยใน ครั้งนี้ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่าง สมบูรณ์

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Energy policy and planning office (EPPO). "Energy statistics of Thailand 2016". P.28.,2016. Retrieved from <http://www.eppo.go.th>.
- [2] Department of alternative energy development and efficiency. "Alternative energy development plan (AEDP2015)". Retrieved from http://www.dede.go.th/download/files/AEDP2015_Final_version.pdf

- [3] P. Maneechot, P.Tanarak, S. Tongsan, B. Prasit, W. Wansungnern, A. Phetcharee, A. Akkapin. Development of charcoal kiln vertical power size 200 liters by gasification techniques, TREC-8. 4-6 December. RMUTT. Pathum Thani., 2015.
- [4] P. Rukkarnngan, K. Skunpongmalee, J. Intanin, P. Mulsri. Development of thermal efficiency of the 200 liters charcoal kiln by using insulate enveloped, TREC-7. 12-14 Dec. RMUTR. Prachuap Khiri Khan., 2014.
- [5] L. Luenarm and S. Cuhasawan, Development and Research of coconut shell charcoal production by semi-continuous firing. Bangkok., 2008.
- [6] J. Katesa, Effects of carbonization temperature on properties of chars and activated carbon from coconut shell, Suranaree university of technology., 2013.

การออกแบบและสร้างต้นแบบระบบการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ด้วยสนามไฟฟ้าพัลส์ ระดับอุตสาหกรรม

ชัชวาลย์ กันทะลา¹ นิติกร วงศ์จันทร์แก้ว² ผนุงศักดิ์ รัตนโคโซ³ และ พานิช อินทะ^{4*}

1 นักศึกษา ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต) อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

2 บริษัท ไดอิเล็กทริก เทคโนโลยี จำกัด อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

3 ศาสตราจารย์ ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต)

อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

4* รองศาสตราจารย์ วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ 50220

รับเมื่อ ตุลาคม 2560 ตอบรับเมื่อ ธันวาคม 2560 เผยแพร่ออนไลน์ มีนาคม 2561

© 2018 Rajamangala University of Technology Lanna. All Right Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อออกแบบและสร้างต้นแบบระบบการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารเหลวด้วยสนามไฟฟ้าพัลส์ระดับอุตสาหกรรม โดยออกแบบโครงสร้างให้ไม่ซับซ้อน มีจำนวนชิ้นส่วนประกอบน้อย ต้นทุนในการสร้างถูก การบำรุงรักษาค่า และมีความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน โครงสร้างทำจากสแตนเลส มีขนาด กว้าง 0.9 ยาว 1.4 และสูง 1.8 (เมตร) ระบบสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ประกอบด้วยระบบควบคุม (Control system), แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแบบพัลส์ (High voltage pulse generator), ตัวปรับแรงดันไฟฟ้า (Variacs), ตัวเก็บประจุ (Capacitor), ชุด Spark gaps, ไดโอด (Diode), ตัวต้านทาน (Resistor), ห้องฆ่าเชื้อ (Treatment chamber) แบบไหลต่อเนื่อง, ปั๊มควบคุมการไหลของอาหารเหลว (Pump), อุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flow meter), เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) และถังบรรจุอาหารเหลวทั้งก่อนและหลังกระบวนการ (Initial and treated liquid food) โดยคุณสมบัติของระบบที่สร้างขึ้นมีความเข้มของสนามไฟฟ้ามากกว่า 25 kV/cm แรงดันไฟฟ้าที่ชั่วอิเล็กทรอนิกส์ไม่เกิน 20 kV กระแสไฟฟ้าสูงสุดด้านเอาต์พุต ไม่เกิน 2 kA ที่ความกว้างพัลส์ประมาณ 2.5 μ s ความถี่พัลส์อยู่ในช่วง 0.5 – 2 Hz ศักย์ไฟฟ้าขั้วบวก ความดันของอาหารเหลวประมาณ 1 bar อัตราการไหลของอาหารเหลวประมาณ 1 – 5 L/min อัตราการผลิต 60 – 300 L/hr และความหนาแน่นของพลังงาน 10n kJ/L (n ;จำนวนพัลส์)

คำหลัก: สนามไฟฟ้าพัลส์ อาหารเหลว ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์

*E-mail; panich_intra@yahoo.com

Design and Development of a Prototype of a Microbial Inactivation System by Pulsed Electric Field for Industrial Scale

Chatchawan Kantala¹ Nitikorn Wongjankeaw²
Phadungsak Rattanadecho³ and Panich Intra^{4*}

¹ Student, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University, Klong-Luang, Pathumthani, 12120, Thailand

² Dielectric Technology Company Limited, Chiang Mai, 50200, Thailand

³ Professor, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University, Klong-Luang, Pathumthani, 12120, Thailand

^{4*} Associate Professor, College of Integrated Science and Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, 50220, Thailand

Received: October 2017 Accepted: November 2017 Published online: March 2018

© 2018 Rajamangala University of Technology Lanna. All Right Reserved.

Abstract

This research is mainly aimed to design and develop of a Prototype of a Microbial Inactivation System by Pulsed Electric Field for Industrial Scale in liquid food by designing the uncomplicated structure, fewer components, low cost of developing and maintenance and safe for operators. The structure was made of stainless steel which presented width = 0.9, length = 1.4 and height = 1.8 meter. The pulse-electric field system consists of a control system, high voltage pulse generator, variacs, capacitor, spark gaps, diode, resistor, continuous flow treatment chamber, pump for controlling liquid food flow, flow meter, thermometer, flow Meter, thermometer and Initial and treated liquid food containers. The developed system generated electric field intensity over 25 kV/cm, electrode polarity less than 20 kV, output current less than 2 kA at a pulse width 2.5 μ s approximately, Pulse Repetition Frequency (PRF) was in the range of 0.5 - 2 Hz, liquid pressure around 1 bar, liquid flow rate about 1 - 5 L/min, production rate is 60-300 L/hr and the energy density is 10n kJ/L (n; number of pulse).

Keywords: pulse electric field, Liquid food, Microbial Inactivation

*E-mail; panich_intra@yahoo.com

1. บทนำ

ต้นกำเนิดของกระบวนการ PEF มีมายาวนาน และหลากหลาย นักวิจัยได้แสดงให้เห็นว่าสนามไฟฟ้าสามารถทำลายกระบวนการของเซลล์ในทางชีววิทยาได้ ตั้งแต่ต้นปี ค.ศ.1960 วิธีการใช้กระแสไฟฟ้าหยุดการทำงานของจุลินทรีย์ (Microbial inactivation) ได้ถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1967 และใช้เวลาอีกนานหลายปี ต่อมาว่าที่การวิจัยและการพัฒนาอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันสูง และความสนใจในกระบวนการที่ไม่ผ่านความร้อนของ PEF จะมาบรรจบกันจนผลักดันให้เกิดการนำเอาเทคโนโลยี PEF จากห้องปฏิบัติการสู่ภาคธุรกิจในกลางปี ค.ศ. 1990 PEF ยังได้รับการค้นคว้าในฐานะที่เป็นเทคนิคในการที่ทำให้เนื้อเยื่อในพืช หรือสัตว์สามารถถูกแทรกซึมเข้าไปได้ ซึ่งนำไปใช้ได้หลากหลาย เช่น การสกัด การทำให้แห้ง หรือ การเตรียมเนื้อเยื่อ เพื่อใช้ในกระบวนการทางเคมี หรือ กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์ ไม่ว่าจะเป็นนำไปใช้ในกรณีใดๆ การทำให้เกิด การแทรกซึมโดย Electroporation ในเซลล์พืชหรือเซลล์ของสัตว์นี้ จะทำให้เกิดรอยแยกของเนื้อเยื่อเซลล์ที่ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนสารระหว่างภายในและภายนอกเซลล์ การพัฒนา PEF มีการประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย ได้แก่ การนำไปประยุกต์ใช้ทางการแพทย์ เทคนิคการแยกเนื้อเยื่อ กระบวนการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำผลไม้ เช่น น้ำส้ม น้ำแอปเปิ้ล^[2-3] และ การสกัดสารจากพืชหรือสารประกอบที่อยู่ในวัสดุอื่นๆ เช่น สกัดแคลเซียมในกระดูก เป็นต้น^[4] ถึงงานวิจัยต่างๆ จะถูกแยกกันทำ แต่ก็สามารถนำหลักการมาผสมผสานกันให้เกิดผลได้ กระบวนการฆ่าเชื้อโรคเป็นการประยุกต์ใช้ PEF สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารเป็นหลัก โดยการใช้ PEF ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ในอาหารเหลว ซึ่งมีความต้องการที่จะให้ระดับการฆ่าเชื้อโรคใกล้เคียงกับกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ โดยที่ไม่ให้เสียรสชาติ คุณค่า

ทางโภชนาการ และคุณลักษณะอื่นๆ ของของเหลวที่อาจถูกลดทอนลงไปได้โดยความร้อน มีงานวิจัยเป็นจำนวนมากใน 20 ปีที่ผ่านมาที่แสดงให้เห็นว่า PEF สามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้หลากหลายกลุ่ม และสายพันธุ์ โดยอยู่ในภาวะที่อุณหภูมิต่ำเมื่อเทียบกับกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ รวมถึงให้ผลระดับการฆ่าเชื้อที่สูงได้ (มากถึง 9 logs ซึ่งหมายถึงมีเซลล์รอดชีวิตเพียงหนึ่งในพันล้าน) ในสภาวะกระบวนการที่เหมาะสม มาตรฐานของระดับการฆ่าเชื้อโรคของกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ถูกกำหนดไว้ที่ 5 logs ที่กฎหมายบังคับใช้ในการผลิตอาหารเหลวจะต้องมีจำนวนของจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 100,000 โคโลนี ต่อ ตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำส้ม ข้อมูลตาม (เฉพาะน้ำส้มแท้) (มผช. 275/2547) ^[1] ดังนั้นจึงเห็นได้ว่า PEF สามารถมาใช้ทดแทนการฆ่าเชื้อแบบพาสเจอร์ไรซ์ได้ กล่าวโดยสรุป กระบวนการ PEF ได้มีความก้าวหน้ามากขึ้นมากในตลอดระยะเวลา 20 ปี ไม่ว่าจะเป็นจุลินทรีย์ก่อโรคหรือจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย เรื่องของผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้กระบวนการ PEF และอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในกระบวนการ PEF กระบวนการ PEF อุปสรรคสำคัญของการนำ PEF มาใช้ในเชิงพาณิชย์ในปัจจุบันเป็นเรื่องของความคุ้มค่าของการออกผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ที่มีคุณค่าเพิ่มมากขึ้นทั้งในเรื่องของคุณค่าทางอาหารรสชาติและคุณภาพที่ได้เปรียบเทียบกับการลงทุนที่สูงในการติดตั้งระบบ PEF

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นเพื่อการออกแบบและสร้างต้นแบบระบบการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ด้วยสนามไฟฟ้าพัลส์ระดับอุตสาหกรรมในเครื่องดื่มโดยใช้สนามไฟฟ้าพัลส์ระดับภาคสนาม โดยใช้ เครื่องมือ วัสดุ อุปกรณ์ และระบบควบคุม ที่สามารถพัฒนาและหาได้ภายในประเทศ ทดแทนชิ้นส่วนจากต่างประเทศ

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

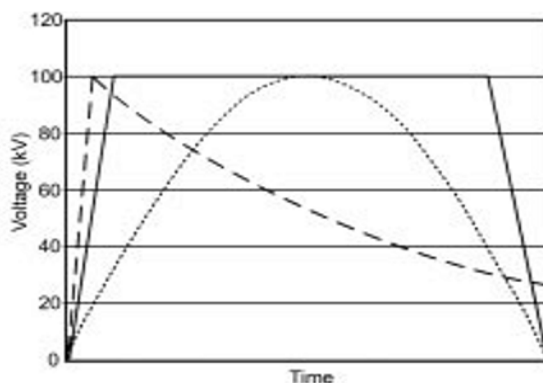
2.1 รูปร่างของพัลส์

โดยปกติการใช้งานของระบบ PEF จะขึ้นอยู่กับค่าของแรงดันที่สูงพอและระยะเวลาที่เกิดสนามไฟฟ้ากำลังสูงต้องมากพอ เพื่อให้เกิดผลในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ รูปทรงในอุดมคติของแรงดันพัลส์จะมีระยะเวลาที่แรงดันเพิ่มสูงขึ้นและลดลงเป็นศูนย์ และยอดของแรงดันเป็นเส้นเรียบที่ให้แรงดันคงที่ตามระยะเวลาและพลังงานหรือค่าแรงดันที่ต้องการ แต่ในทางปฏิบัติรูปทรงพัลส์แบบนี้ไม่สามารถเกิดขึ้นได้จริง โดยพัลส์ที่เกิดขึ้นนั้นจะใช้เวลาในการไต่หรือลดระดับความดันจนถึงค่าแรงดันสูงสุดที่ต้องการ และค่าแรงดันเป็นเส้นตรงคงที่ที่ยอดก็ไม่สามารถเกิดได้จริง ดังนั้นการกำหนดค่าและระยะเวลาของแรงดันพัลส์ในทางปฏิบัติจึงขึ้นอยู่กับวิธีการประมาณคลื่นทั้ง 3 ดังรูปที่ 1 ที่ค่าสูงสุด ($V_{max} = 100$) และค่าความกว้างของพัลส์ที่เท่ากัน ค่าคัตออฟ (cut-off) ของกราฟเอ็กซ์โปเนนเชียลอยู่ที่ 25% ของ V_{max} พัลส์ทั้ง 3 รูปแบบนี้เป็นตัวอย่างที่นักวิจัยนำมาใช้โดยประมาณว่าเป็นลักษณะของพัลส์ที่มีค่าเดียวกัน ($V=100$, $t=100$)

อย่างไรก็ตามค่าพลังงานที่ได้ และระยะเวลาที่ค่าแรงดันอยู่เหนือค่าเทรชโซลด์จะแตกต่างกันอย่างมาก จากความแตกต่างที่ได้กล่าวมาแล้วนี้ทำให้มีผลทางจุลชีววิทยาที่ถูกรายงานออกมาต่างๆ กัน

2.2 ค่าการนำไฟฟ้าและอัตราการไหล

ค่ากำลังที่ต้องใช้ในกระบวนการจะถูกกำหนดจากค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ของสารเหลวและอัตราการไหลที่ต้องการค่าการนำไฟฟ้าจะถูกวัดโดยการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนที่อยู่ในสารที่ใช้ โดยการวัดว่ากระแสไฟฟ้าสามารถถูกส่งผ่านไปได้ง่ายแค่ไหน หน่วยของค่าการนำไฟฟ้าที่ใช้คือ ซีเมนต่อเมตร (S/m) ในงานวิจัยส่วนใหญ่ของ PEF จะใช้ค่าการนำไฟฟ้า (σ) เนื่องจากเป็นค่าที่เคยถูกวัดมาแล้วที่บ่งบอกถึงคุณลักษณะของสารเหลว และสามารถนำมาใช้คำนวณค่ากระแสไฟฟ้าตามกฎของโอห์มได้ ค่ากำลังที่ต้องการจะแปรผันตรงตามอัตราการไหลและค่าการนำไฟฟ้าในกระบวนการที่กำหนด และแปรผันตามค่ายกกำลัง 2 ของค่าความเข้มข้นไฟฟ้า ทำให้ค่าความเข้มข้นไฟฟ้าเป็นตัวแปรหลักที่สำคัญที่สุดที่ต้องกำหนดให้ถูกต้องเพื่อที่จะคำนวณค่ากำลังที่ต้องการในกระบวนการ PEF ให้ได้ต่ำที่สุด



รูปที่ 1 รูปทรงของคลื่นแรงดันพัลส์ทั้ง 3 แบบที่ใช้งานจริง ที่ถูกนอร์มอลไลซ์มาเปรียบเทียบกัน ได้แก่ รูปทรงสี่ เหลี่ยม รูปทรงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล และรูปทรงครึ่งของคลื่นรูปไซน์^[5]

2.3 ภาพรวมของระบบสนามไฟฟ้าแบบพัลส์

2.3.1 แหล่งจ่ายไฟ

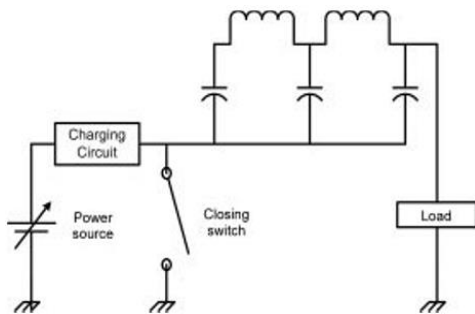
แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงจะแปลงไฟกระแสสลับที่ได้มาเป็นไฟกระแสตรงแรงดันสูง แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงโดยทั่วไปจะแสดงค่าเป็นกำลังเฉลี่ยคือ วัตต์ (Watts) โครงสร้างระบบของแหล่งจ่ายไฟแบ่งออกเป็นหลักๆ 3 ประเภท ระบบแรกที่ย่อยที่สุดคือระบบที่ใช้หม้อแปลงเรียงกระแสไฟ (Transformer rectifier) ซึ่งทำงานที่ความถี่ 50-60 เฮิร์ตซ์ ระบบแหล่งจ่ายแบบนี้ เป็นระบบที่ถูกที่สุดแต่มีขนาดใหญ่ในเครื่องที่ทำให้กำลังไฟสูง ซึ่งเป็นข้อเสียในแง่ของการควบคุมแรงดันการรักษาระดับแรงดัน และผลกระทบต่อระบบกำลังไฟโดยรวมแต่อย่างไรก็ตามระบบแบบนี้เป็นระบบที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ถ้าวัดเป็นจำนวนเงินต่อกำลังวัตต์ โดยเฉพาะจะถูกลงในระบบที่ให้ไฟกำลังสูงๆ (หลาย 100 กิโลวัตต์)

ระบบแบบที่ 2 เป็นระบบจ่ายไฟที่ใช้ระบบสวิตซ์ (Switching power supply) ในการออกแบบระบบนี้ กำลังไฟขาเข้าจะถูกเรียงและตัดที่ความถี่สูง (ประมาณ 10-50 กิโลเฮิร์ตซ์) ก่อนเข้าไปที่หม้อแปลงเรียงกระแสไฟ ขนาดของหม้อแปลงที่ใช้จะมีขนาดลดลงตามความถี่ในการตัดคลื่นที่สูงขึ้น ทำให้ขนาดของเครื่องจ่ายไฟกระแสตรงกำลังสูงที่มีขนาดไม่ใหญ่ ระบบสวิตซ์จะให้แรงดันที่รักษาระดับการควบคุมได้ดี และสามารถตั้งค่าแรงดันขาออกได้ ทำให้เหมาะสมในการควบคุมตัวแปรในกระบวนการ PEF ซึ่งเป็นอิสระกับส่วนของโมดูลเรเตอร์ ระบบแหล่งจ่ายแบบสวิตซ์โดยทั่วไปจะใช้กำลังมากถึง 500 กิโลวัตต์ ซึ่งสนับสนุนการทำงานของระบบ PEF ที่มีอัตราการไหลได้มากถึง 10,000 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งมากพอต่อการผลิตภาคอุตสาหกรรม ข้อเสียของระบบแหล่งจ่ายแบบสวิตซ์นี้คือราคาที่สูงซึ่งสูงกว่าแบบแรกประมาณ 2-5 เท่าที่กล่าวถึง และในระดับแรงดันที่สูงมากๆ (500 กิโลวัตต์ขึ้นไป) รูปแบบที่เหมาะสมจะเป็นการผสมผสานของหม้อแปลงเรียงกระแสไฟ (สำหรับกำลัง

ที่ไม่มีการรักษาระดับ) และตัวรักษาระดับแรงดันความถี่สูง เช่นตัวลดทอนแรงดัน Buck regulator ที่ฝังขาออกเพื่อควบคุมระดับแรงดันสุดท้าย ในระบบแหล่งจ่ายไฟแบบนี้ เป็นระบบที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้ในระบบ PEF ที่ต้องการกำลังสูงๆ เช่น ในสายการผลิตอุตสาหกรรมอาหารขนาดใหญ่ หรือ การบำบัดน้ำเสียขนาดใหญ่

2.3.2 โมดูลเรเตอร์

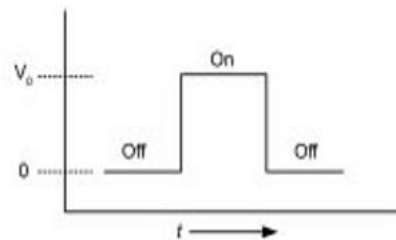
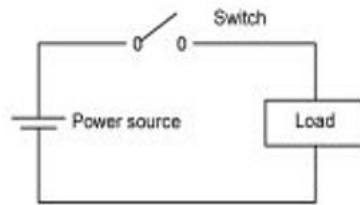
โมดูลเรเตอร์แบบพัลส์ในทุกรูปแบบขึ้นอยู่กับความสามารถในการเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งสามารถทำได้ในทางกลศาสตร์ถึงแม้ว่าจะช้าและยากในการใช้งานในที่ความถี่สูงและก็ไม่เหมาะกับระบบ PEF แต่ระบบสามารถออกแบบให้ถูกควบคุมโดยการลัดวงจรโดยอุปกรณ์ เช่น อุปกรณ์ลัดวงจรผ่านช่องว่าง (Spark gap) ที่ชื่อไทรแอตตรอน (Thyratron) หรืออุปกรณ์ที่เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบ โซลิดสเตท (Solid state) เช่น ตัวเรียงกระแสไฟแบบซิลิคอนคอนโทล ระบบสวิตซ์นี้สามารถให้กระแสผ่านในทางกลับกันได้ และถูกตัดโดยหลอดสุญญากาศ เช่น เทตรอด (Tetrode) หรือ ทรานซิสเตอร์ (Transistor) เช่น อินซูเลตเกตไบโพลาร์ ทรานซิสเตอร์ (Insulated Gate Bipolar Transistor : IGBT) ในการเปิดปิดของสวิตซ์ กระแสสามารถจะถูกตัดหรือต่อได้ในทุกขณะซึ่งต้องใช้สวิตซ์ที่สามารถทนแรงกระแสในช่วงเปิดและทนแรงดันในช่วงปิดได้ ในสวิตซ์ทั้ง 2 ประเภทที่กล่าวมา (สวิตซ์แบบปิด และสวิตซ์เปิดปิด) มีการออกแบบพื้นฐาน 3 แบบ ได้แก่ แบบวงจรก่อดั้วสร้างพัลส์ (PFN – Pulse Forming Network ตามรูปที่ 2) แบบฮาร์ดสวิตซ์ (Hard switch) ดังแสดงในรูปที่ 3 และแบบการเหนี่ยวนำผ่านหม้อแปลง (Transformer coupled system รูปที่ 4) การออกแบบทั้ง 3 นี้มีกำเนิดตั้งแต่ในช่วงที่ใช้โมดูลเรเตอร์แบบหลอดสุญญากาศ แต่ช่วงหลังได้เปลี่ยนมาใช้สวิตซ์โซลิดสเตทแทนหลอดสุญญากาศแบบในยุค



รูปที่ 2 วงจรโมดูเรเตอร์แบบ PFN
ด้วยสวิตช์แบบปิด [5]



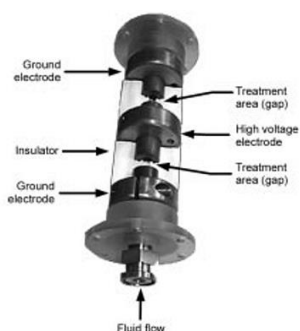
รูปที่ 4 วงจรโมดูเรเตอร์แบบการเหนี่ยวนำ
ผ่านหม้อแปลง [5]



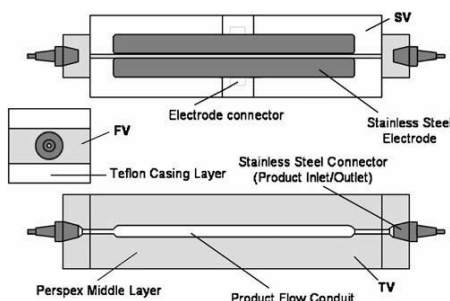
รูปที่ 3 วงจรโมดูเรเตอร์
แบบฮาร์ดสวิตช์ [5]

ทศวรรษก่อนหน้าวงจรแบบก่อดำสร้างพัลส์ (PFN) นั้น จะเก็บพลังงานไว้ในตัวคาปาซิเตอร์ และสามารถสร้างพัลส์ โดยการทำงานร่วมกันระหว่างตัวคาปาซิเตอร์และตัวเหนี่ยวนำที่อยู่ในวงจร ทำให้สามารถปรับเปลี่ยนตัวแปรของพัลส์ได้ เช่นระยะเวลาแรงดันขาขึ้นความกว้างพัลส์ โดยการปรับค่าของตัวคาปาซิเตอร์และตัวเหนี่ยวนำ ในระบบที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งระบบ PFN หรือ ระบบการเหนี่ยวนำผ่านหม้อแปลงต้องมีค่าอิมพีแดนซ์ที่เหมาะสมกับโหลด หมายถึงค่าความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสเป็นค่าเดียวกัน หลังจากส่งพัลส์ออกไปลูกหนึ่งวงจร PFN ต้องชาร์ตไฟจากแหล่งจ่ายไฟใหม่ ทำให้มีข้อจำกัดในเรื่องความถี่ของพัลส์ที่ส่งออกมา ตัวเลือกถัดไปคือแบบฮาร์ดสวิตช์ ที่สามารถสลับเปลี่ยนแรงดันเปิด-ปิดได้โดยตรง วงจรแบบนี้มีข้อดีในแง่ที่สามารถยืดหยุ่นทั้งในความกว้างของพัลส์และ

ความถี่ของพัลส์ และเนื่องจากวงจรฮาร์ดสวิตช์ มีค่าอิมพีแดนซ์ที่ต่ำทำให้สร้างค่าสัญญาณได้มีแรงดันสม่ำเสมอในระดับของค่ากระแสสูงสุดตามที่ต้องการตามคุณลักษณะการนำไฟฟ้าของสารที่ใช้ การใช้โซลิต-สแตทสวิตช์เหมาะสำหรับความต้องการเหล่านี้ ข้อดีของวงจรแบบนี้คือระบบจ่ายไฟต้องทำงานเพื่อให้แรงดันที่เต็ม ยังมีตัวเลือกอีกแบบหนึ่งคือแบบลูกผสม (Hybrid) ซึ่งจะผสมผสานวงจรแบบฮาร์ดสวิตช์ที่แรงดันต่ำ แล้วเหนี่ยวนำแรงดันพัลส์ที่ได้ผ่านหม้อแปลง ในการออกแบบสวิตช์หลายตัวต่อแบบขนานจะอยู่ในฝั่งวงจร Primary และแต่ละชุดมีหม้อแปลงที่ต่อแบบอนุกรมในฝั่งวงจร Secondary เพื่อเพิ่มแรงดันที่ได้ การออกแบบวงจรแบบนี้ลดข้อจำกัดหลายอย่างที่มีในวงจรแบบ PFN เช่น ความกว้างของพัลส์ที่ไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้ หรือ ความถี่ที่ถูกจำกัด



รูปที่ 5 ภาพของทรีทเมนต์แชมเบอร์แบบโคฟิลต์โฟลว^[5]



รูปที่ 6 ทรีทเมนต์แชมเบอร์สำหรับใช้ฆ่าเชื้อในน้ำนม^[2]

2.3.3 ทรีทเมนต์ แชมเบอร์

ส่วนที่สำคัญส่วนที่ 3 ในระบบ PEF คือส่วนของทรีทเมนต์ แชมเบอร์ (ตามรูปที่ 5-6) ซึ่งเป็นส่วนที่มีการส่งผ่านแรงดันสูงพัลส์ไปที่อาหารเหลว ตัวแปรที่สำคัญของทรีทเมนต์ แชมเบอร์ นี้คือจะต้องให้มีผลต่ออัตราการไหลของสารเหลวน้อยที่สุดโดยที่ยังคงค่าของสนามไฟฟ้าที่สม่ำเสมอในทุกส่วนของกาไหลผ่าน ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้มักจะไม่มีเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ทำให้การออกแบบจะต้องผ่านกระบวนการทดลองเพื่อให้ได้ระบบที่เหมาะสมที่สุด การให้ค่าสนามไฟฟ้าที่สม่ำเสมอในทุกกระยะของทรีทเมนต์แชมเบอร์นั้นเป็นเรื่องที่สำคัญ รวมถึงการออกแบบเพื่อให้ทนแรงดันเพื่อไม่ให้เกิดประกายไฟ ตัวแปร 2 ตัวที่มีผลต่อการออกแบบนี้คือค่าระยะทางกายภาพของช่องและวัสดุที่ใช้ทำอิเล็กโตรดและฉนวน และในท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่รองรับอัตราการไหลที่มากขึ้นจะต้องใช้แรงดันพัลส์ที่สูงตามขึ้นไปด้วย เพื่อจะรักษาระดับของสนามไฟฟ้า ในการออกแบบโคฟิลต์โฟลวนี้ได้ผลดีที่สุดที่เส้นผ่านศูนย์กลางท่อขนาด 5 เซนติเมตร

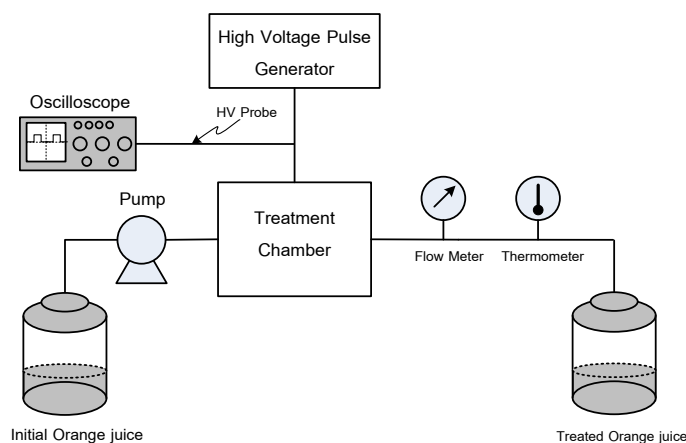
2.4 วิธีดำเนินการวิจัย

2.4.1 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ PEF

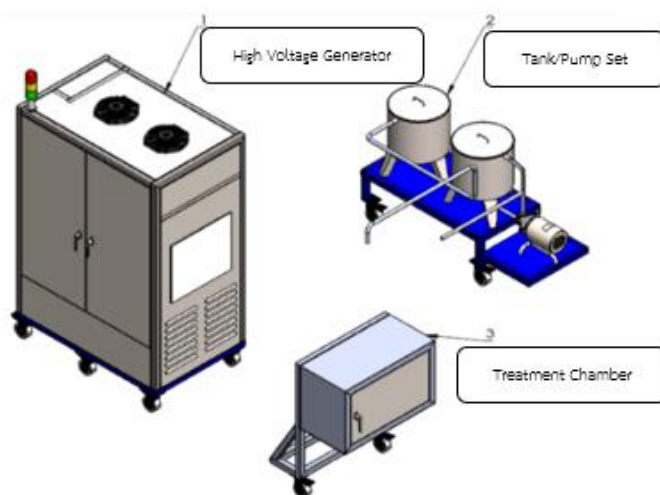
ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบและสร้างต้นแบบระบบการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ด้วยสนามไฟฟ้าพัลส์ระดับอุตสาหกรรมในเครื่องต้มโดยใช้สนามไฟฟ้าพัลส์ระดับภาคสนาม โดยใช้ เครื่องมือวัสดุ อุปกรณ์ และระบบควบคุมที่สามารถพัฒนาและหาได้ภายในประเทศทดแทนชิ้นส่วนจากต่างประเทศ เหมาะสมต่อการทำงานระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานภายในประเทศ และลดการพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศ ดังนั้น เพื่อให้บรรลุเป้าหมาย ห้องฆ่าเชื้อที่ออกแบบ จะต้องสามารถกำจัดเชื้อจุลินชีพในอาหารเหลวที่ทำให้เกิดโรคได้ และมีค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าภายในห้องฆ่าเชื้อจะต้องมีความมากกว่า 25 kV/cm และมีลักษณะเป็นพัลส์ในช่วงประมาณ 1 – 2,000 μ s ดังนั้น ในการศึกษานี้จะกำหนดให้แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ขั้วอิเล็กโตรดไม่เกิน 20 kV และมีกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ 1 kA จำกัดในช่วงเวลาพัลส์ 1 – 2,000 μ s และกำหนดให้มีอัตราการไหลของ

เครื่องตี้อยู่ในช่วง 1 – 5 L/min ที่ความดันของเครื่องตี้อยู่ในเท่ากับความดันบรรยากาศ คือ 1 bar ตันแบบถูกออกแบบโครงสร้างให้ไม่ซับซ้อน มีจำนวนชิ้นส่วนประกอบน้อย สามารถถอดล้างทำความสะอาดและประกอบติดตั้งได้ง่าย และราคาต้นทุนต่ำ และนอกจากนี้ห้องฆ่าเชื้อที่ออกแบบจะต้องมีความปลอดภัยในการใช้งานและมีการบำรุงรักษาต่ำ โดยอันตรายอันดับแรกจะเกิดขึ้นจากห้องฆ่าเชื้อ คือ ไฟฟ้าแรงสูงที่จ่ายให้กับขั้วอิเล็กโทรดที่อยู่ด้านในเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าที่มีความเครียดสูง ซึ่งอันตรายจากไฟฟ้าแรงสูงสามารถทำให้ลดลงได้โดยทำการฉนวนไฟฟ้าทั้งสายไฟฟ้าแรงสูงและจุดที่มีการเชื่อมต่อกัน การแยกอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงใดๆ ออกจากกัน และการใช้วัสดุฉนวนที่มีความเป็นฉนวนไฟฟ้าเพียงพอเพื่อป้องกันการเกิดประกายไฟและการลัดวงจรไฟฟ้าในขณะปฏิบัติงาน และการป้องกันการแพร่กระจายของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กอื่นจากระบบสู่ผู้ปฏิบัติงานด้วยลูกกรงฟาราเดย์ และระบบกราวด์ที่โครงสร้างของเครื่องต้นแบบคณะผู้วิจัยได้ทำ

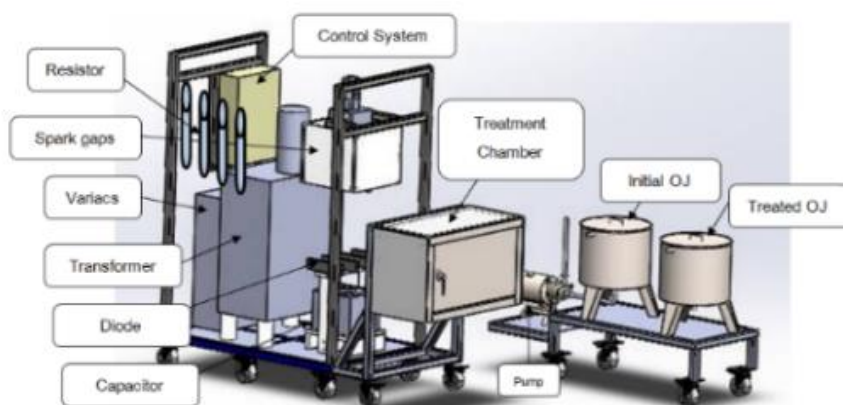
การออกแบบระบบการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์จะใช้ลักษณะการทำงานของระบบในรูปแบบการทำงานต่อเนื่อง ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ประกอบด้วย ระบบควบคุมแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแบบพัลส์ อุปกรณ์แสดงผลข้อมูล (Oscilloscope) ห้องฆ่าเชื้อ ปัมควบคุมการไหลของน้ำส้ม อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำส้มเทอร์โมมิเตอร์ และถังบรรจุน้ำส้มทั้งก่อนและหลังกระบวนการทำงานของระบบจะเริ่มต้นโดยการใช้ปั๊มไหลเวียนเครื่องตี้อยู่ในถังเก็บผลผลิต เข้าสู่ห้องฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกซ้อนกันร่วมและที่ขั้วอิเล็กโทรดด้านในจะถูกจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบพัลส์เพื่อสร้างสนามไฟฟ้าที่มีความเข้มสูงภายในห้องฆ่าเชื้อประมาณ 20 kV/cm ส่งผลให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในอาหารเหลวหรือเครื่องตี้อยู่ในถังในถังฆ่าเชื้อถูกทำลายด้วยกระบวนการอิเล็กโทรโพรเซชันและหลังจากผ่านห้องฆ่าเชื้อแล้วเครื่องตี้อยู่ในถังจะถูกนำไปเก็บไว้ในถังเก็บผลผลิตดังแสดงในรูปที่ 7 - 8 ตามลำดับ



รูปที่ 7 ระบบการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำส้มด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์



(ก)



(ข)

รูปที่ 8 (ก) ส่วนประกอบหลักเครื่องต้นแบบ PEF (ข) ชิ้นส่วนอุปกรณ์ต้นแบบเครื่อง PEF สำหรับกระบวนการผลิตเครื่องดื่มสำหรับอุตสาหกรรมระดับภาคสนาม

2.4.2 การออกแบบและสร้างแหล่งกำเนิด PEF

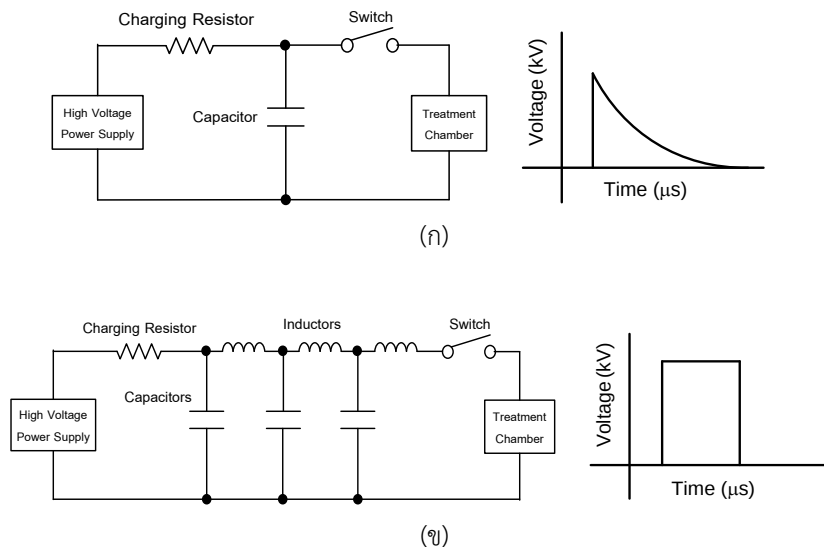
วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแบบพัลส์ทำหน้าที่สร้างแรงดันไฟฟ้าสูงที่มีลักษณะเป็นแบบพัลส์เพื่อจ่ายให้กับขั้วอิเล็กโทรดภายในห้องฆ่าเชื้อ ภายในวงจรประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง กระแสตรง (High voltage power supply) ตัวต้านทานไฟฟ้าที่ควบคุมการอัดประจุไฟฟ้า (Charging resistor) คาปาซิเตอร์สำหรับสะสมพลังงาน (Energy Storage capacitor) และอุปกรณ์ควบคุมที่มีความไวในการสวิตชิงสูงเช่น Spark gap, Thyatron หรือ Ignitron เป็นต้น โดยหลักการทำงานของวงจรคือจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงผ่านตัวต้านทานให้คาปาซิเตอร์เพื่ออัดประจุสะสมพลังงาน และเมื่ออุปกรณ์สวิตชิงทำงานจะทำให้คาปาซิเตอร์คายประจุพลังงานให้กับวงจรตามลักษณะการทำงานพื้นฐานของ

วงจรอัดและคายประจุของตัวเก็บประจุ ซึ่งสามารถหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่อัดและคายประจุได้จากสมการที่ 1 และ สมการที่ 2 ตามลำดับ ^[6-8]

$$V_{c1} = V_0(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (1)$$

$$V_{c2} = V_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (2)$$

เมื่อ V_{c1} คือแรงดันไฟฟ้าจากการอัดประจุ V_{c2} คือแรงดันไฟฟ้าจากการคายประจุ V_0 คือแรงดันไฟฟ้าอินพุต t คือเวลาที่ใช้ในการชาร์จประจุ R คือตัวต้านทาน Charging resistor และ C คือตัวคาปาซิเตอร์สำหรับสะสมพลังงาน



รูปที่ 9 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแบบพัลส์แบบ (ก) Exponential pulse และ (ข) Square pulse

วงจรของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงแบบพัลส์ที่มีลักษณะรูปคลื่นเป็นแบบ Exponential pulse และแบบ Square pulse ดังแสดงในรูปที่ 9 ความกว้างของสัญญาณพัลส์ (Pulse Width) ที่ได้จากแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแบบพัลส์ เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ ความกว้างของสัญญาณพัลส์จากแหล่งจ่ายไฟฟ้าจะต้องมีค่ามากกว่าช่วงเวลาวิกฤตหรือช่วงเวลาทีเซลล์ได้รับสนามไฟฟ้าแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลง (The membrane relaxation time) ซึ่งอยู่ที่ประมาณ 10 ns จึงจะทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์เกิดการถ่ายเทศักย์ไฟฟ้าขึ้น โดยสามารถหาค่าความกว้างของสัญญาณพัลส์ได้จากสมการที่ 3 ^[6-8]

$$\tau = CR_{load} \quad (3)$$

เมื่อ τ คือความกว้างของสัญญาณพัลส์ C คือค่าความจุของคาปาซิเตอร์สำหรับสะสมพลังงาน และ R คือค่าความต้านทานของอาหารซึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการที่ 4 ^[6-8]

$$R = \frac{d}{\sigma A} \quad (4)$$

เมื่อ d คือระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรดภายในห้องฆ่าเชื้อ σ คือค่าสภาพความนำไฟฟ้า (Conductivity) ของอาหาร และ A คือพื้นที่ภายในทั้งหมดของห้องฆ่าเชื้อ ความกว้างของสัญญาณพัลส์จากรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าแบบ Exponential pulse จะอยู่ที่ 37% ของค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด จึงทำให้ความกว้างของรูปคลื่นแบบ Square pulse มีค่ามากกว่ารูปคลื่นแบบ Exponential pulse พลังงานในกระบวนการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ภายในอาหารโดยวิธี PEF นั้น จะใช้พลังงานของระบบไม่สูงมาก เนื่องจากเป็น

กรรมวิธีไม่ใช้ความร้อนจึงไม่มีการสูญเสียพลังงานในรูปแบบความร้อนจากงานวิจัยพบว่าในการยับยั้งเชื้อ *E. coli* จำนวน 4 log ด้วยสนามไฟฟ้าขนาด 25 kV/cm. สูญเสียพลังงานทั้งหมด 297 kJ/L ซึ่งพลังงานที่สูญเสียไปของระบบคือพลังงานที่ใช้สร้างสัญญาณรูปคลื่นแบบพัลส์จากแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง โดยสามารถหาพลังงานจากการสร้างสัญญาณแบบ Exponential pulse ได้จากสมการที่ 5 ^[6-8]

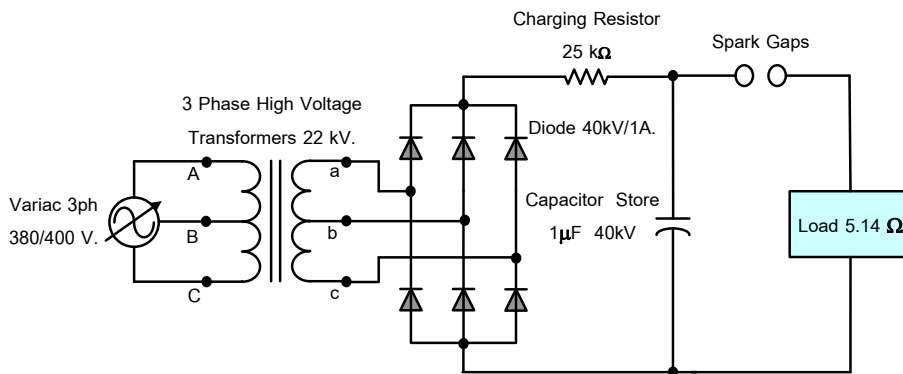
$$Q = \frac{V_0^2 C n}{2v} = \frac{V_0^2 t}{2Rv} \quad (5)$$

เมื่อ Q คือความหนาแน่นของพลังงาน V_0 คือแรงดันไฟฟ้าจากการชาร์จประจุ C คือค่าความจุของคาปาซิเตอร์สำหรับสะสมพลังงาน R คือค่าความต้านทานของอาหาร t คือเวลาทั้งหมดที่ใช้ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ n คือจำนวนพัลส์ทั้งหมด และ v คือปริมาตรภายในห้องฆ่าเชื้อ สำหรับรูปคลื่นสัญญาณแบบ Square Pulse สามารถหาพลังงานที่เกิดขึ้นได้จากสมการที่ 6 ^[6-8]

$$Q = \frac{VI\tau n}{v} = \frac{V^2 t}{Rv} \quad (6)$$

เมื่อ V คือพิกัดแรงดันไฟฟ้าภายในระบบ I คือพิกัดกระแสไฟฟ้าของระบบ และ τ คือความกว้างของสัญญาณพัลส์

ในการออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแบบพัลส์ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในห้องฆ่าเชื้อจะต้องมากกว่าสนามไฟฟ้าวิกฤต (The Critical electric field strength) ของเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าค่าสนามไฟฟ้าวิกฤต หรือค่าสนามไฟฟ้าเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการถ่ายเทระหว่างของเหลวภายนอกกับของเหลวภายในเชื้อจุลินทรีย์นั้น

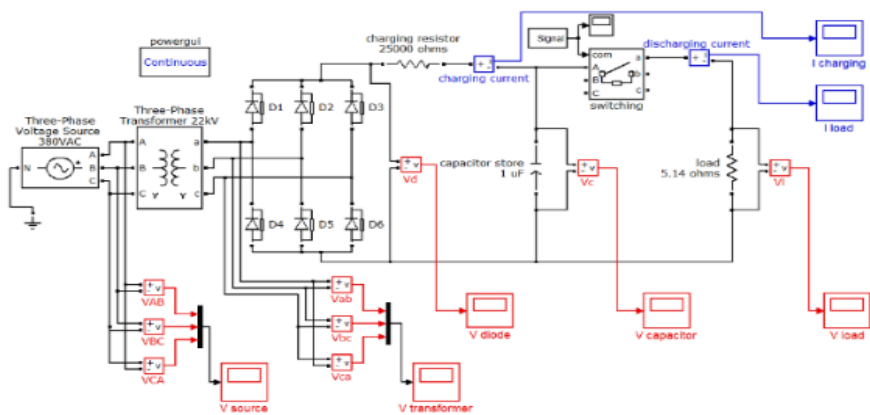


รูปที่ 10 วงจรการทำงานของระบบการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำส้มด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์

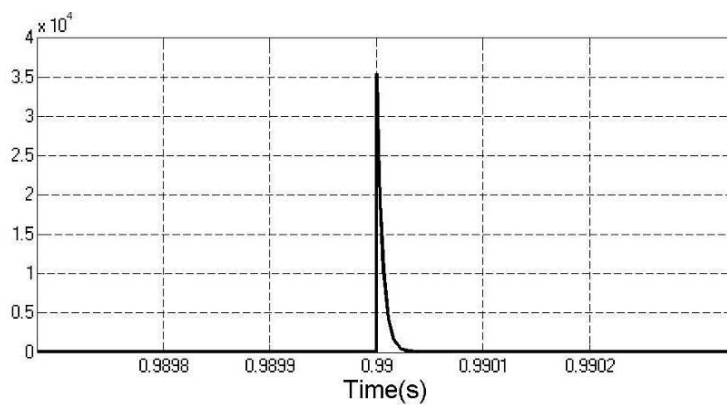
จะเปลี่ยนแปลงตามลักษณะรูปร่างของเชื้อจุลินทรีย์ โดยจะอยู่ที่ประมาณ 3.8 – 14 kV/cm และปริมาณความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในอาหารจะอยู่ที่ 20 – 80 kV/cm รูปที่ 10 แสดงวงจรการทำงานของระบบการยับยั้งเชื้อ *E. coli* ในน้ำส้มด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแบบพัลส์ที่ออกแบบในระบบนี้จะมีพิกัดกำลังไฟฟ้าของวงจรเท่ากับ 5500 วัตต์ โดยมีลักษณะของรูปคลื่นเป็นแบบ Exponential pulse ที่ ขนาด ความถี่ Repetitive pulses 5-7 Hz ส่วนประกอบที่สำคัญของแหล่งจ่ายประกอบด้วย หม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับ 3 เฟส 22 kV ตัวต้านทานไฟฟ้า Charging resistor 29 kΩ ตัวเก็บประจุพิกัด 1 μF อุปกรณ์สวิตช์ Spark gaps และวงจรเรกติไฟร์ (Rectifier) เพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับเวลาและแรงดันไฟฟ้าจากการอัดและคายประจุของวงจรโดยการคำนวณจากสมการที่ 1 และ 2 ค่าความกว้างของสัญญาณพัลส์จากแหล่งจ่ายที่ออกแบบนี้จะต้องมีค่ามากกว่าช่วงเวลาวิกฤตที่สามารถทนต่อสนามไฟฟ้าได้ของเชื้อจุลินทรีย์ โดยจากสมการที่ 7 จะเห็นว่าค่าความกว้างของสัญญาณพัลส์

จะขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานไฟฟ้าของน้ำส้มที่เกิดขึ้นภายในห้องฆ่าเชื้อ ซึ่งสามารถหาค่าความต้านทานไฟฟ้าได้ เท่ากับ 5.16 โอห์ม (ค่าสภาพความนำไฟฟ้าหรือ Conductivity ของน้ำส้ม pH 3.55 ได้เท่ากับ 0.156 S/m) ดังนั้นจากการคำนวณทั้งหมดนี้จะได้ค่าความกว้างสัญญาณพัลส์จากการคายประจุไฟฟ้าเท่ากับ 5.14 μs

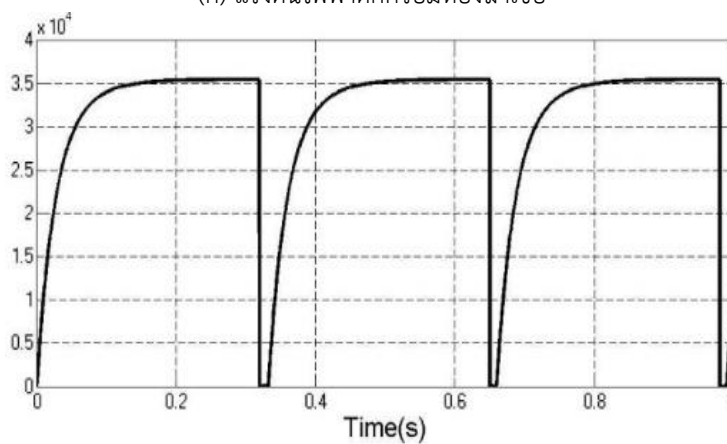
ในการศึกษานี้ได้ทำการจำลองการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงพัลส์ 3 เฟส ในโปรแกรม Simulink/MATLAB ซึ่งวงจรจำลองการทำงานดังแสดงในรูปที่ 11 ลักษณะการทำงานของวงจรจะประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟส จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับขอลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยแรงดันไฟฟ้าแรงสูงที่ออกจากขอลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงจะผ่านวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น 3 เฟส แบบบริดจ์ และผ่านความต้านทานแรงสูงเพื่อชาร์จประจุให้กับตัวเก็บประจุและมีอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งควบคุมการชาร์จและดิสชาร์จประจุในการสร้างแรงดันไฟฟ้าสูงพัลส์ เพื่อจ่ายให้กับขั้วอิเล็กโทรดที่อยู่ในห้องฆ่าเชื้อ รูปที่ 12 แสดงผลการคำนวณด้วยโปรแกรม Simulink/MATLAB



รูปที่ 11 วงจรการจำลองใน Simulink/MATLAB



(ก) แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมห้องฆ่าเชื้อ



(ข) แรงดันไฟฟ้าขณะชาร์ตประจุ

รูปที่ 12 ผลการคำนวณด้วยโปรแกรม Simulink/MATLAB

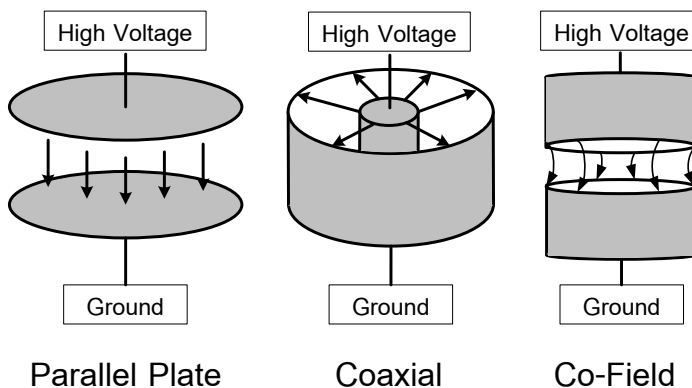
2.4.3 การออกแบบและสร้างห้องฆ่าเชื้อ

ห้องฆ่าเชื้อหรือห้องยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของระบบ PEF โดยทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าที่ใช้สำหรับยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ภายในห้องฆ่าเชื้อประกอบด้วยขั้วอิเล็กโทรด (Electrode) สองขั้ว ขั้วหนึ่งต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแบบพัลส์ และอีกขั้วหนึ่งต่อเข้ากับขั้วกราวด์ของระบบเมื่ออิเล็กโทรดภายในห้องฆ่าเชื้อได้รับแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นระหว่างขั้วอิเล็กโทรด ลักษณะของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะของขั้วอิเล็กโทรดภายในห้องฆ่าเชื้อ โดยทั่วไปลักษณะของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีอยู่ 3 ลักษณะคือ สนามไฟฟ้าตัดขวาง, สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ และสนามไฟฟ้ารวมดังแสดงในรูปที่ 13 ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดภายในห้องฆ่าเชื้อจะต้องมีความเหมาะสม ถ้าระยะห่างระหว่าง

ขั้วอิเล็กโทรดมีค่ามากเกินไปสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีค่าน้อย แต่ถ้าระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรดน้อยเกินไปก็จะทำให้เกิดการเบรกตาวนขึ้นระหว่างอิเล็กโทรด โดยสามารถคำนวณค่าสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในห้องฆ่าเชื้อได้จากสมการที่ 7 ^[6-8]

$$E = \frac{V}{d} \quad (7)$$

เมื่อ E คือ สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในห้องฆ่าเชื้อ V คือ พิกัดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขั้วอิเล็กโทรด และ d คือ ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดภายในห้องฆ่าเชื้อ ในกรณีที่มีการออกแบบห้องฆ่าเชื้อให้มีลักษณะเป็นแบบทรงกระบอกซ้อนแกนร่วม (Coaxial) รัศมีภายในของขั้วอิเล็กโทรดจะต้องมากกว่ารัศมีภายนอกกลบริศมีภายใน หรือ $r_1 > (r_2 - r_1)$



รูปที่ 13 ทิศทางของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในห้องฆ่าเชื้อ

และสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในห้องฆ่าเชื้อสามารถหาได้จากสมการที่ 8 ^[6-8]

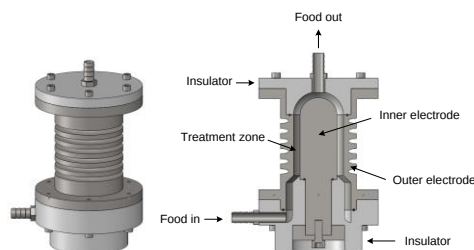
$$E = \frac{V}{r \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (8)$$

เมื่อ r คือรัศมีภายในห้องฆ่าเชื้อ r_1 คือรัศมีของขั้วอิเล็กโทรดภายใน และ r_2 คือรัศมีของขั้วอิเล็กโทรดภายนอก รูปแบบการทำงานของห้องฆ่าเชื้อจะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ การทำงานแบบแบช (Batch) และแบบการทำงานต่อเนื่อง (Continuous) โดยการทำงานแบบแบชจะนำอาหารที่ต้องการทดสอบไปแช่ทิ้งไว้ในห้องฆ่าเชื้อแล้วจ่ายสนามไฟฟ้าเข้าไป ส่วนแบบการทำงานต่อเนื่องจะใช้วิธีป้อนอาหารไหลผ่านสนามไฟฟ้าภายในห้องฆ่าเชื้อซึ่งอาหารที่เหมาะสมสำหรับรูปแบบการทำงานต่อเนื่องอาหารชนิดเหลวเนื่องจากไม่มีปัญหาในการป้อนอาหารเข้าสู่ห้องฆ่าเชื้อ ตัวอย่างของอาหารชนิดเหลวที่ผ่านกระบวนการ PEF เช่น น้ำผลไม้ น้่านม โยเกิร์ต ไข่ขาว และน้ำซุ๊ป เป็นต้น **รูปที่ 14** แสดงห้องฆ่าเชื้อแบบทรงกระบอกซ้อนกันแนวนอนที่ได้ออกแบบ

ในการศึกษานี้ โดยห้องฆ่าเชื้อ ถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็นแบบทรงกระบอกซ้อนกันแนวนอน (Coaxial) ขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองขั้วภายในห้องฆ่าเชื้อทำมาจากสแตนเลส 316 ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมในด้านอุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากมีความแข็งแรง แข็งแกร่ง ไม่เป็นสนิมได้โดยง่าย ไม่เกิดการกัดกร่อนจากปฏิกิริยาทางเคมีภายในอาหาร และวัสดุที่ใช้ทำฉนวนภายในห้องฆ่าเชื้อทำมาจากวัสดุ Polyoxymethylene (Pom) Delrin ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงทนต่อสารเคมี สามารถสัมผัสกับอาหารได้โดยไม่เกิดการละลายหรือปนเปื้อน และเป็นวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการทำฉนวนเนื่องจากมีค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าที่สูงมาก (ประมาณ $10^{21} \Omega \cdot m$) ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเท่ากับ 6 mm โดยรัศมีของขั้วอิเล็กโทรดด้านในและด้านนอกเท่ากับ 17 และ 23 mm ตามลำดับ ความยาวของขั้วอิเล็กโทรดหรือความยาวของ Treatment zone มีขนาด 60 mm และปริมาตรภายในของห้องฆ่าเชื้อ เท่ากับ 45 ml นอกจากนี้ยังต้องออกแบบให้ปลายของขั้วอิเล็กโทรดมีความโค้งมนและพื้นผิวของขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองจะต้องขัดให้มีความเรียบอย่างสมบูรณ์ เพื่อให้สนามไฟฟ้าภายในห้องฆ่าเชื้อสม่ำเสมอและไม่เกิดการเบรกดาวน์ได้ง่าย



(ก)



(ข)

รูปที่ 14 (ก) ห้องฆ่าเชื้อแบบแบช (ข) ห้องฆ่าเชื้อแบบทรงกระบอกซ้อนกันแนวนอนทั้งสองออกแบบในการศึกษานี้

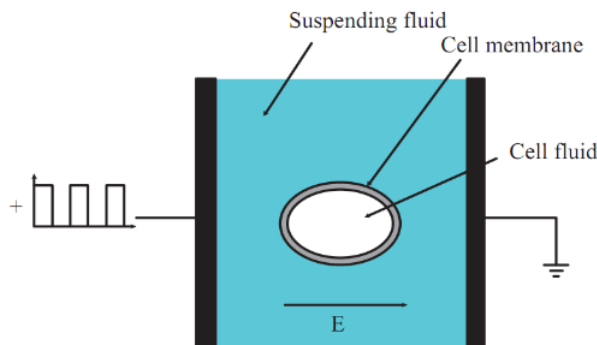
ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของห้องฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ (Chamber)

รายการ	รายละเอียด
ระยะห่างระหว่างขั้วเล็กโทรด	6 mm
รัศมีขั้วอิเล็กโทรดภายใน	7.5 mm
รัศมีขั้วอิเล็กโทรดภายนอก	13.5 mm
ความยาว Treatment Zone	60 mm
ปริมาตรภายใน	24 mL
อัตราการไหล	60 mL/h
วัสดุขั้วอิเล็กโทรด	Stainless 316
วัสดุฉนวน	Pom Delrin

2.4.4 หลักการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์

การยับยั้งเชื้อในอาหารเหลวด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ ประกอบด้วยขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้ววางซ้อนกันโดยจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับขั้วหนึ่ง และอีกขั้วหนึ่งมีศักย์ไฟฟ้าเป็นกราวด์ ดังแสดงในรูปที่ 15 โดยการยับยั้งเชื้อในอาหารเหลวด้วยด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์คือการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหารเหลวด้วยกระบวนการอิเล็กโทรโพรเซชัน ซึ่งเป็นกระบวนการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ โดยการเพิ่มค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) และค่าสภาพการยอมให้ไฟฟ้า (Permeability) ของเยื่อหุ้มเซลล์โดยการเพิ่มค่าการนำไฟฟ้าและสภาพการยอมไฟฟ้าของเยื่อหุ้มเซลล์

สามารถทำได้โดยการใช้สนามไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นพัลส์หรือเป็นช่วงเวลาเกิดจากการจ่ายพัลส์แรงดันไฟฟ้าให้กับอิเล็กโทรดที่มีความเข้มข้นไฟฟ้า (Electric field strength) สูงประมาณ 40 kV/cm และมีลักษณะเป็นพัลส์ในช่วงประมาณ 10 ns และ 20 μ s^[9] ซึ่งสนามไฟฟ้าพัลส์ที่มีความเข้มข้นสูงในนี้จะส่งผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมเยื่อหุ้มเซลล์มีค่าสูงเกินกว่าค่าความคงทนของไดโพลีทริกของเยื่อหุ้มเซลล์และทำให้เกิดรูพรุนเล็กๆ จำนวนมากขึ้นที่เยื่อหุ้มเซลล์ รูพรุนดังกล่าวจะนำไปสู่กระบวนการของเซลล์ ซึ่งมีสองลักษณะคือ อะพอพโตสิส (Apoptosis) และ เนโครสิส (Necrosis) โดยลำดับขั้นของกระบวนการ

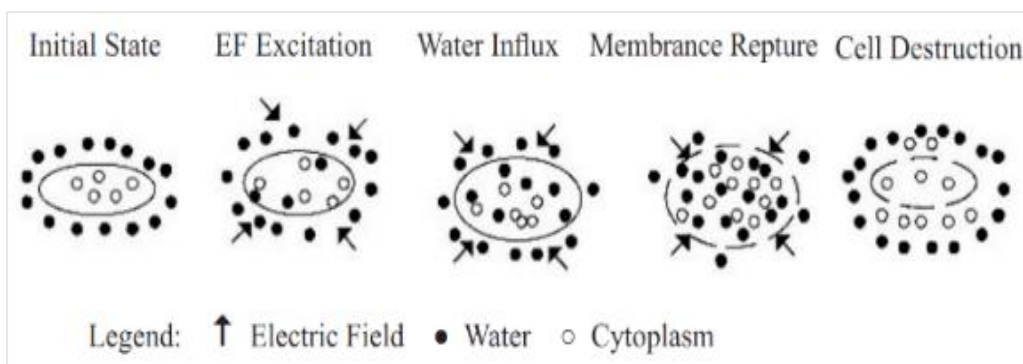


รูปที่ 15 หลักการยับยั้งเชื้อในอาหารเหลวด้วยสนามไฟฟ้าพัลส์^[9]

อิเล็กโตรโพรเซชันที่เกิดขึ้นกับเซลล์จุลินทรีย์แสดงไว้ในรูปที่ 16 โดยแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมเยื่อหุ้มเซลล์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 9 ^[10]

$$V_{cell} = f r_{cell} E_{cell} \quad (9)$$

เมื่อ V_{cell} คือแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ตกคร่อมที่เยื่อหุ้มเซลล์
 f คือค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับรูปร่างของเซลล์
 r_{cell} คือรัศมีวงนอกสุดของเยื่อหุ้มเซลล์
 E_{cell} คือค่าความเครียดสนามไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์



รูปที่ 16 ลำดับขั้นของกระบวนการอิเล็กโตรโพรเซชันที่เกิดขึ้นกับเซลล์จุลินทรีย์ ^[11]

ตารางที่ 2 แสดงขนาดของเซลล์แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ตกคร่อมเยื่อหุ้มเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ ^[11]

เชื้อจุลินทรีย์	เส้นผ่านศูนย์กลาง (μm)	ความยาว (μm)	แรงดันสูงสุด (V)
<i>E. coli</i>	1.15	6.9	0.26
<i>K. pseudomona</i>	0.83	3.2	1.26
<i>P. aeruginosa</i>	0.73	3.9	1.25
<i>S. aureus</i>	1.03	-	1.00
<i>L. momocytogenesl</i>	0.76	1.7	0.99
<i>C. albicans</i>	4.15	-	2.63

จากตารางที่ 2 แสดงขนาดของเซลล์และแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ตกคร่อมเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์เมื่อเยื่อหุ้มเซลล์เกิดรูพรุนจนทำให้เกิดการถ่ายเทระหว่างของเหลวภายนอกกับไซโทพลาซึม (Cytoplasm) ซึ่งเป็นของเหลวภายในเซลล์ทำให้เซลล์เกิดการขยายตัวเพิ่มขึ้นและนำไปสู่การแตกตัวของเยื่อหุ้มเซลล์การเกิดรูพรุนที่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์อันเนื่องมาจากความเครียดสนามไฟฟ้า โดยลักษณะของการเกิดรูพรุนแบบไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) และไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) โดยพลังงานที่ใช้ในกระบวนการจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความนำไฟฟ้า อัตราการไหลของอาหารเหลว และความเข้มของสนามไฟฟ้า ซึ่งในทางทฤษฎีสามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าสูงสุด ($P_{\max}$) ที่ใช้ในการสร้างพัลส์ของสนามไฟฟ้าของห้องยับยั้งเชื้อได้จากสมการที่ 10 ^[12]

$$P_{\max} = 2k\pi\sigma E^2 (Q/\pi V)^{3/2} \quad (10)$$

$$k = L/D \quad (11)$$

เมื่อ	$P_{\max}$	คือกำลังไฟฟ้าสูงสุด
	Q	คืออัตราการไหลของอาหารเหลว
	E	คือความเข้มสนามไฟฟ้าของห้องยับยั้งเชื้อ
	σ	คือค่าความนำไฟฟ้าของอาหารเหลว
	V	คือความเร็วในการไหลอาหารเหลว
	k	คือสัดส่วนของความยาว (L) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) ของห้องยับยั้งเชื้อคือ

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 ผลการออกแบบ

ผลการคำนวณด้วยโปรแกรม Simulink/MATLAB ซึ่งสอดคล้องกับผลการคำนวณในรูปที่ 10 ตารางที่ 3 แสดงรายละเอียดการออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแบบพัลส์

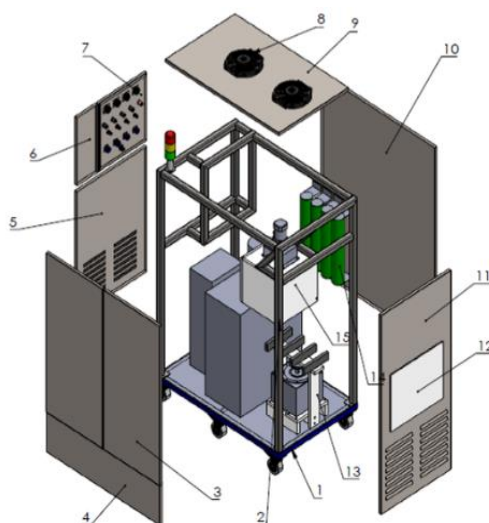
ตารางที่ 3 รายละเอียดการออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแบบพัลส์

พิกัดกำลังไฟฟ้า	5500 W
แรงดันอินพุต	22 kV
ความเข้มสนามไฟฟ้า	36 kV/cm
ค่าสภาพความนำไฟฟ้าของน้ำส้ม	0.156 S/m
ค่าความต้านทานไฟฟ้าของน้ำส้ม	5.14 Ω
ตัวเก็บประจุ	1 μF
ความกว้างสัญญาณพัลส์	5.15 μs
ความถี่สัญญาณพัลส์	5 - 7 Hz
ความหนาแน่นของพลังงาน (จำนวนพัลส์ 10)	100 kJ/L

3.2 ผลการประกอบและติดตั้งเครื่องต้นแบบ PEF

แสดงรูปถ่ายต้นแบบระบบฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในกระบวนการผลิตเครื่องดื่มสำหรับอุตสาหกรรม โดยระบบที่พัฒนาขึ้นจะประกอบ หม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับค่าได้ หม้อแปลงแรงสูง ตัวเก็บประจุพลัสชุดช่องว่างหมุนจุดประกาย ชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ สวิตช์เปิด/ปิดระบบ โวลต์มิเตอร์ หลอดไฟฟ้าแสดงการทำงาน ห้องฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ฯ ตัววัดอัตราการไหล ท่อสายใยลวด ปัมป์แบบหมุนเวียน ถังเก็บผลผลิต โครงสร้างของระบบต้นแบบทำจากโครงสร้างสแตนเลส

มีขนาดมิติเท่ากับ 90 1,400 1,800 cm (กว้าง ยาว และสูง) ด้านหน้าของเครื่องต้นแบบจะประกอบด้วย ส่วนควบคุมและแสดงการทำงานต่างๆ เช่น สวิตช์เปิด/ปิดระบบ โวลต์มิเตอร์ หลอดไฟฟ้าแสดงการทำงาน ออสซิลอสโคป ห้องฆ่าเชื้อ ตัววัดอัตราการไหล ท่อสายใยลวดและถังเก็บผลผลิตส่วนด้านหลังของเครื่องต้นแบบประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับค่าได้ หม้อแปลงแรงสูงตัวเก็บประจุพลัส ชุดช่องว่างหมุนจุดประกาย ชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ดังแสดงใน รูปที่ 17



1. โครงฐาน
2. โครงบน
3. ประตู่
4. คานล่าง
5. แผ่นข้างซ้าย

6. แผ่นข้างตุ้
7. ตู้คอนโทรล
8. ฟัดลม
9. แผ่นบน
10. แผ่นหลัง

11. แผ่นข้างขวา
12. แผ่นฉนวน
13. ชุดไดโอด
14. ชุดตัวต้านทาน
15. Spark Gaps

รูปที่ 17 (ก) โมเดลชิ้นส่วนประกอบเครื่องต้นแบบ PEF (ข) ชิ้นส่วนประกอบเครื่องต้นแบบ PEF สำหรับกระบวนการผลิตเครื่องดื่มสำหรับอุตสาหกรรมระดับภาคสนาม



(ก) เครื่องต้นแบบ PEF



(ข) ชุดถังเก็บผลิตภัณฑ์



(ค) ตู้ห้องฆ่าเชื้อ

รูปที่ 18 ต้นแบบเครื่อง PEF ที่พัฒนาขึ้นในโครงการฯ

โดยโครงสร้างของระบบต้นแบบทั้งหมดได้ทำการฉนวนไฟฟ้าทั้งสายไฟฟ้าแรงสูงและจุดที่มีการเชื่อมต่อกัน การแยกอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงใดๆ ออกจากกัน และการใช้วัสดุฉนวนที่มีความเป็นฉนวนไฟฟ้าเพียงพอเพื่อป้องกันการเกิดประกายไฟฟ้าและการลัดวงจรไฟฟ้า ในขณะที่ปฏิบัติงาน และยังมีการป้องกันการแพร่กระจายของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กอื่นจากระบบสู่ผู้ปฏิบัติงานด้วยลูกกรงฟาราเดย์ (Faraday cage) และระบบกราวด์ที่โครงสร้างของเครื่องต้นแบบ โดยมีขนาดระดับภาคสนาม ใช้อาหารเหลวน้ำส้มสด มีความเข้มของสนามไฟฟ้ามากกว่า 25 kV/cm แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วอิเล็กโทรดไม่เกิน 20 kV กระแสไฟฟ้าสูงสุดด้านเอาต์พุตไม่เกิน 2 kA ที่ความกว้างพัลส์ประมาณ 2.5 μ s ความถี่พัลส์อยู่ในช่วง 0.5 – 2 Hz ศักย์ไฟฟ้าชั่ววอก เชื้อจุลชีพที่กำลังกำจัด *E. coli*, *S. aureus*, *B. cereus*, และ *Salmonella spp.* (ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 364 ในกลุ่มผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภคชนิดเหลวที่มี pH มากกว่า 4.3 เฉพาะที่ผ่านกรรมวิธีฆ่าเชื้อด้วยความร้อนโดยวิธีพาสเจอร์ไรส์) ความดันของเหลวทำงาน 1 bar อัตราการไหล ของเครื่องต้ม 1 – 5 L/min กำลังการผลิต 60 – 300 L/hr ประสิทธิภาพ สามารถลดจำนวนของจุลินทรีย์ได้อย่างน้อยถึง 100,000 เท่า หรือ

0 CFU/ml ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ขาเย็น ที่กำหนดไว้ว่า โคลิฟอร์ม ต้องน้อยกว่า 1 Colony-forming unit ต่อน้ำส้มสด 100 มิลลิลิตร (มผช.๑๐๐๗/๒๕๔๘)

4. unsur

จากผลการดำเนินงานวิจัยนี้ ได้ออกแบบและสร้างต้นแบบระบบการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ด้วยสนามไฟฟ้าพัลส์ระดับอุตสาหกรรมในเครื่องต้มโดยใช้สนามไฟฟ้าพัลส์ระดับภาคสนาม ที่สามารถทำงานได้จริง ส่วนการประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์และหรือสกัดสารจะเสนอในบทความต่อไปในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยฯ ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และบริษัท ไดโอเล็กทริกเทคโนโลยี จำกัด ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนวิจัย และขอขอบคุณ หน่วยวิจัยการประยุกต์ใช้ไฟฟ้าสถิตในงานด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม และภาควิชาวิศวกรรมกระบวนการอาหาร วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่ให้การเอื้อเฟื้ออุปกรณ์เครื่องมือและสถานที่ในการทดสอบครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. 2558. น้ําสับ.
(ออนไลน์). แลล่งที่มา :
[http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0275_57\(น้ําสับ\).pdf](http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0275_57(น้ําสับ).pdf). 10 มิถุนายน 2560.
- [2] M. Walkling-Ribeiro, F. Noci, J. Riener, D. A. Cronin, J. G. Lyng and D. J. Morgan, The Impact of Thermosonication and Pulsed Electric Fields on *Staphylococcus aureus* Inactivation and Selected Quality Parameters in Orange Juice, *Food Bioprocess Technology*, vol 2, October 2009, pp. 422–430
- [3] J. Mosqueda-Melgar, R. M. Raybaudi-Massilia and O. Martn-Belloso, “Non-thermal Pasteur-ization of Fruit Juices by Combining High-intensity Pulsed Electric Fields with Natural Antimicrobials,” *Innovative Food Science and Engineering Technologies*, vol. 9, 2008., pp. 328 – 340,
- [4] Yongguang Y and Guidan He. A fast high-intensity pulsed electric fields (PEF)-assisted extraction of dissoluble calcium form bone, *Separation and Purification Technology*, vol 61, October 2008 pp. 148–152
- [5] Kempkes M. A., Pulsed electric field (PEF) systems for commercial food and juice processing, Diversified Technologies, Inc., USA: Woodhead Publishing Limited, 2010
- [6] เฉษฐา ชนรุ่งเรือง, พิมพ์ครั้งที่3, 2557, บทที่ 5 เรื่อง วงจรอันดับหนึ่ง RL และ RC , ฤกษ์วิจจอร์ไฟฟ้าเบื้องต้น,สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์วิทยาลัย,ISBN 974-9941-06-3
- [7] Qinghua Z, Gustavo V, and Berry G.S, Engineering Aspects of Pulsed Electric Field Pasteurization, *Journal of Food Engineering*, vol 94, May 1995 pp. 261–281
- [8] Jose A.G, David R.S, Maria M.G, Barry S and Gustavo V.B, Milk thermization by pulsed electric fields (PEF) and electrically induced heat, *Journal of Food Engineering*, vol 100, March 2010 pp. 56–60
- [9] Intra P, Yawootti A, Asanavijit V, Manopian P, Pengmanee C, Somsri N. Inactivation of *E. coli* in Milk Tea Undergoing Pulsed Electric Field Pasteurization, *KMUTNB J.*2015; Vol. 25, No. 3, Sep. - Dec. Thai.
- [10] Panyamuangjai V, Janthara S, Kusuya R, Yawootti A., Intra P. Application of Pulsed Electric Field for Milk Pasteurization, *KMUTT Res and Dev J*, 2012; vol. 35, no. 4, 469-484, Thai.
- [11] Barbosa-canovas G.V, Pothakamury U.R. Palou E, Swanson B.G. Non-thermal Preservation of Food, New York: Marcel Dekker, 1998.
- [12] Addeo K. M. Process for the use of pulsed electric fields coupled with rotational retorting in processing meals ready to eat (MRE). U.S., US6083544A (Patent) 2000.

การผลิตน้ำมันดีเซลผสมแบบไม่แยกกลีเซอรินจากน้ำมันพืชเหลือทิ้ง สำหรับเครื่องยนต์สูบน้ำ

จารุกิตต์ พิบูลนฤดม*, ภาคิน มณีโชติ, เกพ เกื้อกวีกุล, อัญญาณ์ บุญศรี

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร 69 หมู่ที่ 1 ตำบลนครชุม อำเภอเมืองจังหวัดกำแพงเพชร 62000

รับเมื่อ ตุลาคม 2560 ตอบรับเมื่อ ธันวาคม 2560 เผยแพร่ออนไลน์ มีนาคม 2561

© 2018 Rajamangala University of Technology Lanna. All Right Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตน้ำมันดีเซลผสมแบบไม่แยกกลีเซอรินจากน้ำมันพืชเหลือทิ้ง โดยนำน้ำมันพืชเหลือทิ้งมาผ่านกระบวนการเพิ่มคุณภาพน้ำมันด้วยต้มเพื่อไล่ความชื้น และผสมน้ำมันปิโตรเลียม แล้วนำมาผ่านกรองด้วยเครื่องผลิตน้ำมันดีเซลผสมแบบไม่แยกกลีเซอริน พร้อมตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้น โดยการตรวจสอบด้วยสายตา ไฮโดรมิเตอร์ กระดาษลิสมีส ซึ่งพบว่าน้ำมันดีเซลที่ได้ มีค่าใกล้เคียงกัน โดยน้ำมันพืชเหลือทิ้งผสมดีเซลอัตราส่วน 100/10 ได้ค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 0.885 และความเป็นกรด-เบส มีค่า 6.2 น้ำมันพืชเหลือทิ้งผสมดีเซลอัตราส่วน 100/20 ได้ค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 0.890 และความเป็นกรด - เบส มีค่า 6.2 น้ำมันพืชเหลือทิ้งผสมดีเซลอัตราส่วน 100/30 ได้ค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 0.880 และความเป็นกรด-เบส มีค่าเท่ากับ 6.2 แล้วไปทดสอบกับเครื่องยนต์ระยะสั้นเพื่อหาประสิทธิภาพและจุดคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ จากการทดสอบพบว่า คือ น้ำมันพืชเหลือทิ้งผสมดีเซลอัตราส่วน 100/10 สามารถเดินเครื่องยนต์ได้ 3.36 นาที และลดต้นทุนได้ 6.52 บาทต่อลิตร น้ำมันพืชเหลือทิ้งผสมดีเซลอัตราส่วน 100/20 สามารถเดินเครื่องยนต์ได้ 3.33 นาที และลดต้นทุนได้ 6.00 บาทต่อลิตร น้ำมันพืชเหลือทิ้งผสมดีเซลอัตราส่วน 100/30 สามารถเดินเครื่องยนต์ได้ 3.23 นาที และต้นทุนได้ 5.50 บาทต่อลิตร ดังนั้น เวลาเฉลี่ยของการเดินเครื่องได้นานที่สุดคือ 3.36 นาที เป็นน้ำมันดีเซลที่ผสมอัตราส่วน 100/10 และมีจุดคุ้มทุนที่ 292.94 ลิตร

คำสำคัญ : น้ำมันดีเซลผสม / น้ำมันพืชเหลือทิ้ง / เครื่องผลิตน้ำมันดีเซลผสมแบบไม่แยกกลีเซอริน

* อีเมล: j.piboolnarudom@yahoo.com

โทรศัพท์ 087-8493325 โทรสาร 055-70659

The Production of Non-separate Glycerin Blended Diesel from Waste Oil for Hydro Pump Engine

Jarukit Piboolnaruedom*, Pakin Maneechot,
Thep Kueathaweekun, Ussadang Boonsri

Kamphaengphet Rajabhat University

69 Moo 1 Tanbon Nakormchum Amphur Muang Kamphaengphet 62000

Received: October 2017 Accepted: November 2017 Published online: March 2018

© 2018 Rajamangala University of Technology Lanna. All Right Reserved.

Abstract

The purposes of research aim to produce of non-separate glycerin blended diesel from used waste oil for hydro pump engine by processed for increase quality of used waste oil was moisture less by boiled and blended with petroleum oil then passed through the filter by non-separate glycerin blended diesel to ensure the primarily quality by visual inspection, hydrometer and litmus paper test. That was found that the blended diesel had a similar value. The blended diesel ratio 100/10 had 0.885 of specific gravity and pH 6.2. Blended diesel ratio 100/20 had 0.890 of specific gravity and pH 6.2 and blended diesel ratio 100/30 had 0.880 of specific gravity and pH 6.2. Then experiment of blended diesel with short-term engine to find the performance and break-even point in economics. The result of this research was blended diesel ratio 100/10 can be run short-term engine for 3.36 minutes and cost reduced 6.52 baht per liter. Blended diesel ratio 100/20 can be run short-term engine for 3.33 minutes and cost reduced 6.00 baht per liter. Blended diesel ratio 100/30 can run short-term engine for 3.23 minutes and cost reduced 5.50 baht per liter. Consequently the best average time of short-term engine run-test 3.36 minutes of blended diesel ratio 100/10 and breakeven point at 292.94 liters.

Keyword : Diesel / Used Vegetable Oil / Non-separate Glycerin Diesel Machine

* E-mail: j.piboolnaruedom@yahoo.com

Tel. 087-8493325 Fax. 055-70659

1. บทนำ

การใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ มีการใช้ตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 แต่เนื่องจากน้ำมันปิโตรเลียมยังมีราคาถูก และ หาได้ง่าย ทำให้ไม่มีผู้ใดให้ความสนใจใช้น้ำมันพืชแทนน้ำมันดีเซล หลังจากวิกฤตน้ำมันของโลก ในปี พ.ศ. 2514 เป็นต้นมา ได้เริ่มมีการตื่นตัว และพยายามหาพลังงานทดแทนมาใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากพลังงานหมุนเวียน (renewable energy) ที่สามารถหาได้ในท้องถิ่น น้ำมันพืชจึงจัดเป็นพลังงานหมุนเวียนชนิดหนึ่งที่มีความสนใจนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลอีกครั้ง ^[1]

ปัจจุบันราคาน้ำมันได้เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง น้ำมันดีเซลหมุนเร็วเป็นน้ำมันที่ถูกใช้มากในการขนส่งสินค้า โดยราคาหน้าโรงกลั่น ที่สิงคโปร์อยู่ในระดับ 60 - 67 ดอลลาร์สหรัฐต่อบาร์เรล หรือ ราคาขายปลีกที่ประมาณ 24-26 บาทต่อลิตร การใช้น้ำมันน้ำมันดีเซลมาทดแทนจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ประเทศสามารถประหยัดเงินตรา การนำเข้าน้ำมันดิบและน้ำมันสำเร็จรูปได้รวมทั้งการสร้างอาชีพและรายได้ให้กับผู้เกี่ยวข้อง ได้แก่ เกษตรกร พ่อค้า ร้านค้าปลีก และประชาชน อีกทั้งการนำน้ำมันใช้แล้วมาผลิตเป็นน้ำมันดีเซลผสม และยังมีส่วนช่วยลดมลพิษจากการทิ้งน้ำมันในทางอ้อม

คณะผู้วิจัยตระหนักถึงการให้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์จากการใช้น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว จึงมีแนวคิดในการผลิตน้ำมันดีเซลผสมแบบ ไม่แยกกลีเซอรินจากน้ำมันพืชเหลือทิ้งสำหรับเครื่องยนต์สูบน้ำ ซึ่งเป็นวิธีการใหม่ในการนำมาผลิตเป็นน้ำมันดีเซล เพื่อนำมาทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล และช่วยลดปัญหาการเกิดมะเร็งจากการนำน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมาทอดซ้ำและช่วยตัดวงจรการนำน้ำมันมาฟอกสีขายใหม่ อีกทั้งส่งเสริมใช้พลังงานทดแทนส่งผลให้ประเทศลดต้นทุนการนำเข้าทรัพยากรจากต่างประเทศ อีกด้วย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อผลิตน้ำมันดีเซลผสมแบบไม่แยกกลีเซอรินจากน้ำมันพืชเหลือทิ้ง
2. เพื่อหาประสิทธิภาพของน้ำมันดีเซลผสม
3. เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของน้ำมันดีเซลผสม

3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ไบโอดีเซลเป็นพลังงานทางเลือกชนิดหนึ่งและเป็นพลังงานจากธรรมชาติที่สามารถผลิตได้จากพืชและสัตว์ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท

1. น้ำมันพืชโดยตรง เริ่มใช้เมื่อประมาณ ปี พ.ศ. 2443 โดยรูดอล์ฟ ดีเซล ได้คิดค้นเครื่องยนต์ดีเซล และใช้น้ำมันจากถั่วลิสง ซึ่งปัจจุบันมีการ ใช้น้ำมันจากสบู่ดำเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงโดยนิยมใช้ในเครื่องยนต์ทางการเกษตรที่มีความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำ
2. น้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซล โดยใส่สารตัวเติมลงไปเพื่อให้ไขมันทั้ง 2 ชนิดเข้ากันได้ อย่างไรก็ตามถ้าใช้น้ำมันพืชบริสุทธิ์ผสมลงในน้ำมันดีเซลจะผสมได้ไม่เกินร้อยละ 5
3. น้ำมันพืชที่นำมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน ซึ่งเป็นการลดขนาดโมเลกุลของน้ำมันพืชลงเพื่อเปลี่ยนน้ำมันพืชเป็นไบโอดีเซล ^[2] การนำน้ำมันพืชมาทำเป็นพลังงานดีเซลผสม พบว่าคุณสมบัติของดีเซลผสมมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาก เช่น ความหนาแน่น (Density) ดัชนีซีเทน (Cetane index) ค่าความจุความร้อนในการกลายเป็นไอและค่าอากาศต่อน้ำมัน ข้อดีของการใช้น้ำมันดีเซลผสมแทนน้ำมันดีเซล คือสามารถหาทดแทนได้และมีค่าพลังงานคิดเป็น 88% ของน้ำมันดีเซล D2 (High-speed Diesel) มีกำมะถันและสารอะโรมาติกส์น้อยทำให้เกิดเขม่าออกมาน้อย สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติและการใช้งานระยะสั้นไม่มีปัญหา อย่างไรก็ตามการเติม

น้ำมันพืชโดยตรงหรือนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลอาจก่อให้เกิดปัญหาในระยะยาวในเครื่องยนต์ เช่น บั้ม เสื่อมสภาพการเกิดตะกอน และเขม่าบริเวณหัวฉีดของเครื่องยนต์การเดินเครื่องที่ไม่ต่อเนื่องการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และปัญหาของน้ำมันหล่อลื่น และในเครื่องยนต์ปัญหาที่เกิดขึ้นเหล่านี้เนื่องมาจากน้ำมันพืช มีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล D2 ประมาณ 10 - 20 เท่ารวมทั้งมีค่าการกลายเปลี่ยนเป็นไอต่ำ และมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากมีส่วน ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัว การใช้ น้ำมันพืชกับเครื่องยนต์นั้น ต้องมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ก่อน เนื่องจากการใช้ น้ำมันพืชกับเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรงนั้นไม่เหมาะสม การแก้ปัญหาความหนืดของน้ำมันพืช ^[3]

วัตถุดิบในการเตรียมไบโอดีเซลโดยทั่วไปแล้ว น้ำมันพืช และน้ำมันสัตว์ทุกชนิดเป็นสารประกอบ ทรูกลไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) โครงสร้างประกอบด้วยหมู่ของกรดไขมัน 3 หมู่ ที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 ถึง 22 ตัว ความยาวของสายโซ่และชนิดของพันธะ เช่น พันธะเดี่ยวหรือพันธะคู่ ในกรดไขมันที่แตกต่างกันทำให้สมบัติของไตรกลีเซอไรด์แตกต่างกัน หรืออาจกล่าวได้ว่าสมบัติของน้ำมันพืช และน้ำมันสัตว์แตกต่างกันเนื่องจากมีกรดไขมันต่างชนิดกันเป็นองค์ประกอบของน้ำมันพืชส่วนใหญ่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในกรดไขมันอยู่ระหว่าง 12 - 18 อะตอม และน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) ในปริมาณสูงจะมีค่าไอโอดีนสูง ค่าไอโอดีนของน้ำมันพืชคือดัชนีที่ชี้บอกถึงปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีอยู่ในน้ำมันนั้นๆ หรือหมายถึงจำนวน พันธะคู่ระหว่างสายโซ่คาร์บอน เมื่อมีจำนวนพันธะคู่มากน้ำมันพืชนั้นจะไม่เสถียร เมื่อสัมผัสกับอากาศจะถูกออกซิไดส์ได้ง่าย และเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันที่อุณหภูมิสูง หลังจากเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแล้วน้ำมันจะมีสภาพเป็นสารเหนียว โดยทั่วไปเมื่อน้ำมันมีค่าไอโอดีนสูงจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้ง่าย ฉะนั้นการเลือกใช้ น้ำมันพืชที่มีค่า

ไอโอดีนต่ำเป็นเชื้อเพลิงจะเป็นการป้องกันการเกิดสารเหนียวที่เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน ในเครื่องยนต์ได้เป็นอย่างดีแต่สมบัติของน้ำมันที่มีกรดไขมันอิ่มตัวมากจะทำให้ น้ำมันแสดงผลเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องได้ดีกว่า เช่น ไขมันสัตว์มีร้อยละกรดไขมันอิ่มตัวสูงกว่าในน้ำมันพืช ไขมันสัตว์จึงมีลักษณะเฉพาะ เช่น เป็นของแข็งหรือไข ที่อุณหภูมิห้อง มีจุดหลอมเหลวสูงและมีค่าความหนืดสูงด้วยสมบัติของไบโอดีเซลขึ้นกับชนิดแอลกอฮอล์และกรดไขมัน เช่น ตัวเลขซีเทน (Cetane number) ที่สัมพันธ์กับการเผาไหม้และไอเสีย จุดหลอมตัว (Melting point) เสถียรภาพของการเกิดออกซิเดชัน (Oxidative stability) และการหล่อลื่น (Lubricity) เป็นต้น

โดยทั่วไปค่าความหนืดของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นเมื่อสายโซ่ของกรดไขมันยาวขึ้นและความหนืดลดลงเมื่อจำนวนพันธะคู่ในกรดไขมันเพิ่มขึ้นและแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่ยาวขึ้นให้สมบัติ ของน้ำมันในภาพรวมที่ดีกว่า แอลกอฮอล์สายสั้นแต่แอลกอฮอล์สายยาวก็ให้ต้นทุนที่สูงและผลิตเป็นเอสเทอร์ได้ยากกว่า การเพิ่มสมบัติของเชื้อเพลิงอาจเกิดจากการผสมไบโอดีเซลที่ประกอบด้วยชนิดของแอลกอฮอล์และกรดไขมันที่แตกต่างกัน น้ำมันจากไข่สัตว์ได้ถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลมีปัญหาในการผลิตเนื่องจากความหนืดสูง ร้อยละผลผลิตต่ำ และเกิดเป็นเจลได้ง่าย อีกทั้งสมบัติของไบโอดีเซลที่ได้มีจุดขุ่นมัวสูง แต่การใช้ น้ำมันจากสัตว์เป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจด้านต้นทุนการผลิตเนื่องจากน้ำมันจากสัตว์มีราคาถูกกว่า ในสหรัฐอเมริกา ระหว่าง ค.ศ. 2000 ถึง 2003 ไขมันจากวัวมีปริมาณเฉลี่ยสูงถึง 0.82 ล้านตันต่อปี และ 1.6 ล้านตันต่อปี สำหรับไข่ที่รับประทานได้และรับประทานไม่ได้ (Edible and inedible tallow) ตามลำดับ ไขมันที่รับประทานไม่ได้จึงเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกที่น่าสนใจ น้ำมันพืชเหลือทิ้งหรือน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งาน เป็นน้ำมันผสมที่มีทั้งน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ รวมทั้งตะกอนของแข็งกรดไขมันอิสระและน้ำเป็น

องค์ประกอบหลักน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานมักมีร้อยละกรดไขมันในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ [4]

ไตรกลีเซอไรด์เป็นส่วนประกอบสำคัญ ที่ทำให้การผลิตไบโอดีเซลมีความผันแปร กรดไขมันอิสระในน้ำมันที่ผ่านการใช้งานเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ทำให้ไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันอยู่ 3 หมู่ แตกตัวออกมาเป็นกรดไขมัน ซึ่งมีสมการทางเคมีสำหรับเกิดปฏิกิริยา **ดังรูปที่ 1** วัตถุดิบที่สำคัญอีกอย่าง คือ แอลกอฮอล์ที่นิยมใช้ ได้แก่ เมทานอลหรือเอทานอล โดยที่เมทานอลมักจะนิยมใช้มากกว่าเนื่องจากเป็นแอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลเล็ก ทำให้สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับไขมันหรือน้ำมันพืชได้ง่ายกว่า

4. อุปกรณ์และวิธีการ

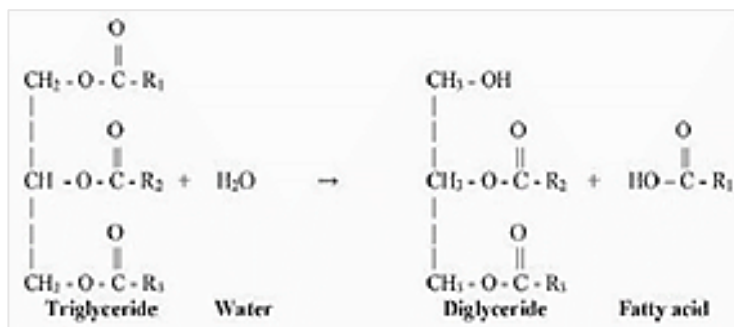
1. วัสดุและอุปกรณ์

- 1.1 น้ำมันพืชเหลือทิ้ง น้ำมันเบนซิน และน้ำมันดีเซล
- 1.2 เครื่องผลิตดีเซลผสมแบบไม่แยกกรีเซอร์ริน
- 1.3 ขวดใส่น้ำมัน ใช้บรรจุน้ำมันดีเซลผสม
- 1.4 กระดาษลิตมัสใช้วัดค่าความเป็นกรด-เบส
- 1.5 ปีกเกอร์ 2 ลิตร ใช้ผสมระหว่างน้ำมัน
- 1.6 ปีกเกอร์ 1 ลิตร ใช้ในการตวงน้ำมันพืชเหลือทิ้ง

- 1.7 กรวยใช้กรองน้ำมันดีเซลใส่ขวดบรรจุน้ำมัน
- 1.8 กระจกตวงใช้ในการตวงน้ำมันดีเซลผสม
- 1.9 แท่งกวนสารใช้กวนน้ำมันตอนผสมให้เข้ากัน
- 1.10 ไฮโดรมิเตอร์ ใช้วัดค่าความถ่วงจำเพาะ
- 1.11 ผ้าขาว ใช้กรองน้ำมันเหลือทิ้ง
- 1.12 เครื่องยนต์ดีเซล 1 สูบ 4 จังหวะ ขนาด 11 แรงม้า

2. วิธีการทำการทดลอง

- 2.1 กรองน้ำมันพืชที่ใช้แล้วกับผ้าขาวบางเพื่อนำสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว
- 2.2 นำน้ำมันที่กรองได้มาต้มเพื่อไล่ความชื้นและรอตตะกอนจะได้น้ำมันที่มีความหนืดน้อยและสีเหลืองสะอาด
- 2.3 นำน้ำมันที่ได้มาดูดผ่านกรองตัวที่ 1 จะได้น้ำมันที่สะอาดมากขึ้น
- 2.4 ผสมน้ำมันพืชเหลือทิ้งผสมเบนซิน อัตราส่วน 100/6 และผสมน้ำมันดีเซลอัตราส่วน 100/10, 100/20, 100/30 ตามลำดับ และคนให้เข้ากัน
- 2.5 นำน้ำมันที่ได้มาทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล 1 สูบ 4 จังหวะ ขนาด 11 แรงม้า โดยใช้น้ำมันในปริมาณที่เท่ากัน คือ 100 มิลลิลิตรและอัตราเร่งคงที่ (500 rpm)



รูปที่ 1 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ไปเป็นกรดไขมันอิสระ [5]

5. ผลการทดลอง

ผลที่ได้จากการทดลองหาค่า ค่า pH ของดีเซลผสม ค่าความถ่วงจำเพาะ การทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพน้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซล แสดงในตารางที่ 1-3

จากตารางที่ 1 พบว่า ค่า pH ของน้ำมันดีเซลผสม ทั้ง 3 อัตราส่วน มีค่าเท่ากับ 6.2

จากตารางที่ 2 พบว่า ค่า ค่าความถ่วงจำเพาะ น้ำมันดีเซลผสมอัตราส่วน 100/10 มีค่าเท่ากับ 0.88 เท่ากับ อัตราส่วน 100/30 และอัตราส่วน 100/20 มีค่าเท่ากับ 0.89

ตารางที่ 1 ค่า pH ของน้ำมันดีเซลผสม

ชนิดน้ำมันพืชเหลือทิ้งผสม	pH			
	1	2	3	เฉลี่ย
อัตราส่วน 100/10	6.2	6.2	6.2	6.2
อัตราส่วน 100/20	6.2	6.2	6.2	6.2
อัตราส่วน 100/30	6.2	6.2	6.2	6.2

ตารางที่ 2 ค่าความถ่วงจำเพาะน้ำมันดีเซลผสม

ชนิดน้ำมันผสมกับดีเซล	ค่าความถ่วงจำเพาะ			
	1	2	3	เฉลี่ย
อัตราส่วน 100/10	0.88	0.87	0.89	0.88
อัตราส่วน 100/20	0.89	0.88	0.89	0.89
อัตราส่วน 100/30	0.88	0.87	0.88	0.88

ตารางที่ 3 เวลาทดสอบกับเครื่องยนต์ระยะสั้น โดยใช้น้ำมันดีเซลผสมอัตราส่วน 100/10, 100/20, 100/30 อย่างละ 100 มิลลิลิตรด้วยอัตราแรงคงที่ (500 rpm)

ชนิดน้ำมันพืชเหลือทิ้งผสม	เวลาเดินเครื่องยนต์ระยะสั้น(นาที)					
	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
100/10	3.33	3.39	3.36	3.35	3.37	3.36
100/20	3.38	3.31	3.33	3.34	3.31	3.33
100/30	3.19	3.24	3.23	3.25	3.23	3.23
ดีเซล	3.27	3.22	3.30	3.26	3.25	3.26

จากตารางที่ 3 พบว่า เวลาเดินเครื่องยวณระยะสั้นเฉลี่ย ของน้ำมันดีเซลผสมอัตราส่วน 100/10, 100/20, 100/30 มีค่าเท่ากับ 3.36, 3.33 และ 3.26 นาที ตามลำดับ โดยที่น้ำมันดีเซลหมุนเร็วสามารถเดินเครื่องยวณระยะสั้นเฉลี่ย 3.26 นาทีวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของน้ำมันดีเซลผสม^[6]

ค่าเสื่อมราคา (Depreciation, DP) คิดค่าเสื่อมราคาแบบ Straight – line Method ดังสมการต่อไปนี้

$$DP = \frac{P-S}{L} \quad (1)$$

โดยที่ P คือ ค่าซื้อเครื่องจักร (บาท)

S คือ ราคาขายหรือคงเหลือ

เมื่อเครื่องจักรหมดอายุ (บาท)

L คือ อายุการใช้งานของเครื่องจักร (ปี)

ราคาเครื่องผลิตไบโอดีเซลเท่ากับ 1,910 บาท มูลค่าซากของเครื่องผลิตดีเซลผสมแบบไม่แยกกรีเซอร์ลินเมื่อสิ้นปีที่ 5 เหลือ 25% ของราคาเครื่อง ดังนั้น

$$\text{ราคาซากเครื่อง} = (5/25) \times 1910 = 382 \text{ บาท}$$

$$\text{ค่าเสื่อมราคา} = (1910 - 382)/5 = 306 \text{ บาท/ปี}$$

จากตารางที่ 4 พบว่า ค่าการลดต้นทุนของน้ำมันดีเซลผสมอัตราส่วน 100/10, 100/20, 100/30 มีค่าเท่ากับ

6.52, 6.00 และ 5.50 บาท/ลิตร ตามลำดับ และมีจุดคุ้มทุนของการผลิตเท่ากับ 292.94, 318.33 และ 347.27 ตามลำดับวิจารณ์ จากการวิจัยได้ทดลองน้ำมันดีเซลผสมแบบไม่แยกกรีเซอร์ลินที่ผลิตจากน้ำมันเหลือทิ้ง ได้นำไปทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลระยะสั้นโดยน้ำมันดีเซลผสมที่ผลิตได้นั้นสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลได้จริงและจากการหาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จะเห็นได้ว่าการผลิตน้ำมันดีเซลผสมมีความคุ้มค่าจริงสามารถเพิ่มรายได้ให้แก่ผู้ประกอบการได้อย่างมาก

6. สรุปผล

1. จากการผลิตน้ำมันดีเซลผสมแล้วนำไปทดสอบคุณภาพน้ำมันดีเซลเบื้องต้น มีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วและสามารถใช้งานได้จริงกับเครื่องยนต์ดีเซล

2. การทดสอบน้ำมันดีเซลผสมกับเครื่องยนต์ดีเซลระยะสั้นพบว่าน้ำมันดีเซลผสมที่อัตราส่วน 100/30 เครื่องยนต์สามารถทำงานได้นาน 3.21 นาที ซึ่งทำงานได้นานน้อยกว่าน้ำมันดีเซลผสมอัตราส่วน 100/20 สามารถติดของเครื่องยนต์ได้นาน 3.34 นาที และน้ำมันดีเซลผสมอัตราส่วน 100/10 เครื่องยนต์สามารถทำงานได้นานที่สุดที่ 3.36 นาที

ตารางที่ 4 ค่าการลดต้นทุนและจุดคุ้มทุนของน้ำมันพืชเหลือทิ้งผสมแบบไม่แยกกรีเซอร์ลิน

ชนิดน้ำมันพืชเหลือทิ้งผสม	ลดต้นทุน(บาท/ลิตร)	จุดคุ้มทุน (ลิตร)
อัตราส่วน 100/10	6.52	292.94
อัตราส่วน 100/20	6.00	318.33
อัตราส่วน 100/30	5.50	347.27

*หมายเหตุ: ราคา ณ วันที่ 20 พฤษภาคม 2559

3. วิเคราะห์ทางด้านความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ เปรียบเทียบระหว่างน้ำมันดีเซลหมุนเร็วกับต้นทุนในการผลิตน้ำมันดีเซลผสม เห็นได้ชัดเจนว่าน้ำมันดีเซลผสมมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จากอัตราส่วนที่ผสม 100/10 มีความคุ้มค่ามากที่สุด โดยสามารถลดต้นทุนจากน้ำมันดีเซลหมุนเร็วเท่ากับ 6.52 บาทต่อลิตรและสามารถคืนทุนในการผลิตในการผลิตที่ 292.94 ลิตรอีกด้วย

7. ปัญหาและอุปสรรค

น้ำมันเหลือทิ้งที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณน้อย ต้องใช้เวลาในการจัดเก็บตัวอย่างมาทำการทดลอง

8. ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มการทดสอบกับเครื่องยนต์ระยะสั้นในการใช้งานระยะยาว
2. ควรเพิ่มการเปรียบเทียบสมรรถนะในการใช้งานในเครื่องยนต์ระยะสั้น
3. ควรมีการทดสอบทางเคมีเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างน้ำมันดีเซลผสมแบบไม่แยกกรีเซอร์ลินกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วในท้องตลาด
4. ควรตรวจสอบชิ้นส่วนเครื่องยนต์และสภาพของน้ำมันเครื่องภายในหลังการเดินเครื่องยนต์ระยะยาวในช่วงเวลาหนึ่ง

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] ชาคริต ทองอุไร. การผลิตไบโอดีเซลจากปาล์ม น้ำมัน. *วารสารสงขลานครินทร์*. 23 (1)., 2544.
- [2] อนุรักษ์ ปิติรักษ์สกุล. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ผ่านกระบวนการใช้แล้ว. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ., 2548.
- [3] Ying Wang, Hong Liu and Chia-Fon F. Lee. Particulate Matter Emission Characteristics of Diesel Engines with Biodiesel or Biodiesel blending, *Renewable and Sustainable Energy*; (64) : 569-581., 2016.
- [4] สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของ บริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน). การผลิตการ ตรวจสอบมาตรฐานไบโอดีเซลเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ., 2552.
- [5] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. ไตรกลีเซอไรด์. [On-line]. Availablehttp: // foodnetworksolution. com/ wiki/word/1001/triglyceride-ไตรกลีเซอไรด์.
- [6] วัชรพล บุญสมบูรณ์. การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนของกิจการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว. มทร.รัตนโกสินทร์. นครปฐม., 2551.

การวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองเชิงมวล $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในบรรยากาศด้วยเครื่องตรวจวัดฝุ่น ละอองไร้สายในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย

ฐิฎาพร สุภาชี¹ พาณิช อินติะ^{2, 3} เสริมเกียรติ จอมจันทรย่อง² และเศรษฐ์ สัมภัตตะกุล^{2, 4*}

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

²มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อำเภอดอยสะเก็ด

รับเมื่อ ตุลาคม 2560 ตอบรับเมื่อ ธันวาคม 2560 เผยแพร่ออนไลน์ มีนาคม 2561

© 2018 Rajamangala University of Technology Lanna. All Right Reserved.

บทคัดย่อ

ปัจจุบันประเทศไทยกำลังประสบปัญหามลพิษทางอากาศอันเนื่องมาจากหมอกควันในเกือบทุกภูมิภาค โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ซึ่งปัญหามลพิษทางอากาศในภาคเหนือนี้ได้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนเป็นอย่างมากโดยเฉพาะปัญหาหมอกควัน การสะสมของควันหรือฝุ่นในอากาศ โดยส่วนใหญ่เกิดจากการเผาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและไฟฟ้า และมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นในทุกๆ ปี งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและพัฒนาระบบฐานข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองเชิงมวล $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในอากาศด้วยเครื่องตรวจวัดฝุ่นละอองไร้สาย โดยทำการพัฒนาระบบฐานข้อมูลที่เรียกว่า Cloud Computing ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย เพื่อศึกษาถึงปัญหาฝุ่นควันที่เกิดขึ้นในเขตภาคเหนือตอนบน โดยมีการตรวจวัดปริมาณฝุ่น การตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองเชิงมวล $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในอากาศโดยใช้เครื่องตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองเชิงมวลไร้สาย เพื่อนำไปศึกษาผลกระทบที่จะเกิดขึ้นทั้งต่อสุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศและทรัพยากรธรรมชาติ ซึ่งมีการติดตั้งสถานีตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองเชิงมวลเรียลไทม์เตือนภัยวิกฤตฝุ่นควัน ($PM_{2.5}$, PM_{10}) ในพื้นที่ภาคเหนือ จำนวนทั้งหมด 4 สถานี ได้แก่ 1) สถานีโรงเรียนยุพราช 2) สถานี อ. ดอยสะเก็ด 3) สถานี ต.แม่เหิยะ อ. เมือง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 4) สถานี อ. นาน้อย จ. น่าน อีกทั้งมีการนำเสนอข้อมูลผ่านระบบรายงานผลออนไลน์จากสถานีตรวจวัดในแต่ละแห่ง เพื่อให้ผู้รับข้อมูลสามารถเข้าถึงข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว ทันสถานการณ์ และเข้าใจง่าย ในงานวิจัยนี้มีความคาดหวังว่าระบบฐานข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศดังกล่าว จะสามารถเป็นข้อมูลเพื่อสนับสนุนแนวทางการแก้ไขปัญหาหมอกควันในเขตพื้นที่ภาคเหนืออย่างจริงจังภายใต้ข้อมูลที่แท้จริง รวมถึงการศึกษาผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เพื่อนำไปสู่การแก้ไขปัญหาได้อย่างถูกต้อง และรวดเร็วทันเหตุการณ์ต่อปัญหาที่เกิดขึ้น

คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ: ระบบฐานข้อมูล: $PM_{2.5}$: PM_{10} : ระบบรายงานผลออนไลน์

*E-mail: sate@eng.cmu.ac.th

Evaluation of Particulate Matter Concentration by Using a Wireless Sensor System for Continuous Monitoring of Particulate Air Pollution in Northern of Thailand

Titaporn Supasri¹ Panich Intra^{2, 3}

Sermkiat Jomjunyong² and Sate Sampattagul^{2, 4*}

¹*Faculty of Engineering, Chiang Mai University*

²*Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai*

Received: October 2017 Accepted: November 2017 Published online: March 2018

© 2018 Rajamangala University of Technology Lanna. All Right Reserved.

Abstract

Air pollution due to smog in almost every region in Thailand, especially Chiang Mai and Northern of Thailand. The Air pollution is the one of severe impact for human's health that cause of cancer and many respiratory diseases. The biggest reason for heavy smog cause by agricultural burn and brush to prepare land for new season of crops and it is rising every year. This study was conducted to develop the Cloud Computing model for climate change database using a wireless sensor system for continuous monitoring of particulate air pollution ($PM_{2.5}$, PM_{10}). The study focused on 4 sites, located in the North of Thailand as Yupparaj Wittayalai School, Doi Saket District, Mae Hia sub-district, Mueang Chiang Mai District and Nanoi District, Nan Province stations. We were reporting the data through an online reporting system based on website in order to be accessed the information of haze and air pollution situation more quickly and comprehensively. This study can be used to lead guidelines in the best practices of air pollution policy, moreover, to be an environmental impact assessment in the North of Thailand for sustainable sort out the air pollution problem and climate mitigation for the future.

Keyword: Climate Change: Cloud Computing: $PM_{2.5}$: PM_{10} : Online Reporting System

*E-mail, sate@eng.cmu.ac.th

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยกำลังประสบปัญหาหมอกพิษทางอากาศอันเนื่องมาจากหมอกควันในเกือบทุกภูมิภาค ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการเผาในที่ป่าหรือพื้นที่โล่งทั้งในประเทศและประเทศเพื่อนบ้านเพื่อการเกษตรกรรม และลักษณะภูมิประเทศหลายพื้นที่ในภาคเหนือมีลักษณะเป็นแอ่งกระทะ ประกอบด้วยพื้นที่ราบที่มีภูเขาล้อมรอบ มีสภาพอากาศนิ่งและแห้งเป็นเวลานาน ก่อให้เกิดการสะสมของสารมลพิษที่ไม่สามารถแพร่กระจายได้ จึงทำให้มีปริมาณสารมลพิษสูงโดยเฉพาะในพื้นที่เขตเมือง ทำให้พื้นที่ดังกล่าวประสบปัญหาหมอกพิษทางอากาศซึ่งมีสาเหตุมาจากสภาพทางภูมิประเทศดังที่กล่าวมา รวมไปถึงสาเหตุอื่นๆ เช่น การคมนาคมที่เพิ่มขึ้น การเผาในที่โล่งทำให้ในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคระบบทางเดินหายใจ ซึ่งปัญหาหมอกพิษทางอากาศในภาคเหนืออันได้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนเป็นอย่างมากโดยเฉพาะปัญหาหมอกควัน การสะสมของควันหรือฝุ่นในอากาศ โดยส่วนใหญ่เกิดจากการเผาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และไฟฟ้า เมื่อพิจารณาถึงแนวโน้มของการเกิดหมอกควันในภาคเหนือพบว่าเริ่มมีแนวโน้มที่สูงขึ้น สาเหตุเนื่องจากการเกิดไฟป่าทั้งในประเทศไทยและประเทศเพื่อนบ้านที่เพิ่มสูงขึ้น ได้แก่ พม่า เวียดนาม ลาว และกัมพูชา เป็นต้น ประกอบกับเป็นช่วงเวลาที่เกษตรกรจะทำการเผาเศษวัสดุเพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับการทำเกษตรในช่วงฤดูฝน นอกจากนี้สภาวะอากาศที่นิ่งทำให้ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นสามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้นานโดยไม่ตกลงสู่พื้นดิน อีกทั้งในช่วงต้นปีประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากร่องความกดอากาศสูงที่พัดผ่านพื้นที่ตอนบนของประเทศ ส่งผลให้หลายพื้นที่มีอากาศหนาวเย็นอย่างต่อเนื่อง สภาพความกดอากาศสูงและอุณหภูมิต่ำก่อให้เกิดหมอกในตอนเช้า และเมื่อหยดน้ำในอากาศรวมตัวกับฝุ่นละอองและสารมลพิษในอากาศจึงเกิดเป็นลักษณะของหมอกควันขึ้น ทำให้เกิดสภาพฟ้าหาวซึ่งส่งผลกระทบต่อทัศนวิสัยและสุขภาพ โดยจังหวัดที่ได้รับผลกระทบจากหมอกควัน ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน ลำปาง ลำพูนแพร่ น่าน และพะเยา จากข้อมูลจำนวนผู้ป่วยด้วยโรค

ที่คาดว่าได้รับผลกระทบจากปัญหาหมอกควัน ได้แก่ กลุ่มโรคตาอักเสบ โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคระบบทางเดินหายใจ และโรคผิวหนังอักเสบใน 8 จังหวัดภาคเหนือ ในช่วงระหว่างเดือนมกราคม – เมษายน ปี พ.ศ. 2559 พบว่ามีจำนวนผู้ป่วยรวมสูงเกือบ 1 ล้านคน จากประชากรประมาณ 6 ล้านคน หรือคิดเป็นร้อยละ 16 ^[1] ซึ่งถือว่าสร้างความเสียหายต่อสุขภาพประชากรในพื้นที่เป็นอย่างมาก จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ผู้วิจัยเล็งเห็นว่าปัญหาปัญหาหมอกพิษทางอากาศจากหมอกควันและไฟป่าจากการเผาเศษวัสดุการเกษตรและการเผาป่าในพื้นที่สูงในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยที่ค่อนข้างส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของประชาชน ในพื้นที่เป็นอย่างมาก โดยเฉพาะผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ และต้องการการศึกษาในเชิงลึกเพื่อหาแนวทางป้องกันและแก้ไขได้อย่างทันท่วงที นอกจากนี้แล้วยังมีผลการเผาในที่โล่งในภาคอื่นๆ เช่น ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมทั้งภาคเหนือที่มีการเผาไร่ อ้อยเพื่อการเก็บเกี่ยว และไร่ข้าวโพดกับนาข้าวเพื่อกำจัดเศษเหลือหลังการเก็บเกี่ยว ทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศส่งผลกระทบต่อสุขภาพและอาจเป็นอันตรายต่อยานพาหนะที่ไม่สามารถมองเห็นในทัศนวิสัยที่ไกลเพียงพอ อีกทั้งเป็นการเพิ่มปัญหามลภาวะโลกร้อนด้วยการแก้ปัญหาหมอกควันจึงต้องอาศัยองค์ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์บรรยากาศเพื่อทำความเข้าใจกับการเกิดมลพิษ การเคลื่อนที่ และผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้งในระยะสั้นและระยะยาว เช่น ผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง และผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของการเกิดฝน เนื่องจากการปล่อยปริมาณฝุ่นและแอร์โรซอลเป็นปริมาณมากขึ้นสู่บรรยากาศในช่วงการเผา ซึ่งอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะยาว

จากการสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปัญหาหมอกพิษทางอากาศในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยพบว่ามีมีการประยุกต์ใช้วิธีการหรือเทคโนโลยี รวมไปถึงการศึกษาแหล่งการเกิดมลพิษในอากาศต่างๆ เพื่อหาแนวทางในการจัดการปัญหาหมอกพิษทางอากาศในด้านต่างๆ เช่น Somporn Chantara ^[2] ได้ศึกษาถึงสถานการณ์มลพิษจาก

หมอกควันที่เกิดขึ้นในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ โดยมี การวิเคราะห์ถึงตัวอย่างของปริมาณ PM_{10} ที่เกิดขึ้นใน บรรยากาศและองค์ประกอบทางเคมีในช่วงฤดูแล้ง และฤดูฝนในปี 2005-2009 พบว่าแหล่งกำเนิดมลพิษ ทางอากาศเกิดจากการเผาพื้นที่ป่าหรือพื้นที่โล่งทั้งใน ประเทศและประเทศเพื่อนบ้านเพื่อการเกษตรกรรม ต่อมา Wiriya, W. et al. [3] ได้ศึกษาและประเมิน แหล่งที่มาของหมอกควันที่มีแหล่งกำเนิดในพื้นที่คือ การเผาชีวมวลในที่โล่ง มลพิษที่ถูกปล่อยออกสู่อากาศ ก็จะมีการเคลื่อนที่ตามทิศทางและความเร็วลมไปยัง พื้นที่อื่นๆ ที่อยู่ได้ลม ทั้งนี้สามารถทำการจำลองทิศ ทิศทางการเคลื่อนที่ของมลพิษซึ่งเกิดจากการเผาชีวมวล ในพื้นที่โล่งโดยใช้โปรแกรม HYSPLIT (Hybrid-Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory) ทำ การจำลองการเคลื่อนที่ของมวลอากาศจาก แหล่งกำเนิดแบบไปข้างหน้าและแบบย้อนกลับ เพื่อดู การกระจายของมลพิษจากแหล่งกำเนิด และหา แหล่งที่มาของมลพิษในแต่ละพื้นที่ศึกษาโดยการ เคลื่อนที่ของอากาศมายังพิกัดที่กำหนดไว้ (พื้นที่ เป้าหมาย) เรียกว่าเป็นการศึกษาการเคลื่อนที่แบบ ย้อนกลับ (Backward trajectory) ซึ่งสามารถใช้ ทำนายแหล่งที่มาของมลพิษมายังจุดศึกษา ในขณะที่ การคำนวณความน่าจะเป็นของทิศทางลมออกจากจุด กำเนิดที่ได้กำหนดไว้เป็นการศึกษาการเคลื่อนที่แบบ ไปข้างหน้า (Forward trajectory) ซึ่งใช้ในการทำนาย การเคลื่อนตัวของอากาศจากแหล่งกำเนิดมลพิษ ไปยังพื้นที่อื่นๆ รวมไปถึงการศึกษาถึงองค์ประกอบ ทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{10} เพื่อนำไป วิเคราะห์ถึงความเสี่ยงต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ รวมไปถึงการศึกษาความสัมพันธ์ของทิศทางการ เคลื่อนที่ของมวลอากาศ ในงานวิจัยได้ศึกษาช่วง ฤดูกาลทั้งหมด 3 ช่วงฤดู ได้แก่ ฤดูแล้งและฤดูฝน ใน ปี 2010 และ ฤดูแล้งในปี 2011 ในพื้นที่จังหวัด เชียงใหม่ ต่อมา Intra, P. et al. [4-12] ได้มีการพัฒนา เครื่องวัดและวิเคราะห์ขนาดฝุ่นละอองในอากาศ PM_{10} , $PM_{2.5}$ และ $PM_{1.0}$ หรือที่เรียกว่า DustDETEC เครื่องต้นแบบ DustDETEC และระบบการรายงานผล ออนไลน์ โดย DustDETEC ใช้หลักการวัดประจุ ไฟฟ้าสถิตของอนุภาค (Electrostatic charge

measurement of particle) จึงทำให้สามารถวัดและ บันทึกรูปแบบออนไลน์ได้อัตโนมัติและรายงานผลได้ อย่างรวดเร็ว เคลื่อนย้ายง่าย สามารถติดตั้งในสถานที่ ที่มีการสั่นสะเทือนได้มีระบบฐานข้อมูลและดูแล การวัดได้ง่าย และบำรุงรักษาง่าย และ Vannate Ponpanuma et al. [13] ได้ศึกษาถึงแนวคิดเพื่อ การจัดการชีวมวลและเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ในระบบเตาควบคุมที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะและ สามารถแปรรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ประโยชน์ใน ชุมชนและลดปัญหาหมอกควันที่เกิดขึ้นจากการเผา เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้

จากงานวิจัยที่ผ่านมาและองค์ความรู้ที่มีอยู่อย่าง จำกัดทำให้ไม่สามารถอธิบายและคาดการณ์เหตุการณ์ ที่จะเกิดในอนาคตได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้งานวิจัยนี้จึงมี วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงปัญหาฝุ่นควันที่เกิดขึ้นใน เขตภาคเหนือตอนบน โดยมีการตรวจวัดปริมาณฝุ่น ละอองเชิงมวล $PM_{2.5}$ และ PM_{10} และทำการพัฒนา ระบบฐานข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ รวม ไปถึงการนำเสนอข้อมูลผ่านระบบรายงานผลออนไลน์ จากสถานีตรวจวัดในแต่ละแห่ง เพื่อให้ผู้รับข้อมูล สามารถเข้าถึงข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว ทันสถานการณ์ และเข้าใจง่าย นอกจากนี้งานวิจัยมีความมุ่งหวังสร้าง องค์ความรู้ใหม่ เพื่อศึกษาสมบัติ และลักษณะของ มลพิษที่มาจากการเผาชีวมวลในพื้นที่ รวมไปถึงการ สนับสนุนให้เกิดความร่วมมือจากนักวิจัยท้องถิ่นเพื่อ สร้างเครือข่ายและศึกษาวิจัยร่วมกันในประเด็น ดังกล่าว เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย ของมนุษย์และการวางแผนแก้ปัญหาในอนาคตได้ อย่างทันทั่วถึง

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 พื้นที่ศึกษาวิจัย

ลักษณะทางภูมิประเทศของภาคเหนือตอนบนนั้น มีลักษณะเป็นแอ่งกระทะ ประกอบด้วยพื้นที่ราบ ที่มีภูเขาล้อมรอบ มีสภาพอากาศนิ่งและแห้งเป็น เวลานาน เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศดังกล่าว ส่งผล ให้พื้นที่ภาคเหนือตอนบนมักจะประสบปัญหาภาวะ หมอกควันในช่วงฤดูแล้งเป็นประจำเกือบทุกปี โดยส่วนใหญ่มีสาเหตุหลักมาจากการการเผาไหม้

ชีวมวล เช่น การเผาป่า การเผาของเหลือจาก การเกษตร ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาถึง ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เกิดขึ้นในพื้นที่ภาคเหนือ ตอนบนของประเทศไทย โดยการเลือกติดตั้งสถานี ตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็กในพื้นที่ศึกษา จำนวน ทั้งหมด 4 สถานี ได้แก่ 1) สถานีโรงเรียนยุพราช 2) สถานี อ.ดอยสะเก็ด 3) สถานี ต.แม่เหียะ อ.เมือง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 4) สถานี อ.น่าน้อย จ.น่าน ดัง แสดงจุดติดตั้งสถานีตรวจวัดในรูปแบบที่ 1

2.2 การติดตั้งเครื่องวัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก DustDETEC ในพื้นที่ศึกษา ในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการ ติดตั้งเครื่องวัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก DustDETEC ใน แต่ละพื้นที่ศึกษา โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) ติดตั้งเครื่องวัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก DustDETEC ให้สามารถวัดฝุ่นละออง PM_{10} และ $PM_{2.5}$ และชุดอินเตอร์เฟซเพื่อควบคุมและส่งข้อมูล ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบไร้สายบันทึกลง ฐานข้อมูลสำหรับระบบการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง และการสร้างสถานีตรวจวัดฝุ่น DustDETEC แบบ ออนไลน์

1) ทดสอบสมรรถนะของชุดคัดฝุ่นละออง PM_{10} และ $PM_{2.5}$ โดยวิธีสร้างอนุภาค

2) ตัวอย่างจากเครื่อง Compressor nebulizer โดยใช้อนุภาคมาตรฐาน (standard particle) ตาม มาตรฐาน NIST (National Institute of Standards and Technology) ตามการอ้างอิง SRM (Standard Reference Material) ที่มีขนาดครอบคลุมช่วงของ การวัดของเครื่องวัดต้นแบบ ได้แก่ 0.3, 1, 3, 10 ซึ่ง ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจำแนกขนาดฝุ่น ละอองด้วยการสังเกตจากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนหรือ SEM จากอนุภาคที่ตก สะสมตัวอยู่บนแผ่นตกกระทบและแผ่นกรองอนุภาคที่ ทางออก PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ทดลองหาความสัมพันธ์ ระหว่างกระแสไฟฟ้ารวม (total current) ของอนุภาค ฝุ่นกับมวลรวม (total mass) ของอนุภาคที่วัดได้จาก เครื่องต้นแบบกับเครื่องวัดวิธีเทียบเคียง (Federal Equivalent Method; FEM) ตามที่ US EPA กำหนด ในห้องปฏิบัติการและทำการศึกษาผลของความชื้น และอุณหภูมิต่อความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและ มวลของอนุภาคของเครื่องต้นแบบ



รูปที่ 1 แผนที่แสดงสถานีตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็กในพื้นที่ภาคเหนือจำนวน 4 สถานี



รูปที่ 2 เครื่องมือวัดคุณภาพอากาศแบบเรียลไทม์
(DustDETEC)

3) ทำการทดสอบภาคสนามวัดปริมาณฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ของเครื่องวัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก DustDETEC โดยทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในอากาศต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 2 เดือน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและมวลของฝุ่น

4) เปรียบเทียบผลการวัด วิเคราะห์ข้อมูล โดยการหาความสัมพันธ์ของผลการวัดจากเครื่องวิเคราะห์

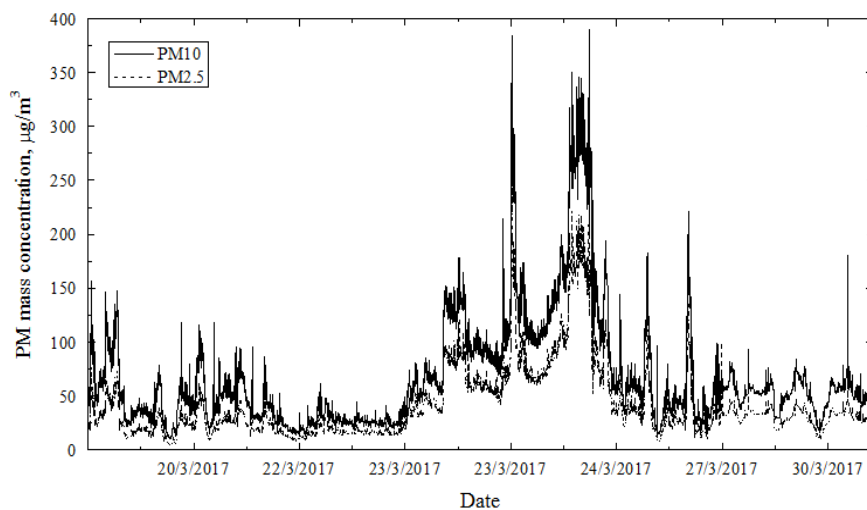
กับเครื่องวัดวิธีอ้างอิงด้วยวิธีสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Correlation)

5) ทำการทดสอบภาคสนามโดยทำการศึกษาถึงระยะเวลาในการบำรุงรักษา และปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องวัดฝุ่นอื่นๆ เพิ่มเติม โดยเครื่องมือวัดคุณภาพอากาศแบบเรียลไทม์ (DustDETEC) ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยเกณฑ์ในการออกแบบโดยรวมและคุณสมบัติของเครื่องวัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก DustDETEC ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติเครื่องต้นแบบเครื่องวัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก DustDETEC

คุณสมบัติ	รายละเอียด
เทคนิคการวัด	จำแนกขนาดอนุภาคด้วยวิธีการตกกระทบเนื่องจากแรงเฉื่อยของอนุภาคและวัดปริมาณฝุ่นด้วยประจุไฟฟ้าสถิต
ขนาดฝุ่นละออง	PM_{10} และ $PM_{2.5}$ พร้อมกันในเครื่องเดียว
จำนวนช่องวัด	3 ช่องวัด
ช่วงของความเข้มข้นเชิงมวล	0 ถึง 500 ไมโครกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
ความละเอียด	0.01 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
อัตราการไหลต่อช่องวัด	5 ลิตรต่อนาที
อัตราการไหลรวม	15 ลิตรต่อนาที
ความเร็วในการประมวลผล	น้อยกว่า 1 วินาที
การรายงานค่าเฉลี่ยฝุ่น	30 นาที / 1 / 8 / 24 ชั่วโมง
อุณหภูมิฝุ่นขาเข้า	20-50 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	รายละเอียด
ความชื้นฝุ่นขาเข้า	น้อยกว่า 80 %RH
การรายงานผลระยะไกล	แสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ (web browser)
การควบคุมระยะไกล	ควบคุมและส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ 3G
ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมฝุ่นขาเข้า	สามารถปรับสภาพอากาศขาเข้าสามารถจำกัดความชื้นอากาศไม่เกิน 60% โดยมีอุณหภูมิระหว่าง 15-30 องศาเซลเซียสที่ความดันบรรยากาศ
ชนิดและองค์ประกอบของอนุภาค	สามารถวัดอนุภาคได้ทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลว
แหล่งจ่ายกำลัง	220 VAC 50 Hz
ขนาดของเครื่องมือ	ชั่วโมงในการทำงานอย่างน้อย 1,000 ชั่วโมงหลังจากทำความสะอาดแล้ว
ขนาดและคุณลักษณะ	สามารถเคลื่อนที่ง่ายเหมาะสำหรับงานภาคสนาม ติดตั้งและเริ่มใช้งานได้ที่ หนาทาน สามารถทำงานในที่ที่มีการสั่นหรือการเคลื่อนที่ได้



รูปที่ 3 ค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM₁₀ และ PM_{2.5} ราย 10 วินาทีที่วัดได้จากเครื่อง DustDETEC ณ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแม่เหียะ จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างวันที่ 17-30 มีนาคม 2560

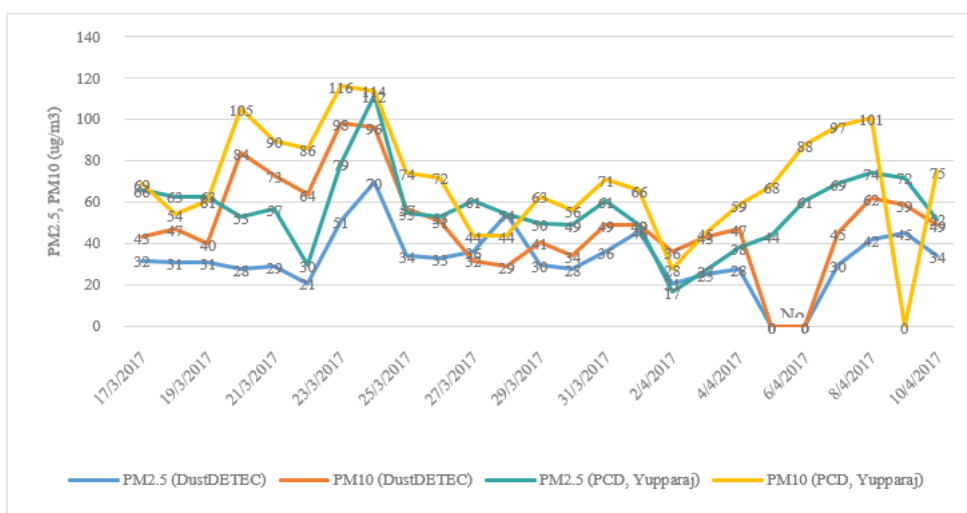
3. ผลการดำเนินงานวิจัย

3.1 การตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากเครื่องต้นแบบเครื่องวัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก DustDETEC

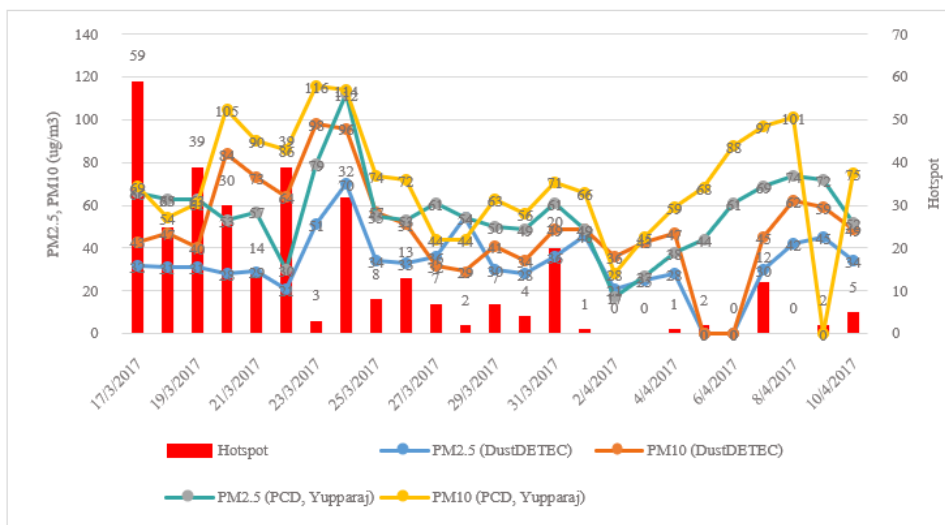
จากการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ของเครื่องวัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก DustDETEC โดยทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในอากาศต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ในช่วงเดือน มีนาคม 2560 ^[14] จะเห็นได้ว่าในช่วงของวันที่ 23-24 มีนาคม 2560 จะมีปริมาณของฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่ค่อนข้างสูงกว่าวันอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 3

ในงานวิจัยนี้ได้นำค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{10} และ $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายวันที่วัดได้จากเครื่องวัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก DustDETEC มาเปรียบเทียบกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศกรมควบคุมมลพิษ (สถานีโรงเรียนยุพราช) ระหว่างวันที่ 17 มีนาคม – 10 เมษายน 2560 ^[15] พบว่าข้อมูลที่ให้มีแนวโน้มที่

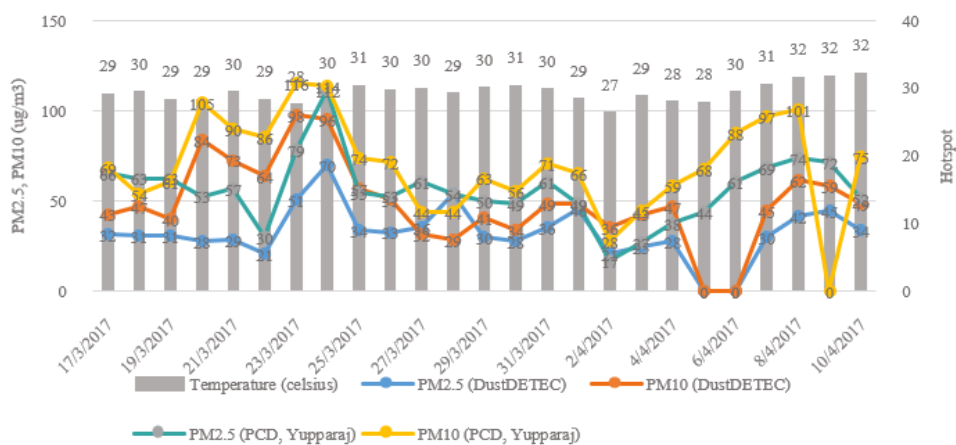
ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 4 และเมื่อนำข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็กจากเครื่องวัดฝุ่นละออง DustDETEC เปรียบเทียบกับข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษ ^[15] และปริมาณจุดความร้อน ^[16] ที่เกิดขึ้นในช่วงเดือนมีนาคม และเมษายน 2560 พบว่ามีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันคือหากช่วงที่มีปริมาณจุดความร้อนสูง ก็จะส่งผลให้ค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{2.5}$ และ PM_{10} สูงขึ้นตามไปด้วย และในช่วงเวลาดังกล่าวอยู่ในช่วงของมาตรการห้ามเผาจึงส่งผลให้ปริมาณจุดความร้อนและปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เกิดขึ้นลดลงจากปีก่อนๆ จากนั้นนำค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับอุณหภูมิ ^[17] ในช่วงดังกล่าว พบว่าในช่วงการเก็บข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กมีอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงตลอดทั้งเดือน จึงอาจส่งผลทำให้ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องตามไปด้วย โดยแสดงได้ดังรูปที่ 6



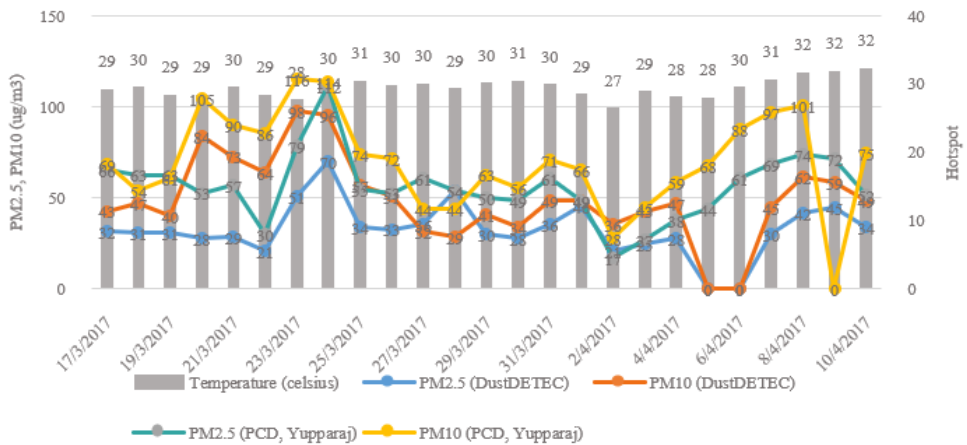
รูปที่ 4 ค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{10} และ $PM_{2.5}$ รายวันที่วัดได้จากเครื่อง DustDETEC เปรียบเทียบกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศกรมควบคุมมลพิษ (โรงเรียนยุพราช) ระหว่างวันที่ 17 มีนาคม – 10 เมษายน 2560



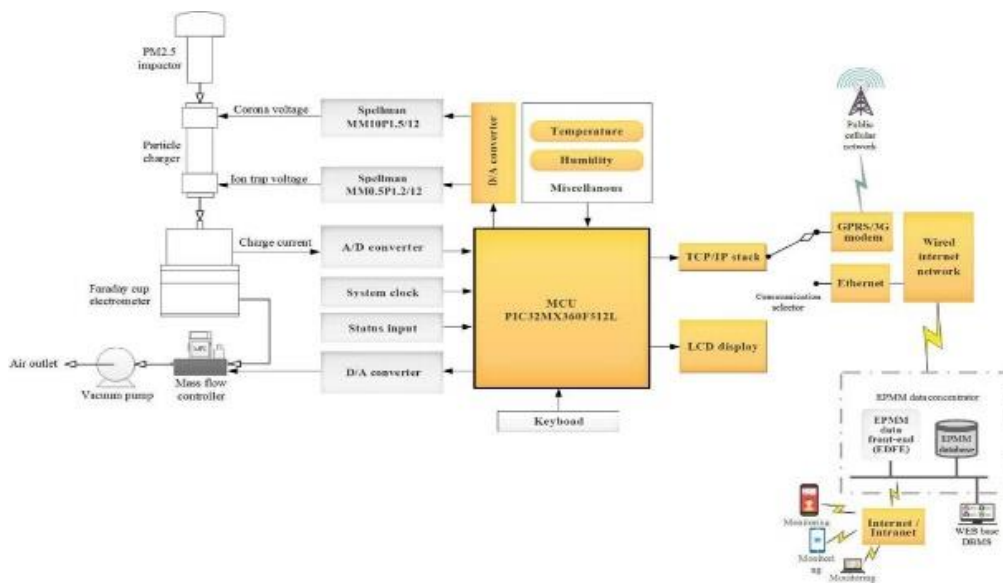
รูปที่ 5 ค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM₁₀ และ PM_{2.5} รายวันที่วัดได้จากเครื่อง DustDETEC เปรียบเทียบกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศกรมควบคุมมลพิษ (โรงเรียนยุพราช) และจำนวนจุดความร้อน ระหว่างวันที่ 17 มีนาคม – 10 เมษายน 2560



รูปที่ 6 ค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM₁₀ และ PM_{2.5} รายวันที่วัดได้จากเครื่อง DustDETEC เปรียบเทียบกับข้อมูลอุณหภูมิ ระหว่างวันที่ 17 มีนาคม – 10 เมษายน 256



รูปที่ 7 ค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM₁₀ และ PM_{2.5} รายวันที่วัดได้จากเครื่อง DustDETEC เปรียบเทียบกับข้อมูลความชื้น ระหว่างวันที่ 17 มีนาคม – 10 เมษายน 2560



รูปที่ 8 แผนผังแสดงการรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเพื่อจัดเก็บในฐานข้อมูล และส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย [18]

และเมื่อนำข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็กมาวิเคราะห์ เปรียบเทียบความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้น [17] ที่เกิดขึ้น พบว่า ในช่วงที่มีปริมาณความชื้นสูงส่งผลให้ค่า ฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มลดลง ดังแสดง ในรูปที่ 7

3.2 การพัฒนาระบบการรวบรวมข้อมูล

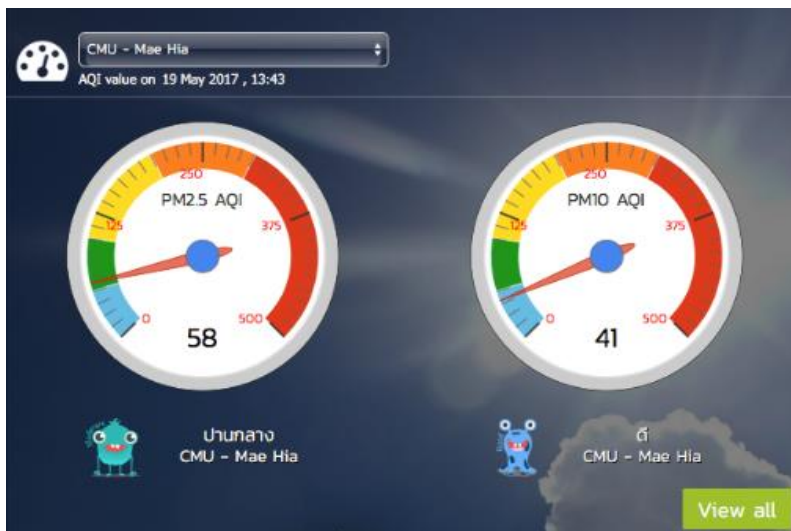
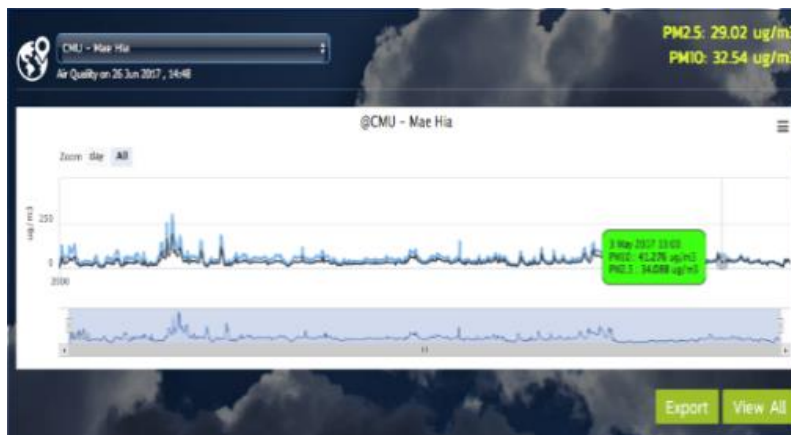
รูปที่ 8 แสดงให้เห็นถึงแผนผังการรวบรวมข้อมูลเพื่อ จัดเก็บในฐานข้อมูลและส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย อินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย โดยเป็นการรวบรวมข้อมูล ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในเขตพื้นที่

ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยจากสถานีตรวจวัด
เครือข่ายเพื่อศึกษาปัญหาหมอกควันที่เกิดขึ้นในเขต
ภาคเหนือตอนบน และได้เชื่อมโยงข้อมูลดังกล่าวเพื่อ
การเผยแพร่ผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ ดังรายละเอียดใน
หัวข้อ 3.3

3.3 การแสดงข้อมูลเพื่อการเผยแพร่

หลังจากทำการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก

PM_{2.5} และ PM₁₀ ในอากาศด้วยเครื่องวัดฝุ่นละออง
ขนาดเล็ก DustDETEC ณ แต่ละสถานีเครือข่ายแล้ว
ระบบจะทำการรวบรวมฐานข้อมูลทั้งหมด จากนั้นทำ
การบันทึกผลแบบออนไลน์ได้อัตโนมัติ และสามารถ
แสดงผลเพื่อเผยแพร่ข้อมูลผ่านเว็บไซต์
(www.cmuccdc.org) ^[19] ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลปริมาณ PM_{2.5} และ PM₁₀ จากสถานีเครือข่ายเพื่อเผยแพร่บนเว็บไซต์
(www.cmuccdc.org)

4. สรุปผลและอภิปราย

จากการศึกษาวิจัยพบว่างานวิจัยนี้สามารถศึกษาถึงปัญหาฝุ่นควันที่เกิดขึ้นในเขตภาคเหนือตอนบน โดยศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นละอองและข้อมูลทางสภาวะอุตุนิยมวิทยาต่างๆ และการเปรียบเทียบข้อมูลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองเชิงมวล $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากเครื่องต้นแบบเครื่องวัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก DustDETEC และข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศกรมควบคุมมลพิษพบว่าข้อมูลที่ได้อ่านข้อมูลที่ได้มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน และทำการพัฒนาระบบฐานข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ รวมไปถึงการนำเสนอข้อมูลผ่านระบบรายงานผลออนไลน์จากสถานีตรวจวัดในแต่ละแห่งเพื่อให้ผู้รับข้อมูลสามารถเข้าถึงข้อมูลได้อย่างรวดเร็วทันสถานการณ์ และเข้าใจง่าย นอกจากนี้งานวิจัยมีความมุ่งหวังอยากให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ และความร่วมมือจากนักวิจัยท้องถิ่นเพื่อสร้างเครือข่าย และคาดหวังว่าจะมีการเพิ่มและขยายพื้นที่การติดตั้งสถานีตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองเชิงมวลเรียลไทม์เตือนภัยวิกฤตฝุ่นควันในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ และในพื้นที่จังหวัดใกล้เคียงอื่นๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เกิดประโยชน์สูงสุดต่อชุมชนและท้องถิ่นในอนาคตต่อไปได้

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ทำวิจัยขอขอบพระคุณศูนย์ความเป็นเลิศเพื่อการจัดการพลังงานและเศรษฐกิจ นิเวศ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ และมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และหน่วยวิจัยสนามไฟฟ้าประยุกต์ในงานวิศวกรรมวิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ ที่อนุเคราะห์ข้อมูลและข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ และขอขอบคุณเครือข่ายพันธมิตรมหาวิทยาลัยเพื่อการวิจัยกลุ่มวิจัยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภัยพิบัติ (RUN-CCDM) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ภายใต้กิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยโครงการประเทศไทยไร้หมอกควัน : Haze Free Thailand เครือข่ายพันธมิตร

มหาวิทยาลัยเพื่อการวิจัย กลุ่มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการจัดการภัยพิบัติ Research University Network Cluster Climate Change and Disaster Management : RUN-CCDM และโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยโครงการ และขอขอบคุณทุกท่านที่เกี่ยวข้องทั้งบุคลากรของหน่วยงานต่างๆ และชุมชนในพื้นที่ ที่ให้ความร่วมมือและให้ความเอื้อเฟื้อ ช่วยเหลือในด้านต่างๆ เป็นอย่างดีจนทำให้งานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] 1 sth. Disease Prevention Control, Chiang Mai. Bureau of Epidemiology, The impact of haze problem in Northern, Thailand (January-April, 2016). Chiang Mai., 2016.
- [2] Somporn Chantara, PM10 and Its Chemical Composition: A Case Study in Chiang Mai, Thailand, Air Quality - Monitoring and Modeling, Dr. Sunil Kumar (Ed.), ISBN: 978-953-51-0161-1, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/air-quality-monitoring-and-modeling/pm10-and-its-chemical-composition-a-case-study-in-chiang-mai-thailand.>, 2012.
- [3] Wiriya, W., Prapamontol, T., Chantara, S, PM10 - bound polycyclic aromatic hydrocarbons in Chiang Mai (Thailand): seasonal variations, source identification, health risk assessment and their relationship to air-mass movement, Atmospheric Research; 124, 109-122., 2012.
- [4] Intra, P. and Tippayawong, N, Aerosol size distribution measurement using multi-channel electrical mobility sensor, Journal of Aerosol Research Japan; Vol. 21, No. 4, pp. 329 – 340, 2006.

- [5] Intra, P. and Tippayawong, N, An electrostatic sensor for nanometer-sized aerosol particles detection, Journal of the Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechanics; Vol.17, Supplement, pp. s17 – s20, 2009a.
- [6] Intra, P. and Tippayawong, N, An overview of aerosol particle sensors for size distribution measurement, Maejo International Journal of Science and Technology; Vol.1, No. 2, pp. 120 – 136, 2007.
- [7] Intra, P. and Tippayawong, N, Development and evaluation of a Faraday cup electrometer for measuring and sampling atmospheric ions and charged aerosols, Particulate Science and Technology, 2015, in press, doi:10.1080/02726351.2014.952392
- [8] Intra, P. and Tippayawong, N, Development of a fast-response, high-resolution electrical mobility spectrometer, Korean Journal of Chemical Engineering; Vol. 28, No. 1, pp. 279 – 286, 2011a.
- [9] Intra, P. and Tippayawong, N, Performance evaluation of an electrometer system for ion and aerosol charge measurements, Korean Journal of Chemical Engineering; Vol. 28, No. 2, pp. 527 – 530, 2011b.
- [10] Intra, P, Investigation of a submicron-particle inertial impactor for size-selective inlet of the electrical mobility spectrometer, Chiang Mai University Journal of Natural Science; Vol. 7, No. 2, pp. 257 – 268, 2008.
- [11] Intra, P., Yawootti, A. and Tippayawong, N., An electrostatic sensor for continuous monitoring of particulate air pollution, Korean Journal of Chemical Engineering; Vol. 30, No. 12, pp. 2205 – 2212, 2013.
- [12] Intra, P., Yawootti, A., Vinitketkumnuen, U. and Tippayawong, N., Development of a PM2.5 sampler with inertial impactor for sampling airborne particulate matter, Korean Journal of Chemical Engineering; Vol. 29, No. 8, pp. 1044 – 1049, 2012.
- [13] Vannate Ponpanuma, Ruth Sirisunyaluck and Saowaluck Yammuen-art (2014). “Maize Planting in the North of Thailand and Air Pollution from Haze, Thai Journal of Animal Science 1 (2): 20-36, 2014.
- [14] Sate Sampattagul, Somporn Chantara, Perapong Tekasakul and Supab Choopun. Haze Free Thailand: Monitoring and Evaluation of Haze Management Program, Research University Network Cluster Climate Change and Disaster Management: RUN-CCDM. 2016.
- [15] PCD, Pollution Control Department, 2017. Manual report. Available online: http://www.aqmthai.com/public_report.php (accessed 17.03.17).
- [16] Gistda, 2017. Manual report. Available online: Satellite Hotspot Tracking System. Availableonline: http://www.forest.go.th/wildfire/hotspot/hotspot_rfd.php?select=1 (accessed 17.03.17).
- [17] Northern Meteorological Center, 2017. Annual Meteorological Statistics in Chiang Mai. Available online: <http://www.cmmet.tmd.go.th/index1.php> (accessed 01.03.17).

[18] Panich Intra, Artit Yawootti, and Sate Sampattagul, Comparison of electrostatic charge and beta attenuation mass monitors for continuous airborne PM10 monitoring under field conditions, Korean Journal of Chemical Engineering December 2016, Volume 33, Issue 12, pp 3330–3333.

[19] CMU CCDC, Climate Change Data Center of Chiang Mai University, 2017. Available online: <http://www.cmuccdc.org> (accessed 01.03.17).

CONTENT

❖ Invited Article	Page
• Inactivation of <i>Staphylococcus aureus</i> in Orange Juice by Pulsed Electric field Technology.....	1
<i>Papol Saryoung Chatchawan Kantala and Panich Intra</i>	
❖ Research Article	
• Comparative Performance Study of Extracted Rotenone from Derris Root using Pulsed Electric Field.....	11
<i>Surakan Tatun and Aroon Sottikul</i>	
• Improvement Model and Charcoal Production Techniques with Stove size 200 liters.....	21
<i>Lutfee Seni and Pisit Maneechot</i>	
• Design and Development of a Prototype of a Microbial Inactivation System by Pulsed Electric Field for Industrial Scale.....	35
<i>Chatchawan Kantala, Nitikorn Wongjankeaw, Phadungsak Rattanadecho and Panich Intra</i>	
• The Production of Non-separate Glycerin Blended Diesel from Waste Oil for Hydro Pump Engine.....	57
<i>Jarukit Piboolnaruedom, Pakin Maneechot, Thep Kueathaweekun and Ussadang Boonsri</i>	
• Evaluation of Particulate Matter Concentration by Using a Wireless Sensor System for Continuous Monitoring of Particulate Air Pollution in Northern of Thailand.....	65
<i>Titaporn Supasri, Panich Intra, Sermkiat Jomjunyong and Sate Sampattagul</i>	