

วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

Industrial Technology

Lampang Rajabhat University Journal

วารสารกลุ่มที่ 1 ฐานข้อมูล TCI

ค่า Thai-Journal Impact Factors (T-JTF)

ปี 2560 : 0.426

ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2562

ISSN 1906-5337

คณะกรรมการและกองบรรณาธิการ วารสารวิชาการ
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

เจ้าของที่ปรึกษา	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง รักษาราชการแทนอธิการบดี รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ คณบดี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
บรรณาธิการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์พงษ์สวัสดิ์ อำนางกิตติกร
ผู้ช่วยบรรณาธิการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธิดา คุณยศยิ่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิเชษฐ ยัมละมัย

กองบรรณาธิการ : (ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก Peer Review)

ศ.เกียรติคุณ เสริมศักดิ์ นาคบัว	มหาวิทยาลัยศิลปากร	รศ. สมชาย	ชื่นวัฒนาประณี	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ศ.ดร. ก้องกิติ พุสสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	รศ. สมพงษ์	บุญเลิศ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ศ.ดร. ตรีนทศ เหล่าศิริพงษ์ทอง	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	รศ. สายัณห์	จันทร์วิรัช	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
ศ.ดร. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	รศ. สุมาลี	อุณหวนิชย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ศ.ดร. ธนารักษ์ อีระมั่นคง	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์			พระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ศ.ดร. ปริญญา จินดาประเสริฐ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	รศ. สุวิข	บุตรสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร. ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	รศ. आयวัฒน์	สว่างผล	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ศ.ดร. สุพล อนันดา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ผศ.ดร. เกรียงศักดิ์	เขียวมั่ง	มหาวิทยาลัยบูรพา
ศ.ดร. อภิรัฐ ศิริธราวัตร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ผศ.ดร. จิรพัฒน์	วาณิชวัฒนาโกศล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ.ดร. กวิน สอนิเพิ่มพูน	มหาวิทยาลัยนเรศวร	ผศ.ดร. นิพนธ์	เกตุจ้อย	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รศ.ดร. ชิตชัย อนันตเศรษฐ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ผศ.ดร. นิวัตร	พัฒนา	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
รศ.ดร. ช่างโซติ พันธุเวช	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	ผศ.ดร. ศศิธร	คนทน	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
รศ.ดร. ดรณี วัฒนศิริเวช	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง	ผศ.ดร. ศักดิพล	เทียนเสมอ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ.ดร. ถาวร สารวิทย์	มหาวิทยาลัยนเรศวร	ผศ.ดร. สมชาย	มณีวรรณ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รศ.ดร. อีรศิลป์ ทุมวิภาต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	ผศ.ดร. สุธี	วัฒนศิริเวช	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
		ผศ.ดร. อภิชาติ	แจ้งบำรุง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร. นกมล อุทัยภักดี	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	ผศ.ดร. ภูพงษ์	พงษ์เจริญ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รศ.ดร. นพมณี ไทบุญญานนท์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้			
รศ.ดร. นัฐพร ไชยญาติ	วิทยาลัยพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยแม่โจ้			

กองบรรณาธิการ : (ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน)

รศ.ดร. ปรงศักดิ์ อัดพูน	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	ศ. จำเียร	นันทดิลก
รศ.ดร. พิระวุฒิ สุวรรณจันทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	รศ.ดร. นันทะ	บุตรน้อย
รศ.ดร. พงศ์ หรดาล	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร	รศ.ดร. กิตติศักดิ์	สมุทธารักษ์
รศ.ดร. มนตรี ศิริปรัชญานันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	รศ.ดร. อนิรุจน์	มะโนธรรม
		ผศ. พงษ์สวัสดิ์	อำนางกิตติกร
		Mr. Richard	Lawrence Mann

ฝ่ายสนับสนุนการดำเนินการจัดทำวารสาร

รศ.ดร. สรา อารณ	มหาวิทยาลัยมหิดล	ผศ. ธิติมา	คุณยศยิ่ง	ฝ่ายประสานงานทั่วไป
รศ.ดร. เอกธวัช บุญเชียง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ผศ. วิเชษฐ	ยัมละมัย	ฝ่ายออกแบบงานศิลป์
รศ. นิธิวัฒน์ พัฒนพงษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง	ผศ.ดร. วศิณีโรจน์	เนติศักดิ์	ฝ่ายออกแบบงานศิลป์
รศ. บุญชาติ เนติศักดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง	ผศ. นราธิป	วงษ์ปัน	ฝ่ายวารสารออนไลน์
รศ. ยืน ภูววรรณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	นาง วรชัญญานันท์	เมธีวัชรโยธิน	ฝ่ายธุรการและการเงิน
รศ. วิชัย พงษ์ธาราธิกุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	นางสาว กมลชนก	ถาแก้ว	ฝ่ายจัดเตรียมต้นฉบับ
รศ. วิชัย ฤกษ์ภูริทัต	มหาวิทยาลัยนเรศวร			

วัตถุประสงค์ : เพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิชาการ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยทำการตีพิมพ์บทความวิจัยและบทความวิชาการทั่วไป สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กำหนดออกวารสาร : ปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 ระหว่างเดือน มกราคม – มิถุนายน และ ฉบับที่ 2 ระหว่างเดือน กรกฎาคม – ธันวาคม

เว็บไซต์วารสาร : <http://www.journal.itech.lpru.ac.th>

สารบัญ

สารจากอธิการบดี

สารจากบรรณาธิการ

หน้า

นวัตกรรมเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อนสำหรับการผลิตถาดบรรจุ

1

ไร่นานางฟ้าแซ่แข็ง ของชุมชนคลองสำพรัง จังหวัดนครสวรรค์

โกเมน หมายมั่น, กฤษณะ รัชชัยพฤกษ์ และธีรพจน์ แนนเนียน

การปรับปรุงการทำงานเพื่อลดปัญหาทางการยศาสตร์ในกระบวนการนึ่งก้อนเชื้อเห็ด

14

กรณีศึกษา ศูนย์เรียนรู้การผลิตเห็ดอินทรีย์ จังหวัดภูเก็ต

จารุวรรณ พรหมเงิน, กิตติศักดิ์ จิตตเกื้อ และอนันต์ สันติอมรทัต

ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายภาพของพื้นที่ว่างสาธารณะกับรูปแบบปฏิสัมพันธ์

27

ทางสังคมของผู้สูงอายุ กรณีศึกษา สวนสาธารณะในพื้นที่เมือง จังหวัดพิษณุโลก

ณัฐธิดา จงรักษ์ และนันทิภา นวพันธุ์

การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังด้วยแนวคิดเทคโนโลยีสะอาด

40

กรณีศึกษาบริษัท จ.เจริญมาร์เก็ตติ้ง จำกัด

เปรมชัย มูลหล้า

การหาค่าโมดูลัสเฉือนของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพมหานครผสมผงซิลิกาโดยใช้การทดสอบ

54

แรงอัดของดินโดยปราศจากแรงต้านข้างร่วมกับเบन्दอร์อิเลเมนต์

พิธาน ไพโรจน์

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ช่วยห่อและมัดลูกประคบสมุนไพร

64

ศักดิ์ศรีชัย ศรีสวัสดิ์

กรณีศึกษาเครื่องฉีกเส้นหมฝอยต้นแบบสำหรับ OTOP กลุ่มสตรีอาสาพัฒนาบ้านหนองหลวง

77

เพื่อการส่งออกสู่ประชาคมอาเซียน

ศิริชัย ต่อสกุล และวิเชียร เกื่อนเครือวัลย์

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการก่อสร้างหอพักนักศึกษาในกำกับมหาวิทยาลัย กรณีศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ สิทธิพันธ์ ทองศิริ และศิริวัฒน์ กมลคุณานนท์	88
การศึกษาการอบกลั่นน้ำว่าด้วยความร้อนทิ้งจากระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน สิริสวัสดิ์ จิงเจริญนิธร และทวีวัฒน์ สุภารส	100
Algorithm for Mango Classification Using Image Processing and Naive Bayes Classifier Phantida Limsripraphan, Peerapol Kumpan, Nanthaphon Sathongpan, and Chitnarong Phengtaeng	112
ภาคผนวก	126
ข้อกำหนดมาตรฐานวารสารวิชาการ	127

CONTENTS

Letters from the president

Letters from the Editors

	Page
Thermal Plastic Molding Machine Innovation for Frozen Fairy Shrimp Tray Production in Khlong Saamprung Community, Nakhon Sawan Province <i>Komain Maimun, Krissana Romchaiyaphuek and Teerapod Naebnean</i>	1
Reducing Ergonomic Issues within the Mushroom Loaf Steaming Process: A Case Study at the Organic Mushroom Learning Center, Phuket Province <i>Jaruwan Promngurn, Kittisak Jitkue and Anan Suntiamontut</i>	14
The Relationship between the Physical Factors of Open Public Space and the Elderly's Social Interaction: Case Study of an Urban Public Park in Phitsanulok <i>Nattida Jongrak and Nattika Navapan</i>	27
Increasing Efficiency of the Tapioca Starch Production Process using Clean Technology Concept: A Case study of J. Charoen Marketing Company Limited <i>Premchai Moolla</i>	40
Shear Modulus Identification of Soft Bangkok Clay with Silica Powder using an Unconfined Compression Test with Bender Elements <i>Pithan Pairojn</i>	54
Evaluation of the Design and Construction of Compress Wrap Equipment <i>Saksirichai Srisawad</i>	64
A Case Study of the Moofoy Shredding Pork Prototype Machine of the Ban Nong Luang OTOP Volunteer Women's Group for Export to the AEC <i>Sirichai Torsakul and Vichiean Thuankruaval</i>	77

CONTENTS (Continued)

	Page
A Feasibility Study of a University Dormitory Construction Project: A Case Study of Uttaradit Rajabhat University <i>Sittinan Thongsiri and Siwat Kamonkunanon</i>	88
A Study of Banana Drying Using Waste Heat from Split Type Air Conditioning System <i>Sirisawat Juengaroennirachon and Taveewat Suparos</i>	100
Algorithm for Mango Classification Using Image Processing and Naïve Bayes Classifier <i>Phantida Limsripraphan, Peerapol Kumpan, Nanthaphon Sathongpan, and Chitnarong Phengtaeng</i>	112
Appendix	126
Standard requirements for academic journals	127

การศึกษาการอบกล้วยน้ำว้าด้วยความร้อนทิ้ง จากระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน A Study of Banana Drying Using Waste Heat from Split Type Air Conditioning System

สิริสวัสดิ์ จิงเจริญนิรชร^{1*} และทวิวัฒน์ สุภารส²

Sirisawat Juengjaroennirachon^{1*} and Taveewat Suparos²

^{1*}สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

321 ตำบลทะเลชุบศร อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี 15000 โทรศัพท์ 0 3642 2125 E-mail: sirisawat74@hotmail.com

^{1*}Department of Mechanical Technology, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University

321 Tambon Talaychubsorn, Amphur Muang, Lopburi 15000 Tel. +66 3642 2125 E-mail: sirisawat74@hotmail.com

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

²Department of Mechanical Technology Education, Faculty of Industrial Education and Technology,

King Mongkut's University of Technology Thonburi, 126 Pracha Uthit Road, Bang Mod, Thung Khru, Bangkok 10140

วันที่รับบทความ 7 พฤศจิกายน 2561

วันที่รับแก้ไขบทความ 7 พฤษภาคม 2562

วันที่ตอบรับบทความ 14 พฤษภาคม 2562

Received: Nov. 7, 2018

Revised: May. 7, 2019

Accepted: May. 14, 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคในการอบกล้วยน้ำว้าด้วยความร้อนทิ้งจากระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ชุดทดลองประกอบไปด้วยระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 10.55 kW (36,000 Btu/hr) ใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำงานในระบบปรับอากาศ คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยน้ำ โดยใช้น้ำอัตราการไหล 10 LPM ในการถ่ายเทความร้อน ใช้แผ่นสแตนเลสที่มีความหนา 1 mm ในการสร้างตู้อบแห้ง โดยสร้างตู้อบแห้งขนาดเท่ากับ 0.8 X 0.6 X 0.7 m ภายในตู้อบแห้งมีถาดจำนวน 5 ถาด ซึ่งถาดแต่ละชั้นห่างกัน 10 cm และอัตราการไหลของอากาศผ่านตู้อบแห้ง 1.10 kg/s ในการทดลองใช้กล้วยน้ำว้าจำนวน 10 kg มาทำการอบแห้ง จากการทดลองพบว่าใช้เวลาในการอบแห้ง 62 ชั่วโมง เพื่อได้กล้วยน้ำว้าแห้งจำนวน 4.35 kg ที่ความชื้นร้อยละ 50 มาตรฐานแห้ง โดยน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนออกมาจากคอนเดนเซอร์ เมื่อไหลเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนภายในตู้อบแห้งมีอุณหภูมิเฉลี่ย 48.35 °C และอากาศภายในตู้อบแห้งมีอุณหภูมิเฉลี่ย 46.23 °C

คำสำคัญ: การอบแห้ง, ความร้อนทิ้ง, ระบบปรับอากาศ

Abstract

This research involved a technical feasibility study for the drying of bananas using waste heat from a split type air conditioning system. The experimental equipment consisted of a split type air conditioning system with a capacity of 10.55 kW (36,000 BTU/hr), R-22 refrigerant as the working fluid, and a water cooled heat exchanger using a water flow rate of 10 LPM. In this study, a drying oven was made from 1 mm. thick stainless steel board with a width of 0.8 m., a length of 0.6 m., and height of 0.7 m. The drying oven had 5 trays inside with 10 cm spacing between each tray, and an air flow rate passing through the drying oven of 1.10 kg/s. When the bananas were dried using waste heat from the air conditioning system, the initial weight of the bananas was 10 kg and the final weight was 4.35 kg within 62 hours. The result showed that the bananas were dried down to 50% MCdb (moisture content dry basis) when the heat exchanged the water flowing out from the condenser to the heat exchanger device, with an average water temperature of 48.35°C and an average temperature inside the oven of 46.23°C.

Keywords: drying, waste heat, air conditioning system

1. บทนำ

การอบแห้งเป็นกระบวนการหนึ่งในการถนอมอาหารที่คนไทยใช้กันมานาน โดยเฉพาะกับ ผลผลิตทางการเกษตร เช่น ถั่วลิสง พริก เป็นต้น การอบแห้งถือเป็นการแปรรูปและยังสามารถเพิ่ม มูลค่าให้แก่ผลผลิตทางการเกษตรได้อีกด้วย (Roonprasang, N., 2004; Devahastin, S., 2012) โดยเฉพาะถั่วลิสงที่มีปริมาณมากเกินกว่าความต้องการของตลาด จะส่งผลให้ถั่วลิสงมีราคาต่ำลง โดยทั่วไปนิยมใช้ความร้อนในการทำให้ถั่วลิสงน้ำว้าแห้ง เช่น ใช้วิธีการตากแดด ซึ่งก็จะใช้ได้ในช่วง ที่มีแดดเท่านั้น หรือการอบแห้งด้วยฮีตเตอร์หรือหลอดอินฟราเรด (Kumwan, R. et al., 2018) ซึ่งก็จะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน เป็นต้น ซึ่งการอบแห้งโดยทั่วไป ใช้หลักการลดความชื้นของผลผลิตจากการเกษตรด้วยการระเหยน้ำออกไปเป็นไอน้ำโดยการลดค่า วอเตอร์แอคทิวิตี (Water Activity: Aw) ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ (Yoovidhya, T., 2015) ส่งผลให้ผลผลิตจากการเกษตรอยู่ในระดับที่เชื้อจุลินทรีย์ ไม่สามารถเจริญได้ อีกทั้งยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาและเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลผลิต จากการเกษตรได้อีกด้วย ปัจจุบันได้มีการนำเอาเทคโนโลยีต่าง ๆ มาใช้ในกระบวนการอบแห้ง เพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับผลผลิตแต่ละชนิด ซึ่งการเลือกใช้แหล่งพลังงานที่เหมาะสมมาใช้

ในกระบวนการอบแห้งนั้นยังสามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายสำหรับกระบวนการผลิต และยังคงรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ได้นานอีกด้วย (Soponronnarit, S., 1997; Youmune, P. et al., 2012)

ในขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาหลักการทางด้านวิศวกรรมของระบบปรับอากาศจะพบว่า ความร้อนที่ระบายออกจากคอนเดนเซอร์จะปล่อยทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์ ซึ่งถ้าหากนำความร้อนส่วนนี้มาใช้ประโยชน์ได้ จะเป็นการใช้พลังงานให้เกิดความคุ้มค่ามากที่สุด ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมา ได้มีการนำความร้อนส่วนนี้มาผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ในบ้านพักอาศัย (Suksuntornsiri, P. et al., 2006) และนำมาใช้ในการอบผ้า (Satmaroeng, S. and Suntivarakorn, P., 2007) อีกทั้งยังสามารถนำความร้อนส่วนนี้มาประยุกต์ใช้ในรูปแบบของการอบแห้งได้ด้วย (Sansiribhan, S., 2003; Juengjaroennirachon, S., 2007)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคในการอบกล้วยน้ำว้า ด้วยความร้อนทิ้งจากระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน เพื่อเป็นการใช้พลังงานให้เกิดความคุ้มค่ามากที่สุด อีกทั้งในระยะยาวยังเป็นการช่วยลดภาวะโลกร้อนอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อออกแบบและสร้างตู้อบแห้งโดยใช้ความร้อนทิ้งจากระบบปรับอากาศ
- 2.2 เพื่ออบแห้งกล้วยน้ำว้าโดยใช้ความร้อนทิ้งจากระบบปรับอากาศ

3. อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย

การศึกษการอบกล้วยน้ำว้าด้วยความร้อนทิ้งจากระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนนั้นได้ใช้ระบบทำความเย็นแบบอัดไอขนาด 10.55 kW (36,000 BTU/hr) ใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำงานในระบบปรับอากาศ ดังแสดงในภาพที่ 1 คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (Juengjaroennirachon, S., 2007) และใช้น้ำอัตราการไหล 10 LPM ดังแสดงในภาพที่ 2 ตู้อบแห้งสร้างจากแผ่นสแตนเลสที่มีความหนา 1 mm โดยสร้างตู้อบแห้งขนาดเท่ากับ 0.8 X 0.6 X 0.7 m และหุ้มฉนวนกันความร้อนด้านนอกตู้อบแห้ง ภายในตู้อบแห้งมีถาดจำนวน 5 ถาด ซึ่งถาดแต่ละชั้นห่างกัน 10 cm ซึ่งในการทดลองนั้นจะใช้กล้วยน้ำว้าในการอบแห้ง โดยอบครั้งละ 10 kg เฉลี่ยถาดละ 2 kg ดังแสดงในภาพที่ 3 ที่อัตราการไหลของอากาศผ่านตู้อบแห้ง 1.10 kg/s ซึ่งในขณะอบแห้งได้มีการสลับถาดเพื่อให้กล้วยได้รับความร้อนที่ทั่วถึง การหาน้ำหนักกล้วยน้ำว้าที่อบแห้งโดยการชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลซึ่งอ่านทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ DTEXS รุ่น XK3100-B2+ ค่าความละเอียด 1 กรัม ในการทดลองวัดอุณหภูมิของสารทำความเย็น อุณหภูมิของน้ำและอุณหภูมิของอากาศด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K โดยต่อเข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิยี่ห้อ LOGOSCREEN รุ่น Type 706550 ความแม่นยำ $\pm 1^{\circ}\text{C}$ วัดความดันของสารทำความเย็นในระบบปรับอากาศโดยใช้บูตองเกจ วัดอัตราการไหลของสารทำความเย็นและน้ำด้วยโฟลมิเตอร์ วัดอัตราการไหลของอากาศด้วยเอนาโมมิเตอร์

ยี่ห้อ DIGICON รุ่น DA-43 และใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้ายี่ห้อ CHAUVIN ARNOUX รุ่น C.A.8210 ในส่วนของการเก็บข้อมูลการทดลองนั้นทำการเก็บข้อมูล ณ ตำแหน่งต่าง ๆ โดยบันทึกค่า ทุก 30 นาที ดังแสดงในภาพที่ 4 (Juengjaroennirachon, S. and Suparos, T., 2017)



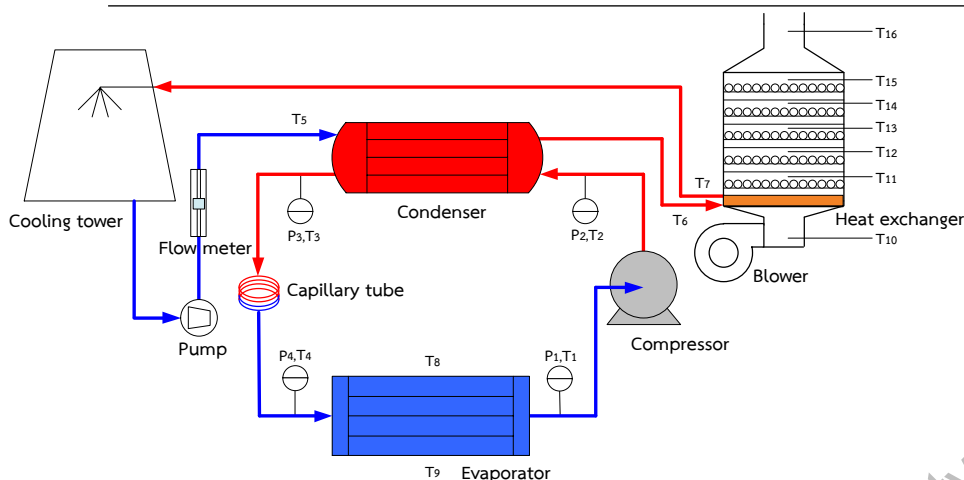
ภาพที่ 1 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ติดตั้งตู้อบแห้ง



ภาพที่ 2 คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยน้ำ



ภาพที่ 3 ตู้อบแห้งกล้วยน้ำว้า



ภาพที่ 4 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิและความดัน

โดยที่ $P_1 - P_4$ คือความดันของสารทำความเย็น $T_1 - T_4$ คืออุณหภูมิของสารทำความเย็น $T_5 - T_7$ คืออุณหภูมิของน้ำ $T_8 - T_{16}$ คืออุณหภูมิของอากาศ

ระบบปรับอากาศแบบอัดไอจากการทดลองสามารถพิจารณาได้ดังนี้ (Stoecker, W. F. and Jones, J. W. 1982)

งานคอมเพรสเซอร์จากการทดลองสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 1

$$W_{comp} = \dot{m}_r (h_{comp,o} - h_{comp,i}) \quad (1)$$

โดยที่ W_{comp} คืองานคอมเพรสเซอร์ $\dot{m}_r$ คืออัตราการไหลสารทำความเย็น $h_{comp,o}$ คือเอนทัลปีทางออกคอมเพรสเซอร์ $h_{comp,i}$ คือเอนทัลปีทางเข้าของคอมเพรสเซอร์

อัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์จากการทดลองสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 2

$$Q_{cond} = \dot{m}_r (h_{cond,i} - h_{cond,o}) \quad (2)$$

โดยที่ Q_{cond} คืออัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์ $h_{cond,i}$ คือเอนทัลปีทางเข้าคอนเดนเซอร์ และ $h_{cond,o}$ คือเอนทัลปีทางออกคอนเดนเซอร์

อัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนภายในตู้อบแห้งจากการทดลองสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 3

$$Q_{heat\ exchange\ device} = \dot{m}_w C_p (T_i - T_o) \quad (3)$$

โดยที่ $Q_{heat\ exchange\ device}$ คืออัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนภายในตู้อบแห้ง $\dot{m}_w$ อัตราการไหลของน้ำ C_p คือค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ T_i คืออุณหภูมิ

ของน้ำทางเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน T_o คืออุณหภูมิของน้ำทางออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

อัตราการถ่ายเทความร้อนของอีวาพอเรเตอร์จากการทดลองสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 4

$$Q_{evap} = m(h_{evap,o} - h_{evap,i}) \quad (4)$$

โดยที่ Q_{evap} คืออัตราการถ่ายเทความร้อนของอีวาพอเรเตอร์ $h_{evap,o}$ คือเอนทัลปีทางออกของอีวาพอเรเตอร์ และ $h_{evap,i}$ คือเอนทัลปีทางเข้าของอีวาพอเรเตอร์

การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศแบบอัดไอ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5

$$COP = \frac{Q_{evap}}{W_{comp}} \quad (5)$$

โดยที่ COP คือสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศ

ในการอบแห้งกล้วยน้ำว่าสามารถหาปริมาณน้ำหนักแห้งและร้อยละความชื้นของกล้วย ได้จากการนำกล้วยน้ำว่ามาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ นำเข้าตู้อบทดสอบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ซึ่งจากการทดสอบการอบแห้งกล้วยน้ำว่าจะได้ความชื้นเริ่มต้นที่ 250% มาตรฐานแห้ง อบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้ายที่ 50% มาตรฐานแห้ง (Roonprasang, N., 2004; Juengjaroennirachon, S., 2007)

ความชื้นในผลิตภัณฑ์อาหาร ปริมาณความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้ 2 แบบ (Soponronnarit, S., 1997)

ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis) คืออัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุขึ้น ซึ่งเมื่อคูณด้วย 100 จะมีค่าเป็นร้อยละ และการแสดงความชื้นแบบนี้นิยมในทางการค้า ดังแสดงในสมการที่ 6

$$M_w = \frac{(w-d)}{w} \times 100 \quad (6)$$

โดยที่ M_w คือร้อยละความชื้นมาตรฐานเปียก w คือน้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุขึ้น และ d คือน้ำหนักของวัสดุแห้ง

ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis) คืออัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุแห้ง สามารถหาค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ และการแสดงความชื้นแบบนี้ส่วนใหญ่ใช้ทางด้านการวิจัย เพราะสามารถคำนวณค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในขบวนการอบแห้งได้ง่ายขึ้น เนื่องจากน้ำหนักของวัสดุคงที่ดังแสดงในสมการที่ 7

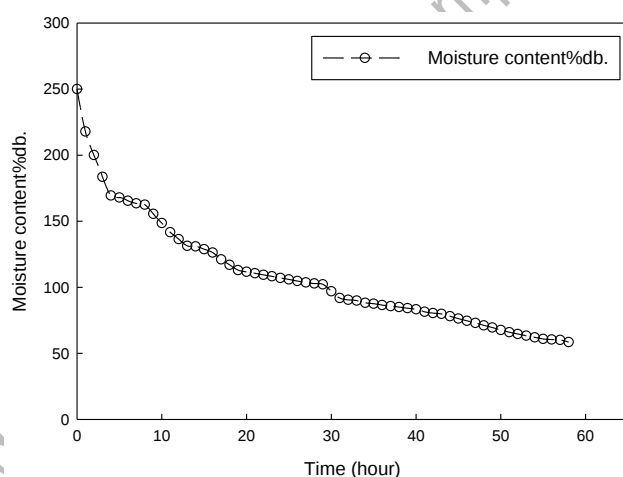
$$M_d = \frac{(w-d)}{d} \times 100 \quad (7)$$

โดยที่ M_d คือร้อยละความชื้นมาตรฐานแห้ง w คือน้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุชื้น และ d คือน้ำหนักของวัสดุแห้ง

4. ผลการวิจัย

จากการทดลองการอบกล้วยน้ำว้าด้วยความร้อนทั้งจากระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนสามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ดังนี้

ซึ่งจากวิธีดำเนินงานวิจัยในข้างต้นนั้น ในการทดลองจะใช้น้ำที่ดูดซับความร้อนของสารทำความเย็นที่ออกมาจากคอนเดนเซอร์ ซึ่งน้ำที่ออกมาจะมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น และน้ำจะไหลผ่านเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนภายในตู้อบแห้งโดยใช้ปั๊มน้ำเป็นตัวสร้างแรงดันน้ำ ในขณะเดียวกันพัดลม (Blower) จะถูกใช้เป็นตัวเป่าอากาศเพื่อถ่ายเทความร้อนออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนภายในตู้อบแห้ง หลังจากนั้นอากาศร้อนจะไหลผ่านกล้วยน้ำว้าที่นำมาอบแห้ง ทำให้กล้วยถูกระเหยน้ำออกด้วยความร้อนของอากาศ ในขณะเดียวกันความชื้นของกล้วยก็จะลดลงด้วยอากาศที่ไหลผ่านกล้วยจะถ่ายเทมวลน้ำที่ระเหยออกสู่ช่องระบายอากาศ และไม่นำอากาศส่วนนี้กลับมาหมุนเวียนในระบบอบแห้ง ส่วนน้ำที่ออกมาจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนภายในตู้อบจะไหลแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศที่쿨ลิ่งทาวเวอร์

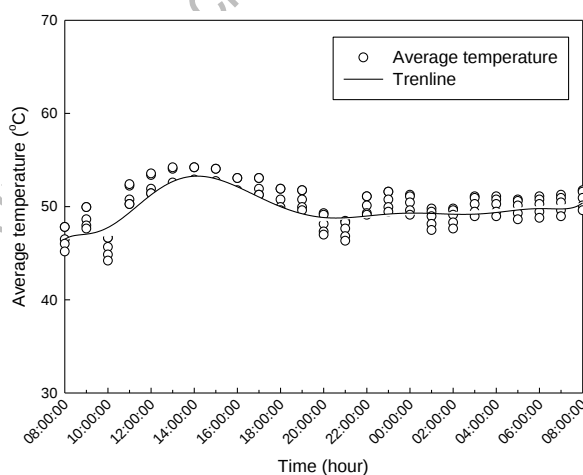


ภาพที่ 5 เปลี่ยนแปลงความชื้นมาตรฐานแห้งในกล้วย

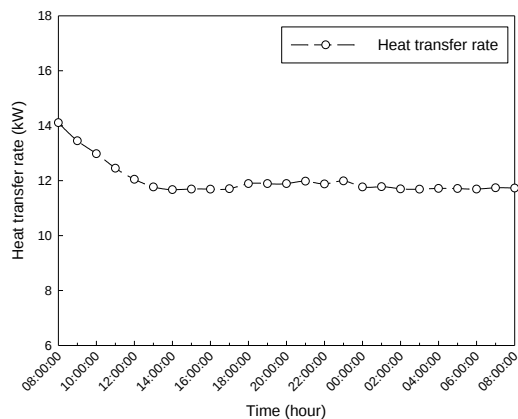


ภาพที่ 6 กล้วยหลังจากอบแห้ง (50% มาตรฐานแห้ง)

จากภาพที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นมาตรฐานแห้งในกล้วยเทียบกับเวลาในการทดลองนั้นจะใช้กล้วยน้ำว้าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการอบแห้ง โดยอบครั้งละ 10 kg เฉลี่ยถาดละ 2 kg ในขณะที่อบแห้งได้มีการสลับถาดเพื่อให้กล้วยน้ำว้าได้รับความร้อนที่ทั่วถึง จากการทดลองพบว่าในการอบแห้งกล้วยน้ำว้าจำนวน 10 kg ความชื้นเริ่มต้นที่ 250% มาตรฐานแห้ง เมื่อนำกล้วยน้ำว้ามาอบให้ได้ความชื้น 50% มาตรฐานแห้ง ดังแสดงในภาพที่ 6 จะได้กล้วยน้ำว้าจำนวน 4.35 kg และใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 62 ชั่วโมง ในส่วนของน้ำที่แลกเปลี่ยนความร้อนออกมาจากคอนเดนเซอร์ เมื่อไหลเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนภายในตู้อบแห้งมีอุณหภูมิเฉลี่ย 48.35 °C และเมื่ออากาศอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ย 32.89 °C ไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนภายในตู้อบแห้ง อากาศที่แลกเปลี่ยนออกมาจะมีอุณหภูมิสูง และเมื่ออากาศนี้ไหลผ่านกล้วยน้ำว้าที่นำมาอบแห้ง อากาศจะถ่ายเทมวลน้ำของกล้วยน้ำว้าระเหยออกสู่ช่องระบายอากาศส่งผลให้อากาศทางออกของตู้อบแห้งอุณหภูมิจะลดลง ซึ่งอากาศภายในตู้อบแห้งจะมีอุณหภูมิเฉลี่ย 46.23 °C แสดงดังภาพที่ 7

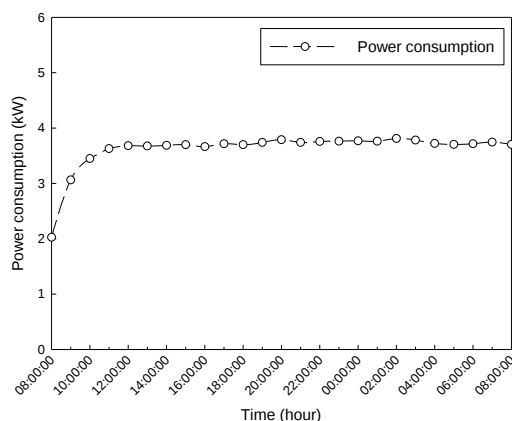


ภาพที่ 7 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบ

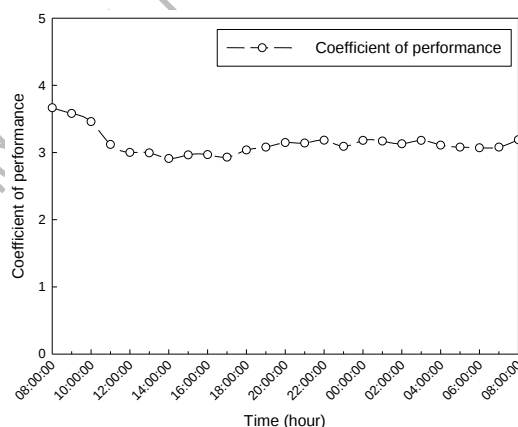


ภาพที่ 8 อัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์

จากภาพที่ 8 แสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์เทียบกับเวลา ในการทดลองใช้คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยน้ำ โดยใช้ น้ำ อัตราการไหล 10 LPM ในการถ่ายเทความร้อน พบว่ามีอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย 12.02 kW และเมื่อคอมเพรสเซอร์ทำงาน จะใช้กำลังงานในการขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์เฉลี่ย 3.58 kW ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 กำลังงานในการขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์



ภาพที่ 10 สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศ

จากภาพที่ 10 แสดงสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศเทียบกับเวลา ผลการทดลองพบว่าเมื่อมีการนำความร้อนทิ้งจากระบบปรับอากาศไปอบแห้ง สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศมีค่าเฉลี่ย 3.38

6. สรุปผลและการอภิปรายผล

จากการศึกษาการอบกลัวยน้ำว่าด้วยความร้อนทิ้งจากระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ในทดลองประกอบไปด้วยระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 10.55 kW (36,000 Btu/hr) ใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำงานในระบบปรับอากาศ คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยน้ำ (Juengjaroennirachon, S., 2007) โดยใช้น้ำอัตราการไหล 10 LPM ในการถ่ายเทความร้อน ตู้อบแห้งสร้างจากแผ่นสแตนเลสที่มีความหนา 1 mm โดยสร้างตู้อบแห้งขนาดเท่ากับ $0.8 \times 0.6 \times 0.7$ m และหุ้มฉนวนกันความร้อนด้านนอกตู้อบแห้ง เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนภายในตู้อบแห้งมีถาดจำนวน 5 ถาด ซึ่งถาดแต่ละชั้นห่างกัน 10 cm ในการทดลองนั้นจะใช้กลัวยน้ำว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการอบแห้ง โดยอบครั้งละ 10 kg เฉลี่ยถาดละ 2 kg ในขณะอบแห้งได้มีการสลับถาดเพื่อให้กลัวยได้รับความร้อนที่ทั่วถึง จากการทดลองพบว่าในการอบแห้งกลัวยน้ำว่าจำนวน 10 kg ความชื้นเริ่มต้นที่ 250% มาตรฐานแห้ง เมื่อนำกลัวยน้ำว่ามาอบให้ได้ความชื้นร้อยละ 50 มาตรฐานแห้ง จะได้กลัวยน้ำว่าจำนวน 4.35 kg และใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 62 ชั่วโมง (Juengjaroennirachon, S. et al., 2016) โดยอากาศภายในตู้อบแห้งจะมีอุณหภูมิเฉลี่ย 46.23°C ซึ่งจากการทดลองนั้นมีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ความร้อนทิ้งจากระบบปรับอากาศมาอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรประเภทกลัวย เนื่องจากน้ำที่แลกเปลี่ยนความร้อนออกมาจากคอนเดนเซอร์นั้น มีอุณหภูมิที่สูงเพียงพอที่จะนำไปอบแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Roonprasang, N., 2004) ที่ใช้อุณหภูมิช่วง $40 - 60^{\circ}\text{C}$ ในการอบกลัวยน้ำว่า อีกทั้งจากการนำความร้อนทิ้งจากระบบปรับอากาศมาใช้ในการอบแห้งนั้น ยังเป็นการใช้พลังงานให้เกิดความคุ้มค่ามากที่สุด และระบบปรับอากาศยังสามารถทำงานได้ปกติ โดยที่ระบบปรับอากาศแบบใช้คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยน้ำมีอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย 12.02 kW ใช้กำลังงานในการขับเคลื่อนเพรสเซอร์เฉลี่ย 3.58 kW และมีค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะของระบบปรับอากาศเฉลี่ย 3.38

7. ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าน้ำร้อนที่แลกเปลี่ยนออกมาจากคอนเดนเซอร์ มีอุณหภูมิสูงเพียงพอที่จะใช้ประโยชน์ในด้านการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรได้ ซึ่งในส่วนของภาคอุตสาหกรรมที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบคอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยน้ำนั้น สามารถนำความร้อนส่วนนี้ไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในรูปแบบอื่น ๆ ได้ เช่น การอุ่นอากาศ การอุ่นน้ำป้อน หรืออาจประยุกต์ใช้

ในด้านการอบผ้า เป็นต้น ทั้งนี้ปัจจัยของอุณหภูมิที่แลกเปลี่ยนความร้อนออกมาจากคอนเดนเซอร์ จะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนด้วย

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏ เทพสตรีที่อำนวยความสะดวกในงานวิจัย ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์ อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ สถานที่ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ในงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

9. เอกสารอ้างอิง

- Devahastin, S. (2012). **Drying of Foods and Biomaterials**. Bangkok: Top Publisher. (in Thai)
- Juengjaroennirachon, S. (2007). **Performance Analysis of Drying System using Waste Heat Recovery from Air Conditioning System**. Bangkok: Master Thesis, King Mongkut's University of Technology Thonburi. (in Thai)
- Juengjaroennirachon, S. and Suparos, T. (2017). A Study of Waste Heat Energy using from Air Conditioning System for Drying of Agricultural Products. **National Conference of Sri-Ayutthaya Rajabhat University Group 2017**. December 19-20, 2017, 540-549. Chanthaburi, Thailand. (in Thai)
- Juengjaroennirachon, S., Hoonpong, p., Chingtuaythong, W. and Suparos, T. (2016). A Study of Drying of Agricultural Products using Waste Heat Recovery from Air Conditioning System. **Industrial Engineering Network Conference 2016**. July 7-8, 2016, 2046-2052. Khon Kaen, Thailand. (in Thai)
- Kumwan, R., Thiangchanta, S., and Kesai, S. (2018). Determination of Drying Rate of Jackfruit by Infrared Dryer, Vacuum System. **Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal**, Vol.11(2), 67-77. (in Thai)
- Sansiribhan, S. (2003). **Development of Dryer Using Combined Condenser Heat Waste and Solar Energy**. Bangkok: Master Thesis, King Mongkut's University of Technology Thonburi. (in Thai)
- Satmaroeng, S. and Suntivarakorn, P. (2007). Characteristic of Clothes Drying Using Waste Heat from Split-type Air Conditioner. **The 22nd Conference of Mechanical Engineering**. October 17, 2007, 126-131. Bangkok, Thailand. (in Thai)

Suksuntornsiri, P., Jantan, T., Choti Wong, T. and Charoenwatewut, S. (2006). Small Air Conditioner's Waste Heat Recovery for Household Warm Water System.

The 21st Conference of Mechanical Engineering. October 17-19, 2006, 355-360. Chonburi, Thailand. (in Thai)

Soponronnarit, S. (1997). **Drying of seeds and foods.** 7th Bangkok: King Mongkut's Institute of Technology Thonburi. (in Thai)

Stoecker, W. F. and Jones, J. W. (1982). **Refrigeration & Air Conditioning.** 2nd International edition. Singapore: McGraw-Hill.

Roonprasang, N. (2004). **Drying of Banana Using Solar Dryer Combined with Parabolic Trough and Phase Change Energy Storage System.** Bangkok: Master Thesis, King Mongkut's University of Technology Thonburi. (in Thai)

Yoovidhya, T. (2015). **Thermal Sterilization of Foods.** Bangkok: King Mongkut's University of Technology Thonburi. (in Thai)

Youmune, P., Krueganta, N., and Umnajkitikorn, P. (2012). Construction of a coffee bean solar dryer for use by agriculturists in Ban Mai Pattana, Muang-pan district, Lampang. **Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal**, Vol.5(1), 35-48. (in Thai)