

ระบบควบคุมอัจฉริยะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์  
Smart Controlling System of Centralized Drying Room

ปรานต์ เมฆอากาศ<sup>1</sup> ชวโรจน์ ใจสิน<sup>1\*</sup> นัฐพร ไชยญาติ<sup>1</sup> และ จักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล<sup>2</sup>  
Pran Makarkard<sup>1</sup>, Chawaraj Jaisin<sup>1\*</sup>, Nattaporn Chaiyat<sup>1</sup> and Chakkarphan Thawongngamyingsakul<sup>2</sup>

<sup>1</sup>วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

<sup>1</sup>School of Renewable Energy, Maejo University

<sup>2</sup> Faculty of engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak

\* Corresponding author: njaisin@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อัจฉริยะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ โดยการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลเอวีอาร์เป็นตัวประมวลผลคุณสมบัติอากาศชื้น และอัตราการถ่ายเทความร้อนภายในห้องอบแห้ง หรือที่เรียกว่า ไซโครล็อกเกอร์ ซึ่งระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งใช้หลักการเปิด/ปิดปล่อยระบายอากาศ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการอบแห้ง จากผลการศึกษาพบว่า ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ก่อนการปรับปรุง เมื่อทำการทดสอบอบแห้งจะทำการปิดปล่อยระบายอากาศประมาณ 50 min/h และเปิดปล่อยระบายอากาศ 10 min/h เพื่อระบายอากาศชื้นออกจากห้องอบแห้ง จากการทดสอบก่อนปรับปรุงความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งมีปริมาณมากกว่า 90% เป็นระยะเวลาประมาณ 40 min/h ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในกระบวนการอบแห้งค่อนข้างต่ำ และหลังการปรับปรุงได้ทำการติดตั้งระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ โดยการตั้งค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ 90% ให้ทำการเปิดปล่อยระบายอากาศ และเมื่อความชื้นดังกล่าวลดลงเหลือ 60% ให้ทำการปิดปล่อยระบายอากาศ จากการทดสอบระบบหลังการปรับปรุงสามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ 90% ได้ระยะเวลาไม่เกิน 5 min/h นอกจากนี้ไซโครล็อกเกอร์สามารถวิเคราะห์และแสดงผลคุณสมบัติอากาศชื้น ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมถึงประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ได้แบบเรียลไทม์

**คำสำคัญ:** ความชื้นสัมพัทธ์ ไซโครล็อกเกอร์ ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ระบบควบคุมอัจฉริยะ

Abstract

This research studies a smart relative humidity controller (RHC) of a centralized drying room by developed an AVR microcontroller of microprocessors a moist air property and heat transfer rate in the drying room, which is named as Psycho Logger. The RHC is set algorithm for controlling a released air window as on/off to performance efficiency of the drying room. From the study results, it could be found that the normal centralized drying room is normally set the operating time for on and off the released air window as 50 min/h and 10 min/h, respectively. In addition, the testing results show relative humidity of the moist air at higher than 90% around 40 min/h. Which the efficiency of the drying room was lows. While the developed drying room could be controlled relative humidity of the moist air at higher than 90% less 5 min/h, by relative humidity setted at 90% higher and 60% lower. Moreover, the new smart controller could be shown a real time data of moist air properties, heat transfer rate of and drying room efficiency.

**Keywords:** Centralized Drying Room, Psychro Logger, Relative Humidity, Smart Controller System

### บทนำ

การอบแห้งเป็นกระบวนการนำความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการป้อนพลังงานความร้อนเข้าไปเพื่อให้ น้ำที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์ระเหยออกมา และวิธีการระบายความชื้นภายในพื้นที่อบแห้งที่หลากหลาย เช่น Conrad et al. (1997) ได้ทำการทดลองอบผลไม้โดยการใช้อุปกรณ์ที่แลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายในห้องอบแห้งผ่านพัดลม โดยความชื้นภายในผลิตภัณฑ์เดิมอยู่ที่ 66.5% เมื่อผ่านกระบวนการความชื้นภายในผลิตภัณฑ์เหลือ 15% และระบายความชื้นโดยวิธีการเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Adonis and Eliseo (2014) ที่ใช้การกลั่นตัวของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศภายในห้องอบแห้งโดยการนำอากาศที่มีความชื้นสูงผ่านเครื่องระเหยของปั๊มความร้อนที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิจุดกลั่นตัว ทำให้ไอน้ำในอากาศควบแน่นออกนอกพื้นที่อบแห้ง และงานวิจัยของ Chaiyat et al. (2014) ได้ทำการศึกษาที่ศักยภาพและเทคโนโลยีด้านพลังงานความร้อนใต้พิภพ 97 แห่งของประเทศไทยพบว่า น้ำพุร้อน ศักยภาพปานกลางที่มีอุณหภูมิระหว่าง 60-80 °C และน้ำพุร้อนศักยภาพปานกลางที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 60 °C สามารถนำไปใช้เป็นแหล่งความร้อนให้แก่ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์เพื่ออบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรได้ วิธีการระบายความชื้นของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ จะทำการเปิด/ปิดปล่อยระบายความชื้นของห้องอบแห้ง [นัฐพร, 2560]

จากบทความที่ได้กล่าวมาข้างต้นยังไม่มีระบบการควบคุมความชื้นของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ จึงเป็นที่มาของงานวิจัยระบบควบคุมอัจฉริยะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ เพื่อพัฒนาโปรแกรมไซโครล็อกเกอร์ (Psychro Logger) และสร้างระบบควบคุมอัตโนมัติร่วมกับห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ สร้างระบบวิเคราะห์อัตราการถ่ายเทความร้อนภายในห้องอบแห้ง

### 1) ทฤษฎี

ระบบควบคุมอัจฉริยะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ใช้ทฤษฎีหลักในการออกแบบและพัฒนา คือ ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 1.1) ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ (นัฐพร, 2560)

ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์เป็นการใช้ประโยชน์จากความร้อนทั้งในรูปแบบของเหลวและก๊าซ โดยมีหลักการทำงาน คือ การป้อนความร้อนเข้าไปยังแผงแลกเปลี่ยนความร้อนในจุดที่ 1 ทำให้อากาศบริเวณรอบ ๆ แผงแลกเปลี่ยนความร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้น และพัดลมในจุดที่ 3 จะทำหน้าที่พัดอากาศให้วนในห้องอบแห้งทำให้อากาศภายในห้องอบแห้งมีอุณหภูมิสูงขึ้น เพื่ออบแห้งผลิตภัณฑ์ในจุดที่ 5 เมื่อผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนน้ำในผลิตภัณฑ์จะระเหยออกจากผลิตภัณฑ์กลายเป็นไอน้ำทำให้อากาศภายในห้องอบแห้งมีความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น และทำการเปิดปล่อยถ่ายเทอากาศด้านล่างในจุดที่ 6 เพื่อนำอากาศภายนอกเข้ามาแทนที่ อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงจะถูกระบายออกปล่อยถ่ายเทอากาศด้านบนในจุดที่ 7 ดังแสดงใน Figure 1

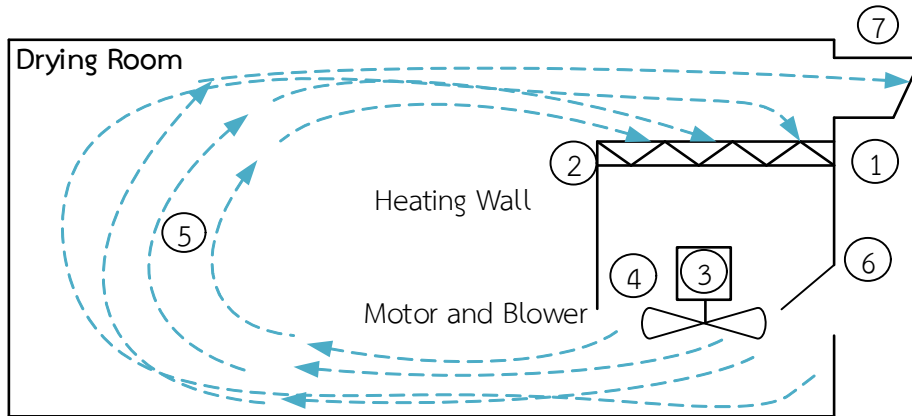


Figure 1 แผนภาพอุปกรณ์ทำงานห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

การวิเคราะห์การอบแห้งผลิตภัณฑ์สามารถวิเคราะห์จากการถ่ายเทความร้อนของอากาศขึ้นในกระบวนการอบแห้ง น้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ และพลังงานความร้อนที่เข้าไปยังผลิตภัณฑ์ และการคำนวณหาประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ สามารถหาได้จากอัตราการถ่ายเทความร้อนของแผงแลกเปลี่ยนความร้อนเข้าสู่ระบบลดด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ส่วนด้วยพลังงานที่ป้อนให้แก่ระบบดังนี้

$$Q_{\text{Drying}} = \dot{m}_a [(h_{a,o} - h_{a,i}) + (\rho_{a,o} - \rho_{a,i}) h_f] \quad (1)$$

$$Q_{\text{HW}} = \dot{m}_{\text{HW}} C_{p\text{HW,bulk}} (T_{\text{HW,i}} - T_{\text{HW,o}}) \quad (2)$$

$$\rho_{\text{Drying}} = Q_{\text{Drying}} / (Q_{\text{HW}} + W_{\text{fan}}) \quad (3)$$

### 1.2) ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ ระบบคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายโดยผ่านการออกแบบวงจร และยังสามารถโปรแกรมคำสั่งเพื่อควบคุมขาอินพุต/เอาต์พุต (Input/Output) เพื่อสั่งงานให้ไปควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ประกอบด้วย หน่วยประมวลผล (Micro Processor) หน่วยความจำชั่วคราว (RAM) หน่วยความจำถาวร (ROM) และสัญญาณไฟฟ้าขาเข้าและขาออก (I/O Pins) ซึ่งในยุคปัจจุบันนั้นสามารถทำการเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายของคอมพิวเตอร์ทั่วไปได้ ดังนั้นการสั่งงานจึงไม่ใช่เพียงหน้าแผงวงจรแต่ยังสามารถสั่งงานในระยะไกลผ่านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ได้

### อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

ระบบควบคุมอัจฉริยะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์มีขั้นตอนวิธีการดำเนินการศึกษาดังนี้

#### 1) อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

ระบบควบคุมความชื้นของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์รับรู้ภายในห้องอบแห้ง โดยอุปกรณ์รับรู้ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จะติดตั้งภายในห้องอบแห้ง (DHT1-DHT5) อุปกรณ์รับรู้อุณหภูมิน้ำร้อนไหลเข้า/ออกแผงแลกเปลี่ยนความร้อนของห้องอบแห้ง (DS18B20) อุปกรณ์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่พัดลม (Watt Meter) ดังแสดงตัวอย่างดัง Figure 2 และตำแหน่งอุปกรณ์รับรู้ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของห้องอบแห้งประกอบด้วย ด้านบนของผนังแจกลม (DHT<sub>1</sub>) ด้านในผนังแจกลม (DHT<sub>2</sub>) ด้านล่างผนังแจกลม (DHT<sub>3</sub>) เพดานห้องอบแห้ง (DHT<sub>4</sub>) ด้านหน้าของห้องอบแห้ง (DHT<sub>5</sub>) และด้านนอกห้องอบแห้ง (DHT<sub>6</sub>)

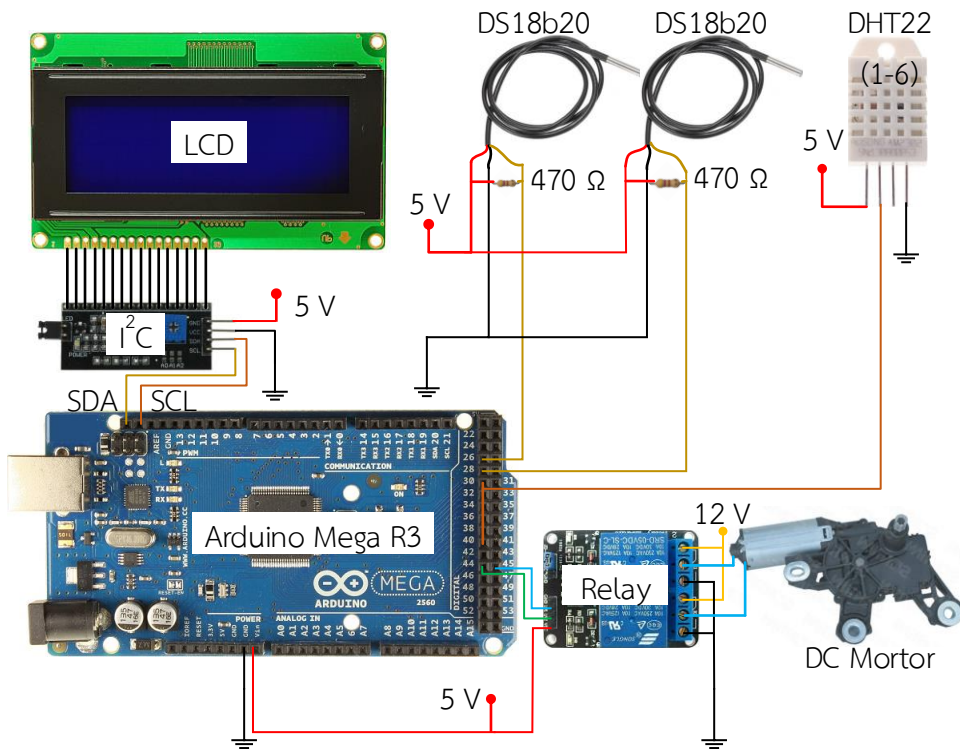


Figure 2 แผนภาพวงจรระบบควบคุมอัจฉริยะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

2) ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

โดยห้องอบแห้งมีขนาดกว้าง 3.6 m ยาว 6 m สูง 3 m ทำการติดตั้งจุดวัดเพื่อใช้ในการพัฒนาโปรแกรมไซโครล็อกเกอร์ในขั้นตอนต่อไป

3) พัฒนาโปรแกรมไซโครล็อกเกอร์

เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติอากาศชื้น โดยการนำสมการที่ใช้ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์หาคุณสมบัติของอากาศชื้น ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Arduino IDE ซึ่งจะมีรายละเอียดขั้นตอนการคำนวณดังแสดงใน Figure 3 และทำการเปรียบเทียบกับแผนภูมิไซโครเมตริกเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณของไมโครคอนโทรลเลอร์ และใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของห้องอบแห้ง

4) ทดสอบความชื้นภายในห้องอบแห้งก่อนปรับปรุง

โดยการใช้หม้อต้มน้ำร้อนไฟฟ้าต้มน้ำในการสร้างความชื้นภายในห้องอบแห้ง บันทึกค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้นภายในห้องอบแห้ง

5) ทดสอบความชื้นภายในห้องอบแห้งหลังการปรับปรุง

โดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้ง ในระบบควบคุมความชื้นภายในห้องอบแห้งจะกำหนดการเปิดปล่อยถ่ายเทอากาศด้านล่างตามค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดที่ 90% และกำหนดการปิดปล่อยถ่ายเทอากาศด้านล่างตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดที่ 60% บันทึกค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้นภายในห้องอบแห้ง

6) ทดสอบการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

ขั้นตอนการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติอากาศชื้นด้วยโปรแกรมไซโครล็อกเกอร์ เพื่อวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนของอากาศชื้นในห้องอบแห้ง และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของห้องอบแห้งระหว่างระบบควบคุมความชื้นก่อนปรับปรุงและระบบควบคุมความชื้นหลังปรับปรุงดังแสดงใน Figure 3

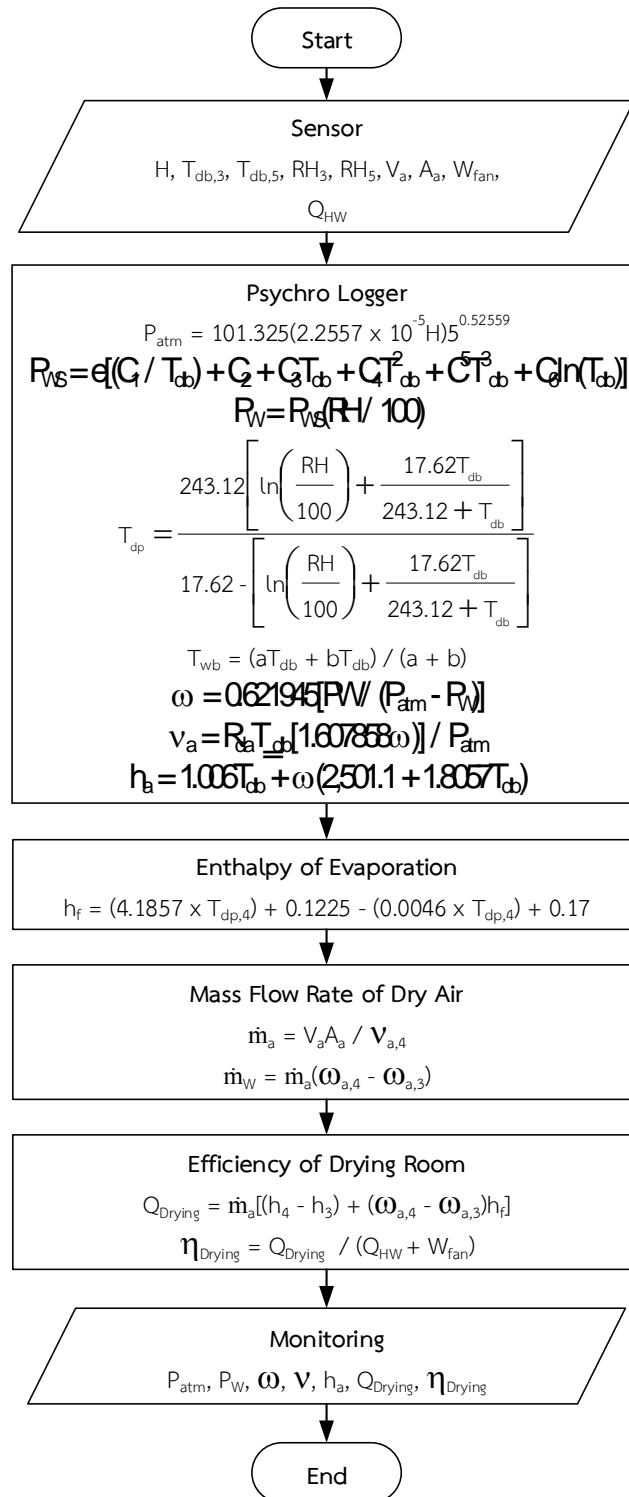


Figure 3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

ผลและการอภิปรายผล

1) โปรแกรมไซโครล็อกเกอร์

ผลการศึกษาพบว่า ไซโครล็อกเกอร์สามารถคำนวณค่าของคุณสมบัติอากาศชื้นประกอบด้วย ความดันชั้นบรรยากาศ ( $P_{atm}$ ) ความดันย่อยของไอน้ำ ( $P_w$ ) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ( $T_{dp}$ ) อัตราส่วนความชื้น ( $\square_a$ ) ปริมาตรจำเพาะ ( $\square_a$ ) และเอนทัลปี ( $h_a$ ) โดยมีรายละเอียดและค่าความคลาดเคลื่อนดังแสดงใน Table 1

Table 1 การทดสอบการคำนวณค่าของไซโครล็อกเกอร์เปรียบเทียบกับแผนภูมิไซโครเมตริก

Sensor Input			
High of Sea	0 m		
Dry Bulb Temperature ( $T_{db}$ )	26.5 °C		
Relative Humidity (RH)	83.1%		
Moist Air Property	Psychro Logger	Psychrometric Chart	Error 5%
Barometric Pressure ( $P_{atm}$ )	101.32 kPa	101.32 kPa	0%
Partial Pressure of Water Vapor ( $P_w$ )	2.85 kPa	2.90 kPa	1.71%
Dew Point Temperature ( $T_{dp}$ )	23.39 °C	23.6 °C	0.89%
Humidity Ratio ( $\square_a$ )	18 g <sub>w</sub> /kg <sub>da</sub>	18.5 g <sub>w</sub> /kg <sub>da</sub>	2.7%
Specific Volume ( $\square_a$ )	0.870 m <sup>3</sup> /kg	0.874 m <sup>3</sup> /kg	0.47%
Enthalpy of Moist Air ( $h_a$ )	72.54 kJ/kg	73.5 kJ/kg	1.31%

2) ระบบควบคุมความชื้นภายในห้องอบแห้งก่อนปรับปรุง

ผลการทดสอบพบว่า กระบวนการอบแห้งของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์จะทำการปิดปล่อยระบายความชื้น 50 min/h และจะทำการเปิดปล่อยระบายความชื้น 10 min/h ทำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้ง ( $RH_{DR}$ ) มีค่ามากกว่า 90% เป็นระยะเวลาที่มากกว่า 40 min/h และใช้กำลังไฟฟ้าให้แก่พัดลม ( $W_{fan}$ ) ที่ 287 W ดังแสดงใน Figure 4

3) ระบบควบคุมความชื้นภายในห้องอบแห้งหลังปรับปรุง

ผลการทดสอบพบว่า ความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่ภายในห้องอบแห้งสามารถกำหนดให้อยู่ในช่วง 60-90% ได้โดยค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้นภายในห้องอบแห้ง ( $RH_{DR}$ ) มีค่ามากกว่า 90% ไม่เกิน 5 min ใช้ระยะเวลาในช่วงเปิดปล่อยระบายความชื้นประมาณ 6 min/h ใช้พลังงานไฟฟ้าในการควบคุมการเปิด/ปิดปล่อยระบายอากาศด้านล่างของห้องอบแห้ง 18-24 W ดังแสดงใน Figure 5

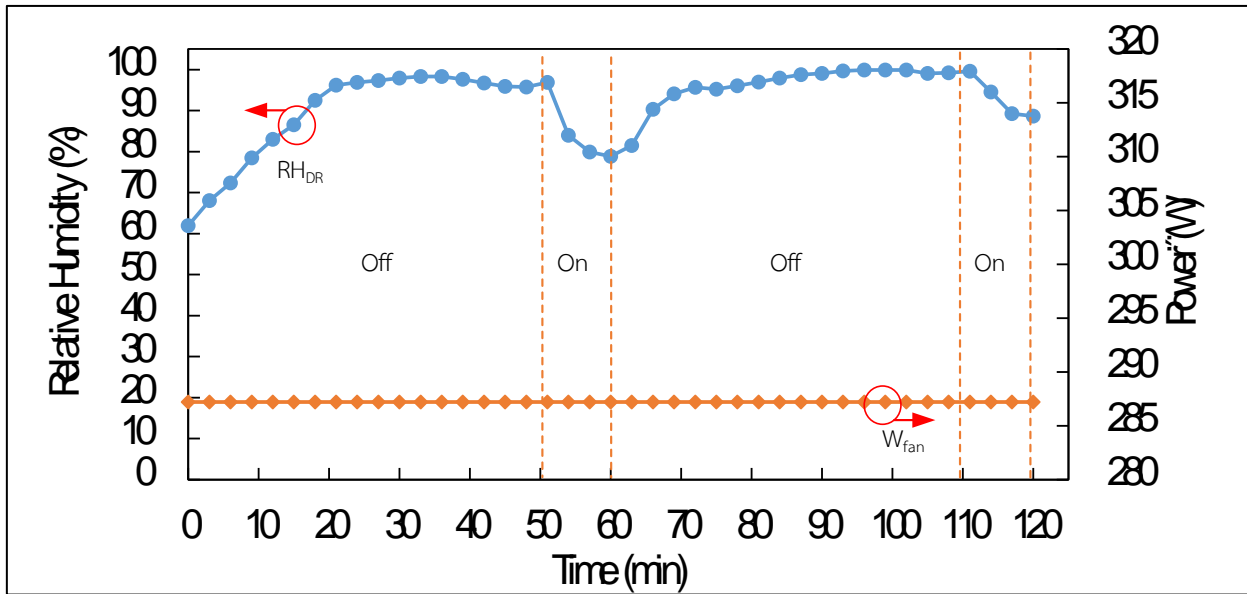


Figure 4 ผลการทดลองระบบควบคุมความชื้นก่อนปรับปรุง

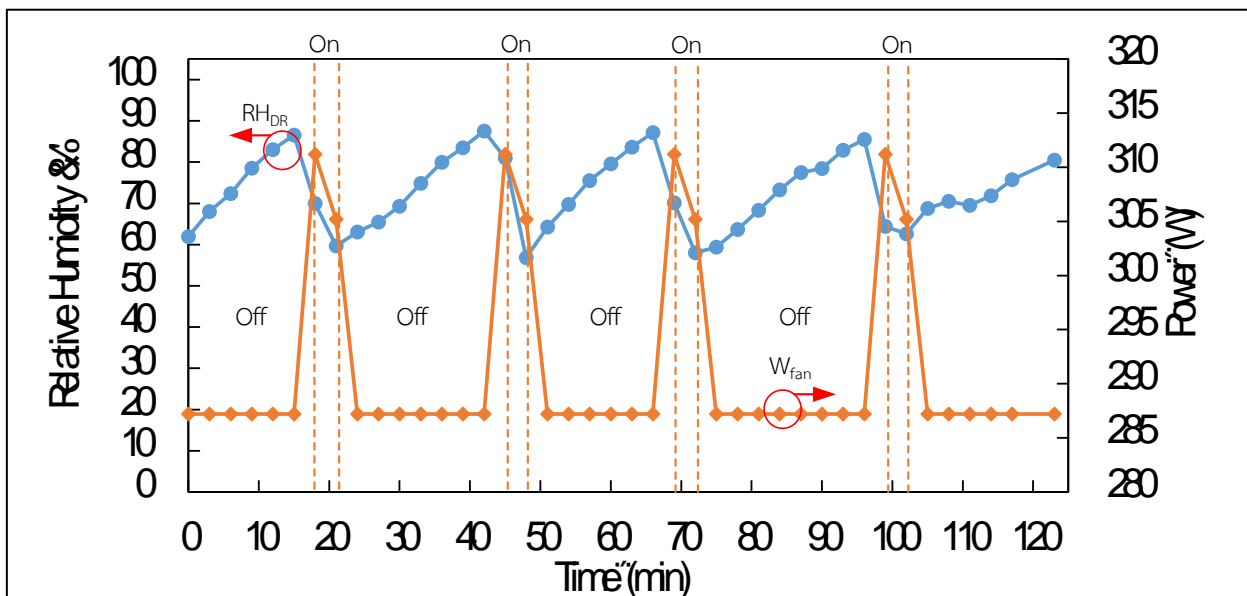


Figure 5 ผลการทดลองระบบควบคุมความชื้นหลังปรับปรุง

4) วิเคราะห์อัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

จากการทดสอบไซโครล็อกเกอร์ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติอากาศชื้นในจุดที่ 3 (DHT<sub>3</sub>) และ 4 (DHT<sub>4</sub>) จากนั้นวิเคราะห์อัตราการถ่ายเทความร้อนภายในห้องอบแห้งพบว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนของแผงแลกเปลี่ยนความร้อน (Q<sub>HW</sub>) มีค่าประมาณ 40 kW และอัตราการถ่ายเทความร้อนของห้องอบแห้ง (Q<sub>Drying</sub>) ที่ 17.16-37.85 kW เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ (T<sub>3</sub> และ T<sub>4</sub>) และความชื้นสัมพัทธ์ (RH<sub>3</sub> และ RH<sub>4</sub>) ดังแสดงใน Figures 6 และ 7 ตามลำดับ

และเมื่อนำค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของห้องอบแห้งมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพ แบ่งตามระบบควบคุมความชื้นก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงได้ดังนี้

4.1) ประสิทธิภาพของระบบควบคุมความชื้นก่อนปรับปรุง

ผลการทดสอบพบว่า ในช่วงเริ่มต้นค่าความชื้นสัมพัทธ์ในจุดที่ 3 (RH<sub>3</sub>) และจุดที่ 4 (RH<sub>4</sub>) เมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ในจุดที่ 3 เพิ่มมากกว่า 80% ในช่วงเวลา 10-50 min และ 70-110 min ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนภายในกระบวนการอบแห้งลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพของห้องอบแห้ง ( $\square_{Drying}$ ) ลดลง และการระบายความชื้นภายในห้องอบแห้งไม่ดีเท่าที่ควร ทำให้ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งในระบบควบคุมความชื้นก่อนปรับปรุงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 49.54% ดังแสดงใน Figure 8

4.2) ประสิทธิภาพของระบบควบคุมความชื้นหลังปรับปรุง

ผลการทดสอบพบว่า ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในจุดที่ 4 (RH<sub>4</sub>) และจุดที่ 3 (RH<sub>3</sub>) ถูกระบายความชื้นให้อยู่ในช่วง 60-90% ทำให้ไอน้ำในอากาศไม่ถึงจุดอิ่มตัว ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพของห้องอบแห้ง ( $\square_{Drying}$ ) มีประสิทธิภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 66.2% ดังแสดงใน Figure 9

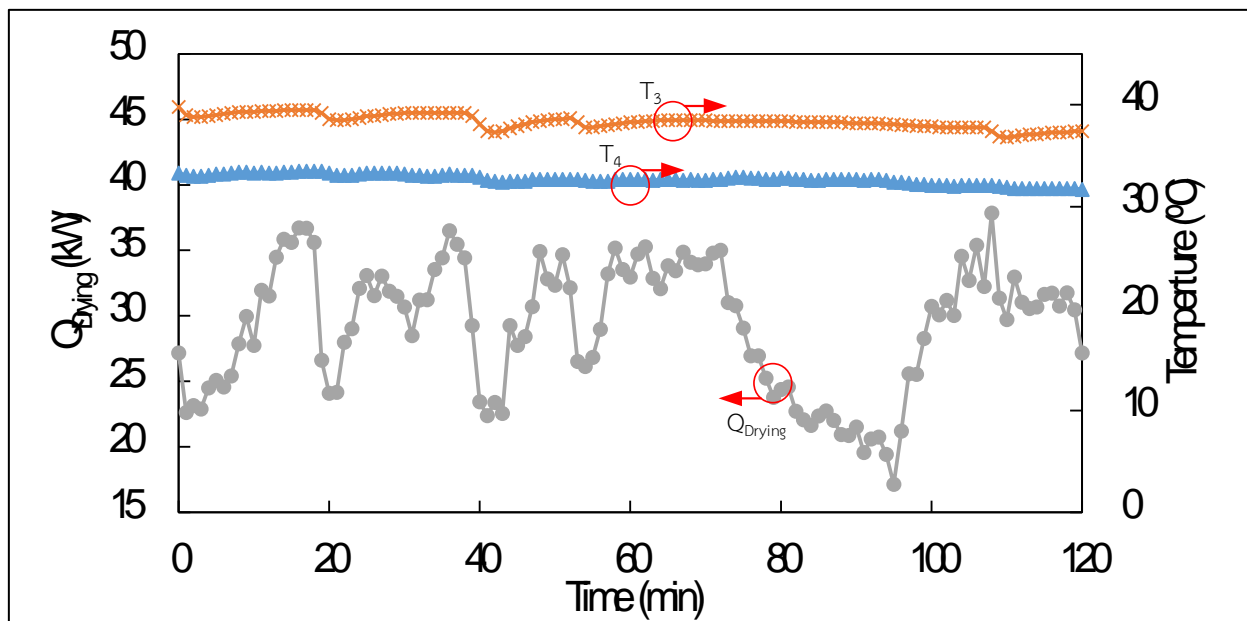


Figure 6 ผลการวิเคราะห์อัตราการถ่ายเทความร้อนจุดที่ 3 และ 4 เทียบกับอุณหภูมิกระเปาะแห้ง



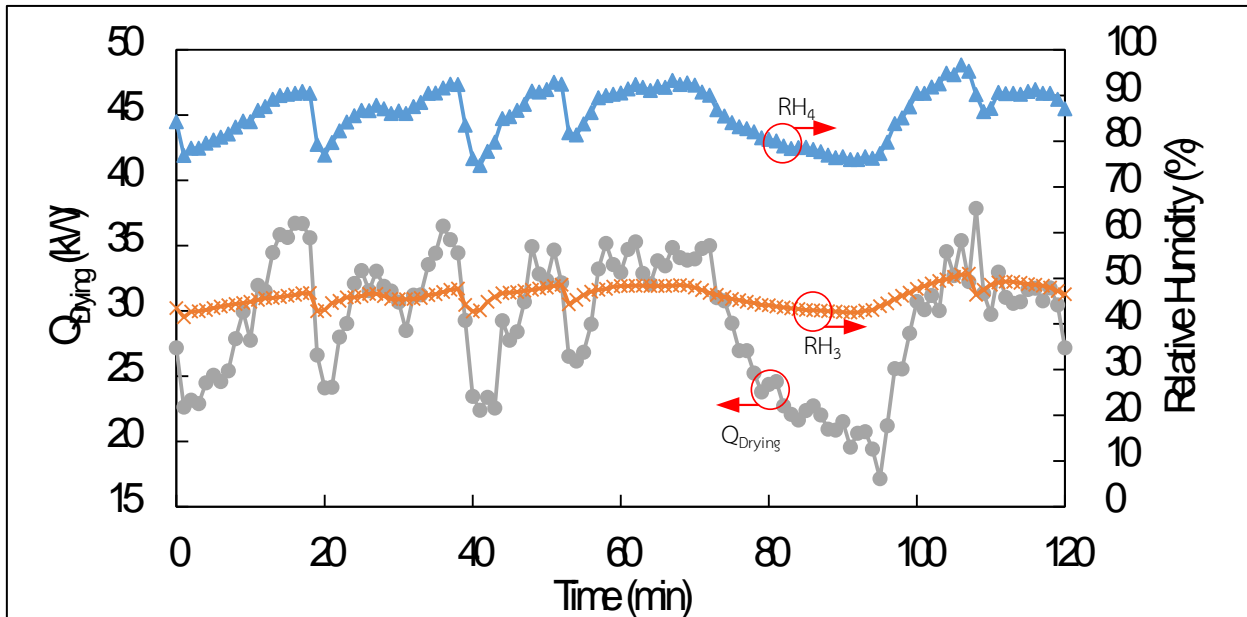


Figure 7 ผลการวิเคราะห์หัตถการถ่ายเทความร้อนจุดที่ 3 และ 4 เทียบกับความชื้นสัมพัทธ์

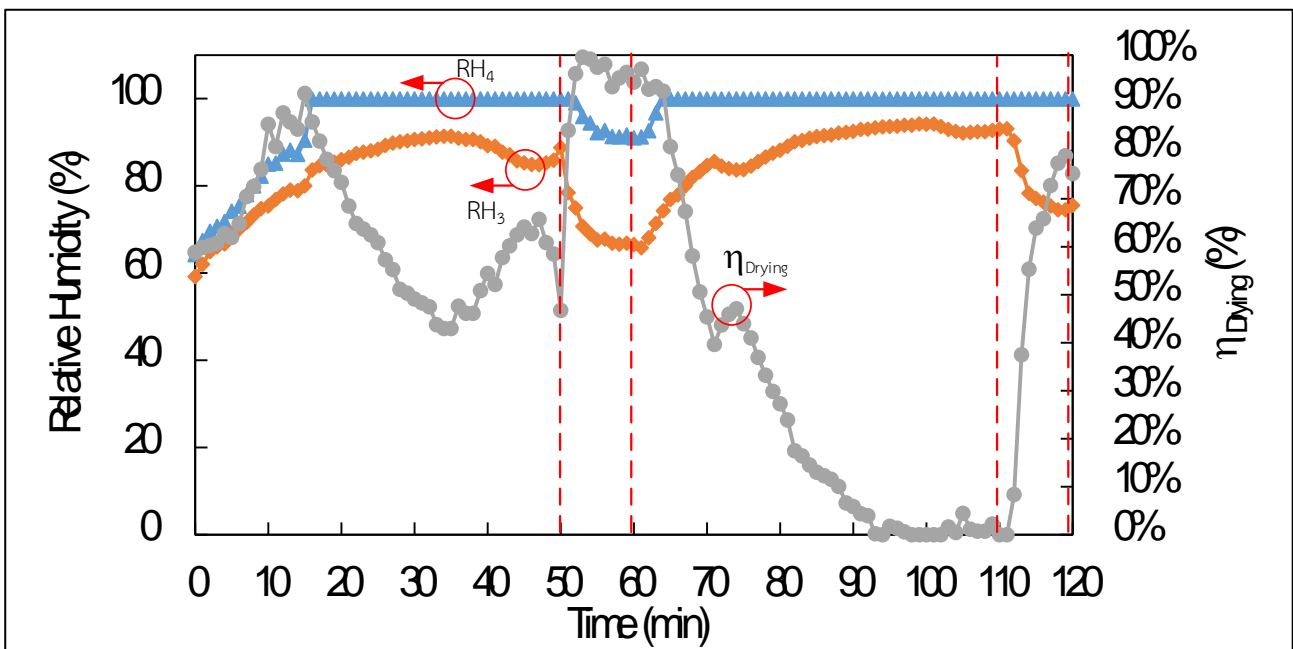


Figure 8 ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งก่อนปรับปรุงเปรียบเทียบกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ในจุดที่ 3 และจุดที่ 4

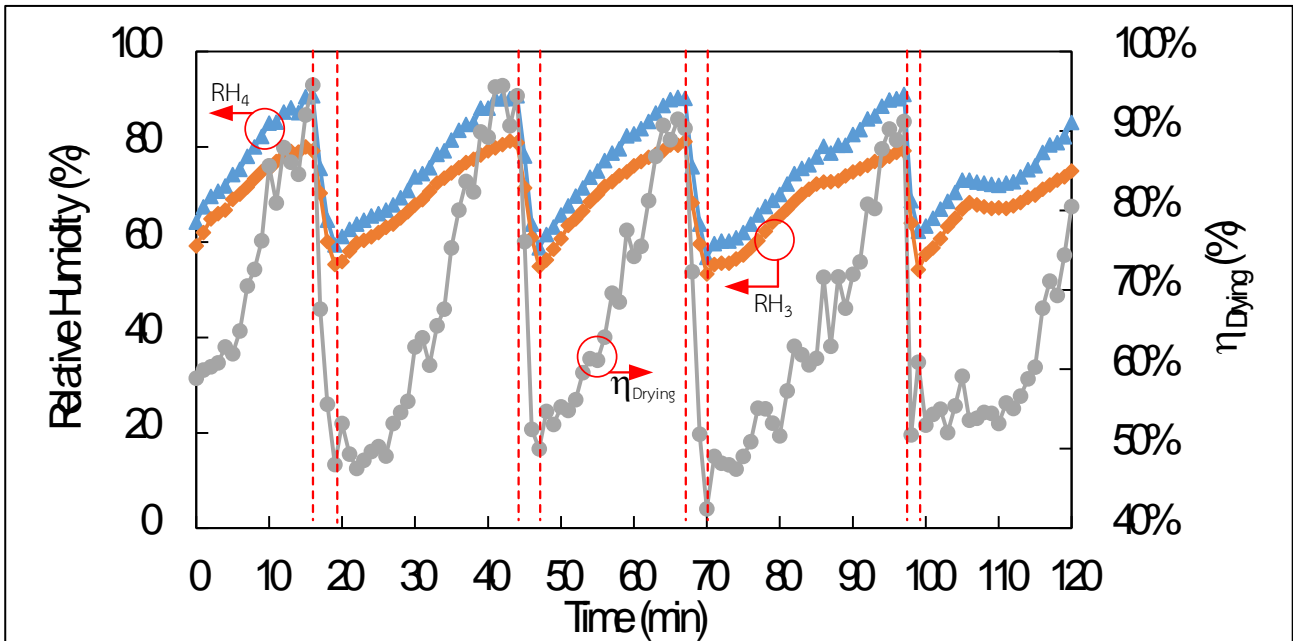


Figure 9 ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งหลังปรับปรุงเปรียบเทียบกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ในจุดที่ 3 และจุดที่ 4

#### สรุปผล

จากการออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมความชื้นอัจฉริยะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ผลที่ได้ คือ

- 1) โปรแกรมไซโครล็อกเกอร์สามารถวิเคราะห์คุณสมบัติอากาศชื้นประกอบด้วย ความดันบรรยากาศ ความดันไอน้ำอิ่มตัว ความดันย่อยของไอน้ำ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง อัตราส่วนความชื้น ปริมาตรจำเพาะ และเอนทัลปี โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.26%
- 2) ระบบควบคุมความชื้นอัจฉริยะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์สามารถควบคุมความชื้นภายในห้องอบแห้งให้อยู่ในช่วง 60-90%
- 3) ประสิทธิภาพกระบวนการอบแห้งของระบบควบคุมความชื้นก่อนปรับปรุงเฉลี่ย 49.54% ระบบควบคุมความชื้นหลังปรับปรุงเฉลี่ย 66.2% สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการอบแห้งเฉลี่ย 34.13%

#### คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาภายใต้โครงการ “โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา” และขอขอบคุณ “โครงการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน” ที่ได้ให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงาน

#### เอกสารอ้างอิง

- นัฐพร ไชยญาติ. 2560. การนำความร้อนทิ้งกลับคืน (Waste Heat Recovery), วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้. พิมพ์ครั้งที่ 6 , 457 หน้า
- Adonis C. and Eliseo V. 2014. An Experimental Investigation of the Fruit Drying Performance of a Heat Pump Dryer. Biology and Environmental Sciences. 14: 25-29.

- Chaiyat N., Chaicha C., and Singharajwarapan F. 2014. Geothermal Energy Potentials and Technologies in Thailand. Fundamental of Renewable Energy and Applications. 1-9.
- Conrad O., Perera R. and Shafiur R. 1997. Heat pump dehumidifier drying of food. Trends in Food Science & Technology. 8: 75-79.
- Dae K.L., Byoung H.A. and Ji H.J. 2018. Method to Control an Air Conditioner by Directly Measuring the Relative Humidity of Indoor Air to Improve the Comfort and Energy Efficiency. Applied Energy. 215: 290-299.
- Hamid G., Alireza K., Mortaza A. and Shahin R. 2016. Improving Exergetic Performance Parameters of a Rotating-Tray Air Dryer via a Simple Heat Exchanger. Applied Thermal Engineering. 94: 13-23.
- Merlin S., Andre Z., Romian R. and Yann R. 2018. Mathematical Modelling and Numerical Simulation of a Simple Solar Dryer for Tropical Wood Using a Collector. Applied Thermal Engineering. 131:356-369.
- Prashant S.C., Anil K., Chayut N. and Jan B. . Thermal Modeling and Drying Kinetics of Bitter Gourd Flakes Drying in Modified Greenhouse Dryer. Renewable Energy. 118: 799-813.
- Tchamye B., Helene D., Jean-Michel M., Claude M., Yaovi A. and Kossi N. 2014. Inventory and Comparative Characteristics of Dryer Used in the Sub-Saharan Zone: Criteria Influencing Dryer Choice. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 40: 1240-1259.
- Yin L., KunZheng Z., Man J. and Yan Z., 2017. Design and Drying Technology Research of Heat Pump Lentinula edodes Drying Room. Procedia Engineering. Pp. 983-988.

### รายการสัญลักษณ์

#### สัญลักษณ์

A	Area, (m <sup>2</sup> )
C <sub>p</sub>	Heat Capacity, (kJ/kg•K)
h	Enthalpy, (kJ/kg)
M	Mass, (kg)
P	Pressure, (kPa)
Q	Heat Rate, (kW)
T	Temperature, (°C)
V	Velocity, (m/s)

#### ตัวกรีก

ε	Effectiveness, (%)
ṁ	Mass Flow Rate, (kg/s)
η	Efficiency, (%)
v	Specific Volume, (m <sup>3</sup> /kg)
ω	Humidity Ratio, (g <sub>w</sub> /kg <sub>da</sub> )

อักษรย่อ

a	Air
da	Dry Air
db	Dry Bulb
dp	Dew point
DR	Drying Room
f	Fluid
HW	Hot Water
i	Inlet
o	Outlet
w	Water