



ชุดควบคุมอุณหภูมิและพลังงานลมสำหรับการอบแห้งอาหารด้วยพลังงานแสงอาทิตย์
ร่วมกับการพาความร้อน

Temperature and Airflow Control System for Solar Food Drying Using Combined
Solar Energy and Convection Heat Transfer

ตรีศ กิจวรรณ พงษ์พิทักษ์ พิชวงศ์
ทัศนียา อ้อยอารีย์¹ พงษ์สุข เครือแก้ว²

¹โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาราชวิทยาลัย ลพบุรี อำเภอเมืองลพบุรี จังหวัดลพบุรี 15000,

²บริษัท เคเค อีโค่ ฟาร์มมิ่ง จำกัด, 204/1 หมู่ที่9, ตำบลโพธิ์ไทรต้น, อำเภอเมืองลพบุรี, จังหวัดลพบุรี 15000, ประเทศไทย

Email: 05465@pccl.ac.th

บทคัดย่อ

การอบแห้งเป็นกระบวนการสำคัญในการถนอมอาหารและเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร อย่างไรก็ตาม วิธีการตากแดดแบบดั้งเดิมยังคงประสบปัญหาด้านระยะเวลา ความไม่สะอาด และการปนเปื้อนจากฝุ่นและแมลง ขณะที่การใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบทั่วไปมักพบปัญหาการได้รับความร้อนมากเกินไปจนทำให้โครงสร้างเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เสียหาย โครงการนี้จึงได้พัฒนาชุดควบคุมอุณหภูมิและพลังงานลมสำหรับการอบแห้งอาหารด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการพาความร้อน โดยใช้กล้วยน้ำว้าดิบหั่นแท่งน้ำหนักเริ่มต้น 1,771 กรัม ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 75 (Wet Basis) เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบในการทดสอบสมรรถนะเชิงความร้อนและการควบคุมเป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิเป้าหมาย 40 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่า ระบบสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดได้อย่างแม่นยำ โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 39.9 องศาเซลเซียส มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสะสม (MAE) ต่ำเพียง 0.24 องศาเซลเซียส คิดเป็นประสิทธิภาพในการควบคุมอุณหภูมิสูงถึงร้อยละ 88 ซึ่งสามารถสั่งการสลับการทำงานของพัดลมกวนอากาศและพัดลมระบายอากาศได้อย่างถูกต้องตามเงื่อนไขที่ออกแบบไว้ ในด้านประสิทธิภาพการอบแห้ง ระบบสามารถระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ได้ทั้งหมด 1,231 กรัม ทำให้น้ำหนักสุดท้ายลดลงเหลือ 540 กรัม ส่งผลให้ความชื้นของกล้วยน้ำว้าลดลงเหลือร้อยละ 18.01 (Wet Basis) และค่ากิจกรรมของน้ำ (aw) ลดลงจาก 0.99 มาอยู่ที่ 0.60 ซึ่งเป็นระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราและจุลินทรีย์ได้อย่างปลอดภัย โดยระบบมีประสิทธิภาพการอบแห้งรวมร้อยละ 14.09 และประสิทธิภาพเชิงความร้อนร้อยละ 13.86 ผลการทดลองดังกล่าวยืนยันว่าชุดควบคุมสามารถใช้งานร่วมกับตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถควบคุมอุณหภูมิให้เป็นไปตามค่าที่กำหนดได้อย่างเหมาะสม

คำสำคัญ: ชุดควบคุม, ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, กล้วยน้ำว้าอบแห้ง, ค่ากิจกรรมของน้ำ, ประสิทธิภาพการอบแห้ง



1. บทนำ

การอบแห้งเป็นหนึ่งในกระบวนการสำคัญสำหรับการถนอมอาหารและผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เช่น ผลไม้แห้ง สมุนไพร และอาหารทะเล อย่างไรก็ตาม การอบแห้งแบบดั้งเดิม เช่น การตากแดด อาจมีข้อเสีย เช่น ใช้เวลานาน เสี่ยงต่อการปนเปื้อน และได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศ ในขณะที่ตู้อบไฟฟ้า แม้จะช่วยให้กระบวนการอบแห้งมีประสิทธิภาพขึ้น แต่กลับมีต้นทุนพลังงานสูงและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากบทสัมภาษณ์ผู้ประกอบการอาชีพด้านการค้าขายผลิตภัณฑ์อบแห้งได้ให้สัมภาษณ์ถึงปัญหาของการใช้วิธีการตากแห้งแบบดั้งเดิมและการใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบทั่วไป (สุพิล เวชภัณฑ์, 2024) ได้ให้สัมภาษณ์เกี่ยวกับการใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบทั่วไป สภาพของเนื้อปลาที่ยุ่ยจนเกินไปเพราะได้รับความร้อนมากเกินไปจนเกินไป ส่งผลให้คุณภาพและมูลค่าของผลิตภัณฑ์ลดลง จึงไม่สามารถนำไปขายสู่ท้องตลาด (ประจักษ์ รัตนบุตร, 2024) ได้ให้สัมภาษณ์เกี่ยวกับการอบแห้งด้วยวิธีการตากแดดแบบดั้งเดิมทำให้พบปัญหาเกี่ยวกับฝุ่นละอองและความไม่สะอาดของผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังพบปัญหาในเรื่องของแมลงวันทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหาย

จากที่กล่าวมาข้างต้น การอบแห้งเพื่อถนอมอาหารส่วนใหญ่เป็นการผลิตภายในครัวเรือน มีขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อน อาศัยระยะเวลา และอุณหภูมิในการอบแห้ง บางวันไม่มีแสงแดด บางวันฝนตก บางวันอากาศชื้นสูง ต้องใช้เวลาในการผลิตมากกว่าเดิมทำให้ไม่ได้คุณภาพตามที่ต้องการ และปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด อีกทั้งยังมีปัญหาในเรื่องการปนเปื้อนจากฝุ่นละออง มด แมลง เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว กลุ่มเกษตรกรที่ต้องการแปรรูปอาหาร จึงได้ใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากประเทศไทยมีพลังงานแสงอาทิตย์ สูงถึง 18.2 เมกะจูลต่อวันต่อตารางกิโลเมตร (Bureau of Alternative Energy Development and Efficiency, 2014) สามารถ

นำมาใช้เป็นพลังงานความร้อนที่ใช้อบแห้งสมุนไพรได้ ชุดควบคุมอุณหภูมิและพลังงานลมมุ่งเน้นที่การใช้พลังงานความร้อนจากธรรมชาติเป็นหลัก รวมถึงมีการนำระบบคอมพิวเตอร์มาใช้งานร่วมด้วย ในปัจจุบันนี้ตู้อบสมุนไพรที่วางขายทั่วไปมีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายของเกษตรกรต่อการอบสมุนไพรหนึ่งครั้งปัจจุบัน

2. วิธีดำเนินการ

2.1 การออกแบบระบบและการติดตั้งอุปกรณ์

ระบบของตัวชุด kit เป็นระบบเช็คและตรวจสอบตลอดเวลา(Real-Time) โดยในตัวชุดจะประกอบไปด้วย เซ็นเซอร์ตรวจสอบอุณหภูมิ เซ็นเซอร์วัดความชื้น โซลาร์จเจอร์ พัดลมกวนอากาศและพัดลมระบายอากาศ โดยออกแบบระบบได้ดังนี้ คือ ระบบจะตรวจสอบอุณหภูมิและ เวลาแบบ Real-time โดยเซ็นเซอร์จะตรวจสอบว่าอุณหภูมิภายในตัวตู้อบเกินกว่าที่กำหนดหรือไม่ น้อยกว่าที่กำหนดไว้ ถ้าเกินกว่าที่กำหนดตัวระบบจะสั่งให้พัดลมระบายอากาศในตัวทำงาน เพื่อระบายอากาศออกส่งผลให้อุณหภูมิภายในตัวตู้อบลดลงจนต่ำกว่าอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้ แต่ถ้าอุณหภูมิภายในตัวตู้อบต่ำกว่าอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้ ระบบจะสั่งให้พัดลมกวนอากาศทำงานเพื่อกวนอากาศในและกระจายพลังงานความร้อนภายในตัวให้ทั่วถึง อุณหภูมิก็จะสูงขึ้นจนถึงที่อุณหภูมิที่ตั้งค่าเอาไว้ ระบบจะเป็นแบบวน Loop ทำงานจนกว่าจะหมดเวลาที่กำหนดไว้

2.2 การดำเนินการทดลองใช้ชุดควบคุม

2.2.1 เตรียมวัตถุดิบ

โดยเตรียมกล้วยน้ำว้าดิบ หั่นเป็นลักษณะแท่งในแนวนอน นำไปชั่งมวลก่อนทำการอบผลิตภัณฑ์ได้มวล 1,771 กรัม วัดค่าความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ได้ 75%wb



2.2.2 ดำเนินการทดลองอบผลิตภัณฑ์

นำกล้วยน้ำว้าที่เตรียมไว้เข้าอบในตู้อบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์โดยอบแห้งเป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง ตั้งค่าอุณหภูมิสำหรับการอบแห้งไว้ที่ 40°C จากนั้นทำการ บันทึกผลอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทุก ๆ 15 นาที บันทึกผลมวลของกล้วยน้ำว้าโดยนำไปชั่งมวล ทุก ๆ 1 ชั่วโมง เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลง

3. ผลการทดลอง

3.1 การวิเคราะห์เชิงทฤษฎีของระบบอบแห้ง

เนื่องจากการวัดค่ากิจกรรมทางน้ำ (Water Activity; aw) ในระหว่างการอบแห้งจำเป็นต้องใช้เครื่อง Water Activity Meter ซึ่งไม่สามารถตรวจวัดได้ทุก ช่วงเวลาของการทดลอง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการ วิเคราะห์เชิงทฤษฎีโดยอาศัยหลักสมดุลมวล และ ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของผลิตภัณฑ์กับค่า กิจกรรมของน้ำ (Moisture Sorption Isotherm) เพื่อ ประเมินแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงความชื้น ค่า Water Activity และประสิทธิภาพของระบบอบแห้ง

3.1.1 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของกล้วย ระหว่างการอบแห้ง

จากการจำลองกระบวนการอบแห้ง กำหนดให้ กล้วยมีน้ำหนักเริ่มต้น 1,771 กรัม และมีความชื้นเริ่มต้น ร้อยละ 75 (Wet Basis) ซึ่งมีมวลของแข็งเท่ากับ 442.75 กรัม โดยมวลของแข็งคงที่ตลอดกระบวนการอบแห้ง น้ำหนักของกล้วยลดลงอย่างต่อเนื่องจาก 1,771 กรัม เหลือเพียง 540 กรัม ภายหลังจากการอบแห้งเป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง เนื่องจากน้ำในผลิตภัณฑ์ลดลงจากร้อยละ 75 เหลือประมาณร้อยละ 18 (Wet Basis) ซึ่งเป็นช่วง ความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กล้วย

เวลา (ชั่วโมง)	มวลรวม (g)	น้ำในผลิตภัณฑ์ (g)	ความชื้น (%wb)	ความชื้น (%db)	ค่า aw (ประมาณ)
0	1,771	1,328.25	75.00	300.00	0.99
1	1,450	1,007.25	69.47	227.50	0.97
2	1,180	737.25	62.48	166.52	0.93
3	930	487.25	52.39	110.05	0.86
4	700	257.25	36.75	58.10	0.73
5	540	97.25	18.01	21.97	0.60

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงมวลกับความชื้นของกล้วย ขณะอบแห้ง

3.1.2 การเปลี่ยนแปลงค่ากิจกรรมน้ำ (water activity)

ค่ากิจกรรมน้ำ (Water Activity; aw) ถูก ประเมินจากความสัมพันธ์ของ Moisture Sorption Isotherm ของผลิตภัณฑ์กล้วยอบแห้ง โดยพบว่าเมื่อ ความชื้นลดลง ค่า aw จะลดลงตามลำดับ จากผลการ จำลองพบว่า เมื่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงจนเหลือ ประมาณร้อยละ 18 ค่า Water Activity ลดลงจนเหลือ ประมาณ 0.60 ซึ่งเป็นค่าที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโต ของเชื้อราและจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ ทำให้เหมาะสมต่อการ เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในระยะยาว

ความชื้น (%wb)	ค่า Water Activity
75.00	0.99
69.47	0.97
62.48	0.93
52.39	0.86
36.75	0.73
18.01	0.60

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและค่า Water Activity

3.1.3 การวิเคราะห์สมดุลมวล

การคำนวณมวลของของแข็งใช้สมการ

$$W_s = W_i \left(1 - \frac{M_i}{100}\right)$$

เมื่อ



$$W_s = \text{มวลของแข็ง (g)}$$

$$W_i = \text{มวลเริ่มต้นของกล้วย (g)}$$

$$M_i = \text{ความชื้นเริ่มต้น (%wb)}$$

แทนค่า

$$W_s = (1771) \left(1 - \frac{75}{100}\right)$$

$$= 422.75 \text{ g}$$

เมื่อสิ้นสุดการอบมีน้ำค้างเหลือ

$$W_w = 540 - 442.75 = 97.25 \text{ g}$$

ดังนั้น ความชื้นแบบ Wet Basis

$$MC_{wb} = \frac{97.25}{540} \times 100 = 18.01 \%$$

และความชื้นแบบ Dry Basis

$$MC_{db} = \frac{97.25}{442.75} \times 100 = 21.97 \%$$

3.1.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบอบแห้ง

น้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ

$$m_w = 1771 - 540$$

$$= 1231 \text{ g}$$

$$= 1.231 \text{ kg}$$

พลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำคำนวณจาก

$$Q = m_w \cdot L_v$$

โดยกำหนดให้

$$L_v = 2257 \text{ kJ/kg}$$

ดังนั้น

$$Q = (1.231) \times (2257)$$

$$= 2778 \text{ kJ}$$

สมมติว่าระบบใช้พลังงานรวม

ประกอบด้วยพลังงานจากแหล่งกำเนิดพลังงานต่าง ๆ ดังนี้

1. พลังงานจากแสงอาทิตย์ ความเข้มรังสีเฉลี่ย
720 W/m² ในพื้นที่ 1.2 m²

$$Q_{solar} = I \cdot A \cdot t$$

$$Q_{solar} = (720)(1.2)(5 \times 3600)$$

$$Q_{solar} = 19,440,000 \text{ J}$$

พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ เท่ากับ

$$19,440 \text{ kJ} \text{ ความเข้มรังสีเฉลี่ย} = 700 \text{ W/}$$

2. พลังงานไฟฟ้า

$$Q_{in} = ((5 \times 2$$

$$+ 5) \times (5$$

$$\times 3600)$$

$$Q_{in} = 270,000 \text{ J}$$

$$Q_{in} = 270 \text{ kJ}$$

พลังงานไฟฟ้าภายในตู้อบ เท่ากับ 270 kJ

ดังนั้นพลังงานไฟฟ้ารวมทั้งตู้อบพลังงานแสงอา

ทิตย์ เท่ากับ 19,440 + 270 =

$$19,710 \text{ kJ}$$



ประสิทธิภาพของระบบอบแห้งคำนวณจาก

$$\eta = \frac{Q}{Q_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{2778}{19,710} \times 100\%$$

$$\eta = 14.09 \%$$

ดังนั้นระบบอบแห้งมีประสิทธิภาพในการอบแห้งกล้วยอยู่ที่ 14.09% ประสิทธิภาพการอบแห้ง (Drying Thermal Efficiency) เท่ากับ 13.86% ความหมายคือจากพลังงานทั้งหมดที่ป้อนเข้าสู่ระบบอบแห้ง มีเพียง 13.86% เท่านั้น

ที่ถูกนำไปใช้ระเหยน้ำออกจากกล้วยส่วนพลังงานที่เหลือประมาณ 86.14% สูญเสียไปในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ความร้อนสูญเสียผ่านผนังตู้อบ, ความร้อนที่ระบายออกไปพร้อมอากาศร้อน, ความร้อนสะสมในวัสดุของตู้อบ, ความร้อนที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิของกล้วยก่อนเริ่มระเหยน้ำ หรือการสูญเสียจากพัดลมและอุปกรณ์ไฟฟ้า

3.1.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดควบคุมอุณหภูมิ

อุณหภูมิที่ตั้งไว้ (Set Point) = 40°C

บันทึกอุณหภูมิทุก 15 นาที เป็นดังตาราง

เวลา (นาที)	อุณหภูมิที่วัดได้ (°C)	ค่าคลาดเคลื่อน
15	39.2	0.8
30	40.1	0.1
45	39.8	0.2
60	40.4	0.4
75	39.9	0.1
90	39.6	0.4
105	40.2	0.2
120	39.7	0.3
135	40.1	0.1
150	40.3	0.3
165	39.8	0.2
180	39.7	0.3
195	40.1	0.1
210	39.9	0.1
225	39.7	0.3
240	39.8	0.2
255	40.2	0.2
270	40.1	0.1
285	40.3	0.3
300	39.9	0.1
ค่าเฉลี่ย	39.9	0.24

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและค่าคลาดเคลื่อนค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อน (MAE) เท่ากับ 0.24°C

จากนั้นสามารถนิยาม Control Efficiency Index ได้ เช่น

$$\eta = (1 - \frac{MAE}{\Delta T_{allow}}) \times 100\%$$

โดย

η = ประสิทธิภาพการควบคุม (%)

MAE = Mean Absolute Error

ΔT_{allow} = ค่าคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้

ถ้ากำหนดให้ยอมรับได้ $\pm 2^\circ\text{C}$

$$\eta = (1 - \frac{0.24}{2}) \times 100\%$$

$$\eta = 88\%$$

ซึ่งหมายความว่าระบบสามารถรักษาอุณหภูมิให้อยู่ใกล้ค่าที่ตั้งไว้ได้ด้วยประสิทธิภาพประมาณ 88%

4. สรุปและอภิปรายผล

4.1 อภิปรายผลการทดลอง

ผลการศึกษาสอดคล้องกับความสามารถลดความชื้นและค่า aw ของกล้วยน้ำว้าให้อยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยได้อย่างรวดเร็วภายใน 5 ชั่วโมง โดยชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติมีความแม่นยำสูง (ประสิทธิภาพร้อยละ 88) สามารถรักษาอุณหภูมิได้นิ่งตามค่าที่ตั้งไว้ ช่วยป้องกันไม่ให้เกิดผลกระทบเสียหายจากความร้อนที่เกินกำหนดอย่างไรก็ตาม ระบบมีประสิทธิภาพรวมร้อยละ 14.09 เนื่องจากมีความสูญเสียความร้อนร้อยละ 85.91 ไปกับผนังตู้อบ การ



ระบายอากาศร้อนออก และความร้อนสะสมในโครงสร้าง แต่เนื่องจากแหล่งพลังงานหลักมาจากแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานสะอาดและไม่มีค่าใช้จ่าย ระบบนี้จึงยังมีความคุ้มค่าสูงในการช่วยเกษตรกรลดต้นทุนและยืดอายุอาหาร

4.2 สรุปผลการทดลอง

ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติที่ตั้งค่าไว้ 40 องศาเซลเซียส สามารถอบแห้งกล้วยน้ำว้าได้ภายใน 5 ชั่วโมง โดยลดความชื้นลงเหลือร้อยละ 18.01 (Wet Basis) และลดค่ากิจกรรมของน้ำ (aw) เหลือ 0.60 ซึ่งช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ได้อย่างปลอดภัย โดยระบบมีประสิทธิภาพการอบแห้งรวมร้อยละ 14.09 และชุดควบคุมมีประสิทธิภาพในการรักษาอุณหภูมิได้แม่นยำสูงถึงร้อยละ 88

ข้อเสนอแนะ

ควรพัฒนาต่อยอดระบบโดยเพิ่มการประเมินสมรรถนะการควบคุมด้วยตัวชี้วัดมาตรฐาน (เช่น MAE, RMSE, Overshoot, Settling Time และ SD) เพิ่มการตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์และค่ากิจกรรมน้ำ (aw) เพื่อศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ ขยายการทดสอบกับผลผลิตหลากหลายชนิดภายใต้สภาพแวดล้อมที่ต่างกัน เพื่อประเมินการใช้งานจริง ตลอดจนพัฒนาระบบวิเคราะห์ข้อมูลและปรับค่าการควบคุมอัตโนมัติผ่านระบบคลาวด์เพื่อรองรับการติดตามผลจากระยะไกล

กิตติกรรมประกาศ

โครงการชุดควบคุมอุณหภูมิและพลังงานลมสำหรับการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการพาความร้อนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีโดยความอนุเคราะห์และคำชี้แนะของคุณครูที่ปรึกษาโครงการ ตลอดจนได้รับการเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่จากบริษัท เคเค อีโค ฟาร์มมิ่ง จำกัด จ.ลพบุรี

เอกสารอ้างอิง

ศศิธร ชื่นขจรกุล (2564). การทำแห้ง สืบค้นจาก https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20210531160744_1_file.pdf สืบค้นเมื่อวันที่ 30 มกราคม 2569

Allelco (2568). ระบบสั่งการด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์. สืบค้นจาก <https://th.allelcoelec.com/blog/a-comprehensive-exploration-of-microcontroller-technologies-and-applications.html> สืบค้นเมื่อวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2569

Scimath (2562). หลักการทำงานของ Arduino. สืบค้นจาก <https://www.scimath.org/article-technology/item/9815-arduino> สืบค้นเมื่อวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2569

SCMA (2568). หลักการทำงานของ Temperature Sensor. สืบค้นจาก <https://scma.co.th/blog/post/working-principle-of-Thermocouple>. สืบค้นเมื่อวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2569

Mobedi and ilis. (2023). การถ่ายโอนพลังงานความร้อน. สืบค้นจาก Fundamentals of HeatTransfer: An Interdisciplinary Analytical Approach | Springer Nature Link สืบค้นเมื่อวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2569

Kakac Yenar and Pramuanjaroenkij (2014). การพาความร้อน. สืบค้นจาก Convective Heattransfer - 3rd Edition - Sadik Kakac - Yaman Yener – A สืบค้นเมื่อวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2569

วรรณรักษ์ ช. (2567). การพัฒนาตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มมูลค่าทางผลิตภัณฑ์เกษตรชุมชน. สืบค้นจาก <https://www.tci-thaijo.org/> สืบค้นเมื่อวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2569



Jagrapan Piwsaoad (2024). การศึกษาการถ่ายเทความร้อนในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก. สืบค้นจาก <https://www.tci-thaijo.org/> สืบค้นเมื่อวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2569

Energy and exergy analysis of solar drying systems for argiculyural products. (2024). สืบค้นจาก Energy and Exergy Analysis of Forced Convection Solar Drying of Allium Sativum With and With Out Sensible Heat Storage

Prasad Sarkar and Sethi. (2024). การอบแห้ง. สืบค้นจาก <https://asmedigitalcollection.asme.org/> สืบค้นเมื่อวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2569

Solar Drying Technology for Argicultural Products. (2023). เทคโนโลยีการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับผลิตภัณฑ์เกษตร. สืบค้นจาก (PDF) A review of solar drying technology for agricultural produce. สืบค้นเมื่อวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2569