



# การออกแบบและพัฒนาตู้อบแห้งพลังแสงอาทิตย์แบบไฮบริดด้วยระบบ ลมร้อนแห้งควบคู่การควบแน่นไอน้ำ สำหรับการอบแห้งสมุนไพรไทย

สมิทธิ์ ปรีชาญาณ<sup>1</sup> เสกสิทธิ์ กมลชัย<sup>2</sup> และ เอกวิทย์ หวังกันกลาง<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> หลักสูตรวิศวกรรมไฟฟ้าอุตสาหกรรม, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

<sup>2</sup> หลักสูตรวิศวกรรมยานยนต์ไฟฟ้า(ต่อเนื่อง), คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

\* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: ekkawit.w@nrru.ac.th

วันที่รับบทความ: 14 มิถุนายน 2568; วันที่ทบทวนบทความ: 20 กันยายน 2568; วันที่ตอบรับบทความ: 10 ตุลาคม 2568

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 9 ธันวาคม 2568

**บทคัดย่อ:** งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินสมรรถนะของระบบต้นแบบอบแห้งสมุนไพร โดยผสมผสานเทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกเข้ากับตู้อบพลังแสงอาทิตย์เดิม ระบบต้นแบบประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ตู้อบพลังแสงอาทิตย์ ห้องอบแห้งเทอร์โมอิเล็กทริก และระบบหมุนเวียนอากาศ โดยกระบวนการใช้ความร้อนของเพลเทียร์สร้างลมร้อนอุณหภูมิ 58 °C ส่วนด้านเย็นควบแน่นไอน้ำเพื่อลดความชื้นสัมพัทธ์ ช่วยให้การอบแห้งเกิดขึ้นต่อเนื่องและเร็วขึ้นกว่าตู้อบรูปแบบเดิม ผลการทดสอบแสดงว่าสามารถลดน้ำหนักวัตถุดิบในเวลา 4 ชั่วโมง ได้แก่ กระชายลดลง 61%, ใบมะรุม 50% และขิง 58% สะท้อนถึงสมรรถนะของระบบไฮบริดต้นแบบในการควบคุมสภาวะอบแห้งได้ดีกว่าการตากแดดและตู้อบพลังแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม ทั้งด้านควบคุมระดับอุณหภูมิ ความรวดเร็ว รวมถึงการลดความชื้นสัมพัทธ์ในระบบ ทั้งนี้ การศึกษาระบบอบแห้งด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกที่ผสมผสานการควบแน่นไอน้ำและใช้งานได้จริงยังมีจำกัด งานวิจัยนี้จึงเป็นแนวทางใหม่ในการอบสมุนไพรในบริบทชุมชนของไทย ที่คงคุณภาพวัตถุดิบ สามารถใช้ได้ภายในอาคารและการใช้พลังงานสะอาด มีศักยภาพในการขยายผลได้อย่างยั่งยืน

**คำสำคัญ:** การอบแห้ง; ชุดอบแห้งเทอร์โมอิเล็กทริก; ตู้อบพลังแสงอาทิตย์; สมุนไพรไทย; ระบบควบแน่นไอน้ำ

# Design and Development of A Hybrid Solar Drying Chamber with Dry Hot Air and Integrated Moisture Condensation for Thai Herb Dehydration

Samit Preechayan<sup>1</sup> Seksid Kamolchai<sup>2</sup> and Ekkawit Wangkanklang<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Industrial Electrical Engineering Programs, Faculty of Industrial Technology,  
Nakhonratchasima Rajabhat University

<sup>2</sup> Electric Vehicle Engineering (Continuing Program), Faculty of Industrial Technology,  
Nakhonratchasima Rajabhat University

\* Corresponding author, E-mail: ekkawit.w@nrru.ac.th

Received: 14 June 2025; Revised 20 September 2025; Accepted: 10 October 2025

Online Published: 9 December 2025

**Abstract:** This research aimed to develop and evaluate the performance of a prototype herbal drying system by integrating thermoelectric technology with a conventional solar dryer. The prototype system consists of three main components: a solar drying chamber, a thermoelectric drying chamber, and an air circulation system. The process utilizes the hot side of Peltier modules to generate hot air at 58 °C, while the cold side condenses moisture to reduce relative humidity. This enables continuous and accelerated drying compared to traditional dryers. Experimental results showed that within 4 hours, the system could reduce the weight of raw materials as follows: fingerroot by 61%, moringa leaves by 50%, and ginger by 58%. These results reflect the hybrid system's superior ability to control drying conditions compared to sun drying and conventional solar dryers, in terms of temperature regulation, drying speed, and reduction of relative humidity within the system. Since studies on thermoelectric drying systems that incorporate condensation and practical application remain limited, this research presents a novel approach for herbal drying in Thai community contexts. It helps preserve the quality of raw materials, allows for indoor use, supports clean energy utilization, and demonstrates potential for sustainable scaling.

**Keywords:** Dehydration; Thermoelectric Dehydration Unit (TDU); Solar dryer; Thai herbs; Condensation system

## 1. บทนำ

ในระบบของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์รูปแบบเดิมที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไป อาศัยความร้อนจากแสงอาทิตย์ในระหว่างวันเพื่อใช้อบแห้งวัตถุดิบโดยที่ความเร็ว-ช้าของการอบมีผลโดยตรงต่อคุณภาพและปริมาณของผลผลิต มีงานวิจัยที่เสนอแนวทางในการยกระดับสมรรถนะการอบแห้งหรือการพัฒนาตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเดิมให้ดีขึ้นได้โดยใช้ระบบอบแห้งแบบไฮบริดในหลากหลายรูปแบบ [1-4]

แผ่นเพลเทียร์คืออุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่เมื่อจ่ายพลังงานในรูปกระแสไฟฟ้าให้จะเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิขึ้นทั้งสองด้านของแผ่น หรืออาจกล่าวได้อีกนัยว่าเกิดพลังงานขึ้นสองรูปแบบคือความร้อนและความเย็นในแผ่นเดียวกันโดยจ่ายพลังงานครั้งเดียว ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นในการประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ [5-7] แต่การใช้งานในหลายๆ ด้านโดยทั่วไปมักจะใช้ประโยชน์เพียงด้านใดด้านหนึ่ง (โดยเฉพาะใช้ด้านเย็น) ของแผ่นเท่านั้น S. Preechayanon และคณะ [8] ได้ศึกษาทดลองการประยุกต์ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกแผ่นเพลเทียร์ให้เกิดประโยชน์ทั้งสองด้านของแผ่นในเวลาเดียวกัน จากการออกแบบสร้างระบบการอบแห้งขนาดเล็ก ใช้ทดสอบอบแห้งกับตัวอย่างถั่วลิสง ได้ผลทดสอบคือระบบสามารถอบแห้งได้จริง ซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์ได้ทั้งสองด้านของแผ่นเพลเทียร์เดียวกัน และได้พร้อมกันโดยด้านร้อนใช้เพื่อสร้างลมร้อนอบแห้ง ขณะที่ด้านเย็นใช้เพื่อควบแน่นไอน้ำในอากาศแล้วนำน้ำออกจากระบบ ได้ผลทดสอบอบแห้งเปรียบเทียบกัน 4 รูปแบบ คือ การใช้เพียงแค่ด้านร้อนสร้างลมร้อนเพื่ออบแห้ง, การใช้เพียงแค่ด้านเย็นควบแน่นไอน้ำนำความชื้นออก,

การใช้เพียงระบบพัดลมอบแห้ง (ไม่ใช้ทั้งด้านร้อน และด้านเย็น), และการใช้ทั้งสองด้านพร้อมกันเพื่อสร้างลมร้อน และเพื่อควบแน่นไอน้ำ ได้ผลทดสอบอบแห้งถั่วลิสงในระบบขนาดเล็กที่ออกแบบขึ้น คือ การใช้ทั้งสองด้านของแผ่นเพลเทียร์เพื่ออบแห้งได้ผลการอบแห้งดีที่สุดเมื่อเทียบกับสี่รูปแบบ

จากผลทดสอบข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมีสมมุติฐานคือ สามารถนำระบบการประยุกต์ใช้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกมาเพื่อเพิ่มสมรรถนะการอบแห้งให้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้นได้ โดยมีแนวคิดที่จะออกแบบ-พัฒนาตู้อบต้นแบบขนาดเล็ก นั่นคือ ตู้อบแห้งพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ประยุกต์ใช้ร่วมกับชุดอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (แผ่นเพลเทียร์) ให้เป็นนวัตกรรมระบบอบแห้งแบบไฮบริด เพื่อวัตถุประสงค์ในการศึกษาพารามิเตอร์ภายในระบบ และทดสอบการใช้ประโยชน์ในงานอบแห้งจริง โดยเลือกตัวอย่างสมุนไพรของไทยที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงและใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ ใบมะรุ้ม ชিং และกระชาย

## 2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยเชิงทดลองและนวัตกรรมนี้ ได้ทำการออกแบบสร้างตู้อบแห้งต้นแบบ จากแนวคิดในการประยุกต์ใช้ชุดเทอร์โมอิเล็กทริก (แผ่นเพลเทียร์) เป็นอุปกรณ์แปลงพลังงานไฟฟ้าให้เกิดความร้อนและความเย็นบนด้านทั้งสองของแผ่น [9] เพื่อประยุกต์ใช้ด้านร้อนสำหรับการสร้างลมร้อนอบแห้ง พร้อมกับประยุกต์ใช้ด้านเย็นในการควบแน่นเพื่อลดความชื้นภายในระบบ โดยบูรณาการสร้างระบบนี้ขึ้นร่วมกับโครงสร้างของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม นั้น มีเป้าหมายเพื่อเพิ่มสมรรถนะการอบแห้งและเพื่อ



เพิ่มโหมดการใช้งานในช่วงเวลาที่ไม่มีความเข้มแสงอาทิตย์ หรือ การที่สามารถใช้งานแบบภายในอาคารได้

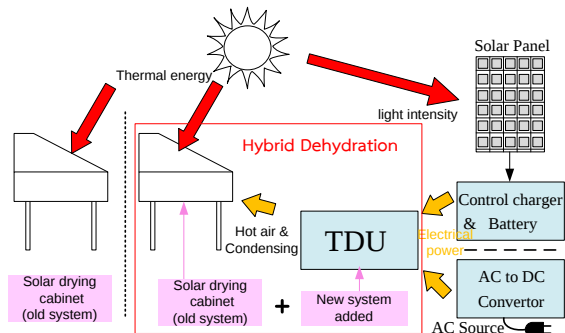
ระบบสามารถเลือกรับพลังงานอบแห้งได้จากสอง แหล่งพร้อมกัน หรือเลือกใช้ที่ละแหล่ง โดยแบ่งรูปแบบ การอบแห้งออกเป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ (1) การอบแห้ง ด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ โดยใช้งานใน ลักษณะตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม (2) การ อบแห้งด้วยพลังงานความร้อนและความเย็นจาก อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก และ (3) การอบแห้งโดยใช้ ทั้งสองระบบร่วมกัน ทั้งนี้ แหล่งพลังงานสำหรับชุด เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถเลือกได้ระหว่าง (3) พลังงาน ทดแทนจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเหมาะกับการ ใช้งานตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ต้องตั้งกลางแจ้งเพื่อ รับพลังงานจากแสงอาทิตย์อยู่แล้ว หรือ (2) พลังงาน จากแหล่งจ่ายไฟฟ้า สำหรับการอบแห้งในสภาพอากาศ ที่ไม่มีแสงแดด แสดงในรูปที่ 1

จากแนวคิดและสมมุติฐานที่กล่าวมา จึง จำเป็นต้องออกแบบและผนวกระบบเทอร์โมอิเล็กทริก รวมถึงระบบหมุนเวียนอากาศให้สอดคล้องกับ โครงสร้างตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์เดิมอย่างเหมาะสม โดยพัฒนาเป็นต้นแบบตู้อบแห้งแบบไฮบริด ด้วยการ ติดตั้ง “ชุดอบแห้งเทอร์โมอิเล็กทริก” (Thermoelectric Dehydration Unit: TDU) เพิ่มเติมเข้าสู่ระบบเดิม

## 2.1 การออกแบบ-สร้าง

ตู้อบแห้งต้นแบบมีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือ

1. ส่วนโครงสร้างตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่ง ออกแบบตามรูปแบบเดิมที่ใช้กันทั่วไปในปัจจุบัน แต่ ทำการปรับปรุงให้มีช่องทางรับพลังงานเพื่อ การอบแห้งได้ 2 รูปแบบ คือ การอบแห้งโดยใช้ความ ร้อนจากแสงอาทิตย์ (ระบบเดิม) และการอบแห้งโดย



รูปที่ 1 แนวความคิดของงานวิจัย

การใช้ความร้อนแห้งไหลเวียน ควบคู่กับการควบแน่น ลดความชื้นในระบบ (ระบบใหม่ที่เพิ่มขึ้น)

2. ชุดอบแห้งเทอร์โมอิเล็กทริก” (Thermoelectric Dehydration Unit: TDU) คือส่วนประกอบหลักใน งานวิจัยนี้ ทำหน้าที่สองประการ คือ การสร้างลมร้อน สำหรับการอบแห้ง และการควบแน่นไอน้ำภายใน ระบบเพื่อลดความชื้น ประกอบด้วยโครงสร้างตู้ ที่มี ชุดแผ่นเพลเทียร์ในจำนวนที่เหมาะสม เพื่อเพิ่ม อุณหภูมิลมร้อนภายในตู้ให้ถึงระดับเหมาะสมกับ การอบแห้งสมุนไพร โดยในขณะเดียวกันยังสามารถ สร้างการควบแน่นไอน้ำที่ด้านเย็นของแผ่นเพลเทียร์ ได้ด้วย ซึ่งแผ่นเพลเทียร์เป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลง พลังงานไฟฟ้ากระแสตรงให้เกิดทั้งความร้อนและ ความเย็นพร้อมกัน โดยอาศัยสมการพลังงานความร้อนของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก ( $Q$ ) ตามแบบจำลอง ทางคณิตศาสตร์ [10] ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ ( $T_c$ ) ความต้านทานไฟฟ้า ( $R$ ) กระแสไฟฟ้า ( $I$ ) และ Seebeck Coefficient ( $S$ ) ในการเกิด ความต่างของอุณหภูมิ ( $\Delta T$ )

$$\Delta T = \frac{S \cdot I \cdot T_c - \frac{1}{2} I^2 \cdot R - Q}{K} \quad (1)$$



โดยสามารถคำนวณปริมาณความร้อนที่เพลเทียร์ดูดซับจากด้านเย็น ( $Q_C$ ) ได้จากสมการ (2)

$$Q_C = S \cdot I \cdot T_C - \frac{1}{2} I^2 \cdot R - K \cdot \Delta T \quad (2)$$

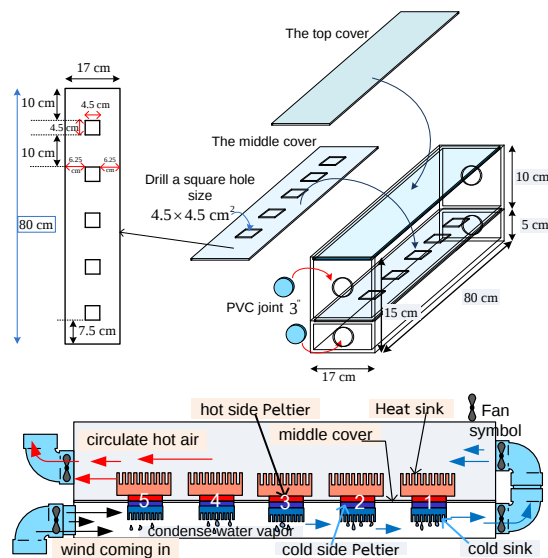
อย่างไรก็ตาม การออกแบบเพื่อประยุกต์ใช้งานในระบบจริง ประสิทธิภาพและการทำงานของแผ่นเพลเทียร์ยังขึ้นอยู่กับการสามารถในการระบายความร้อนที่ด้านร้อนของเพลเทียร์ในระบบที่ออกแบบอีกด้วย เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิด้านร้อนสูงขึ้น อุณหภูมิด้านเย็นจะสูงตามไปด้วย ( $\Delta T_{\text{Max}}$  มีขีดจำกัด) ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้การจ่ายกระแสไฟฟ้าในระดับค่าพิกัดของแผ่นเพลเทียร์โดยไม่ใช้วงจรควบคุมกระแส ทำให้การออกแบบระบบเพื่อใช้พลังงานจากทั้งสองด้านได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นเรื่องท้าทาย โดยด้านร้อนใช้สร้างลมร้อนสำหรับอบแห้ง ส่วนด้านเย็นใช้ควบแน่นไอน้ำเพื่อนำไปสู่ระบบอบแห้งที่ใช้งานได้จริง จึงต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย ได้แก่ จำนวนแผ่นเพลเทียร์ ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ การจัดเรียงทิศทางลม และระบบระบายความร้อนของฮีทซิงก์ เพื่อให้ได้ลมร้อนที่เหมาะสมสำหรับการอบสมุนไพร ขณะเดียวกันยังสามารถรักษาอุณหภูมิที่ด้านเย็นสำหรับการควบแน่นไอน้ำอย่างมีประสิทธิภาพพอที่จะทำให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำในระบบได้อย่างต่อเนื่อง

งานวิจัยนี้จึงมุ่งออกแบบชุดอบแห้งเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Dehydration Unit: TDU) ที่รวมฟังก์ชันหลัก 3 ประการ ได้แก่ การสร้างลมร้อน, การทำให้อากาศมีความแห้งจากกระบวนการควบแน่นไอน้ำ, และการบังคับทิศทางลมให้ไหลเวียนผ่านพื้นผิวของวัตถุดิบอบแห้ง ซึ่งทั้งหมดได้ถูกรวมเข้ากับโครงสร้างเดิมของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ รายละเอียดการออกแบบมีดังต่อไปนี้

## 2.2.1 การออกแบบ ส่วนห้องอบแห้งเทอร์โมอิเล็กทริก (TDU Chamber)

ส่วนห้องของ TDU เป็นโครงสร้างที่รองรับชุดเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งทำหน้าที่สร้างลมร้อนควบคู่กับการควบแน่นความชื้น ได้รับการออกแบบเพื่อให้สามารถติดตั้งร่วมกับตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมที่ใช้งานกันอยู่โดยทั่วไปได้อย่างสะดวก ดังนั้น จึงออกแบบส่วน TDU Chamber สำหรับเพิ่มสมรรถนะการอบแห้งนี้ให้มีลักษณะเป็นห้องแยกต่างหาก ซึ่งสามารถติดตั้งไว้ภายนอกของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ได้โดยตรง

ห้อง TDU มีขนาดและโครงสร้างตามที่แสดงในรูปที่ 2 วัสดุสร้างขึ้นจากแผ่นอะคริลิกใส ความหนา 10 มิลลิเมตร เพื่อให้สามารถมองเห็นกระบวนการควบแน่นของไอน้ำที่เกิดขึ้นบนซิงก์ด้านเย็นได้อย่างชัดเจน โครงสร้างหลักเป็นกล่องทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดความกว้าง 17 เซนติเมตร ความยาว 80 เซนติเมตร และความสูง 15 เซนติเมตร



รูปที่ 2 การออกแบบ TDU Chamber

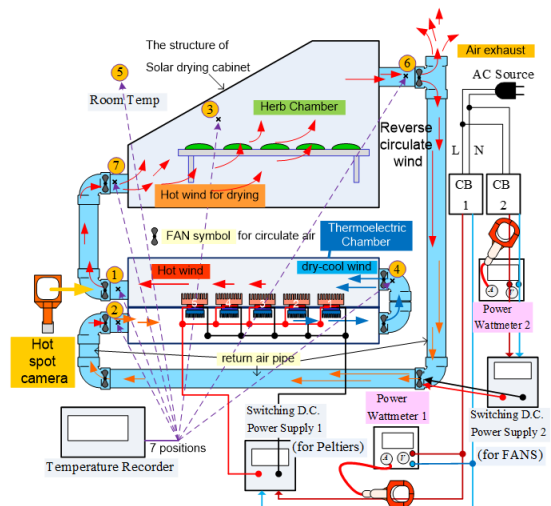


ภายในกล่องแบ่งเป็นสองชั้น โดยใช้แผ่นอะคริลิกชั้นกลางเป็นฐานติดตั้งแผ่นเพลเทียร์ พัดลม และชุดระบายความร้อนฮีทซิงก์ (Heat Sink)

แผ่นอะคริลิกชั้นกลางได้ทำการเจาะช่องสี่เหลี่ยมให้มีขนาดพอดีกับซิงก์ด้านเย็นของแผ่นเพลเทียร์ เพื่อให้สามารถสอดซิงก์ด้านเย็นเข้าไปในชั้นล่างของกล่องได้อย่างแนบสนิท โดยพื้นที่ชั้นล่างนี้เป็นบริเวณเกิดการควบแน่นของไอน้ำ ในขณะที่แผ่นล่างสุดของกล่องถูกเจาะรูเล็กๆ เพื่อระบายหยดน้ำที่ควบแน่นแล้วออกจากระบบ ด้านข้างของกล่องทั้งสองฝั่งเชื่อมต่อกับท่อส่งอากาศสำหรับการไหลเวียนภายในระบบ

## 2.2.2 การออกแบบระบบหมุนเวียนอากาศภายใน

ระบบหมุนเวียนอากาศถูกออกแบบเพื่อเชื่อมการไหลเวียนของอากาศระหว่างตู้อบสมุนไพร (Herb Chamber) กับห้อง TDU โดยใช้ท่อลมจากพีวีซีและข้อต่อแบบบอง เป็นจุดสำหรับติดตั้งพัดลมขนาดเล็กทำหน้าที่ควบคุมทิศทางของลมเพื่อพาความร้อนและการไหลเวียนของลมบริเวณมุมที่มีการเปลี่ยนทิศทาง การไหล โดยออกแบบให้ลมสามารถไหลผ่านสองด้านของเพลเทียร์รุ่น TEC1-12710 จำนวน 5 ชุด ซึ่งติดตั้งเรียงตามแนวยาวภายในตู้ โดยลมจะถูกบังคับให้ไหลผ่านชุดระบายความร้อนทั้งด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเพลเทียร์ดังกล่าว เมื่อรวมการออกแบบห้อง TDU เข้ากับการออกแบบระบบหมุนเวียนอากาศ จะได้ระบบอบแห้งด้วยลมร้อนที่ผสมการลดความชื้นในอากาศ ซึ่งสามารถนำไปใช้ร่วมกับระบบการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบเดิมได้ ส่งผลให้เกิดเป็นตู้อบแห้งระบบไฮบริด ทั้งนี้ การจัดวางองค์ประกอบต่างๆ และรูปแบบการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ระบบรวม และการจัดวางการทดลอง

จากรูปที่ 3 การทำงานของระบบรวม เริ่มจากจุด CH 102 ซึ่งเป็นตำแหน่งก่อนอากาศจะไหลผ่านด้านเย็นของแผ่นเพลเทียร์ อากาศในจุดนี้มีอุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิห้องและมีความชื้นสูง เมื่อผ่านด้านเย็นของเพลเทียร์ จะเกิดการควบแน่นของไอน้ำเป็นหยดน้ำ ทำให้อากาศเปลี่ยนเป็น "ลมเย็นแห้ง" ซึ่งถูกส่งต่อไปยังจุด CH 104 เพื่อตรวจวัดอุณหภูมิหลังการลดความชื้น จากนั้นลมเย็นแห้งจะไหลย้อนกลับขึ้นผ่านด้านร้อนของเพลเทียร์ โดยรับความร้อนจากแผงระบายความร้อน ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น กลายเป็น "ลมร้อนแห้ง" ซึ่งวัดอุณหภูมิได้ที่จุด CH 101 ลมร้อนแห้งดังกล่าวจะถูกส่งต่อไปยังจุด CH 107 ซึ่งเป็นตำแหน่งวัดอุณหภูมิก่อนเข้าสู่ห้องอบสมุนไพร ภายในห้องอบ ณ จุด CH 103 อากาศจะถ่ายเทความร้อนสู่วัตถุอบ ทำให้ความชื้นระเหยเป็นไอน้ำ อากาศชั้นที่ไหลออกจากห้องอบสมุนไพรจะผ่านจุด CH 106 ซึ่งทำหน้าที่เป็นช่องระบายไอน้ำและทางรับอากาศใหม่บางส่วน



ก่อนย้อนกลับไปยัง CH 102 เพื่อเข้าสู่กระบวนการควบแน่น และหมุนเวียนในวัฏจักรอีกครั้ง เพื่อรักษา สภาวะที่เหมาะสมต่อการอบแห้งอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ จุด CH 105 ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิภายนอก เพื่อเป็นค่ามาตรฐานเปรียบเทียบกับอุณหภูมิภายในระบบตู้อบ

จากการดำเนินการออกแบบที่กล่าวไว้ข้างต้น ได้นำไปสู่การสร้างต้นแบบของ “ตู้อบแห้งแบบไฮบริด” ซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้วัสดุอลูมิเนียมเป็นโครงหลัก ชั้นกลางติดตั้งตะแกรงสำหรับวางวัตถุดิบ ด้านล่างของตู้อบติดตั้งล้อเลื่อนเพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย และมีคานรับน้ำหนักห้องที่ดียู (TDU Chamber) ส่วนฝาผนังและฝาเปิด-ปิดของตู้อบทำจากวัสดุโพลีคาร์บอเนต ซึ่งมีคุณสมบัติยอมให้แสงอาทิตย์ผ่านเข้าสู่ภายในและกักเก็บความร้อน โดยรวมเป็นโครงสร้างและวัสดุที่ใช้ในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเดิมที่มีใช้งานกันโดยทั่วไป ในขณะที่ TDU Chamber ได้รับการสร้างตามที่ออกแบบไว้ โดยติดตั้งอยู่บริเวณด้านล่างของตู้อบ จากการดำเนินการสร้างตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ที่เสริมด้วยชุดเพิ่มสมรรถนะด้วย TDU ซึ่งเมื่อประกอบเสร็จสมบูรณ์แล้วแสดงในรูปที่ 4

## 2.3 วิธีการทดลอง

หลังจากการออกแบบและสร้างตู้อบแห้งแบบไฮบริดเสร็จสมบูรณ์ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบ จึงแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนหลัก ดังนี้

### 2.3.1 การทดสอบสมรรถนะการทำงานของระบบตู้อบแห้งไฮบริด

การทดสอบส่วนที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสามารถในการทำงานของระบบ TDU โดยเน้น

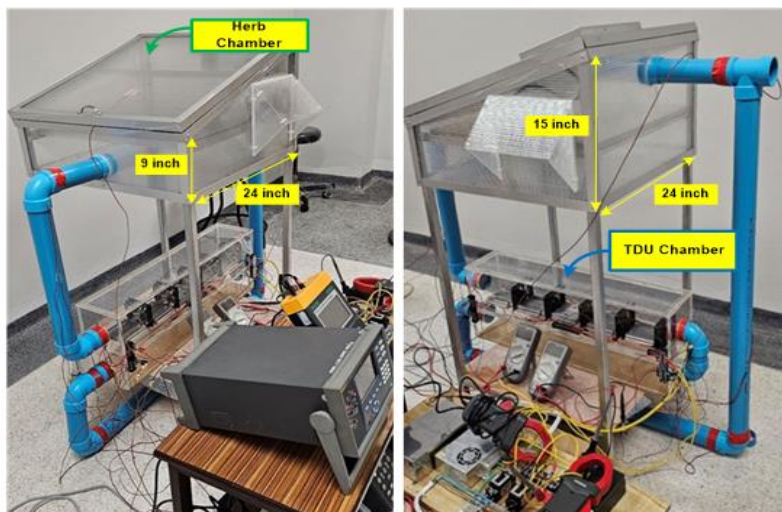
การสร้างอุณหภูมิของลมร้อนพร้อมทั้งควบแน่นไอน้ำด้วยเพลเทียร์ในแผ่นเดียวกัน การทดลองดำเนินการในสภาวะไม่ใส่วัตถุดิบ (No-load Condition) ภายในห้องปฏิบัติการเพื่อควบคุมอุณหภูมิแวดล้อมตลอดการทดสอบ และเพื่อป้องกันอันตรายจากแสงอาทิตย์และสภาพอากาศที่แปรผันซึ่งอาจส่งผลต่ออุณหภูมิและความชื้นในระบบ

ภายในระบบตู้อบติดตั้งเซนเซอร์ Thermocouple Type K จำนวน 7 จุด เชื่อมต่อกับเครื่องบันทึกข้อมูล Fluke 2638A เพื่อวัดและบันทึกอุณหภูมิในทุก 1 นาที ตลอดช่วงเวลา 240 นาที ระบบได้รับพลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตซ์ที่จ่ายกำลังพิกัดเต็ม (Rated Current) ให้กับชุดเพลเทียร์ทุกแผ่น เพื่อประเมินสมรรถนะในสภาวะใช้งานจริง พร้อมทั้งติดตั้งเครื่องวิเคราะห์พลังงาน (PROVA 6830A) แยกวัดพลังงานของชุดเพลเทียร์และพัดลมหมุนวนอากาศเพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานของแต่ละองค์ประกอบ

ผลการทดลองได้รับการตรวจสอบโดยการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากเครื่องบันทึกกับภาพจากกล้องถ่ายภาพความร้อน และการวัดอุณหภูมิแบบจุดด้วยมัลติมิเตอร์ เพื่อยืนยันความแม่นยำและเสถียรภาพของการควบคุมอุณหภูมิภายในระบบ

### 2.3.2 การทดสอบสมรรถนะการอบแห้งจริงของวัตถุดิบสมุนไพร

การทดสอบส่วนที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้งานจริงของตู้อบต้นแบบ กับการอบแห้งวัตถุดิบพืชสมุนไพร ภายใต้สภาพแวดล้อมควบคุมในห้องปฏิบัติการเพื่อจำลองการใช้งานภายในอาคาร และจัดตัวแปรที่มีความแปรปรวนของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่สามารถควบคุมได้



รูปที่ 4 ผลการสร้างตู้บเลี้ยงแสงอาทิตย์ที่เสริมด้วยชุดเพิ่มสมรรถนะ TDU

การทดลองดำเนินการโดยใช้วัตถุดิบสมุนไพรไทย 3 ชนิด ได้แก่ กระชายแห้ง ใบมะรุม และขิงแห้ง เพื่อการประเมินศักยภาพของ TDU ในการประยุกต์ใช้อบแห้งจริง ขั้นตอนการทดลองเริ่มจากจัดวางการทดลองตามรูปที่ 3 ภายในห้องควบคุมอุณหภูมิ เตรียมตัวอย่างวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิดสำหรับการอบ โดยชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการอบด้วยเครื่องชั่ง (ความละเอียด 0.001 g) เพื่อคำนวณอัตราการลดความชื้น จ่ายพลังงานจากแหล่งจ่ายกระแสตรงเพื่อเริ่มดำเนินการอบแห้งต่อเนื่องเป็นเวลา 4 ชั่วโมง สังเกตและบันทึกการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอก เช่น สี ผิวสัมผัส และรูปร่าง พร้อมถ่ายภาพเปรียบเทียบ

ผลการทดสอบนี้จะช่วยแสดงศักยภาพของระบบต้นแบบในการอบแห้งสมุนไพรโดยไม่พึ่งพาแหล่งพลังงานจากธรรมชาติภายนอก ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบในการประยุกต์ใช้ในพื้นที่จำกัด เช่น อาคารหรือสถานที่ที่ไม่สามารถตากแดดได้โดยตรง

### 3. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ในส่วนแรก: การทดสอบและประเมินสมรรถนะของตู้อบต้นแบบ และส่วนที่สอง: การทดสอบการใช้อบแห้งจริงกับวัตถุดิบสมุนไพร โดยมุ่งศึกษาค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และพฤติกรรมของลมร้อนภายในตู้ โดยทั้งนี้เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ และสมรรถนะอบแห้งกับการใช้งานระบบในบริบทจริง

#### 3.1 ผลการทดสอบ และประเมินสมรรถนะการทำงานของระบบตู้อบต้นแบบ

จากการทดสอบระบบต้นแบบภายใต้สภาวะไม่มีโหลด พบว่าสามารถทำงานได้จริงตามวัตถุประสงค์การออกแบบกล่าวคือ เมื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ห้องที่ดี จะสร้างความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็น ส่งผลให้อากาศที่ไหลผ่านทั้งสองด้านเปลี่ยนอุณหภูมิ และเกิดการเคลื่อนที่ของอากาศตามทิศทางที่ออกแบบไว้

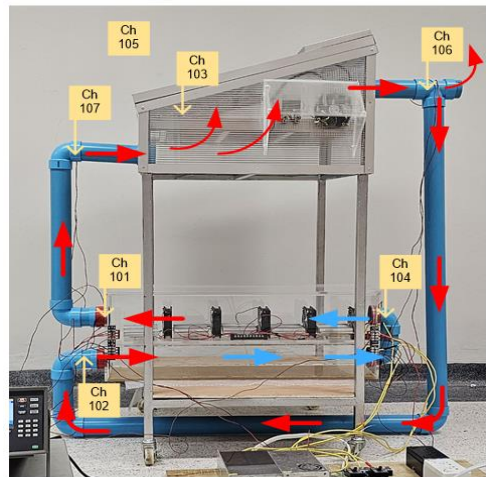


ค่าที่วัดได้จากเทอร์โมคัปเปิลทั้ง 7 จุด จากรูปที่ 5 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งอย่างชัดเจน โดยเฉพาะบริเวณสร้างลมร้อน (CH101) ที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง แสดงถึงความสามารถของตู้อบต้นแบบในการสร้างลมร้อนไหลเวียน ซึ่งเป็นผลจากการทำงานร่วมกันของพัดลมหมุนเวียนอากาศและส่วนห้องที่ดีเยี่ยม สะท้อนศักยภาพของระบบในการแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนและความเย็นได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งควบคุมทิศทางการไหลของลมร้อนได้ตามต้องการ รายละเอียดผลการทดสอบประกอบด้วย ผลการสร้างอุณหภูมิลมร้อน, สมรรถนะการควบแน่นไอน้ำ และผลการประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบ

### 3.1.1 ผลการสร้างอุณหภูมิลมร้อนของระบบ

จากการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง CH101 ซึ่งเป็นบริเวณสร้างลมร้อน (รูปที่ 6) พบว่าห้อง TDU สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นความร้อนได้อย่างรวดเร็ว โดยอุณหภูมิเพิ่มจาก 22.5°C (เริ่มต้น) เป็น 25.3°C ภายใน 1 นาที, 45.6 °C ที่นาทีที่ 10, และ 50.17°C ภายใน 20 นาที ก่อนเข้าสู่ภาวะคงที่ที่ 55-56°C ภายใน 60 นาที พฤติกรรมการเพิ่มอุณหภูมิแสดงการตอบสนองที่รวดเร็วของระบบเมื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่เพลทฮีตเตอร์

ระดับอุณหภูมิที่จุด CH101 คงอยู่ที่ 55-58°C ได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งเหมาะสมกับการอบแห้งสมุนไพรและผลไม้ที่ต้องการความร้อนระดับปานกลางเพื่อคงคุณภาพทางชีวภาพ นอกจากนี้ ยังพบความแตกต่างของอุณหภูมิภายในระบบอย่างชัดเจน เช่น จุดสร้างลมร้อนอยู่ที่ 56 °C บริเวณควบแน่นไอน้ำอยู่ที่ 33 °C แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของระบบในการควบคุมการ



รูปที่ 5 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิภายในระบบตู้อบต้นแบบ



รูปที่ 6 ตัวอย่างการวัดอุณหภูมิ ด้วยเครื่องบันทึกและกล้องถ่ายภาพความร้อน

ไหลของลมร้อนและการถ่ายเทความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ โดยแม้จะทดสอบภายใต้อุณหภูมิเพียง 22.5 °C แต่ระบบสามารถเพิ่มอุณหภูมิได้ถึง 56 °C บ่งชี้ถึงสมรรถนะสูงในการสร้างลมร้อน

### 3.1.2 สมรรถนะการควบแน่นไอน้ำของระบบเพื่อการลดความชื้นภายในห้องอบ

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถลดความชื้นในอากาศได้ตามวัตถุประสงค์ (ในขณะเดียวกับสร้างลมร้อน) โดยสังเกตผลลัพธ์จากการเกิด



หยดน้ำบนฮีทซึ่งด้านเย็นของแผ่นเพลเทียร์ ซึ่งเป็นหลักฐานของการควบแน่น

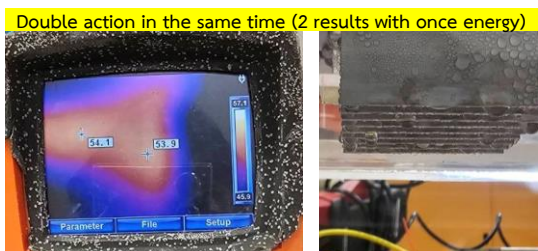
โดยพบว่าด้านเย็นของเพลเทียร์ตัวที่ 1 และ 2 เกิดการควบแน่นขึ้นอย่างชัดเจน โดยอุณหภูมิของผิวเย็นลดต่ำกว่าจุดน้ำค้างส่งผลให้น้ำในอากาศกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ส่วนเพลเทียร์ตัวที่ 3 พบเพียงละอองน้ำเล็กน้อย ขณะที่ตัวที่ 4 และ 5 ไม่แสดงการควบแน่นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นผลมาจากการไหลมร้อนที่ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนจากชุดก่อนหน้าในการระบายความร้อน ทำให้ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของด้านเย็นลดลง

แม้ว่าการควบแน่นจะเกิดขึ้นชัดเจนเฉพาะในเพลเทียร์ชุดต้น ๆ แต่ระบบยังสามารถรักษาเสถียรภาพในการทำงานได้อย่างต่อเนื่อง โดยยังคงสามารถควบคุมอุณหภูมิลมร้อนหมุนเวียน และไม่พบความเสียหายหรือความร้อนสะสมเกินปกติในเพลเทียร์ชุดหลัง ซึ่งสะท้อนถึงความเสถียรและความเหมาะสมของระบบที่ทำการออกแบบไว้

นอกจากนี้ ตัวอย่างผลการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ในห้องปฏิบัติการ (55.5% RH) เทียบกับอากาศที่ระบายออกจากตู้อบ (ลดลงเหลือ 39–41% RH) แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถลดความชื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ในสภาพแวดล้อมควบคุมที่มีความชื้นระดับปานกลางภายในห้องปรับอากาศ โดยเป็นผลมาจากการออกแบบทิศทางการไหลของอากาศร่วมกับตำแหน่งควบแน่นที่มีประสิทธิภาพ

### 3.1.4 การประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบในช่วงการทำงานต่อเนื่อง

จากการทดสอบเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องวัด Power Watt Meter สามารถบันทึกค่าการ



รูปที่ 7 ในการอบแห้งจริง TDU ได้แสดงผลการทำงานของสองหน้าที่พร้อมกันด้วยค่าพลังงานเดียว

ใช้พลังงานไฟฟ้าได้ดังนี้ ชุดพัดลมหมุนเวียนอากาศ ใช้พลังงานรวม 65 Wh โดยมีกระแสไฟฟ้าชั่วขณะอยู่ที่ 0.295 A, ชุดเพลเทียร์จำนวน 5 แผ่น ใช้พลังงานรวม 990 Wh โดยมีกระแสไฟฟ้าชั่วขณะอยู่ที่ 1.99 A รวมการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งระบบเฉลี่ยประมาณ 1 kWh และกระแสไฟฟ้ารวมประมาณ 2 A

การทดลองส่วนแรกนี้ พบว่า ระบบที่ออกแบบพัฒนาขึ้นสามารถดำเนินการสองกระบวนการสำคัญในการอบแห้ง (สร้างลมร้อน – ควบแน่นไอน้ำ) ควบคู่กันอย่างมีประสิทธิภาพภายใต้การใช้พลังงานเพียงแหล่งเดียว และสามารถทำงานต่อเนื่องได้ยาวนานหลายชั่วโมงโดยไม่มีความร้อนสะสมเกินค่าทนของอุปกรณ์วงจรทั้งหมดมีความเสถียรและคงที่ตลอดช่วงการทดสอบ มีความเหมาะสมสำหรับใช้งานจริงในบริบทของระบบอบแห้งที่ต้องการระยะเวลาการทำงานนานต่อเนื่อง

ทั้งนี้ยังมีจุดเด่นที่สำคัญอีกประการ คือ ผลจากการออกแบบทำให้ลมร้อนที่ผลิตได้มีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อกระบวนการอบแห้งสมุนไพร ซึ่งช่วยรักษาคุณภาพ และลดความเสี่ยงต่อการสูญเสียสารสำคัญ โดยที่การออกแบบจำนวนแผ่นเพลเทียร์ให้เหมาะสมกับขนาดห้อง TDU และการจัดทิศทางไหลเวียนอากาศ



ให้สมดุล ช่วยให้ระบบทำงานต่อเนื่องได้โดยไม่เกิดการสะสมความร้อนที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพด้านเย็น ดังนั้นสามารถกล่าวสรุปได้ว่าชุดอบแห้งเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Dehydration Unit, TDU) คือ ชุดอุปกรณ์ที่รวมระบบสร้างลมร้อนหมุนเวียนเข้ากับการควบแน่นไอน้ำ เพื่อการใช้ออบแห้งสมุนไพร ประกอบด้วย ส่วนห้องที่ดียู (TDU Chamber) และส่วนระบบไหลเวียนอากาศ โดย TDU ให้ลมร้อนที่อุณหภูมิช่วง 55-58°C เพื่อนำเข้าสู่ตู้อบ ขณะเดียวกันกับควบแน่นไอน้ำช่วยลดความชื้นสัมพัทธ์ในระบบ ทำให้การอบแห้งเกิดขึ้นได้ต่อเนื่องแม้ไม่มีพลังงานแสงอาทิตย์

### 3.2 ผลการทดสอบสมรรถนะการอบแห้งจริงของวัตถุดิบสมุนไพร

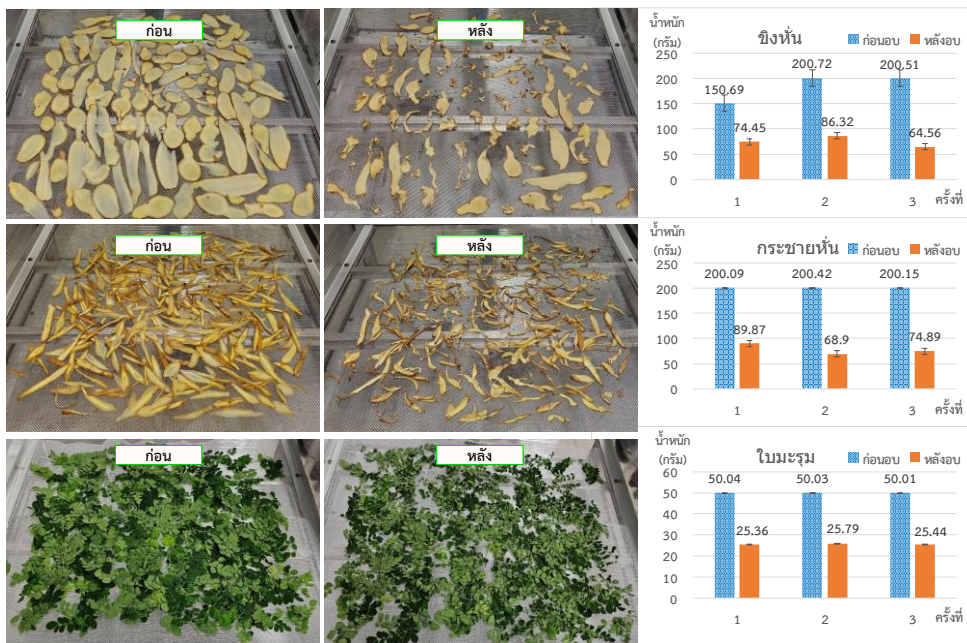
การประเมินสมรรถนะของตู้อบต้นแบบในการอบแห้งกระชายหั่น พบว่า ตัวอย่างกระชายที่มีน้ำหนักเริ่มต้น 200 กรัม (100%) หลังการอบแห้งเหลือน้ำหนักเฉลี่ยเพียง 78 กรัม แสดงให้เห็นว่าสามารถลดน้ำหนักเฉลี่ยลงได้ถึง 61% สำหรับการทดสอบอบแห้งกระชายพันธุ์เล็ก พบว่าใช้ระยะเวลาอบทั้งหมดเพียง 160 นาที โดยน้ำหนักลดจาก 53 กรัม เหลือ 16 กรัม หรือสามารถลดน้ำหนักได้มากถึง 70% เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักก่อนและหลังการอบแห้ง อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์ในแต่ละครั้งอาจมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดและสายพันธุ์ของวัตถุดิบ ลักษณะการจัดวางบนตะแกรง ความสม่ำเสมอของขนาดชิ้นที่หั่น รวมถึงน้ำหนักเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อสมรรถนะการลดความชื้นในแต่ละครั้ง



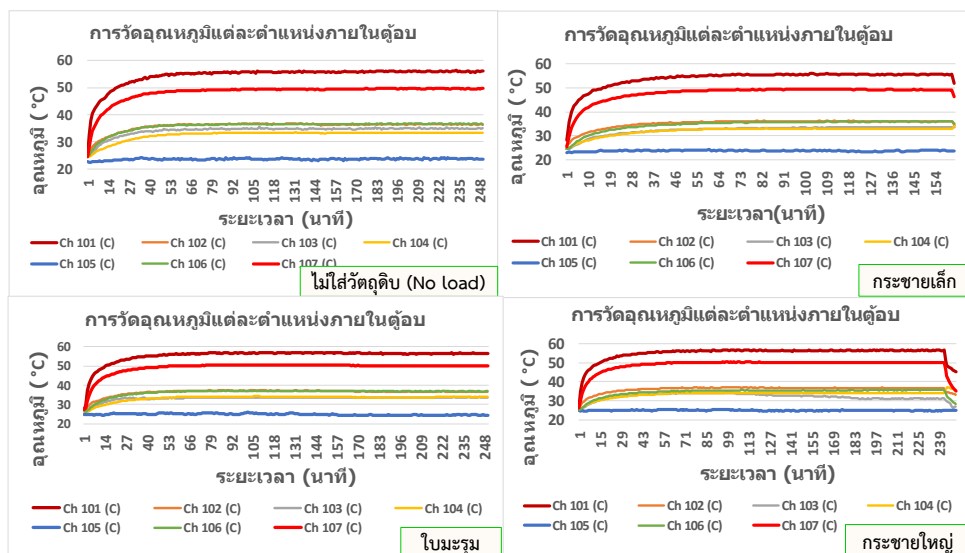
รูปที่ 8 ตัวอย่างวัตถุดิบกระชาย เปรียบเทียบ ก่อน-หลังการทดลองอบแห้งด้วยระยะเวลา 4 ชม.

ในกรณีของการทดลองอบแห้งใบมะรุ้ม จากน้ำหนักเริ่มต้น 50 กรัม หลังการอบแห้งเหลือน้ำหนักราว 25 กรัมเล็กน้อย โดยมีค่าเฉลี่ยการลดน้ำหนักได้ราว 50%, สำหรับการอบแห้งขิงหั่น พบว่า จากน้ำหนักเริ่มต้น 150 กรัม และ 200 กรัมหลังผ่านกระบวนการอบ ได้ค่าเฉลี่ยการลดน้ำหนักสำหรับขิงหั่นอยู่ที่ประมาณ 58.5%

เมื่อเปรียบเทียบกราฟการอบแห้งของกระชายขิง ใบมะรุ้ม รวมถึงสภาวะไม้ไผ่วัตถุดิบ พบว่าแนวโน้มอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของตู้อบมีลักษณะคล้ายคลึงกัน แสดงถึงความสม่ำเสมอของการกระจายลมร้อนและเสถียรภาพของระบบ ไม่ได้รับผลกระทบจากการมีหรือไม่มีวัตถุดิบอยู่ภายใน ซึ่งสะท้อนถึงจุดแข็งด้านการควบคุมอุณหภูมิอย่างต่อเนื่องภายใต้สภาวะใช้งานจริง และระบบยังสามารถรักษาการใช้พลังงานในระดับคงที่ โดยใช้พลังงานเฉลี่ยเพียง 1 kWh สะท้อนถึงประสิทธิภาพการออกแบบ ทั้งด้านจำนวนชุดเทอร์โมอิเล็กทริก ทิศทางการไหลของลม และการกระจายความร้อนภายในระบบ



รูปที่ 9 ตัวอย่างลักษณะวัตถุดิบเมื่อเปรียบเทียบ ก่อน-หลังการทดลองอบแห้ง



รูปที่ 10 ตัวอย่างการวัดอุณหภูมิ แสดงการเปรียบเทียบกราฟการอบแห้งวัตถุดิบ และระบบเปล่า(ไม่มีวัตถุดิบ)



รูปที่ 11 ภาพถ่ายการทดลองอบแห้งใบมะรุม และการวัดอุณหภูมิของท่อหมุนวนอากาศ

นอกจากนี้ ระบบยังสามารถรักษาค่าการใช้พลังงานได้ในระดับเกือบคงที่ เช่น การอบใบมะรุมใช้กระแสไฟฟ้า 1.91 แอมแปร์ (ชุดเทอร์โมอิเล็กทริก) และ 0.303 แอมแปร์ (ระบบพัลลวมหมุนเวียน) ใกล้เคียงกับกรณีไม่มีโหลดที่ 1.99 และ 0.295 แอมแปร์ ตามลำดับ รวมการใช้พลังงานเฉลี่ยเพียง 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อรอบ แสดงถึงประสิทธิภาพด้านพลังงานและการออกแบบที่เหมาะสม ทั้งในด้านจำนวนชุดเทอร์โมอิเล็กทริก ทิศทางลม และการกระจายความร้อนภายในระบบ

ผลจากการทดลองส่วนที่สองในการประยุกต์ใช้งานจริงพบว่า ตู้อบต้นแบบสามารถอบแห้งสมุนไพรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ภายในเวลา 4 ชั่วโมง ระบบสามารถสร้างลมร้อนในช่วง 55–60 °C และแสดงการควบคุมได้ชัดเจนบริเวณฮีตซิงค์ด้านเย็นของเพลเทียร์แผ่นที่ 1 และ 2 โดยน้ำหนักของวัตถุดิบลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

TDU ใช้เวลาประมาณ 30 นาที ในการเพิ่มอุณหภูมิถึงระดับใกล้เคียงสูงสุด และสามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ภายในเวลา 1 ชั่วโมง สะท้อนสมรรถนะการตอบสนองที่รวดเร็วและเสถียร ระบบใช้กระแสไฟฟ้ารวมราว 2 แอมแปร์ มีค่า Power Factor เฉลี่ย 0.55 และใช้พลังงานเฉลี่ยประมาณ 240 Wh

อีกจุดเด่นสำคัญของ TDU คือสามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องพึ่งแสงแดดโดยตรง จึงเหมาะสำหรับการอบแห้งวัตถุดิบในพื้นที่ร่มหรือภายในอาคาร โดยเฉพาะวัตถุดิบที่ไวต่อแสง เช่น สมุนไพรบางชนิด ซึ่งอาจสูญเสียคุณภาพทางกายภาพหรือองค์ประกอบสำคัญเมื่อสัมผัสรังสียูวีโดยตรง

### 3.3 การอภิปรายผล

เมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างระบบอบแห้งต้นแบบที่พัฒนาขึ้น กับวิธีการตากแดดธรรมดาและตู้อบแห้งแบบเดิม พบว่าระบบอบแห้งแบบไฮบริดที่รวมพลังงานจากแสงอาทิตย์เข้ากับการใช้เทอร์โมอิเล็กทริก มีข้อได้เปรียบที่สำคัญในหลายด้าน ดังนี้

#### 3.3.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบอบแห้งที่พัฒนาขึ้นกับการตากแดดธรรมดา

ระบบอบแห้งต้นแบบที่พัฒนาขึ้นแสดงสมรรถนะเหนือกว่าการตากแดดธรรมดาอย่างชัดเจน โดยสามารถลดน้ำหนักวัตถุดิบได้อย่างรวดเร็วภายใน 4 ชั่วโมง พร้อมควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการอบแห้งสมุนไพรโดยไม่ทำลายคุณภาพหรือสารสำคัญของวัตถุดิบ นอกจากนี้ ระบบยังมีการควบคุมไอน้ำภายใน ลดปัญหาความชื้นสะสม และช่วยให้กระบวนการอบแห้งเกิดขึ้นต่อเนื่องอย่างมีประสิทธิภาพ โครงสร้างตู้อบแบบปิดยังช่วยป้องกันฝุ่น



และสิ่งปนเปื้อน เพิ่มความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี

### 3.3.2 การเปรียบเทียบระบบอบแห้งต้นแบบกับตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม

ระบบอบแห้งต้นแบบที่พัฒนาขึ้นมีจุดเด่นเหนือกว่าตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเดิมอย่างชัดเจน โดยเพิ่มกระบวนการควบแน่นไอน้ำผ่านด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก ช่วยลดความชื้นสะสมภายในห้องอบ ส่งผลให้อัตราการอบแห้งดีขึ้นและต่อเนื่อง นอกจากนี้ ระบบยังเปลี่ยนจากการอบแห้งแบบเรือนกระจกที่อาศัยพลังงานจากแสงแดดโดยตรงมาเป็นระบบลมร้อนแห้งหมุนเวียนร่วมกับการลดความชื้น จึงควบคุมสภาวะการอบแห้งได้แม่นยำและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นในทุกสภาพอากาศ

### 3.3.3 ศักยภาพของนวัตกรรมต้นแบบเพื่อการประยุกต์ใช้งานด้านการอบแห้งสมุนไพร

ระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้นแสดงศักยภาพในการใช้งานได้อย่างยืดหยุ่น โดยสามารถประยุกต์ใช้งานได้ 2 ลักษณะหลัก ได้แก่

1. การใช้งานภายในอาคาร ระบบสามารถติดตั้งส่วนตู้อบไว้ในอาคาร หรือพื้นที่แปรรูปสมุนไพรที่ต้องการควบคุมสภาพแวดล้อมได้ ซึ่งเป็นจุดเด่นสำคัญของระบบนี้ ในขณะที่ให้แหล่งพลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งภายนอก หรือเลือกรับพลังงานจากไฟฟ้าบ้านได้ ช่วยลดข้อจำกัดด้านพื้นที่และป้องกันแสงแดดโดยตรง เหมาะสำหรับวัตถุดิบที่ไวต่อแสงและความร้อน โดยการใช้งานด้านร้อนและด้านเย็นของระบบพร้อมกัน

2. การใช้งานกลางแจ้ง เมื่อใช้ร่วมกับตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเดิม ระบบสามารถเสริมประสิทธิภาพในช่วงแสงแดดอ่อนหรือฤดูฝน โดยด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกช่วยสร้างลมร้อน ส่วนด้านเย็นช่วยควบแน่นไอน้ำ ลดความชื้นได้ต่อเนื่อง แม้ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวย แสดงให้เห็นว่าระบบตู้อบแห้งที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพและความสามารถในการอบแห้งได้ดีกว่าวิธีการตากแดดธรรมชาติและตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม ทั้งในด้านความรวดเร็วในการอบแห้ง การลดความชื้นสัมพัทธ์ และความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์

## 4. บทสรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเดิมผสมด้วยระบบลมร้อนแห้งควบคู่การควบแน่นไอน้ำ สำหรับการอบแห้งสมุนไพรไทย โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับระบบลมร้อนหมุนเวียน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้งอย่างเหมาะสม ทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้งานได้ทั้งภายในอาคารและกลางแจ้ง ซึ่งจุดเด่นของนวัตกรรมนี้อยู่ที่การใช้ประโยชน์จากทั้งด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกพร้อมกัน โดยด้านร้อนทำหน้าที่สร้างลมร้อนอุณหภูมิต่ำในช่วงเหมาะสมกับสมุนไพรส่วนด้านเย็นช่วยลดความชื้นผ่านการควบแน่นไอน้ำ ซึ่งส่งผลให้กระบวนการอบแห้งมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

ผลลัพธ์จากการพัฒนาตู้อบแห้งต้นแบบนี้ แสดงให้เห็นถึงสมรรถนะการอบแห้งที่ดีเยี่ยม ติดตั้งและใช้งานได้ง่ายทั้งในพื้นที่จำกัดและสภาพอากาศที่หลากหลาย



พร้อมช่วยรักษาคุณภาพวัตถุดิบและรองรับการใช้พลังงานสะอาด นวัตกรรมนี้จึงตอบโจทย์การแปรรูปสมุนไพรระดับชุมชน และมีศักยภาพในการขยายผลอย่างกว้างขวางและยั่งยืน สำหรับงานวิจัยในอนาคตคือ จะทำการเพิ่มระบบตรวจสอบสถานะของการอบแห้งแบบเรียลไทม์

## 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] A.A. El-Sebaei and S.M. Shalaby, Experimental investigation of an indirect-mode forced convection solar dryer for drying thymus and mint, *Energy Conversion and Management*, 2013, 74, 109-116.
- [2] D. Jain and P. Tewari, Performance of indirect through pass natural convective solar crop dryer with phase change thermal energy storage, *Renewable Energy*, 2015, 80, 244-250.
- [3] A.K. Bhardwaj, R. Chauhan, R. Kumar, M. Sethi and A. Rana, Experimental investigation of an indirect solar dryer integrated with phase change material for drying valeriana jatamansi (medicinal herb), *Case Studies in Thermal Engineering*, 2017, 10, 302-314.
- [4] M. Ahmadi, H. Samimi-Akhijahani and P. Salami, Thermo-economic and drying kinetic analysis of Oleaster using a solar dryer integrated with phase change materials and recirculation system, *Journal of Energy Storage*, 2023, 68, 107351.
- [5] H. Al-Madhhachi and G. Min, Key factors affecting the water production in a thermoelectric distillation system, *Energy Conversion and Management*, 2018, 165, 459-464.
- [6] Y. Ozcan and E. Deniz, Solar thermal waste heat energy recovery in solar distillation systems by using thermoelectric generators, *Engineering Science and Technology an International Journal*, 2023, 40, 101362.
- [7] M.B. Shafii, M. Shahmohamadi, M. Faegh and H. Sadrhosseini, Examination of a novel solar still equipped with evacuated tube collectors and thermoelectric modules, *Desalination*, 2016, 382, 21-27.
- [8] S. Preechayanan, N. Suriyakarn, S. Kamonchai, W. Phiraksa, S. Hat Sai and E. Wangkanklang, Study and development of seed dryer with thermoelectric module, *The 45th Electrical Engineering Conference (EECON 45), Proceeding*, 2022, 469-471. (in Thai)
- [9] A. GokulRaj, S. Padma and R. Mohan, Design and simulation of a simple greenhouse solar dryer and peltier thermoelectric module under independent and combined operating conditions, *Materials Research Express*, 2025, 12, 015503.
- [10] <https://thermal.ferrotec.com/technology/thermoelectric-reference-guide/> (Accessed on 20 March 2025)