

## AEC-70

# การศึกษาเชิงทดสอบศักยภาพเชิงอุณหภูมิจากการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง แบบปั๊มความร้อนร่วมเรือนกระจก

## Experimental Study on Thermal Potential and Energy consumption of Solar Greenhouse Dryer Combined with Heat Pump

จารวัฒน์ เจริญจิต\*, สิทธิพร บุญญานวัตร์ และฐานวิทย์ แนนมใส

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย  
เลขที่ 1 ถนนราชดำเนินนอก ตำบลบ่อยาง อำเภอ เมือง จังหวัด สงขลา 90000  
\*ติดต่อ: Email:j.jaruwat@gmail.com, 086-6856747, 074-315185

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเชิงทดสอบศักยภาพเชิงอุณหภูมิจากการใช้พลังงานของระบบอบแห้งแบบปั๊มความร้อนร่วมเรือนกระจก ที่ประกอบจากแผ่นโพลีคาร์บอเนตใส ใน 2 กรณีศึกษา คือ กรณีที่ 1.อีวาพอเรเตอร์ของปั๊มความร้อนเปิดสู่บรรยากาศ และกรณีที่ 2.อีวาพอเรเตอร์ของปั๊มความร้อนครอบด้วยเรือนกระจกเสริม ตามลำดับ โดยแต่ละกรณีจะทดลองเทียบกับเรือนกระจกทั่วไป จากการทดสอบพบว่าระบบที่ใช้ปั๊มความร้อนร่วมเรือนกระจกเทียบกับเรือนกระจกทั่วไป ที่สภาวะเดียวกัน กรณีที่ 1 มีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 60°C และ 55°C ตามลำดับ โดยปั๊มความร้อนใช้พลังงานไฟฟ้า 0.65 kWh (18.5% ของไฟฟ้าทั้งหมด) และกรณีที่ 2 มีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 55°C และ 50°C ตามลำดับ โดยปั๊มความร้อนใช้พลังงานไฟฟ้า 0.09 kWh (5.8% ของไฟฟ้าทั้งหมด) ต่ำกว่ากรณีที่ 1 ประมาณ 86.15% ตามลำดับ

**คำหลัก:** ปั๊มความร้อน; ระบบอบแห้ง; เรือนกระจก

### Abstract

This experimental research aim to study the thermal potential and energy consumption of heat pump drying system combined with polycarbonate greenhouse. The experiment was carried out in 2 cases to test a heat pump drying system combined with greenhouse with no drying conditions: Case 1 in which the evaporator of heat pump was open and Case 2 in which the evaporator of heat pump was covered with an additional greenhouse. Then the results obtained from the cases were compared with that of the general greenhouse with the same conditions. The result indicated that the average temperature of heat pump drying system combined with greenhouse and the general greenhouse with the same conditions were 60°C and 55°C respectively. In Case 1, the electricity energy of 0.65 kWh (18.5% of all electricity energy) was consumed by the heat pump with the average temperature of approximately 55°C and 50°C respectively. In Case 2, the electricity energy of 0.09 kWh (5.8% of all electricity energy) was consumed by the heat pump, which was 86.15% less than that of Case 1

**Keywords:** heat pump; drying system; greenhouse

## AEC-70

### 1. บทนำ

ปัญหาการขาดแคลนพลังงานมีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากมีปริมาณความต้องการใช้พลังงานในด้านต่างๆ เพิ่มขึ้นทุกปี ส่งผลให้ราคาต้นทุนด้านพลังงานสูงขึ้นตามลำดับ โดยกลุ่มอุตสาหกรรมการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร เพื่อแปรรูป และเพิ่มมูลค่าสินค้า เป็นกลุ่มหนึ่งที่ต้องส่งเสริมให้มีการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิต เนื่องจากเป็นกระบวนการทางความร้อนสามารถประยุกต์ใช้ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (solar thermal) ซึ่งเป็นพลังงานหมุนเวียนที่มีศักยภาพสูง โดยมีค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ย  $18.2 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$  (ประเทศไทย) ในการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ ที่ผ่านมามีการใช้รังสีอาทิตย์สำหรับการผลิตลมร้อนในการอบแห้งแบบ passive, active และ hybrid [1] ระบบสะสมความร้อนแบบเปลี่ยนเฟส [2-4] เพื่อสะสมความร้อน รวมถึงการใช้รังสีอาทิตย์เสริมปั๊มความร้อน (Solar assisted heat pump, SAHP) [5] โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทำงานร่วมกับปั๊มความร้อน 2 รูปแบบ คือ SAHP ซึ่งมีวงจรการทำงานแยกกันโดยทำงานเสริมกันผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และ (Direct-expansion, DX-SAHP) ซึ่งสารทำงานจะขยายตัวโดยตรงในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เป็นส่วนประกอบหนึ่งของระบบ [6] เพื่อเพิ่มสัมประสิทธิ์สมรรถนะ [7-9] เนื่องจากปั๊มความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ได้เปรียบเชิงพลังงาน สามารถดึงความร้อนจากแหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำไปยังแหล่งที่มีอุณหภูมิสูงได้ เมื่อเทียบกับการใช้หลอดไฟในการทำงาน การใช้พลังงานจึงน้อยกว่า ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของอากาศที่ใช้อบแห้งได้ ผ่านการควบคุมที่เหมาะสม [5] ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดีกว่าการอบลมร้อนธรรมดา [10-13] ประกอบกับกระบวนการอบแห้งอุณหภูมิต่ำ ส่งผลเชิงบวกต่อคุณภาพของวัสดุทางชีวภาพแต่ต้องใช้เวลาในการอบแห้งนาน (low temperature and long time, LTLT) [14-16] ดังนั้นการอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์ที่อุณหภูมิต่ำกว่า  $100^\circ\text{C}$  เป็นแนวทางหนึ่งในการอบ

เพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ [17] ซึ่งตู้อบแห้งรังสีอาทิตย์แบบเรือนกระจกขนาดเล็กกรณีไม่มีภาวะอุณหภูมิภายในสูงประมาณ  $80\text{-}85^\circ\text{C}$  [18] หรือสูงกว่า อุณหภูมิสิ่งแวลล้อม  $20\text{-}30^\circ\text{C}$  [19] แปรผันตามค่ารังสีซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ อย่างไรก็ตามรังสีอาทิตย์มีความไม่สม่ำเสมอและไม่คงที่ ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิค่อนข้างสูง อีกทั้งมีข้อจำกัดด้านระยะเวลาการอบแห้งที่ต้องใช้เวลาในช่วงมีรังสีอาทิตย์เท่านั้น

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาการอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์แบบเรือนกระจก ทำงานร่วมกับปั๊มความร้อน โดยใช้เป็นแหล่งความร้อนเสริม สำหรับเรือนกระจกขนาดใหญ่ ให้มีอุณหภูมิมืดที่ระดับหนึ่งตามศักยภาพของเรือนกระจกแต่ละชนิด ในกรณีที่ค่ารังสีต่ำหรือไม่มีรังสีอาทิตย์ เพื่อเพิ่มเสถียรภาพเชิงอุณหภูมิ มีความต่อเนื่องและมีระยะเวลาการอบแห้งยาวนานขึ้น เป็นการส่งเสริมการใช้พลังงานรังสีอาทิตย์และปั๊มความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ และประหยัดต้นทุนการผลิต โดยอาศัยแหล่งความร้อนจากบรรยากาศ และในเรือนกระจกด้วยกัน

### 2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

#### 2.1 ชุดทดลอง

ระบบอบแห้งแบบปั๊มความร้อนร่วมเรือนกระจก สำหรับการศึกษานี้ เป็นการทดสอบกรณีไม่มีภาวะอบแห้ง ในระบบอบแห้งแบบเรือนกระจก ที่ประกอบจากแผ่นโพลีคาร์บอเนตใสหนา 6 มิลลิเมตร ในระบบปิด ขนาดกว้าง  $\times$  ยาว  $\times$  สูง เท่ากับ  $1,200$  มิลลิเมตร  $\times$   $2,000$  มิลลิเมตร  $\times$   $1,700$  มิลลิเมตร และหลังคาโค้งมีรัศมี 650 มิลลิเมตร พื้นของเรือนกระจก ทำจากแผ่นโลหะพ่นสีดำด้าน จำนวน 3 ชุด ประกอบด้วย เรือนกระจกทั่วไป 1 ชุด, เรือนกระจกที่ติดตั้งปั๊มความร้อนร่วมเรือนกระจก 1 ชุด และเรือนกระจกเสริมสำหรับครอบอิวาปอเรเตอร์ของปั๊มความร้อนร่วมเรือนกระจก 1 ชุด ตามลำดับ

## AEC-70



รูปที่ 1 ระบบอบแห้งแบบป้มความร้อนร่วมเรือนกระจก เทียบกับเรือนกระจกทั่วไป

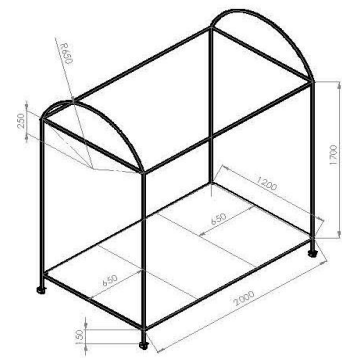
การทำงานของระบบอบแห้งแบบป้มความร้อนร่วมเรือนกระจกสำหรับการศึกษานี้ แหล่งความร้อนหลักของระบบได้มาจากรังสีอาทิตย์ ผ่านปรากฏการณ์ของสภาวะเรือนกระจก (green house effect) ส่งผลให้อุณหภูมิในเรือนกระจกสูงขึ้นตามลำดับ โดยอาศัยระบบป้มความร้อนเป็นแหล่งความร้อนเสริม ให้ระบบมีความเสถียรเชิงอุณหภูมิ ระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้น และความต่อเนื่องของกระบวนการอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์มากขึ้น โดยอาศัยความได้เปรียบเชิงพลังงานของป้มความร้อนในการยกระดับของอุณหภูมิคุณภาพต่ำให้สูงขึ้นจากกระบวนการดังกล่าว โดยการศึกษานี้จะใช้บรรยากาศภายนอกเรือนกระจก (เรือนกระจกที่ติดตั้งป้มความร้อนร่วมเรือนกระจก) และบรรยากาศภายในเรือนกระจก (เรือนกระจกเสริมสำหรับครอบอีวาพอเรเตอร์ของป้มความร้อนร่วมเรือนกระจก) เป็นแหล่งความร้อนด้านอีวาพอเรเตอร์ของป้มความร้อน ซึ่งติดตั้งหันหน้าไปทางทิศใต้ เพื่อหลังคาโค้งตั้งฉากกับรังสีอาทิตย์ และรับรังสีได้ตลอดการทดลอง โดยประยุกต์ใช้ระบบปรับอากาศขนาด 10000 BTU ใช้สารทำงาน R 22 เป็นสารทำความเย็นในระบบ ติดตั้งให้ทำงานในลักษณะของป้มความร้อน โดยติดตั้งอีวา

พอเรเตอร์ภายนอกเรือนกระจก และติดตั้งคอนเดนเซอร์ในเรือนกระจก ดังแสดงในรูปที่ 1

### 2.2 วิธีการทดลอง

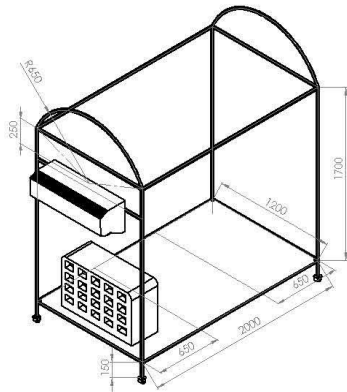
งานวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดลองเพื่อดำเนินการทดสอบระบบอบแห้งแบบป้มความร้อนร่วมเรือนกระจกกรณีไม่มีภาระอบแห้ง ใน 2 กรณีศึกษา คือ กรณีที่ 1.อีวาพอเรเตอร์ของป้มความร้อนเปิดสู่บรรยากาศ และกรณีที่ 2.อีวาพอเรเตอร์ของป้มความร้อนครอบด้วยเรือนกระจกเสริม ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดยแต่ละกรณีจะทดลองเทียบกับเรือนกระจกทั่วไป ที่สภาวะเดียวกัน

โดยควบคุมอุณหภูมิสูงสุดด้านคอนเดนเซอร์กำหนดจากพิกัดการกินกระแสสูงสุดของคอมเพรสเซอร์(Overload relay protection) ซึ่งทำอุณหภูมิสูงสุดที่  $65^{\circ}\text{C}$  กระแส 7.8 Amp ระบบจะตัดการทำงานอัตโนมัติ และจะต่อใหม่ในช่วงเวลา 5 นาทีถัดมา โดยตั้งค่าอุณหภูมิต่อ-ตัดการทำงานของป้มความร้อนที่ตำแหน่งอากาศเข้าคอนเดนเซอร์ที่  $\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$  คือ  $55^{\circ}\text{C}$  และ  $60^{\circ}\text{C}$  โดยบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและการใช้พลังงานไฟฟ้าของป้มความร้อนในช่วงเวลา 9:00 - 21:00 น เป็นกรณีศึกษา

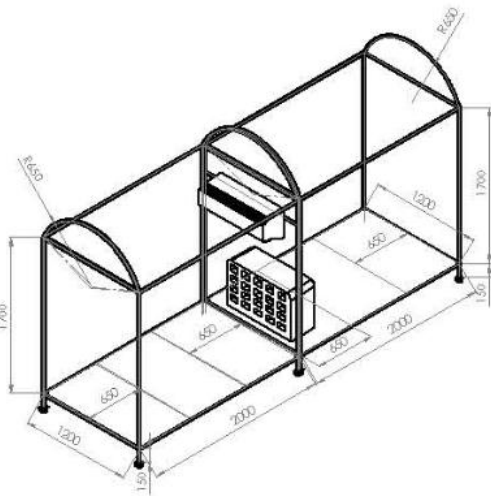


(a)

## AEC-70



(b)



(c)

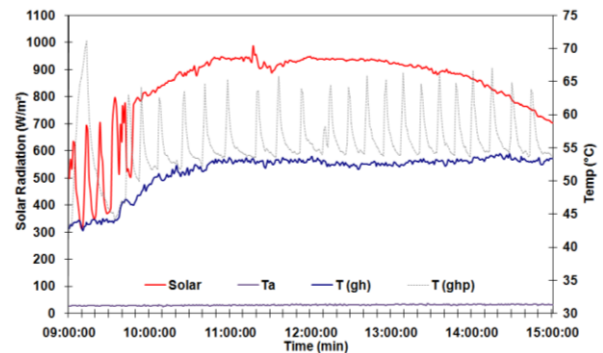
รูปที่ 2 แผนภาพรายละเอียดของระบบอบแห้ง (a) แบบเรือนกระจกทั่วไปเทียบกับแบบปั๊มความร้อนร่วม เรือนกระจก (b) กรณีที่ 1 และ (c) กรณีที่ 2

ดำเนินการทดสอบเบื้องต้น ในช่วงระหว่างเวลา (9:00-15:00)น.และ(18:00-24:00)น.ตามลำดับเพื่อ ประเมินศักยภาพเชิงอุณหภูมิจากของระบบดังกล่าวในช่วงเวลาที่มีรังสีอาทิตย์ และไม่มีรังสีอาทิตย์ หลังจากนั้น เป็นการทดสอบต่อเนื่องในช่วงระหว่างเวลา (9:00-15:00)น.และ(15:00-21:00) น.เป็นเวลา 12 ชั่วโมงต่อวัน ตามลำดับ ทำการวัดค่ารังสีอาทิตย์ด้วย Pyranometer (Kipp & Zonen) Model CM11B ความละเอียด  $\pm 2W/m^2$  วัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ประกอบด้วย อุณหภูมิภายในเรือนกระจกทั่วไป T(gh), เรือนกระจกที่ติดตั้งปั๊มความร้อนT(ghp), เรือน

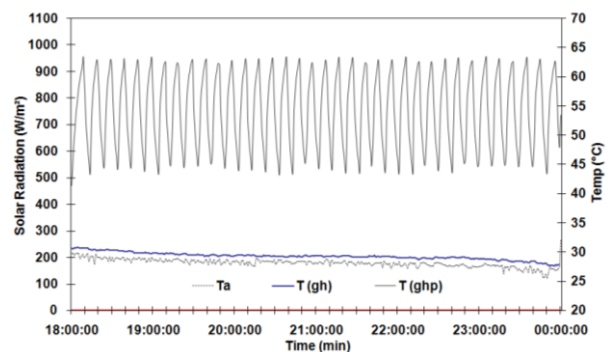
กระจกเสริมสำหรับครอบฮีวาพอเรเตอร์ T(gchp), และ อุณหภูมิภายนอก (Ta) วัดด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ซึ่งมีความละเอียด  $\pm 0.5^\circ C$  บันทึกข้อมูลค่ารังสีและ อุณหภูมิการทดลอง ทุกๆ 1 นาที โดยใช้ Data logger (Yokogawa) Model MV 2000 และวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของปั๊มความร้อน ที่ช่วงเวลาต่างๆ เพื่อนำค่าที่ได้ เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบอบแห้งแบบปั๊มความร้อนร่วมเรือนกระจก แต่ละกรณี ดังแสดงในรูปที่ 2

### 3. ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการทดสอบระบบปั๊มความร้อนร่วมเรือน กระจกเทียบกรณีเรือนกระจกทั่วไป ในช่วงระหว่าง เวลา (9:00-15:00) และ (18:00-24:00) น.เพื่อประเมิน ศักยภาพเชิงอุณหภูมิจากของระบบ สามารถแสดงผลการ ทดลองได้ดังนี้



รูปที่ 3 ค่ารังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของระบบปั๊มความร้อนร่วมเรือนกระจกเทียบกรณี เรือนกระจกทั่วไป ช่วงเวลา (9:00-15:00)





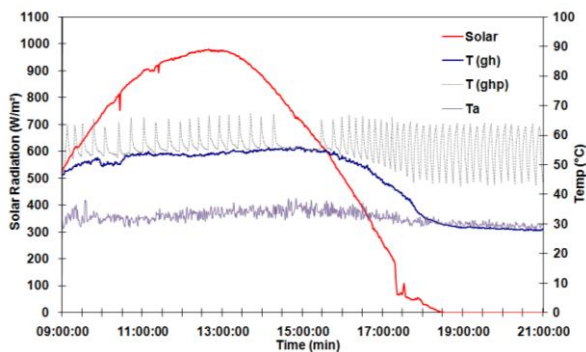
## AEC-70

รูปที่ 4 ค่ารังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของระบบปั๊มความร้อนร่วมเรือนกระจกเทียบกรณี เรือนกระจกทั่วไป ช่วงเวลา (18:00-24:00)

จากการทดสอบ พบว่าอุณหภูมิภายในเรือนกระจกกรณีปั๊มความร้อนร่วมเรือนกระจกมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ตามจังหวะการทำงานของชุดควบคุมอุณหภูมิของปั๊มความร้อนที่ตำแหน่งอากาศเข้าคอนเดนเซอร์ที่  $\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$  คือ  $55^{\circ}\text{C}$  และ  $60^{\circ}\text{C}$

โดยอุณหภูมิภายในเรือนกระจกทั่วไป และปั๊มความร้อนร่วมเรือนกระจก แปรผันตามค่ารังสีอาทิตย์ มีค่าประมาณ  $54^{\circ}\text{C}$  และ  $59^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ ต่างกันประมาณ  $5^{\circ}\text{C}$  ที่ค่ารังสีอาทิตย์  $700-900 \text{ W/m}^2$  ดังแสดงในรูปที่ 3 ในขณะที่กรณีที่ปราศจากรังสีอาทิตย์ มีอุณหภูมิประมาณ  $27^{\circ}\text{C}$  และ  $55^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ โดยต่างกันมากกว่า  $25^{\circ}\text{C}$  ดังแสดงในรูปที่ 4 และเมื่อทำงานต่อเนื่องกัน (9:00-21:00) น. เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ในสภาวะการทำงาน 2 กรณี ได้แก่

กรณีที่ 1. อีวาปอเรเตอร์ของปั๊มความร้อนเปิดสู่บรรยากาศเทียบกับเรือนกระจกทั่วไป สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

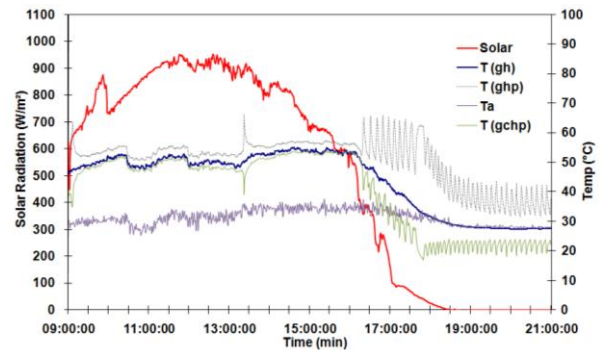


รูปที่ 5 ค่ารังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของระบบปั๊มความร้อนร่วมเรือนกระจกกรณีที่ 1 ช่วงเวลา (9:00-21:00) ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส

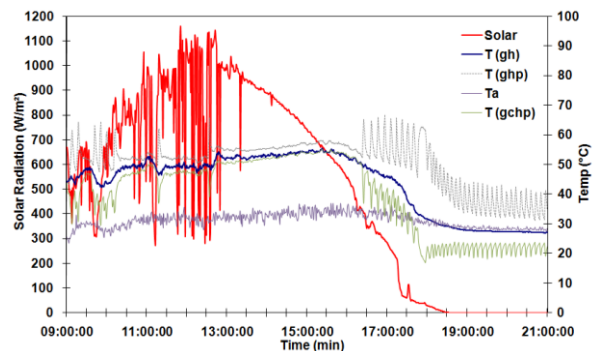
จากในรูปที่ 5 พบว่าอุณหภูมิภายในเรือนกระจกทั่วไป  $T(\text{gh})$  ต่ำกว่าเรือนกระจกที่ติดตั้งปั๊มความร้อน  $T(\text{ghp})$  ประมาณ  $5^{\circ}\text{C}$  ก่อนช่วงเวลาที่ ที่อุณหภูมิ  $55^{\circ}\text{C}$

และ  $60^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ โดยอุณหภูมิลดลงอย่างชัดเจนในเวลา 15:00 น. เนื่องจากการสูญเสียความร้อนและค่ารังสีอาทิตย์ต่ำกว่า  $500 \text{ W/m}^2$  ในขณะที่ปั๊มความร้อนร่วมเรือนกระจก สามารถรักษาอุณหภูมิเฉลี่ยที่ค่า  $55^{\circ}\text{C}$  ด้วยระบบปั๊มความร้อน ส่งผลให้สามารถทำงานต่อเนื่องกัน (9:00-21:00) น. เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

กรณีที่ 2. อีวาปอเรเตอร์ของปั๊มความร้อนครอบด้วยเรือนกระจกเสริม เทียบกับเรือนกระจกทั่วไป สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังนี้



รูปที่ 6 ค่ารังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของระบบปั๊มความร้อนร่วมเรือนกระจกกรณีที่ 2 ช่วงเวลา (9:00-21:00) ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส



รูปที่ 7 ค่ารังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของระบบปั๊มความร้อนร่วมเรือนกระจกกรณีที่ 2 ช่วงเวลา (9:00-21:00) ในวันที่ท้องฟ้าเมฆมาก

จากในรูปที่ 6-7 พบว่าอุณหภูมิภายในเรือนกระจกมีลักษณะเช่นเดียวกันกับกรณีที่ 1 แต่การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่ำกว่า โดยอุณหภูมิจะแปรผันกับค่ารังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิบรรยากาศ ในขณะที่

## AEC-70

ที่อุณหภูมิในเรือนกระจกเสริม T(gchp) สำหรับเป็นแหล่งความร้อนให้ระบบปั๊มความร้อนมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิในเรือนกระจกที่ติดตั้งปั๊มความร้อน T(ghp) ประมาณ 5°C โดยมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายในเรือนกระจกทั่วไป T(gh) ในช่วงเวลา 9:00-16:00 น. หลังจากนั้นอุณหภูมิในเรือนกระจกเสริม T(gchp) มีอุณหภูมิต่ำลง โดยมีค่าประมาณ 20°C ส่งผลให้อุณหภูมิในเรือนกระจกที่ติดตั้งปั๊มความร้อน T(ghp) มีอุณหภูมิลดลงเช่นเดียวกัน โดยมีค่าประมาณ 35°C ในช่วงเวลา 16:00-21:00 น. แปรผันตามความร้อนจากเรือนกระจกเสริมที่ลดลงเมื่อไม่มีรังสีอาทิตย์ และการตัดการทำงานของปั๊มความร้อนเนื่องจากอุณหภูมิด้านอีวาพอเรเตอร์ต่ำกว่า 18°C พบว่าอุณหภูมิในเรือนกระจกส่งผลต่อสมรรถนะทางความร้อนของระบบปั๊มความร้อนตามลำดับ

ในขณะที่การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปั๊มความร้อนกรณีใช้อีวาพอเรเตอร์ของปั๊มความร้อนประกอบด้วยเรือนกระจกเสริม(กรณี 2) ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส (clear day) และในวันที่ท้องฟ้าเมฆมาก (cloudy day) ต่ำกว่า กรณีใช้อีวาพอเรเตอร์ของปั๊มความร้อนเปิดสู่บรรยากาศ (กรณี 1) ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส (clear day) ในช่วงเวลา 15:00, 18:00 และ 21:00 ดังแสดงในตารางที่ 1 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของปั๊มความร้อนร่วมเรือนกระจก กรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 (kWh)

Time	case 1: (clear day)	case 2: (clear day)	case 2: (cloudy day)
9:00	0.00	0.00	0.00
15:00	0.65	0.09	0.33
18:00	1.65	0.98	0.63
21:00	3.51	1.55	1.74

ตารางที่ 2 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของปั๊มความร้อนร่วมเรือนกระจก กรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 ในช่วงเวลาต่างๆ (kWh)

Time	case 1: (clear day)	case 2: (clear day)	case 2: (cloudy day)
09:00:00-15:00:00	0.65	0.09	0.33
15:00:00-18:00:00	1.00	0.89	0.30
15:00:00-21:00:00	2.86	1.46	1.41

จากตารางที่ 2 เมื่อพิจารณาในช่วงเวลา 09:00-15:00น. พบว่าระบบปั๊มความร้อนร่วมเรือนกระจกกรณีที่อีวาพอเรเตอร์ของปั๊มความร้อนประกอบด้วยเรือนกระจกเสริม (กรณีที่ 2) ใช้พลังงานต่ำกว่า กรณีใช้อีวาพอเรเตอร์ของปั๊มความร้อนเปิดสู่บรรยากาศ (กรณีที่ 1) ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส (clear day) เนื่องจากแหล่งความร้อนด้านอีวาพอเรเตอร์ของปั๊มความร้อน (กรณีที่ 2) มีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศ (กรณีที่ 1) มากกว่า 20°C จากปัจจัยของเรือนกระจกที่ครอบ แปรผันตามค่ารังสีอาทิตย์ ส่งผลให้ปริมาณความร้อนด้านอีวาพอเรเตอร์ที่ป้อนเข้าระบบปั๊มความร้อน  $Q_e$  ในขณะที่ความร้อนด้านคอนเดนเซอร์  $Q_c$  ที่ระบายทิ้งในเรือนกระจกค่อนข้างคงที่ เป็นปัจจัยหลักให้กำลังงานที่ป้อนให้แก่คอมเพรสเซอร์  $W_{Comp}$  ต่ำลง และปริมาณการถ่ายเทความร้อนที่สูง ส่งผลให้ระยะเวลาการทำงานของปั๊มความร้อนสั้นลง และมีการต่อ-ตัดการทำงานของปั๊มความร้อนลดลง ส่งผลให้อุณหภูมิโดยรวมคงที่กว่า (กรณีที่ 1) ในช่วงเวลาดังกล่าว โดยค่ารังสีอาทิตย์สูงจะใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนนี้ไต่ลง ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาในช่วงเวลา 15:00-21:00น. พบว่ากรณีที่ 2 ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส และในวันที่ท้องฟ้าเมฆมาก มีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากเป็นช่วงที่ปัจจัยจากรังสีอาทิตย์ลดลงตามลำดับ แต่อุณหภูมิที่ได้จากเรือนกระจกในกรณีที่ 2 ต่ำไม่สามารถประยุกต์ใช้งานได้ ดังนั้นการใช้พลังงานในส่วนนี้ไม่สามารถแสดงความสัมพันธ์ใดๆ ในการประเมินการใช้พลังงานในช่วงเวลา 09:00-21:00น. ได้ อย่างไรก็ตามการใช้พลังงานของปั๊มความร้อนร่วมเรือนกระจกในกรณีที่ 1 ในช่วงเวลา 15:00-21:00น. มีค่าประมาณ 2.86kWh ซึ่งสูงกว่ากรณีที่ 2 แต่มีศักยภาพเชิงอุณหภูมิต่ำสามารถประยุกต์ใช้งานได้ ดังนั้นเพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ต้องออกแบบการทำงานที่เหมาะสมกันระหว่างกรณีที่ 2 และ กรณีที่ 1 ในช่วงเวลาที่มีรังสีอาทิตย์ และไม่มีรังสีอาทิตย์ ตามลำดับ

## 4. สรุป

## AEC-70

ผลการทดสอบในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส ในช่วงเวลา 9:00-15:00 น. พบว่าระบบที่ใช้ป้มนความร้อนร่วมเรือนกระจกเทียบกับเรือนกระจกทั่วไป ที่สภาวะเดียวกัน มีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ  $60^{\circ}\text{C}$  และ  $55^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ โดยป้มนความร้อนใช้พลังงานไฟฟ้า 0.65 kWh (18.5% ของไฟฟ้าทั้งหมด) ในกรณีที่ 1 และมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ  $55^{\circ}\text{C}$  และ  $50^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ โดยป้มนความร้อนใช้พลังงานไฟฟ้า 0.09 kWh (5.8% ของไฟฟ้าทั้งหมด) ในกรณีที่ 2 ต่ำกว่ากรณีที่ 1 ประมาณ 86.15% ตามลำดับ การใช้พลังงานไฟฟ้าจะแปรผกผันกับค่าอุณหภูมิบรรยากาศและค่ารังสีอาทิตย์ โดยระบบอบแห้งแบบป้มนความร้อนร่วมเรือนกระจกมีศักยภาพเชิงอุณหภูมิสูงกว่าเรือนกระจกทั่วไป ประมาณ  $5^{\circ}\text{C}$  มีความสม่ำเสมอไม่เปลี่ยนแปลงตามค่ารังสีอาทิตย์ที่มีค่าต่ำลง ในขณะที่ระบบป้มนความร้อนสามารถเพิ่มระยะเวลาการอบแห้งต่อเนื่องกรณีไม่มีรังสีอาทิตย์ได้ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาในการประยุกต์ใช้งานพบว่ากรณีที่อิวาปอเรเตอร์ของป้มนความร้อนครอบด้วยเรือนกระจกเสริมเป็นแนวทางที่เหมาะสมในช่วงเวลาที่มีรังสีอาทิตย์ และกรณีที่อิวาปอเรเตอร์ของป้มนความร้อนเปิดสู่บรรยากาศ เป็นแนวทางที่เหมาะสมในช่วงเวลาไม่มีรังสีอาทิตย์ซึ่งระบบมีแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยลงเมื่อค่ารังสีอาทิตย์มีค่าสูงและสม่ำเสมอ รวมถึงการตั้งค่าอุณหภูมิควบคุมที่เหมาะสมต่อไป ตามลำดับ

### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัย

### 6. เอกสารอ้างอิง

[1] Fudholi, A., Sopian, K., Ruslan, H.M., Alghoul, M.A. and Sulaiman M.Y. (2010). Review of solar dryers for agricultural and marine products, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14(1), January 2010, pp.1–30.

[2] Roonprasang, N., Namprakai, P. and Pratinthong, N. (2006). Mathematical model and Optimum sizing for a Solar Banana dryer Combined with Parabolic Trough and Phase Change Energy Storage System in Thailand, *KKU Engineering Journal*, vol. 33(5), September-October 2006, pp. 495 – 510. Thai.

[3] Gil, A., Medrano, M., Martorell, I., La.zaro, A., Dolado, P., Zalba, B. and Cabeza, L.F. (2010). State of the art on high temperature thermal energy storage for power generation. Part1- concepts, materials and modellization, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14(1), January 2010, pp.31–55.

[4] Barlev, D., Vidu, R. and Stroeve, P. (2011). Review Innovation in concentrated solar power, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, vol. 95(10), October 2011, pp. 2703–2725.

[5] Daghigh, R., Ruslan, M.H., Sulaiman, M.Y. and Sopian, K. (2010). Review of solar assisted heat pump drying systems for agricultural and marine products, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14(9), December 2010, pp. 2564–2579.

[6] Kara, O., Ulgen, K. and Hepbasli, A. (2008). Exergetic assessment of direct-expansion solar assisted heat pump systems: review and modeling, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 12(5), June 2008, pp. 1383–1401.

[7] Chaturvedi, S.K. and Shen, J.Y. (1984). Thermal performance of a direct expansion solar assisted heat pump, *Solar Energy*, vol. 33(2), 1984, pp. 155–162.

[8] Morrison, G.L. (1994). Simulation of packaged solar heat-pump water heaters, *Solar Energy*, vol. 53(3), September 1994, pp. 249–257.

## AEC-70

- [9] Kuang, Y.H., Wang, R.Z. and Yu, L.Q. (2003). Experimental study on solar assisted heat pump system for heat supply, *Energy Conversion and Management*, vol. 44(7), May 2003, pp.1089–1098.
- [10] Prasertsan, S., Sean-saby, P. and Prateepchaikul, G. (1997). Heat pump dryer. Part 3: experiment verification of the simulation, *International Journal of Energy Research*, vol. 21, June 1997; 1–20.
- [11] Soponronnarit, S., Nathakaranakule, A., Wetchacama, S., Swasdisevi, T. and Rukprang, P. (1998). Fruit drying using heat pump, *International Energy Journal*, vol. 20(1), June 1998, pp.39–53.
- [12] Strommen, I., Eikevik, T.M. and Odilio, A.F. (1999). Optimum design and enhanced performance of heat pump dryers, paper presented in *Abudullah K, Tamaunan AH, Maujumdar AS, editors. Proceedings of the first Asian-Australian drying conference*, Bali, Indonesia.
- [13] Kohayakawa, M.N., Silveria-Junior, V. and Telis-Romero, J. (2004). Drying of mango slices using heat pump dryer, paper presented in *Proceedings of the 14th international drying symposium; 2004*, Sao Paulo City, Brazil.
- [14] Arason, S. (2003). The Drying of Fish and Utilization of Geothermal Energy – The Icelandic Experience, paper presented in *International Geothermal Conference; 2003*, Reykjavik, Iceland.
- [15] Piga, A., Del Caro, A. and Corda, G. (2003). Influence of drying parameters on polyphenols and antioxidant activity, *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, vol. 51(12), June 2003, pp.3675–3681.
- [16] Lewicki, P.P. (2006). Design of hot air drying for better foods, *Trends in Food Science and Technology*, vol. 17(4), April 2006, pp.153–163.
- [17] Jareanjit, J. (2012). A Solar Dryer Technology and Its Development, *KKU Res. J.*, vol. 17(1), January-February 2012, pp.110-124. Thai.
- [18] Sharma, S.J., Sharma, V.K., Ranjana, J.H.A. and Ray, R.A. (1990). Evaluation of the performance of a cabinet type solar dryer, *Energy Conversion & Management*, vol. 30(2), 1990, pp.75–80.
- [19] Minka, C.J. (1986). Potential improvement to traditional solar crop drying in Cameroon: research and development solar drying in Africa, paper presented in *Proceedings of a Workshop held in Dakar*, Senegal.