

การวิเคราะห์สมรรถนะปั๊มความร้อนใช้ R-410A เพื่อการอบแห้ง The Analysis of Heat Pump Performance Using R-410A for Drying

ฉัตรกร ทวีสุทธิ¹ เทอดเกียรติ ลิ้มปีที่ปรการ² สถาพร ทองวิค² และฉัตรชัย นิยมมล³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนในเครื่องอบแห้งโดยใช้ข้าวเปลือกเป็นวัสดุอบแห้ง ทำการวิเคราะห์หาค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลองจริงกับการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์ รวมทั้งการวิเคราะห์หาข้อมูลและข้อบกพร่องในระบบปั๊มความร้อน จุดประสงค์เพื่อเลือกใช้สารทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพและรักษาสีสิ่งแวดล้อม โดยมีตัวแปรของการศึกษาเปรียบเทียบดังนี้คือ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของปั๊มความร้อน (COP_h) และอัตราการอบแห้ง (DR) ในเครื่องอบแห้ง ซึ่งแบ่งการวิจัยเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกศึกษาด้วยการทดลองจริงจากห้องอบแห้งขนาด 8 m^3 เปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้สารทำความเย็น R-22 ผลการเปรียบเทียบค่า COP_h พบว่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 3.6 % แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้สามารถนำไปใช้ทำนายค่า COP_h ในการทดลองได้ จึงได้นำแบบจำลองนี้ไปใช้ในขั้นตอนที่สอง คือศึกษาเปรียบเทียบเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนระหว่างใช้สารทำความเย็น R-410A และ R-22 โดยมีเงื่อนไขใช้ระบบปั๊มความร้อนที่มีขนาดเท่ากันพบว่าค่า COP_h ของ R-410A สูงกว่า R-22 ประมาณ 62 % และค่า DR โดยเฉลี่ยน้อยกว่าประมาณ 5.5 % ดังนั้น R-410A จึงมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนทดแทน R-22 ในอนาคต

คำสำคัญ: ปั๊มความร้อน, การอบแห้ง, สัมประสิทธิ์สมรรถนะ, สารทำความเย็น R-410A

Abstract

This research was conducted to study a performance of heat pump dryer system with selected products of a paddy. The comparison between the experimental drying and the mathematical modeling of heat pump dryer was found to have an error value. Data analysis and the system defect were made. The studies aims to selected the refrigerant that can be use in safety and friendly for global warming protection. The compared valuables were the coefficient of performance of heat pump (COP_h), and drying rate (DR). This study has two part, the first part was made by comparing between the 8 m^3 heat pump dryer and the mathematical modeling with R-22. The study was found to have error of COP_h as 3.6 %. Therefore can be used this modeling simulate to the COP_h in the second part, this modeling used to compare between R-410A and R-22 with equivalent heat pump capacity. It was found that the COP_h of R-410A was higher than R-22 about 62 % but the average DR of R-410A lower than R-22 about 5.5 %. Therefore, the R-410A is suitable to replace the R-22 for a heat pump dryer in the future.

Keywords : Heat pump, Drying, Coefficient of performance, Refrigerant R-410A

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

²อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

³อาจารย์ประจำภาควิชาขนถ่ายวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1. บทนำ

เครื่องอบแห้งปั๊มความร้อน จัดว่าเป็นเครื่องอบแห้งที่มีประสิทธิภาพสูง [1-4] สารทำความเย็นที่ใช้ในงานในเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนมากที่สุดในปัจจุบันคือสารทำความเย็น R-22 แต่ด้วยเหตุผลด้านการทำลายสภาพแวดล้อม สารทำความเย็น R-22 จึงถูกกำหนดให้เลิกใช้โดยประเทศที่พัฒนาแล้วในปี ค.ศ. 2030 ประเทศกำลังพัฒนาในปี ค.ศ. 2040 [5] ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อน (Heat pump dryer) ที่ใช้สารทำความเย็น R-410A ซึ่งเป็นสารทำความเย็นที่ไม่ทำลายชั้นโอโซน เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จึงเป็นสารทำความเย็นที่น่าศึกษาวิจัยเป็นอย่างมาก

สารทำความเย็น R-410A ถูกศึกษาวิจัยพบว่ามีความเป็นไปได้และเหมาะสมที่จะนำมาเปลี่ยนใช้แทน R-22 [5] แต่ยังไม่มีการทดลองหรือจำลองแบบเพื่อดูค่าต่างๆ หรือเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบปั๊มความร้อน และการอบแห้งว่าแตกต่างอย่างไร และการวิจัยที่ผ่านมายังพบว่าสำหรับเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำงานให้สมรรถนะสูงที่สุด [2,5] ดังนั้นเมื่อต้องเปลี่ยนมาใช้สารทำความเย็น R-410A แล้วสมรรถนะของระบบจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น คณะวิจัยจึงทำการทดสอบเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R-22 เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้จำลองเปรียบเทียบสมรรถนะของการอบแห้งแบบปั๊มความร้อนด้วยสารทำความเย็น R-22 และ R-410A โดยใช้ข้าวเปลือกเป็นวัสดุในการอบแห้ง ผลการศึกษาที่ได้จะถูกใช้เป็นแนวทางและสนับสนุนการเปลี่ยนสารทำความเย็นในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

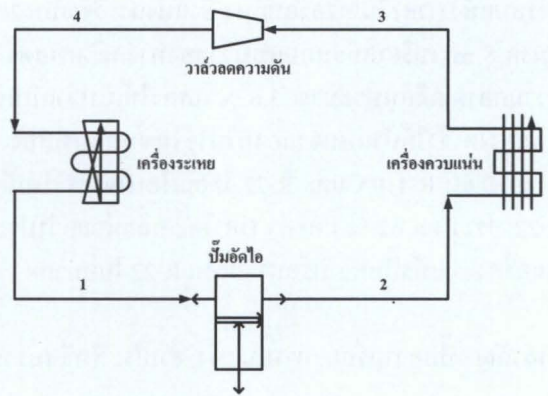
2.1 ศึกษาและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทำนายผลและวิเคราะห์ผล เครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนแทนการทดลองจริง

2.2 ศึกษาและวิเคราะห์ความเหมาะสมในการนำสารทำความเย็น R-410A ใช้ทดแทน R-22 ในเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนในอนาคต

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง [5-6]

3.1 ปั๊มความร้อน

ปั๊มความร้อนจะทำงานโดยอาศัยวัฏจักรต่างๆ ในการวิจัยนี้วิจัยโดยวัฏจักรการอัดไอ โดยมีหลักการตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรทำงานปั๊มความร้อน (Heat pump cycle) [6]

3.1.1 ปั๊มอัดไอ (Compressor)

ทำงานจากสภาวะที่ 1 ถึง 2 คือกระบวนการอัดไอ ที่ป้อนงาน (W_c) ให้กับปั๊มอัดไอจะทำให้อุณหภูมิ เอนทาลปี และความดันสารทำความเย็นเพิ่มสูงขึ้น

$$W_c = h_2 - h_1 \quad (1)$$

เมื่อ

W_c คือ งานที่ให้แกปั๊มอัดไอ, kJ/kg

h_1 คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นก่อนเข้าปั๊มอัดไอ, kJ/kg

h_2 คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากปั๊มอัดไอ, kJ/kg

3.1.3 เครื่องควบแน่น (Condenser)

ทำงานจากสภาวะที่ 2 ถึง 3 คือกระบวนการควบแน่นซึ่งสารทำความเย็นจะคายความร้อน (Q_{Cr}) ให้กับอากาศอบแห้งเป็นการเพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศก่อนการอบแห้ง

$$Q_{Cr} = Q_{out} = h_2 - h_3 \quad (2)$$

เมื่อ Q_{Cr} คือ ความร้อนที่สารทำความเย็นถ่ายเทออกจากเครื่องควบแน่น, kJ/kg

h_3 คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องควบแน่น, kJ/kg

3.1.4 วาล์วลดความดัน (Expansion Valve)

ทำงานจากสภาวะที่ 3 ถึง 4 คือกระบวนการที่สารทำความเย็นไม่มีการถ่ายเทความร้อน

$$h_3 = h_4 \quad (3)$$

เมื่อ h_4 คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นก่อนเข้าเครื่องระเหย, kJ/kg

3.1.5 เครื่องระเหย (Evaporator)

ทำงานจากสภาวะที่ 4 ถึง 1 คือกระบวนการที่สารทำความเย็นรับความร้อน (Q_{Er}) ก่อนเข้าสู่ปั๊มอัดไอ

$$Q_{Er} = Q_{in} = h_1 - h_4 \quad (4)$$

เมื่อ Q_{Er} คือ ความร้อนที่สารทำความเย็นดูดกลืนเอาไว้ในเครื่องระเหย, kJ/kg

3.2 สัมประสิทธิ์สมรรถนะของปั๊มความร้อน (Coefficient of Performance, COP_h)

$$COP_h = Q_{Cr}/W_c = (h_2 - h_3)/(h_2 - h_1) \quad (5)$$

เมื่อ Q_{Cr} คือ ความร้อนที่สารทำความเย็นถ่ายเทออกจากเครื่องควบแน่น, kJ/kg

3.3 ความชื้นในวัสดุ

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุชิ้นหรือแห้ง โดยจะอ้างอิงถึงในรูปของเปอร์เซ็นต์ ความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้เป็น 2 แบบคือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (% (w.b.)) และ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (% (d.b.)) ซึ่งนิยามใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งทางทฤษฎี

$$M = (m_w - m_d) / m_d \quad (6)$$

เมื่อ M คือ ความชื้นวัสดุ, % (d.b.)

m_w คือ มวลของวัสดุ, kg

m_d คือ มวลของวัสดุแห้ง (ไม่มีความชื้น), kg

3.4 เครื่องอบแห้ง

เครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนมีหลักการทำงานและส่วนประกอบ คือ ห้องอบแห้งปั๊มความร้อนซึ่งเป็นส่วนที่ต้องการอบแห้งวัสดุและวัสดุอบแห้งได้ถูกบรรจุอยู่ภายในนั้น เมื่อวัสดุได้รับความร้อนจะระเหยน้ำออกมาพร้อมกับลมอบแห้งแล้วจะเคลื่อนที่ผ่านเครื่องระเหยเพื่อควบแน่นน้ำพร้อมกับถ่ายเทความร้อนออก จากนั้นลมร้อนจะไหลไปยังเครื่องควบแน่นซึ่งลมร้อนจะได้รับพลังงานความร้อนสูงขึ้นและส่งไปที่ห้องอบหมუნวนกระทั่งได้ความชื้นวัสดุตามที่ต้องการ ซึ่งในทางทฤษฎีจะสามารถทำนายค่าต่างๆ ด้วยการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์ด้วยสมการหลัก 7 ถึง 11 ดังนี้

$$-Q_D/m_a = C_a T_{do} + w_{do} C_v T_{do} + W_{do} h_{fg,0} - C_a T_{di} - w_{di} (h_{fg,0} + C_v T_{di}) + R_p \cdot dU_{pw} + R_d \cdot dU_d \quad (7)$$

เมื่อ C_a คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศ, $kJ/kg^\circ C$
 C_v คือ ความร้อนจำเพาะของไอน้ำที่ปริมาตรคงที่,
 $kJ/kg^\circ C$

dU_d คือ การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในจำเพาะของ
 ตู้อบแห้ง, kJ/kg

dU_{pw} คือ การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในต่อมวลแห้ง
 ของผลิตภัณฑ์, kJ/kg

$h_{fg,0}$ คือ ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำที่ $0^\circ C$
 (2502 kJ/kg)

m_a คือ อัตราการไหลเชิงมวลอากาศแห้ง, $kg_{dry\ air}/hr$

Q_D คือ อัตราความร้อนที่เครื่องอบแห้ง, kJ/hr

R_p คือ อัตราส่วนของมวลแห้งผลิตภัณฑ์ต่อมวล
 อากาศแห้ง, $kg_{products}/kg_{dry\ air}$

R_d คือ อัตราส่วนของมวลเครื่องอบแห้งต่อมวล
 อากาศแห้ง, $kg_{dryer}/kg_{dry\ air}$

T_{di} คือ อุณหภูมิอากาศก่อนอบแห้ง, $^\circ C$

T_{do} คือ อุณหภูมิอากาศหลังอบแห้ง, $^\circ C$

w_{di} คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศก่อนการอบ
 แห้ง, $kg_{water}/kg_{dry\ air}$

w_{do} คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศหลังอบแห้ง,
 $kg_{water}/kg_{dry\ air}$

$$-Q_{Ea} = -(m_a/3600) \cdot C_a(T_{do} - T_{ci}) - w_{do}(h_{fg,0} + C_v T_{do}) \quad (8)$$

เมื่อ Q_{Ea} คือ พลังงานความร้อนในอากาศถ่ายเทให้เครื่อง
 ระเหย, kW

T_{ci} คือ อุณหภูมิอากาศก่อนเครื่องควบแน่น, $^\circ C$

$$Q_{Ca} = (m_a/3600)(C_a + w_{di} C_v)(T_{di} - T_{ci}) - W_s \quad (9)$$

เมื่อ Q_{Ca} คือ พลังงานภายนอกที่เครื่องควบแน่น ดูดกลืน,
 kW

$$W_s = \Delta P(m_a/\rho_a \eta_f)/(3.6 \times 10^6) \quad (10)$$

เมื่อ ΔP คือ ความดันลดของระบบ, Pa

ρ_a คือ ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m^3

η_f คือ ประสิทธิภาพของพัดลม, เศษส่วน

W_s คือ งานเพลลาที่พัดลม, kW

$$DR = MER = (m_p/R_p \cdot dt) \cdot (M_i - M_f) \quad (11)$$

เมื่อ dt คือ ช่วงเวลาอบแห้งที่ใช้คำนวณ, hr

DR คือ อัตราการอบแห้ง, $kg\ vapor/hr$

M_i คือ ความชื้นของผลิตภัณฑ์ก่อนอบ, % (d.b.)

M_f คือ ความชื้นผลิตภัณฑ์หลังอบ, % (d.b.)

MER คือ อัตราการควบแน่นน้ำที่เครื่องระเหย,
 $kg\ water\ cond./hr$

m_p คือ มวลแห้งของผลิตภัณฑ์, kg

4. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

4.1 วัสดุ และอุปกรณ์

การศึกษาประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือขั้นตอนแรก
 ทำการทดลองจริงด้วยเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนใช้
 R-22 เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับแบบ
 จำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าคลาดเคลื่อนและนำแบบ
 จำลองมาใช้ในการศึกษาขั้นตอนที่ 2 เพื่อใช้จำลองแบบ
 กับสารทำความเย็น R-410 A และ R-22 โดยมีวัสดุและ
 อุปกรณ์การทดลองดังนี้

4.1.1 ข้าวเปลือกจำนวน 100 kg เป็นวัสดุอบแห้งความ
 ชื้นไม่เกิน 20 % (d.b.)

4.1.2 สารทำความเย็น R-22 จำนวน 4 kg

4.1.3 ตู้อบแห้งขนาด 8 m^3 ระบบปั๊มความร้อนขนาด
 1200 Btu/hr แสดงตามรูปที่ 2

4.1.4 เครื่องมือวัดความเร็วลม

4.1.5 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ ความดัน

4.1.6 อุปกรณ์วัดปริมาณน้ำ

4.1.7 เครื่องมือวัดความชื้นข้าวเปลือก

4.1.8 เครื่องวัดปริมาณกระแสไฟฟ้า

4.2 วิธีการทดลอง

เพื่อการประเมินค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน (COP_h) ต้องรวบรวมค่าต่างๆ ทุก 1 ชั่วโมง เช่นความชื้นข้าวเปลือก (M_p), อุณหภูมิการอบแห้ง, กระแสไฟฟ้า, ความดัน อุณหภูมิสารทำความเย็น และปริมาณน้ำที่กลั่นออกมา ในแต่ละชั่วโมงโดยมีขั้นตอนคือ

4.2.1 เดินเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนใช้ R-22 ตามรูปที่ 2 จนกว่าอุณหภูมิอบแห้งได้ประมาณ 50 °C

4.2.2 นำข้าวเปลือก 100 kg ความชื้น 18 %(d.b.) บรรจุบนถาดในเครื่องอบแห้ง

4.2.3 ทำการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยตู้อบแห้งเป็นเวลา 10 ชั่วโมง ควบคุมและตรวจสอบสถานะ ที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือก คือ ควบคุมอุณหภูมิอบแห้ง 50 - 60 °C ความเร็วลมอบแห้ง 0.6 m/s

4.2.4 ตรวจสอบค่าต่าง ๆ และบันทึกข้อมูลค่าตัวแปรต่างๆ ชั่วโมงเป็นเวลา 10 ชั่วโมง

4.2.5 นำข้อมูลไปหาความสัมพันธ์กับเวลา พลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน และคำนวณค่า COP_h เปรียบเทียบผลกับแบบจำลองหาค่าคลาดเคลื่อน



รูปที่ 2 เครื่องอบแห้งปั๊มความร้อน

4.3 วิธีการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์

หลักการจำลองแบบ อาศัยสมการหลักที่ 1-11 ด้วยกฎอนุรักษ์มวลและกฎอนุรักษ์พลังงานและมีสมการย่อยอีกมากไม่สามารถแสดงได้ทั้งหมด โดยสมมุติฐานคือ มีสมดุลทางความร้อนระหว่างอากาศและผลิตภัณฑ์ การไหลของอากาศอบแห้งสม่ำเสมอ สารทำความเย็นมีสถานะไอสมบูรณ์ ของเหลวอิ่มตัว ปั๊มอัดไอทำงานด้วยวัฏจักรโพลีโทรปิก วาล์วลดแรงดันทำงานด้วยวัฏจักรไอเซนทาลปิก (Isenthalpic) และไม่มีการสูญเสียความดันแบบจำลองประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ คือ ระบบอบแห้งและระบบปั๊มความร้อน โดยมีขนาดระบบเท่ากัน คือ กำลังมอเตอร์ปั๊มอัดไอ 1.15 kW อุปกรณ์ระบบปั๊มความร้อนทั้งหมดท่อ และห้องอบแห้งเท่ากันทั้ง 3 แบบจำลอง คือ

4.3.1 แบบจำลองด้วย R-22 เปรียบเทียบกับการทดลองใช้เวลาจำลองการอบแห้ง 10 ชั่วโมง

4.3.2 แบบจำลองด้วย R-22 เปรียบเทียบกับการจำลองด้วย R-410A ใช้เวลาจำลองการอบแห้งจนกระทั่งความชื้นน้อยกว่า 14 %

4.3.3 แบบจำลองด้วย R-410A เปรียบเทียบกับ R-22 ในแบบจำลองที่ 2 โดยใช้เวลาจำลองเท่ากัน เพื่อวิเคราะห์การใช้สารทำความเย็น R-410A

5. ผลและวิจารณ์

5.1 ผลการทดลอง (Experimental)

จากการทดลองด้วยเครื่องอบแห้งจะเห็นว่าการลดลงของความชื้นข้าวเปลือกมีการลดลงแปรผันกับเวลาในการอบแห้งเมื่อดูที่อัตราการอบแห้ง (DR) หรือปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกที่ระเหยออกระหว่างการอบแห้ง จะเห็นว่าค่า DR ประมาณ 0.24 kg vapor/hr ซึ่งแสดงถึงอัตราการอบแห้ง ผลการทดลองค่าอื่นๆ คือ ค่า MER มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.24 kg vapor/hr และค่าเฉลี่ย COP_h เท่ากับ 4.21 ผลการทดลองเฉลี่ยอื่นๆ ในเวลาอบแห้ง 10 ชั่วโมงแสดงในตารางที่ 1. และรูปที่ 3-7

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบการทดลองและการจำลองแบบ

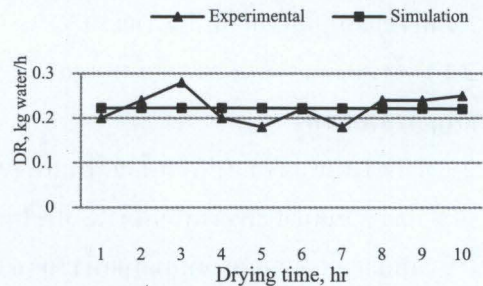
รายละเอียด	ผลการศึกษา (ค่าเฉลี่ย)	
	ทดลองจริง	จำลองแบบ
เวลาในการอบแห้ง(t), h	10	10
ความชื้นเริ่มต้น (% d.b.)	18	18
ความชื้นสุดท้าย (% d.b.)	15.70	15.75
อุณหภูมิอากาศอบแห้งก่อนเข้าห้องอบแห้ง (°C)	54.20	53.33
น้ำหนักข้าวเปลือกเริ่มต้น (M_{pi}), kg	100	100
น้ำหนักข้าวเปลือกที่เหลือ (M_{pf}), kg	98.05	98.09
กำลังงานที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดไอ (W_c), kW	1.15	1.15
MER, kg water/hr	0.2400	0.2392
DR, kg vapor/hr	0.2400	0.2392
COP_h	4.27	4.43

5.2 ผลการเปรียบเทียบ

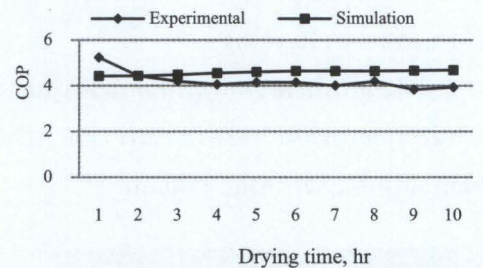
ผลการจำลองแบบโดยใช้ R-22 ในการอบแห้งเปรียบเทียบกับทดลอง โดยใช้เวลา 10 ชั่วโมง เท่ากัน และขนาดปั๊มความร้อนคือ 12,000 Btu/hr กำลังงานมอเตอร์ 1.15 kW เท่ากันทั้งแบบจำลองและการทดลอง รวมถึงอุปกรณ์ต่างๆ ก็มีขนาดเท่ากัน จะเห็นว่าจากการศึกษาเปรียบเทียบได้ผล แสดงตามตารางที่ 1. และรูปที่ 4-7 กล่าวคือ ค่าความชื้นข้าวเปลือกสุดท้าย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.75 และ 15.70 % (d.b.) โดยได้อุณหภูมิอบแห้งใกล้เคียงกันคือ 54.20 °C และ 53.33 °C อัตราการอบแห้งเท่ากับ 0.23 และ 0.24 kg water/hr ค่า COP_h มีค่า 4.43 และ 4.27 ตามลำดับ

5.3 วิเคราะห์แบบจำลอง

การเปรียบเทียบการจำลองแบบกับการทดลอง จะเห็นว่าค่า COP_h ที่ได้มีความใกล้เคียงกันในแต่ละชั่วโมงโดยมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 3.6% มีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับการวิจัยที่ผ่านมาซึ่งอยู่ที่ 10 % [4] หากพิจารณาความคลาดเคลื่อนเกิดจากการไม่ได้พิจารณาความสูญเสียความดันและการรั่วไหลในระบบแสดงว่าแบบจำลอง มีความเหมาะสมในการทำนายผลแทนการทดลองจริงได้



รูปที่ 3 อัตราการอบแห้ง (DR)



รูปที่ 4 สมรรถนะปั๊มความร้อน (COP_h)

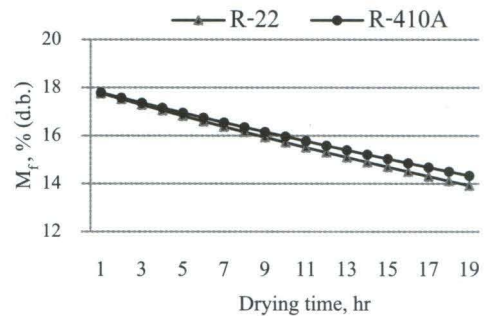
5.4 วิเคราะห์สารทำความเย็น

ผลการเปรียบเทียบสารทำความเย็น R-410A กับ R-22 ตามตารางที่ 2. และรูปที่ 5 -7 จะเห็นว่า R-410A มีอุณหภูมิอบแห้งต่ำกว่า R-22 เนื่องจากคุณสมบัติของสารทำความเย็นที่มีขีดจำกัดด้านแรงดันทำให้ไม่สามารถทำอุณหภูมิที่สูงกว่าซึ่งจะทำให้ระบบปั๊มความร้อนเสียหาย ส่วนค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะสูงกว่า R-22 ประมาณ 62 % เหตุผลเพราะสารทำความเย็น R-410A มีคุณสมบัติทางกายภาพ และดูดกลืนพลังงานความร้อนได้ดีมาก ซึ่งจากข้อมูลของผู้ผลิตในระบบทำความเย็นสามารถทำได้

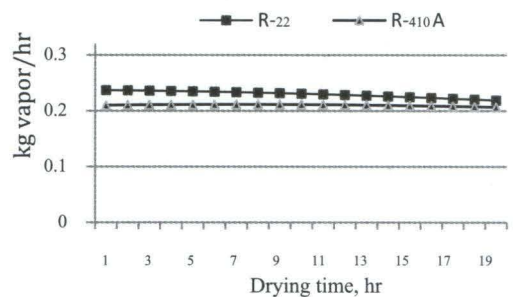
สูงประมาณ 48 % ส่วนอัตราการอบแห้งมีผลใกล้เคียงกัน โดยมีค่าแตกต่างกัน 5.5 % เนื่องจากการดูดกลืนความร้อนได้ดี ทำให้การควบแน่นน้ำที่เครื่องระเหยทำได้ดี รวมถึงปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกมามีมากกว่า R-22 แม้ว่าอุณหภูมิอบแห้งต่ำกว่า ประมาณ 10 °C ส่วนด้านการใช้พลังงาน สูงกว่าประมาณ 5.9 % แสดงให้เห็นว่า R-410A มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับ R-22 เหมาะสมที่จะนำมาใช้ทดแทนได้

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบระหว่าง R-410A และ R-22

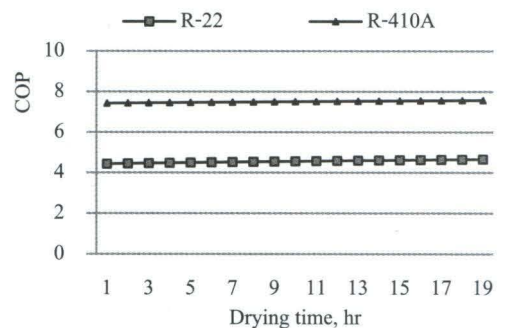
รายละเอียด	ผลการศึกษา (เฉลี่ย)	
	R-22	R-410A
เวลาในการอบแห้ง, h	19	19
ความชื้นเริ่มต้น, %(d.b.)	18.00	18.00
ความชื้นสุดท้าย, %(d.b.)	13.89	14.32
อุณหภูมิอบแห้ง, °C	55.0	44.1
น้ำหนักข้าวเปลือกเริ่มต้น (M_{pi}), kg	100	100
น้ำหนักข้าวเปลือกที่เหลือ (M_{pf}), kg	95.96	96.39
อัตราการระเหยน้ำ (MER), kg water/ hr	0.2010	0.1898
อัตราการอบแห้ง, (DR), kg vapor/hr	0.218	0.206
สมรรถนะปั๊มความร้อน (COP_h)	4.53	7.50



รูปที่ 5 ค่าความชื้นข้าวเปลือกหลังอบแห้ง (M_p)



รูปที่ 6 อัตราการอบแห้ง (DR)



รูปที่ 7 สมรรถนะปั๊มความร้อน (COP_h)

6. สรุปผลการวิจัย

การจำลองแบบทางคณิตศาสตร์สามารถทำนายผลแทนการทดลองจริงได้โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 3.6 % ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบที่ใช้สารทำความเย็น R-410A มีค่ามากกว่าสารทำความเย็น R-22 ประมาณ 62 % และค่าอัตราการอบแห้งน้อยกว่าประมาณ 5.5% ดังนั้น R-410A มีความเหมาะสมและเป็นไปได้ที่จะนำมาทดแทน R-22 ในเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนในอนาคต

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ อาจารย์ เจ้าหน้าที่ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และแผนกวิชาเครื่องทำความเย็นและปรับอากาศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา ที่อำนวยความสะดวกด้าน ข้อมูลสถานที่ และอุปกรณ์ในการทดลอง

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] ฐานิตย์ เมธิยานนท์. 2541. การอบแห้งโดยใช้พลังงานความร้อนในระดับอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [2] ประพจน์ ชัยวรวิทย์กุล, 2543 การศึกษาการใช้ความร้อนในการบ่มใบยาสูบ วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- [3] ไพโรจน์ จันทร์แก้ว, 2553. การออกแบบเครื่องอบแห้งป้อนความร้อนแบบ 2 วัฏจักรสำหรับอบกล้วยน้ำว้า. งานประชุมวิชาการการถ่ายเทความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนครั้งที่ 9 11-12 มีนาคม 2553 จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
- [4] Jose' A.R.P, 1986, **Simulation of Vapour compression heat pump**. Simulation 46 (2)
- [5] Teebooma,U. Soponronnarit,S. and Tainsuwan,J., 2002. **Optimization of fruit dryer**. The 13th International Drying Symposium. 27-30 August 2002. Beijing, China,
- [6] Kiatsiriroat T. V orayos N. and Nuntaphan A., 2001. **Feasibility of Using Ice Thermal Energy Storage with Direct Contact Evaporator in an Office Building**. Asian journal of energy and Environment, Volume 2 September – December 2001