

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

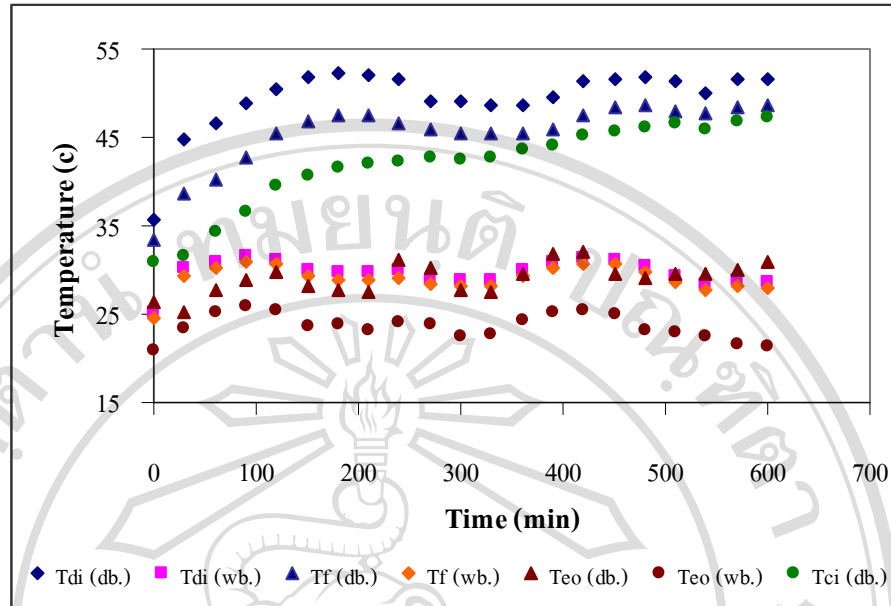
งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินสมรรถนะการอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน โดยศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ และสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยที่มีผลต่อสมรรถนะการอบแห้งสมุนไพร เปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ เครื่องควบแน่นตัวนอกระบายความร้อน และใช้อินเวอร์เตอร์ (inverter) ปรับรอบมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องอัดไอ และศึกษาความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

4.1 ผลการทดลองอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนเพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ และสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยที่มีผลต่อสมรรถนะการอบแห้งสมุนไพร

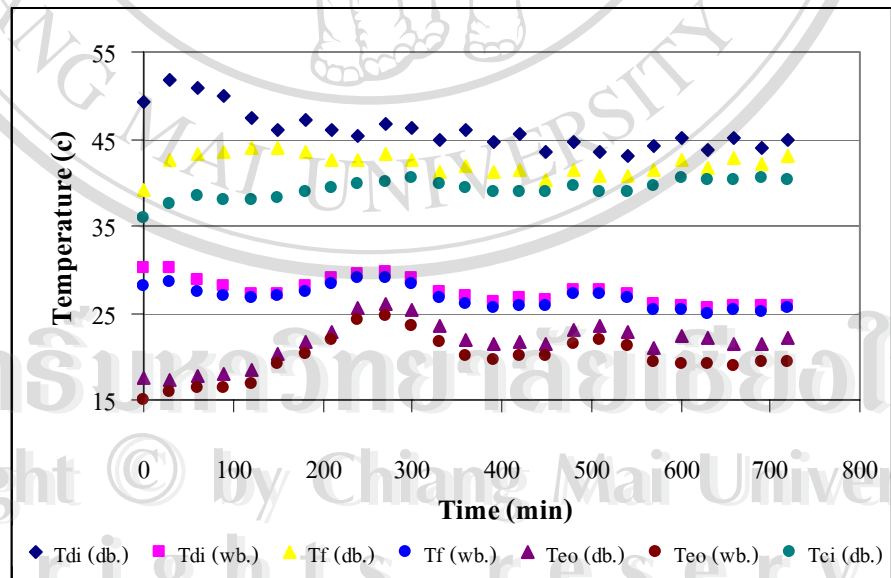
ในการทดสอบจะใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เครื่องควบแน่นตัวนอกระบายความร้อน อบแห้งใบมะกรูด 7.5 kg อุณหภูมิอบแห้ง 45°C และ 50°C ที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 60%, 70% และ 80% ความเร็วลม 0.6 m/s และอัตราการไหลจำเพาะของอากาศ $592 \text{ kg}_{\text{dry air}} / \text{kg}_{\text{dry product}} \text{ h}$

4.1.1 อุณหภูมิกระแสอากาศในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เครื่องควบแน่นตัวนอกระบายความร้อน

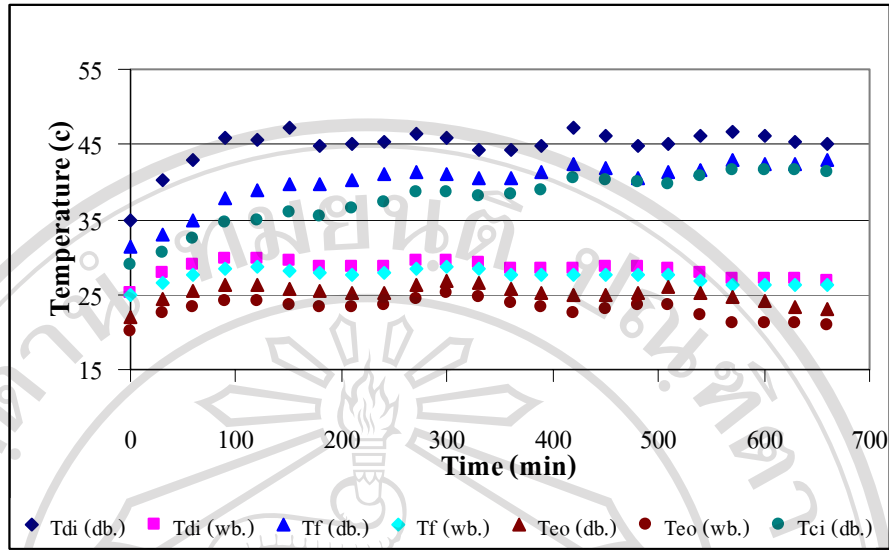
ในระหว่างการอบแห้งใบมะกรูดจะมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เวลาใดๆ โดยอบแห้ง ที่อุณหภูมิอบแห้ง (T_{di}) 50°C ที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80% และอุณหภูมิอบแห้ง 45°C ที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 60%, 70% และ 80% พบว่าอุณหภูมิอบแห้ง จะเริ่มคงที่หลังจากอบไปแล้วประมาณ 90 นาที ดังรูป 4.1 4.2 4.3 และ 4.4



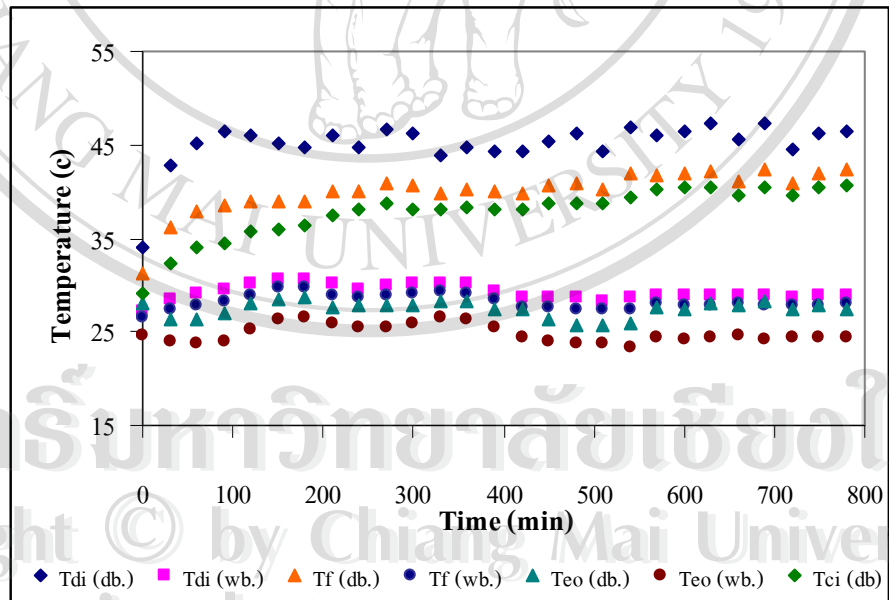
รูป 4.1 อุณหภูมิกระแสอากาศในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน เมื่ออบแห้งใบมะกรูดที่อุณหภูมิ 50°C สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80% ใบมะกรูดความชื้นเริ่มต้น 238.5% และความชื้นสุดท้าย 10.1% db



รูป 4.2 อุณหภูมิกระแสอากาศในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน เมื่ออบแห้งใบมะกรูดที่อุณหภูมิ 45°C สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80% ใบมะกรูดความชื้นเริ่มต้น 238.6% db. และความชื้นสุดท้าย 10.5% db.



รูป 4.3 อุณหภูมิกระแสอากาศในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน เมื่ออบแห้งใบมะกรูดที่อุณหภูมิ 45⁰C สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 70% ใบมะกรูดความชื้นเริ่มต้น 240.2% db. และความชื้นสุดท้าย 11.2% db

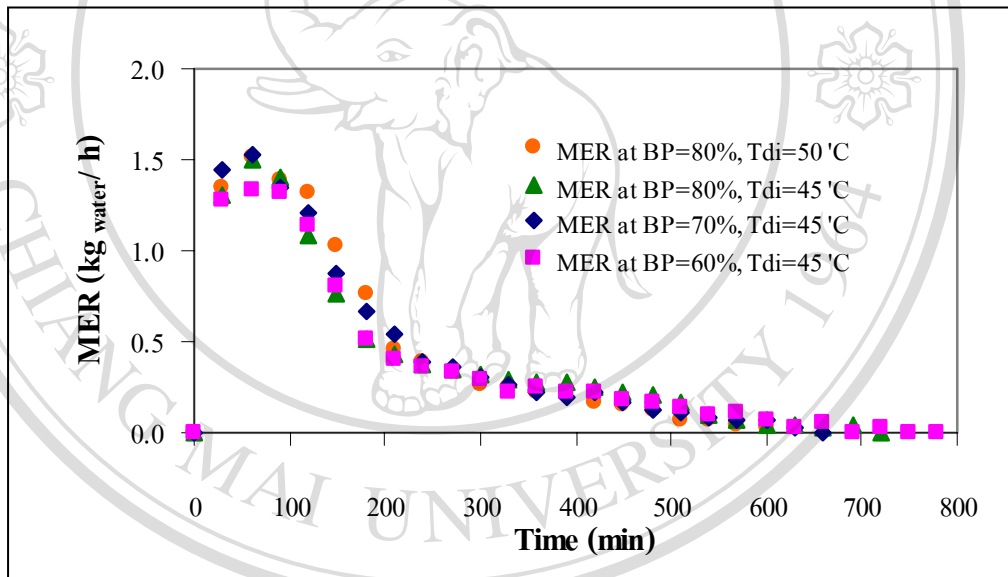


รูป 4.4 อุณหภูมิกระแสอากาศในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน เมื่ออบแห้งใบมะกรูดที่อุณหภูมิ 45⁰C ที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 60% ใบมะกรูดความชื้นเริ่มต้น 242.3% db. และความชื้นสุดท้าย 13% db.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

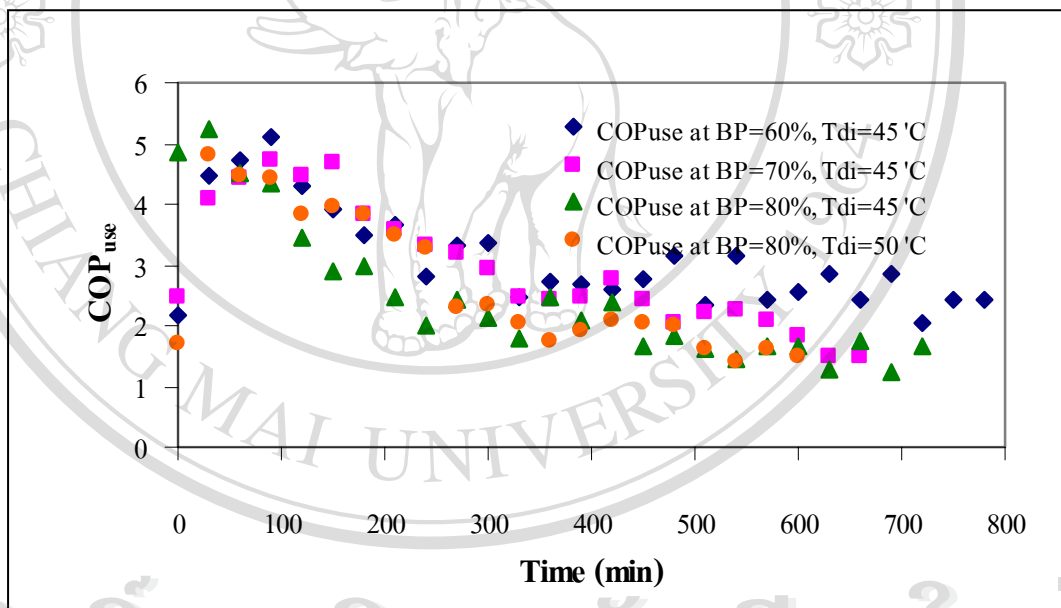
4.1.2 อัตราการดึงน้ำออก ในการทดลองอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งแบบป้อนความร้อน ที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เครื่องควบคุมแรงดันนํ้าออกระบายความร้อน

จากข้อมูลปริมาณน้ำกลั่นตัวที่เครื่องทำระเหยในการทดลองอบแห้งใบมะกรูดโดยใช้ อุณหภูมิอบแห้ง 50°C ที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80% และอุณหภูมิอบแห้ง 45°C ที่ สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 60%, 70% และ 80% และได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์หาอัตราการดึง น้ำออก ซึ่งแสดงตามรูป 4.5 พบว่าทุกการทดลองมีแนวโน้มของอัตราการดึงน้ำออกลดลงเมื่อเวลา การอบแห้งเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิอบแห้ง 50°C สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80% มีอัตราการ ดึงน้ำออกเฉลี่ยสูงสุด ที่ $0.51 \text{ kg}_{\text{water}} / \text{h}$ และที่อุณหภูมิอบแห้ง 45°C สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำ ระเหย 80%, 70% และ 60% มีอัตราการดึงน้ำออกเฉลี่ย 0.42, 0.46 และ $0.37 \text{ kg}_{\text{water}} / \text{h}$ ตามลำดับ



รูป 4.5 การเปรียบเทียบอัตราการดึงน้ำออก ของอุณหภูมิอบแห้ง 50°C ที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่อง ทำระเหย 80% และอุณหภูมิอบแห้ง 45°C ที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 60%, 70% และ 80% อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ $592 \text{ kg}_{\text{dry air}} / \text{kg}_{\text{dry product}} - \text{h}$

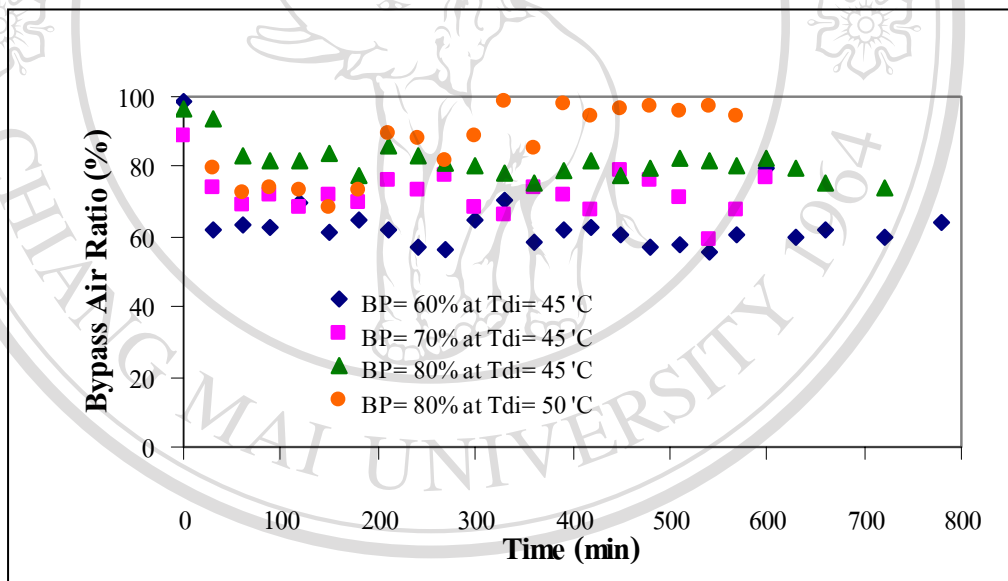
4.1.3 สัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบปั๊มความร้อนในการทดลองอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบปั๊มความร้อน จากผลการทดลองอบแห้งใบมะกรูดโดยใช้อุณหภูมิอบแห้ง 50°C ที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80% และอุณหภูมิอบแห้ง 45°C ที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 60%, 70% และ 80% และได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบปั๊มความร้อนที่ใช้ประโยชน์ ซึ่งแสดงตามรูป 4.6 พบว่าทุกการทดลองมีแนวโน้มของสัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบปั๊มความร้อนที่ใช้ประโยชน์ลดลงเมื่อเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิอบแห้ง 45°C สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 60% มีสัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบปั๊มความร้อนที่ใช้ประโยชน์สูงสุดที่ 3.54 ทั้งนี้ เพราะใช้อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ผ่านเครื่องทำระเหยมากทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องทำระเหยมากขึ้นตามไปด้วย



รูป 4.6 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบปั๊มความร้อนที่ใช้ประโยชน์ (COP_{use}) ของอุณหภูมิอบแห้ง (T_{di}) ที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80% และอุณหภูมิอบแห้ง (T_{di}) 45°C ที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 60%, 70% และ 80% อัตราการไหลเฉพาะของอากาศ $592 \text{ kg}_{\text{dry air}} / \text{kg}_{\text{dry product}} \text{ h}$

4.1.4 การเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนอากาศที่ข้ามเครื่องทำระเหยที่เวลาใดๆ ในการทดลองอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เครื่องควบแน่นตัวนอกระบายความร้อน

ในการทดลองอบแห้งใบมะกรูด ที่ความเร็วลมก่อนเข้าห้องอบแห้ง 0.6 m/s และอัตราการไหลจำเพาะของ อากาศ $592 \text{ kg}_{\text{dry air}} / \text{kg}_{\text{dry product}} \cdot \text{h}$ จะเห็นว่าสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดการทดลอง ดังรูปที่ 4.7 โดยจะเปลี่ยนแปลงจากการที่ตั้งค่าก่อนการอบแห้งประมาณ 15% เช่นที่อุณหภูมิแห้ง 50°C ตั้งค่าสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยที่ 80% เมื่อเฉลี่ยสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยตลอดการอบแห้งมีค่า 83% และที่อุณหภูมิอบแห้ง 45°C ตั้งสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยที่ 80%, 70% และ 60% เมื่อเฉลี่ยสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยตลอดการอบแห้งมีค่า 83%, 74% และ 65% ตามลำดับ



รูป 4.7 สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยเมื่ออบแห้งใบมะกรูดที่ อัตราการไหลจำเพาะของ

ความเร็วลม 0.6 m/s อากาศ $600 \text{ kg}_{\text{dry air}} / \text{kg}_{\text{dry product}} \cdot \text{h}$

4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ และสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยที่มีผลต่อสมรรถนะการอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

4.2.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิมอบแห้ง ที่มีผลต่อสมรรถนะการอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

จากการทดลองอบแห้งใบมะกรูดโดยใช้อุณหภูมิมอบแห้ง 45°C และ 50°C ที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80% ได้ผลการทดลองแสดงไว้ตามภาคผนวก ข 1 และข 2 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์หาสมรรถนะการอบแห้งของแต่ละอุณหภูมิ โดยวิเคราะห์ด้วยกัน 3 ด้านคือ สมรรถนะการใช้พลังงาน ความสามารถในการอบแห้ง และสมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน รวมถึงประเมินคุณภาพใบมะกรูดหลังอบแห้ง ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์สมรรถนะ และผลการประเมินคุณภาพใบมะกรูดหลังอบแห้ง แสดงไว้ตามตาราง 4.1

ตาราง 4.1 ผลการวิเคราะห์สมรรถนะการอบแห้งใบมะกรูดด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิมอบแห้ง 45°C และ 50°C ที่ สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80 % ความเร็วลม 0.6 m/s และอัตราการไหลของอากาศจำเพาะ $592 \text{ kg}_{\text{dry air}} / \text{kg}_{\text{dry product}} \text{ h}$

เงื่อนไข	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2
อุณหภูมิมอบแห้ง (T_{di}) $^{\circ}\text{C}$	45	50
ความชื้นเริ่มต้น (M_{in}), %db.	238.55	238.52
ความชื้นสุดท้าย (M_f), %db.	10.46	10.09
เวลาอบแห้ง (DT), h	12	10
อัตราการอบแห้งเฉลี่ย (DR_{avg}), $\text{kg}_{\text{water}} / \text{h}$	0.41	0.5
อัตราการดึงน้ำออกเฉลี่ย (MER_{avg}), $\text{kg}_{\text{water}} / \text{h}$	0.42	0.51
อัตราการระเหยน้ำจำเพาะเฉลี่ย ($SMER_{avg}$), $\text{kg}_{\text{water}} / \text{kW} \text{ h}$	0.22	0.26
สัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบปั๊มความร้อนที่ใช้ประโยชน์ ($COP_{use avg}$)	2.39	2.75
คุณภาพใบมะกรูดหลังอบแห้ง	ยอมรับ	ไม่ยอมรับ

จากตาราง 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์สมรรถนะการอบแห้งสมุนไพร และผลการประเมินคุณภาพใบมะกรูดอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 45°C และ 50°C พบว่า การอบแห้งใบมะกรูดที่อุณหภูมิ 50°C มีสมรรถนะการอบแห้งดีกว่า ซึ่งพิจารณาได้จาก อัตราการอบแห้ง 0.5 kg_{water} /h , อัตราการควบแน่น 0.51 kg_{water} /h , อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ 0.26 kg_{water} /kW-h และสัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบปั๊มความร้อนที่ใช้ประโยชน์ 2.75 โดยมีค่าสูงกว่าการอบแห้งใบมะกรูดที่อุณหภูมิ 45 °ทั้งหมด เนื่องจากอุณหภูมิต่ำที่เพิ่มขึ้นทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องอบแห้งลดลง และความต่างศักย์ของความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิววัสดุกับไอน้ำในอากาศเพิ่มขึ้น ส่งผลให้น้ำในวัสดุระเหยตัวได้ง่ายขึ้นทำให้ระยะเวลาอบแห้งสั้นลงและใช้พลังงานลดลงตามมา แต่เมื่อมาพิจารณาด้านคุณภาพของใบมะกรูดหลังอบแห้งพบว่า ที่อุณหภูมิต่ำที่ 50 °C ใบมะกรูดหลังอบแห้งมีสีเหลือง และน้ำตาลบางส่วน ดังรูป 4.8 ซึ่งมีคุณภาพไม่เป็นที่ยอมรับของท้องตลาด อันมีสาเหตุมาจากปฏิกิริยา Pheophytinization เนื่องจากใบมะกรูดมีคลอโรฟิลล์ (Chlorophylls) เป็นสารให้สีเขียว โดยโครงสร้างโดยทั่วไปจะประกอบด้วย วงแหวนพอร์ไฟลิน (Porphyrin) ต่อกับส่วนหมู่ไฟทอล (Phytol) และมีอะตอมของแมกนีเซียมอยู่ตรงกลางวงแหวนพอร์ไฟลินจะเป็นส่วนที่ง่ายต่อการถูกทำลายด้วย แสง กรด และความร้อน โดยเกิดการแทนที่ของแมกนีเซียมด้วยไฮโดรเจน เป็นผลให้โครงสร้างถูกทำลาย และเกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลในที่สุด นิธิยา รัตนานนท์.(2543), G.A.F. Hendry ; and J.D. Houghton. (1996) และสาเหตุที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือใบมะกรูดเป็นพืชที่มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบมากกว่าพืชทั่วไปจะนั้นเมื่ออบที่อุณหภูมิสูงก็จะเป็นการเร่งการเกิดปฏิกิริยา Oxidization ได้ง่ายกว่าพืชกลุ่มอื่น. Allen J. St. Angelo.(1992) แต่ใบมะกรูดอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 45 °C มีสีเขียวใกล้เคียงใบมะกรูดสด ดังรูป 4.9 ซึ่งตรงกับความต้องการของตลาดในประเทศไทย และส่งออกต่างประเทศเพื่อใช้ประกอบอาหาร เนื่องจากอุณหภูมิต่ำที่ต่ำกว่า ทำให้ลดการเกิดปฏิกิริยา Pheophytinization และปฏิกิริยา Oxidization กับใบมะกรูดอบแห้งลงได้ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าอุณหภูมิต่ำที่ 50°C ไม่เหมาะสมกับการอบแห้งใบมะกรูด



รูป 4.8 ใบมะกรูดหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C



รูป 4.9 ใบมะกรูดหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 °C

4.2.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย ที่มีผลต่อสมรรถนะ เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

จากการทดลองอบแห้งใบมะกรูดโดยใช้สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยที่ 60%, 70% และ 80% ที่อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้ง 45°C ได้ผลการทดลองแสดงไว้ตามภาคผนวก ข 2 ข 3 และข 4 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์หาสมรรถนะการอบแห้งแต่ละสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย โดยวิเคราะห์ด้วยกัน 3 ด้านคือ สมรรถนะการใช้พลังงาน ความสามารถในการอบแห้ง และสมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน รวมถึงประเมินคุณภาพคุณภาพใบมะกรูดหลังอบแห้ง ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์สมรรถนะ และผลการประเมินคุณภาพใบมะกรูดหลังอบแห้ง แสดงไว้ตามตาราง 4.2

ตาราง 4.2 ผลการวิเคราะห์สมรรถนะการอบแห้งใบมะกรูดด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80 %, 70 % และ 60 % โดยใช้อุณหภูมิอบแห้ง 45°C และความเร็วลม 0.6 m/s อัตราการไหลเฉพาะของอากาศ $592 \text{ kg}_{\text{dry air}} / \text{kg}_{\text{dry product}} - \text{h}$

เงื่อนไข	การทดลอง 1	การทดลอง 2	การทดลอง 3
สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย (BP), %	60	70	45
ความชื้นเริ่มต้น (M_{in}), %db.	242.29	240.19	238.55
ความชื้นสุดท้าย (M_f), %db.	20.51	11.19	10.46
เวลาอบแห้ง (DT), h	13	11	12
อัตราการอบแห้งเฉลี่ย (DR_{avg}), $\text{kg}_{\text{water}} / \text{h}$	0.36	0.44	0.41
อัตราการดึงน้ำออกเฉลี่ย (MER_{avg}), $\text{kg}_{\text{water}} / \text{h}$	0.37	0.46	0.42
อัตราการระเหยน้ำจำเพาะเฉลี่ย ($SMER_{avg}$), $\text{kg}_{\text{water}} / \text{kW} - \text{h}$	0.21	0.26	0.22
สัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบปั๊มความร้อนที่ใช้ประโยชน์ ($COP_{use avg}$)	3.14	2.98	2.39
คุณภาพใบมะกรูด	ไม่ยอมรับ	ยอมรับ	ยอมรับ

จากตาราง 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์สมรรถนะการอบแห้งใบมะกรูดด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 60 % , 70% และ 80% โดยใช้อุณหภูมิอบแห้ง 45 °C พบว่าใบมะกรูดอบแห้งที่ใช้สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยที่ 70% มีสมรรถนะการอบแห้งใบมะกรูดด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนดีที่สุด ซึ่งพิจารณาได้จาก อัตราการอบแห้ง (DR) 0.44 kg_{water} / h , อัตราการคั่งน้ำออก (MER) 0.46 kg_{water} / h , อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER) 0.26 kg_{water} / kW – h และสมรรถนะระบบปั๊มความร้อนที่ใช้ประโยชน์ (COP_{use}) 2.98 รวมถึงมีคุณภาพของใบมะกรูดอบแห้งเป็นที่ยอมรับของท้องตลาด และที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80% ใบมะกรูดมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับเช่นกัน แต่มีสมรรถนะการอบแห้งต่ำกว่า เนื่องจากมีปริมาณอากาศที่ผ่านเครื่องทำระเหยน้อย ส่งผลให้อากาศเมื่อไปผสมกับอากาศส่วนใหญ่ซึ่งเป็นอากาศชื้นทำให้อากาศยังคงมีความชื้นสูงอยู่ ทำให้ใช้เวลาการอบแห้งยาวนานขึ้น และมีความสิ้นเปลืองพลังงานเพิ่มขึ้นตามมา แต่ที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 60% ทำการอบแห้งจนกระทั่งถึงชั่วโมงที่ 13 ความชื้นของใบมะกรูดยังคงเหลือ 20.5 %db. ซึ่งความชื้นของใบมะกรูดไม่ลดลงเนื่องจากที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 60% จะมีปริมาณอากาศชื้นไหลผ่านเครื่องทำระเหยในปริมาณที่มากทำให้อากาศที่ผ่านเครื่องทำระเหยมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดน้ำค้าง ส่งผลให้ ความชื้นในอากาศไม่กลั่นตัวทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้ง มีค่าสูง จนใบมะกรูดถึงจุดความชื้นสมดุลจึงไม่สามารถอบใบมะกรูดจนเหลือความชื้นสุดท้ายที่ 10%db. ได้ตามต้องการจึงไม่นำผลการประเมินสมรรถนะการอบแห้งมาเปรียบเทียบได้

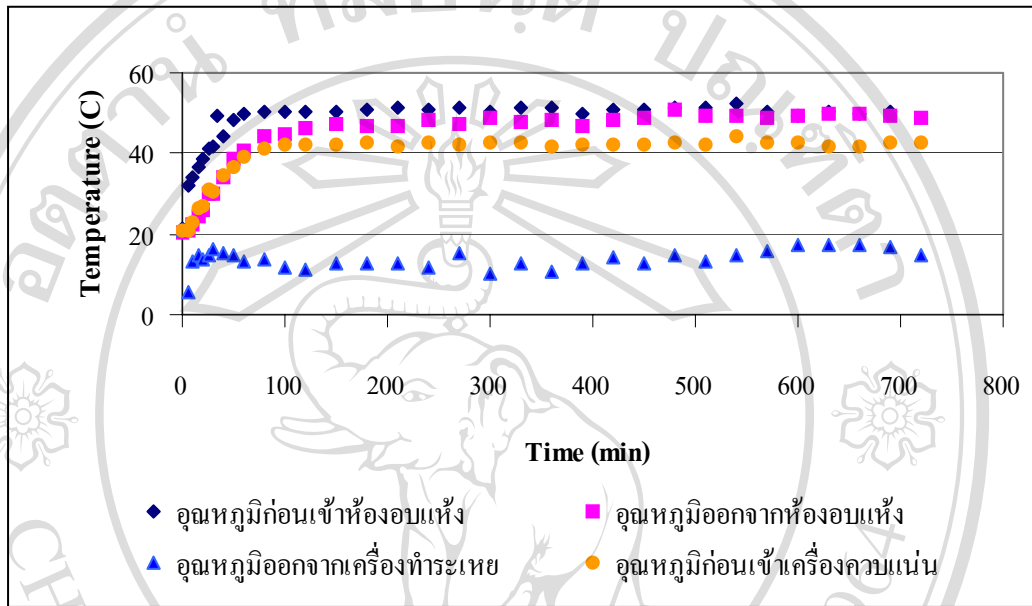
4.3 ผลการทดสอบสมรรถนะการอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้อินเวอร์เตอร์ปรับรอบมอเตอร์ขับเคลื่อน

ในการทดสอบสมรรถนะการอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้อินเวอร์เตอร์เพื่อปรับรอบมอเตอร์ขับเคลื่อนใช้ใบมะกรูด 14.9 เป็นวัสดุทดสอบ โดยทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C สัดส่วนอากาศไหลข้ามเครื่องทำระเหย 80% และอัตราการไหลจำเพาะอากาศ 487 kg_{dry air} / kg_{dry product} – h ได้ผลการทดสอบดังนี้

4.3.1 อุณหภูมิกระแสอากาศในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้อินเวอร์เตอร์ปรับรอบมอเตอร์ขับเคลื่อน

ในระหว่างการอบแห้งใบมะกรูดจะมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เวลาใดๆ เมื่ออบที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 °C สัดส่วนอากาศไหลข้ามเครื่องทำระเหย 80% และอัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 450 kg_{dry air} / kg_{dry product} – h ได้ผลแสดงดังรูป 4.10 พบว่าอุณหภูมิของกระแสอากาศในเครื่องอบแห้งที่ตำแหน่งต่างๆ จะเรียงกันที่หลังจากอบแห้งไปแล้ว 1 ชั่วโมง โดยหลังจาก

ชั่วโมงที่ 1 เป็นต้นไป อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้ง อุณหภูมิอากาศออกจากห้องอบแห้ง อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องควบแน่น และอุณหภูมิอากาศออกจากเครื่องทำระเหย เติบโตเท่ากับ 49.8, 48.1, 42.3 และ 13.7 °C ตามลำดับ

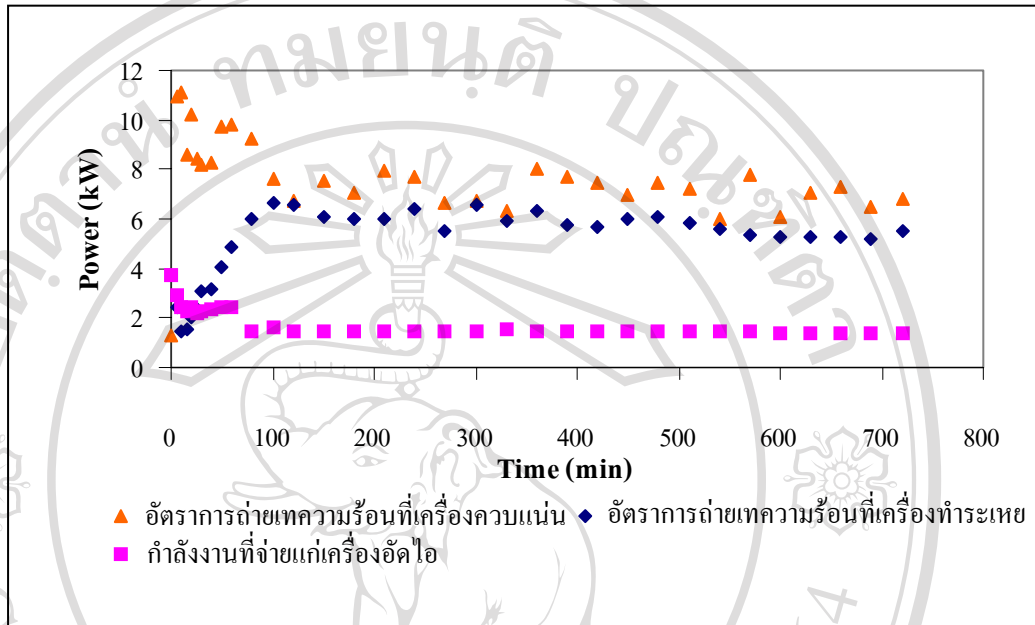


รูป 4.10 อุณหภูมิกระแสอากาศในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้อินเวอร์เตอร์ปรับรอบมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องอัดไอ ที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80% โดยใช้อุณหภูมิมอบแห้ง 50 °C และอัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 487 $\text{kg}_{\text{dry air}}/\text{kg}_{\text{dry product}} \cdot \text{h}$

4.3.2 อัตราการถ่ายเทความร้อน และกำลังงานที่จ่ายให้แก่เครื่องอัดไอของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้อินเวอร์เตอร์ปรับรอบมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องอัดไอ ในการอบแห้งใบมะกรูดที่อุณหภูมิมอบแห้ง 50 °C สัดส่วนอากาศไหลข้ามเครื่องทำระเหย 80% และอัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 487 $\text{kg}_{\text{dry air}}/\text{kg}_{\text{dry product}} \cdot \text{h}$ จะมีการเปลี่ยนแปลงของอัตราการถ่ายเทความร้อน และกำลังงานที่จ่ายแก่เครื่องอัดไอ ตลอดการทดลอง ดัง

รูป 4.11 พบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องควบแน่น และกำลังงานที่จ่ายแก่เครื่องอัดไอจะลดลงตามเวลาการอบแห้ง ขณะที่อัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องทำระเหยจะเพิ่มขึ้นจนถึงชั่วโมงที่ 2 จากนั้นจะลดลงตามเวลาอบแห้งเช่นกัน เนื่องจากภาระของระบบอบแห้งจะลดลงเมื่อเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้น อินเวอร์เตอร์จะปรับเปลี่ยนความถี่เพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องอัดไอให้ลดลงตามภาระของระบบอบแห้งที่เปลี่ยนแปลง โดยมีอัตราการถ่ายเทความร้อน

ร้อนที่เครื่องควบแน่น อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องทำระเหย และกำลังงานที่จ่ายให้แก่เครื่องอัดไอเฉลี่ย เท่ากับ 7.65 kW, 4.85 kW และ 1.78 kW ตามลำดับ

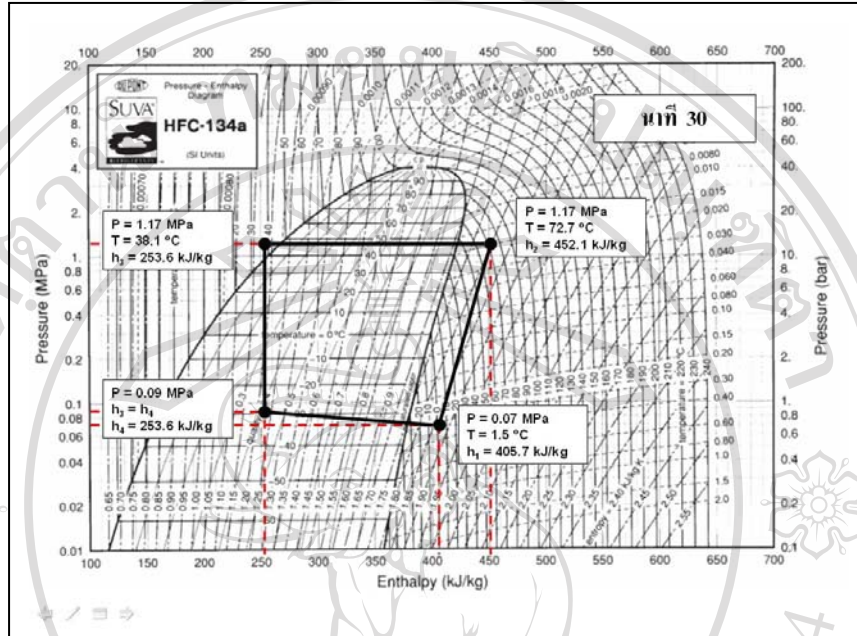


รูปที่ 4.11 อัตราการถ่ายเทความร้อน และกำลังงานที่จ่ายให้แก่เครื่องอัดไอของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้อินเวอร์เตอร์ปรับรอบมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องอัดไอ เมื่ออบแห้งใบมะกรูดที่อุณหภูมิอบแห้ง 50°C สัดส่วนอากาศไหลเข้าเครื่องทำระเหย 80% และอัตราการไหลจำเพาะของอากาศ $450 \text{ kg}_{\text{dry air}}/\text{kg}_{\text{dry product}} \cdot \text{h}$

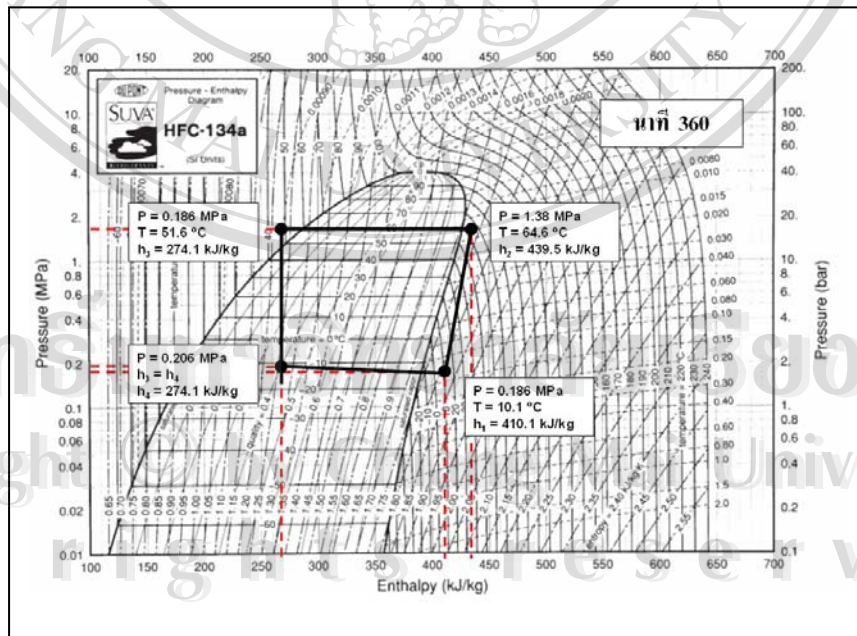
4.3.3 วัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอจริงที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ อินเวอร์เตอร์ปรับรอบมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องอัดไอ

วัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอจริงที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ อินเวอร์เตอร์ปรับรอบมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องอัดไอ ที่สัดส่วนอากาศเข้าเครื่องทำระเหย 80 % โดยใช้อุณหภูมิอบแห้ง 50°C และอัตราการไหลจำเพาะของอากาศ $487 \text{ kg}_{\text{dry air}}/\text{kg}_{\text{dry product}} \cdot \text{h}$ ที่เวลาอบแห้ง 30 นาที 360 นาที และ 690 นาที ซึ่งแสดงตามรูป 4.12 4.13 และ 4.14 พบว่า วัฏจักรปั๊มความร้อนมีความแตกต่างกับ วัฏจักรปั๊มความร้อนทางอุดมคติ เนื่องจากมีแรงเสียดทานระหว่างสารทำงานกับผนังท่อ และเกิดสถานะ Superheating และ Subcooling ที่สารทำงานที่ออกจากเครื่องทำระเหยและเครื่องควบแน่นตามลำดับ เพราะเพื่อให้แน่ใจว่าสารทำงานที่ออกจากเครื่องทำระเหยมีสถานะเป็น

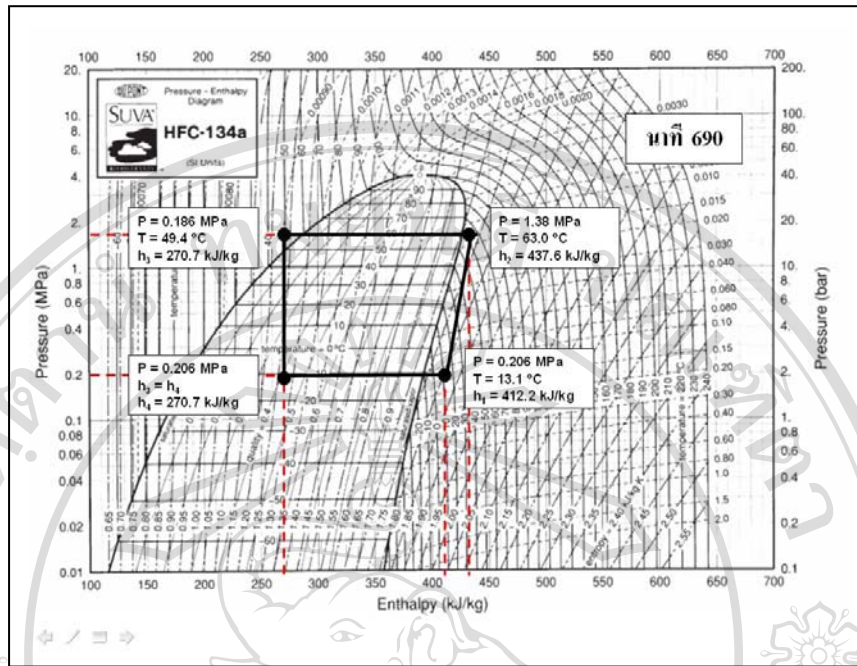
ไอทั้งหมด เพราะถ้าของเหลวเข้าเครื่องอัดไอจะทำให้เครื่องอัดไอชำรุด และสารทำงานที่เข้าวาล์วขยายตัวควบแน่นเป็นของเหลวทั้งหมด



รูป 4.12 วัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอที่ 30 นาที (www.achrnews.com)



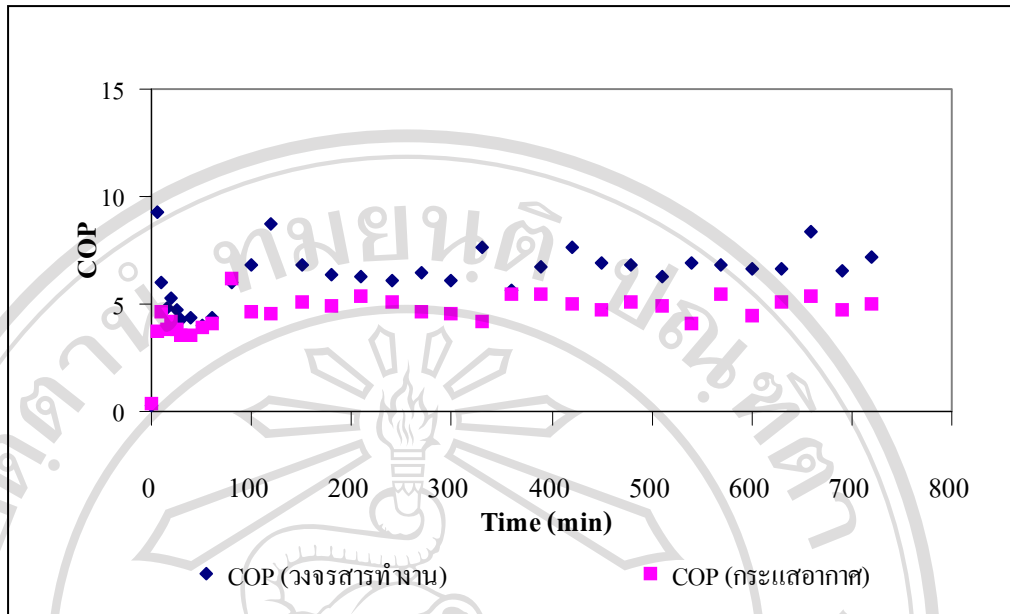
รูป 4.13 วัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอที่ 360 นาที(www.achrnews.com)



รูป 4.14 วัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอที่ 360 นาที(www.achrnews.com)

4.3.4 สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ อินเวอร์เตอร์ปรับรอบมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องอัดไอ

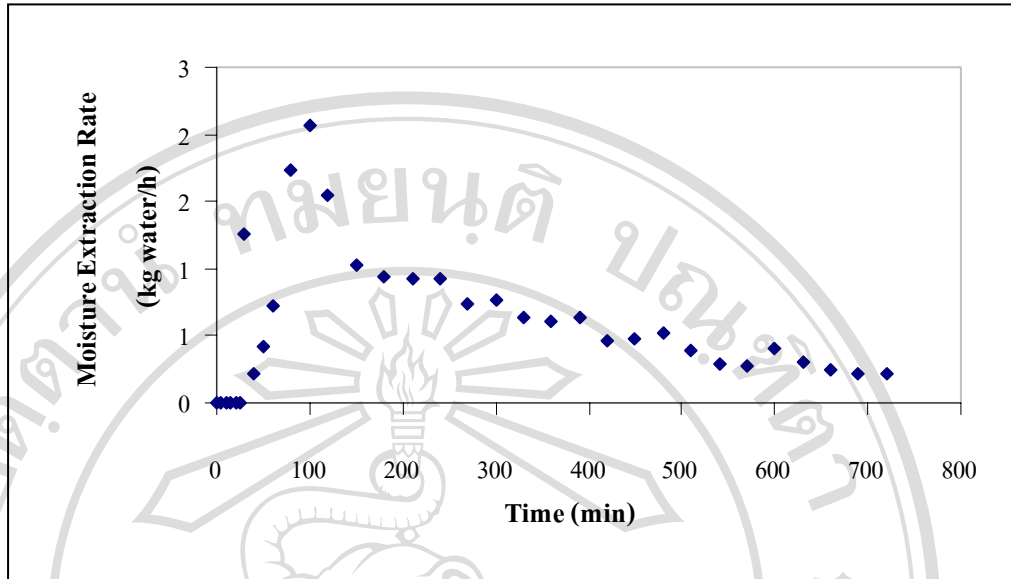
จากข้อมูลในการอบแห้งโม่มะกรูดที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 °C สัดส่วนอากาศไหลเข้าเครื่องทำระเหย 80% และอัตราการไหลเฉพาะของอากาศ 487 kg_{dry air}/kg_{dry product} - h สามารถวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบปั๊มความร้อนจากกระแสอากาศ และวงจรสารทำงาน ที่เวลาใดๆ ตลอดการอบแห้ง ดังรูป 4.15 พบว่า สัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบปั๊มความร้อนมีแนวโน้มคงที่ตลอดการทดลอง โดยสัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบปั๊มความร้อนจากกระแสอากาศ และสัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบปั๊มความร้อนจากวงจรสารทำงาน เฉลี่ยเท่ากับ 4.67 และ 6.26 ตามลำดับ



รูป 4.15. สัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบปั๊มความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิอบแห้งโดยใช้อินเวอร์เตอร์ปรับรอบมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องอัดไอ โดยใช้อุณหภูมิอบแห้ง 50°C สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80 % และอัตราการไหลจำเพาะ ของอากาศ $487 \text{ kg}_{\text{dry air}}/\text{kg}_{\text{dry product}} - \text{h}$

4.3.5 อัตราการคั่งน้ำออกที่เครื่องทำระเหยของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้อินเวอร์เตอร์ปรับรอบมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องอัดไอ

จากข้อมูลปริมาณน้ำควบแน่นที่เครื่องทำระเหยตลอดการทดลองอบแห้งใบมะกรูดด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้อินเวอร์เตอร์ปรับรอบของมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องอัดไอ และนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาอัตราการคั่งน้ำออกแต่ละเวลาตลอดการทดลอง ซึ่งแสดงตามรูป 4.16 พบว่าแนวโน้มของอัตราการคั่งน้ำออกเพิ่มขึ้นจนถึงชั่วโมงที่ 2 หลังจากนั้นอัตราการคั่งน้ำออกจะลดลงเมื่อเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้น โดยมีอัตราการคั่งน้ำออกสูงสุดที่ $2.07 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{h}$ และมีอัตราการคั่งน้ำออกเฉลี่ย $0.59 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{h}$



รูป 4.16 อัตราการดึงน้ำออกของเครื่องอบแห้งแบบป้อนความร้อน ที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ อินเวอร์เตอร์ปรับรอบของมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องอัดไอ ที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำ ระบาย(BP) 80 % โดยใช้อุณหภูมิอบแห้ง 50 °C และอัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 487 kg dry air/kg dry product — h

4.4 ผลการเปรียบเทียบความสมรรถนะการอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งแบบป้อนความร้อน ที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ เครื่องควบคุมแรงดันตัวนอกระบายความร้อน และใช้อินเวอร์เตอร์เพื่อ ปรับรอบของมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องอัดไอ

จากการทดลองอบแห้งใบมะกรูดด้วยเครื่องอบแห้งแบบป้อนความร้อน ที่ใช้การควบคุม อุณหภูมิโดยใช้ เครื่องควบคุมแรงดันตัวนอกระบายความร้อน และใช้อินเวอร์เตอร์เพื่อปรับรอบของ มอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องอัดไอ ที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 °C ที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระบาย 80% ได้ผล การทดลองแสดงไว้ตามภาพผนวก ข-1 และข-5 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ หาสมรรถนะการอบแห้งของแต่ละวิธีควบคุมอุณหภูมิ โดยวิเคราะห์ด้วยกัน 3 ด้านคือ สมรรถนะ การใช้พลังงาน ความสามารถในการอบแห้ง และสมรรถนะของระบบป้อนความร้อน ซึ่งได้ผลการ วิเคราะห์สมรรถนะ แสดงไว้ตามตาราง 4.3

ตาราง 4.3 ผลการเปรียบเทียบความสมรรถนะการอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ เครื่องควบแน่นตัวนอกระบายความร้อน กับใช้ อินเวอร์เตอร์ปรับรอบมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องอัดไอ ที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80 % โดยใช้อุณหภูมิมอบแห้ง 50°C และอัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 450-600 $\text{kg}_{\text{dry air}}/\text{kg}_{\text{dry product}} - \text{h}$

เงื่อนไข	ใช้เครื่องควบแน่นตัวนอก	ใช้อินเวอร์เตอร์
น้ำหนักเริ่มต้น, kg	7.5	14.9
น้ำหนักสุดท้าย, kg	2.5	5.6
ความชื้นเริ่มต้น (M_{in}), %db.	238.5	197.3
ความชื้นสุดท้าย (M_f), %db.	10.1	9.3
อัตราการการไหล (m^3), $\text{kg}_{\text{dry air}}/\text{h}$	1506.4	2729.5
เวลาอบแห้ง (DT), h	10	12
อัตราการอบแห้งเฉลี่ย (DR_{avg}), $\text{kg}_{\text{water}}/\text{h}$	0.50	0.78
อัตราการอบแห้งต่อมวลวัสดุเฉลี่ย ($\text{kg}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry product}} - \text{h}$)	0.2	0.14
อัตราการดึงน้ำออกเฉลี่ย (MER_{avg}), $\text{kg}_{\text{water}}/\text{h}$	0.51	0.63
อัตราการระเหยน้ำจำเพาะเฉลี่ย ($SMER_{avg}$), $\text{kg}_{\text{water}}/\text{kW} - \text{h}$	0.26	0.37
สมรรถนะระบบปั๊มความร้อนที่ใช้ประโยชน์ ($COP_{\text{use avg}}$)	2.75	4.65

จากตาราง 4.3 แสดงผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ เครื่องควบแน่นตัวนอกระบายความร้อน และใช้อินเวอร์เตอร์ปรับรอบของมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องอัดไอ ที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80% โดยใช้อุณหภูมิมอบแห้ง 50°C พบว่าการอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ อินเวอร์เตอร์ปรับรอบของมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องอัดไอมีสสมรรถนะในการใช้พลังงาน และสัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบปั๊มความร้อนที่สูงกว่า ซึ่งพิจารณาจาก อัตราการ

ระเหยน้ำจำเพาะ $0.37 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{kW} \cdot \text{h}$ และสัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบปั๊มความร้อนที่ใช้ประโยชน์ 4.65 ซึ่งสูงกว่าเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่มีการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ เครื่องควบแน่นตัวนอกระบายความร้อน เนื่องวิธีควบคุมอุณหภูมิดังกล่าวไม่มีการระบายความร้อนออกสู่ภายนอกแต่จะใช้ลดอัตราการไหลของสารทำงานทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลงตามภาระของระบบอบแห้ง

ขณะที่ความสามารถอบแห้งซึ่งพิจารณาจาก อัตราการอบแห้งเฉลี่ย และอัตราการดึงน้ำออกเฉลี่ยของเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ อินเวอร์เตอร์ สูงกว่าเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่มีการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ เครื่องควบแน่นตัวนอก แต่เมื่อพิจารณาอัตราการอบแห้งต่อมวลวัสดุจะมีค่าน้อยกว่า เนื่องจากการทดลองได้อบแห้งใบมะกรูดจนเหลือความชื้นสุดท้าย $9.3 \% \text{db}$. ซึ่งต่ำกว่าความชื้นสุดท้ายของใบมะกรูดที่อบแห้งเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ เครื่องควบแน่นตัวนอกระบายความร้อน

4.5 ผลการวิเคราะห์คุณภาพใบมะกรูดอบแห้งโดยการวัดสี

การวัดสีเป็นปัจจัยสำคัญในการแบ่งชั้นคุณภาพสมุนไพรอบแห้ง ซึ่งการวัดสีจะทำการวัดสีด้วยระบบสีฮันเตอร์(Hunter color system) โดยวัดสีของใบมะกรูดอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C และ 45°C เทียบกับใบมะกรูดสด ซึ่งสี ซึ่งระบบสีฮันเตอร์ ระบบนี้จะวัดค่าสี(L) (a^*)และ (b^*) โดยมีความหมายดังนี้ ค่า(L) เป็นค่าความสว่างมีค่าตั้งแต่ 0-100 ค่า(L) เท่ากับ 0 เป็นสีมืดสุด ค่า(L) เท่ากับ 100 เป็นสีสว่างมากที่สุด ค่า(a^*) เป็นค่าแสดงความเป็นสีแดงหรือความเป็นสีเขียวโดยที่ค่า (a^*) เป็นบวกแสดงความเป็นสีแดง ค่า(a^*) เป็นลบแสดงความเป็นสีเขียว ค่า(b^*) เป็นค่าที่แสดงความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน โดยค่า(b^*) เป็นบวกแสดงความเป็นสีเหลือง ค่า(b^*) เป็นลบแสดงความเป็นสีน้ำเงิน โดยนำใบมะกรูดอบแห้งเปรียบเทียบกับใบมะกรูดสดซึ่งสรุปค่าสีจากการวัดได้ตามตาราง 4.4 พบว่า ที่อุณหภูมิ 50°C จะมีค่า a^* ติดลบน้อยมาก แต่ที่อุณหภูมิ 45°C จะมีค่า a^* ติดลบใกล้เคียงกับใบมะกรูดสด ซึ่งค่า a^* นี้เป็นค่าที่สามารถบ่งชี้ถึงคุณภาพด้านสีของใบมะกรูดอบแห้งได้ง่ายเนื่องจาก ถ้าค่า a^* ติดลบจะเป็นค่าที่แสดงความเป็นสีเขียว ค่า L ใบมะกรูดอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C และ 45°C มีค่าใกล้เคียงกันซึ่งมากกว่าใบมะกรูดสด เนื่องจากใบมะกรูดอบแห้งมีสีอ่อนลง และค่า b^* ใบมะกรูดอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C และ 45°C มีค่าใกล้เคียงกันเช่นกัน ดังนั้นใบมะกรูดอบแห้งที่ 50°C จึงไม่ตรงตามความต้องการของท้องตลาดสมุนไพร เนื่องจากมีค่าความเป็นสีเขียวอ่อนอย่างเห็น ได้ชัดเมื่อเทียบกับใบมะกรูดอบแห้งที่อุณหภูมิ 45°C ที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของท้องตลาด

ตาราง 4.4 สีของไบมะกรูดสด และไบมะกรูดอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 45 °C และ 50 °C ที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยที่ 80%

ตัวอย่าง	L	a*	b*
ไบมะกรูดสด	34.56	-9.28	15.64
ไบมะกรูดอบที่อุณหภูมิ 45 °C	44.42	-8.46	23.68
ไบมะกรูดอบที่อุณหภูมิ 50 °C	42.56	-2.28	20.22

หมายเหตุ : L = ค่าความสว่าง, a = ค่าสีแดง, b = ค่าสีเหลือง, -a = ค่าสีเขียว, -b = ค่าสีน้ำเงิน

4.6 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนมีสิ่งสำคัญ คือ การประมาณการผลตอบแทน และการประมาณการต้นทุนของการอบแห้งสมุนไพรให้ใกล้เคียงความเป็นจริง จึงจะทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่มีความน่าเชื่อถือและมีประสิทธิภาพต่อการนำไปใช้ประกอบการพิจารณาตัดสินใจดำเนินธุรกิจ โดยการวิเคราะห์จะแสดงในรูปของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) อัตราการคืนทุนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period, PB) เพื่อประเมินว่าโครงการมีความเหมาะสมที่จะลงทุนหรือไม่ ซึ่งปรกติแล้วต้องอาศัยข้อมูลต่างๆ มากมาย รวมทั้งประสบการณ์ในการพิจารณาด้วย สำหรับการวิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน จะใช้ข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่างๆ มาวิเคราะห์ ซึ่งจะใช้ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากสถานประกอบการมาวิเคราะห์เป็นหลัก

4.6.1 การประมาณผลตอบแทนทางการเงิน

1. ปริมาณการผลิตของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ในการศึกษาจะใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนรุ่น HPD-02 จำนวน 1 เครื่อง โดยทำการเก็บข้อมูลในการอบแห้งจริง เป็นเวลา 2 เดือน พบว่า สมุนไพรที่ทำการอบแห้งประกอบด้วยกัน 3 ชนิดหลักๆ ได้แก่ ไบมะกรูด ไบโหระพา และไบกระเพรา โดยมีสัดส่วนในการอบแห้งดังนี้ ไบมะกรูด 40% และไบโหระพาและไบกระเพราอย่างละ 30% โดยมีกำลังผลิตรวม 324 ครั้ง/ปี ซึ่งสมุนไพรแต่ละชนิดจะใช้เวลาอบแห้งไม่เท่ากันโดยไบมะกรูดจะใช้เวลาอบแห้ง 12 ชั่วโมง สำหรับไบโหระพา และไบกระเพราใช้เวลาอบแห้ง 18 ชั่วโมง ดังนั้นสามารถประมาณการผลิตสมุนไพรอบแห้งของเครื่องอบแห้งตลอดปีได้ตามตาราง 4.5

ตาราง 4.5 ปริมาณผลผลิตการอบแห้งใบมะกรูด ใบโหระพา และใบกระเพราด้วยเครื่องอบแห้งสมุนไพรแบบปั๊มความร้อน รุ่น HPD-02 ที่อุณหภูมิอบแห้ง 45°C สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80%

รายการ	ใบมะกรูด	ใบโหระพา	ใบกระเพรา	รวม
น้ำหนักสมุนไพรหลังอบแห้ง (kg/batch)	2.44	2.54	2.49	-
สัดส่วนการอบแห้ง (%)	40	30	30	100
จำนวนครั้งที่อบแห้ง (batch/year)	130	97	97	324
ปริมาณการผลิต (kg/year)	317.5	246.4	241.5	805.4

2. ผลตอบแทน ได้แก่ ประสิทธิภาพการรายได้จากการอบแห้งสมุนไพรโดยกำหนดอัตราค่าอบแห้งสมุนไพร ราคาอบแห้งใบมะกรูด 200 baht / kg dry product ใบโหระพาและใบกระเพรา 250 baht / kg dry product ดังนั้นการประมาณรายได้เท่ากับ ราคาต่อหน่วย \times ปริมาณการผลิต ซึ่งเมื่อคำนวณ โดยการแทนค่าของตัวแปรดังกล่าวจะได้ผลตอบแทนตามตาราง 4.6

ตาราง 4.6 ผลตอบแทนรายปีของการอบแห้งใบมะกรูด ใบโหระพา และใบกระเพราด้วยเครื่องอบแห้งสมุนไพรแบบปั๊มความร้อน รุ่น HPD-02 ที่อุณหภูมิอบแห้ง 45°C สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80%

รายการ	ใบมะกรูด	ใบโหระพา	ใบกระเพรา	รวม
ราคาค่าอบแห้ง (baht/kg)	200	250	250	-
กำลังผลิต (kg/year)	317.5	246.4	241.5	805.4
ผลตอบแทน (baht/year)	63,495	61,595	60,382	185,472

4.6.2 การประมาณต้นทุน

ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายของการอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนจะประกอบด้วยกัน 2 ส่วนคือ ค่าใช้จ่ายในการผลิต และค่าใช้จ่ายคงที่ ซึ่งเป็นการประมาณการจะใช้ข้อมูลการอบแห้งสมุนไพรที่อุณหภูมิอบแห้ง 45°C สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80% โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายในการผลิต (Production Cost) ซึ่งในการคิดค่าใช้จ่ายในการผลิตของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนจะประกอบด้วยค่าใช้จ่ายหลักๆดังนี้

- ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (Energy Cost, C_e) ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสามารถคำนวณตามสมการที่ 3.3 ได้ค่าใช้จ่ายพลังงานรวมเท่ากับ 28,252 บาท/ปี

- ค่าใช้จ่ายซ่อมแซมและบำรุงรักษา (Maintenance Cost, C_m) โดยประมาณค่าใช้จ่ายซ่อมแซมและบำรุงรักษาเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนจะใช้ที่ 4 % ของราคาเครื่องจักร ดังนั้นสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายซ่อมแซมและบำรุงรักษาเฉลี่ยรายปี เท่ากับ 4,800 บาท/ปี

2 ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed cost) โดยในการประมาณค่าใช้จ่ายคงที่ของการอบแห้งสมุนไพรจะประกอบไปด้วยค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายประจำประกอบด้วยค่าใช้จ่ายหลักๆดังนี้

- ค่าเครื่องอบแห้ง กำหนดเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ราคา 120,000 บาท

- เงินเดือนของพนักงานที่ดูแลเครื่องอบแห้ง ซึ่งในสถานประกอบการมีเครื่องอบแห้ง 3 เครื่องใช้แรงงานจำนวน 2 คนต่อเนื่องกัน กำหนดอัตราค่าจ้าง 6,500 baht / month ดังนั้นสามารถคำนวณเงินเดือนพนักงานต่อ 1 เครื่องอบแห้งได้เท่ากับ 52,000 บาท/ปี

- ค่าเช่าสถานที่ ซึ่งในสถานประกอบการมีเครื่องอบแห้ง 3 เครื่อง กำหนดค่าเช่าสถานที่ 3,000 baht / month ดังนั้นสามารถคำนวณค่าเช่าสถานที่เฉลี่ยต่อ 1 เครื่องได้เท่ากับ 12,000 บาท/ปี

ตาราง 4.7 ค่าใช้จ่ายรายปีของการอบแห้งสมุนไพรชนิดต่างๆ ด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน รุ่น HPD-02 ที่อุณหภูมิอบแห้ง 45°C สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80%

ค่าใช้จ่าย/ชนิดสมุนไพร	ใบมะกรูด	ใบโหระพา	ใบกระเพรา	รวม
1. ค่าใช้จ่ายในการผลิต				
1.1 ด้านพลังงาน (baht/year)	8,724	9,764	9,764	28,252
1.2 ด้านบำรุงรักษา (baht/year)	1,482	1,659	1,659	4,800
รวมค่าใช้จ่ายในการผลิต (baht/year)	10,206	11,423	11,423	33,052
2. ค่าใช้จ่ายคงที่				
2.1 เงินเดือนพนักงาน (baht/year)	16,057	17,971	17,971	52,000
2.2 ค่าเช่าสถานที่ (baht/year)	3,705	4,147	4,147	12,000
รวมค่าใช้จ่ายคงที่ (baht/year)	19,762	22,119	22,119	64,000
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (baht/year)	29,968	33,542	33,542	97,052

หมายเหตุ :

- อัตราดอกเบี้ย 5.75% ต่อปี (ตามประกาศธนาคารแห่งประเทศไทย ณ วันที่ 5 ตุลาคม 2547) ตลอดระยะเวลาโครงการ
- อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ยสำหรับกิจการขนาดเล็ก 2.97 baht/kW-h (ตามประกาศการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ณ ตุลาคม 2543)
- เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนรุ่น HPD-02 ราคา 120,000 บาท (บริษัท จักรवालเทคโนโลยีเกษตร จำกัด)
- ข้อมูลในกระบวนการผลิต (บริษัทนอร์ทเทิร์นกรีนคอร์ป จำกัด) และเมื่อนำค่าใช้จ่ายในการอบแห้ง และผลตอบแทนในแต่ละปีมาคำนวณบุคลากรตลอดโครงการ แสดงตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 รายละเอียดประมาณการผลตอบแทนและกำไร(ขาดทุนสุทธิ)/กระแสเงินสด ที่ อัตราดอกเบี้ย 5.75 %

รายการ	ปีที่ 0	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9	ปีที่ 10	รวม	
												ปริมาณเวลาเป็นปีที่ 0	
รายรับ (บาท)													
1. ส่วนของเจ้าของ													
2. จากเงินกู้ยืม													
3. จากการอบแห้ง													
รวมรายรับ		185,472	185,472	185,472	185,472	185,472	185,472	185,472	185,472	185,472	185,472	1,381,405	
รายจ่ายในการลงทุน (บาท)	120,000												120,000
1. เครื่องอบแห้ง	37,054												37,054
1.1 ใบมะกรูด	41,473												41,473
1.2 ใบโหระพา	41,473												41,473
1.3 ใบกระเพรา													
รวมค่าลงทุน	120,000												120,000
รายจ่ายในการผลิต (บาท)		28,252	28,252	28,252	28,252	28,252	28,252	28,252	28,252	28,252	28,252	210,422	
1. ต้นทุนพลังงาน		8,724	8,724	8,724	8,724	8,724	8,724	8,724	8,724	8,724	8,724	64,977	
1.1 ใบมะกรูด		9,764	9,764	9,764	9,764	9,764	9,764	9,764	9,764	9,764	9,764	72,723	
1.2 ใบโหระพา		9,764	9,764	9,764	9,764	9,764	9,764	9,764	9,764	9,764	9,764	72,723	
1.3 ใบกระเพรา		4,800	4,800	4,800	4,800	4,800	4,800	4,800	4,800	4,800	4,800	35,751	
2. ต้นทุนซ่อมแซม		1,482	1,482	1,482	1,482	1,482	1,482	1,482	1,482	1,482	1,482	11,038	
2.1 ใบมะกรูด		1,659	1,659	1,659	1,659	1,659	1,659	1,659	1,659	1,659	1,659	12,356	
2.2 ใบโหระพา		1,659	1,659	1,659	1,659	1,659	1,659	1,659	1,659	1,659	1,659	12,356	
3. ใบกระเพรา													
รวมค่าใช้จ่ายการผลิต		33,052	33,052	33,052	33,052	33,052	33,052	33,052	33,052	33,052	33,052	246,173	
รายจ่ายคงที่ (บาท)		52,000	52,000	52,000	52,000	52,000	52,000	52,000	52,000	52,000	52,000	387,299	
1. เงินเดือน		16,057	16,057	16,057	16,057	16,057	16,057	16,057	16,057	16,057	16,057	119,593	
1.1 ใบมะกรูด		17,971	17,971	17,971	17,971	17,971	17,971	17,971	17,971	17,971	17,971	133,849	
1.2 ใบโหระพา		17,971	17,971	17,971	17,971	17,971	17,971	17,971	17,971	17,971	17,971	133,849	
1.3 ใบกระเพรา		12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	89,377	
2. ค่าเช่าที่ดิน		3,705	3,705	3,705	3,705	3,705	3,705	3,705	3,705	3,705	3,705	27,595	
2.1 ใบมะกรูด		4,147	4,147	4,147	4,147	4,147	4,147	4,147	4,147	4,147	4,147	30,887	
2.2 ใบโหระพา		4,147	4,147	4,147	4,147	4,147	4,147	4,147	4,147	4,147	4,147	30,887	
2.3 ใบกระเพรา													
รวมค่าใช้จ่ายคงที่		64,000	64,000	64,000	64,000	64,000	64,000	64,000	64,000	64,000	64,000	476,675	
รวมรายจ่ายทั้งหมด	120,000	97,052	97,052	97,052	97,052	97,052	97,052	97,052	97,052	97,052	97,052	842,848	
(กำไร/ขาดทุน)สุทธิ	-120,000	88,420	88,420	88,420	88,420	88,420	88,420	88,420	88,420	88,420	88,420	538,557	

จากงบดุลประมาณการตลอดโครงการได้นำผลกำไร(ขาดทุน)สุทธิของแต่ละปีตลอดโครงการมาประเมินความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์โดยมีเกณฑ์การประเมินด้วยกัน 3 ด้าน คือ อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period , PB) ได้ ดังตาราง 4.9

ตาราง 4.9 ผลการวิเคราะห์เกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

เกณฑ์การประเมินทางเศรษฐศาสตร์	ผลการวิเคราะห์
อัตราคืนทุนภายใน (IRR,%)	73.38
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV,bath)	538,557
ระยะเวลาคืนทุน (PB,year)	1.46

จากตาราง 4.9 แสดงผลการวิเคราะห์เกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนพบว่า มีความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์เนื่องจาก

1. ค่า IRR มีค่า 73.38 % แสดงว่าอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการมีค่ามากกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ ซึ่งกำหนดไว้ที่ 5.75 %
2. ค่า NPV มีค่า 538,557 บาท ซึ่งมากกว่า 0 แสดงว่ามีความเป็นไปได้ที่จะดำเนินธุรกิจ
3. ระยะเวลาคืนทุน 1.46 ปี