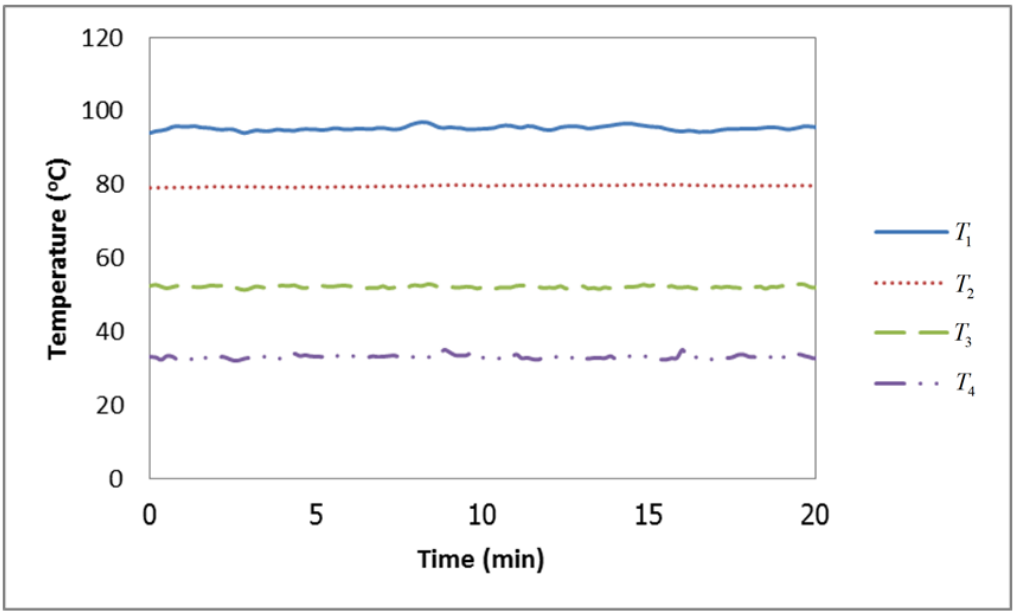
บทที่ 5 ผลการดำเนินงานวิจัย

5.1 โมเดลเตาอบแห้ง

5.1.1 ผลการทดสอบระบบของโมเดลเตาอบแห้ง

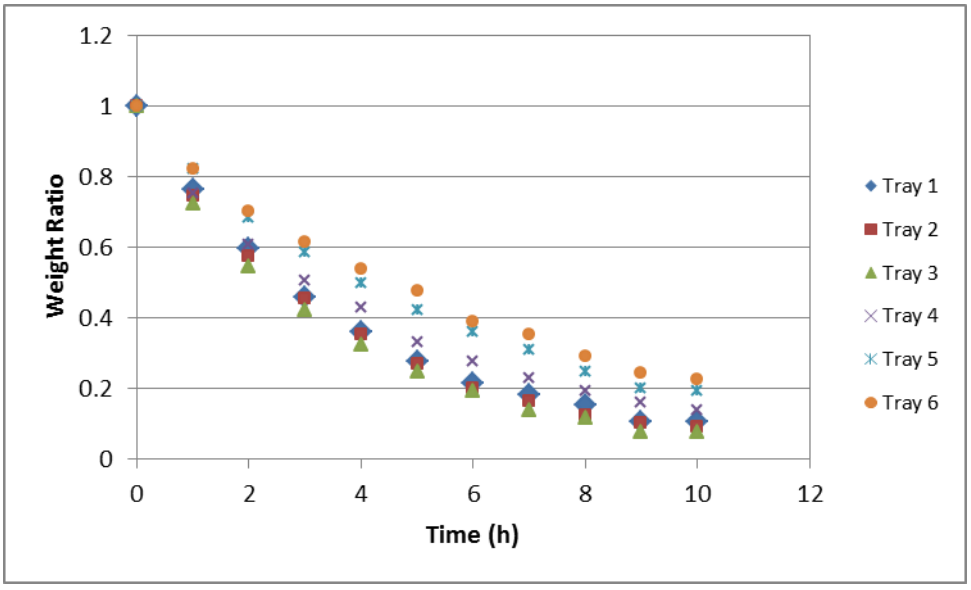
จากการทดสอบระบบ โดยควบคุมอุณหภูมิน้ำร้อนขาเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (T_1) ไม่เกิน 98 องศาเซลเซียส ทำการทดลองที่อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ 0.16 กิโลกรัมต่อวินาที อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ 0.047 กิโลกรัมต่อวินาที และอัตราการใช้เชื้อเพลิง 0.48 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะได้อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำร้อนขาเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (T_1) เท่ากับ 95.2 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำร้อนขาออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (T_2) เท่ากับ 79.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายในห้องอบ (T_3) เท่ากับ 52.1 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศแวดล้อม (T_4) เท่ากับ 33 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 5.1 จากผลการทดลองพบว่า ได้อุณหภูมิลมร้อนสำหรับการอบแห้งเท่ากับ 52.1 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ให้ค่าอัตราการอบแห้งและสีของผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์ที่ดี [14] และยังอยู่ในช่วงที่นิยมใช้ในการอบแห้งซึ่งเท่ากับ 45 - 65 องศาเซลเซียส [15] แต่อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำร้อนขาออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (T_2) มีค่าสูงเนื่องจากพื้นที่ผิวของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนของชุดที่ 1 น้อยกว่าชุดที่ 2 มาก (ชุดที่ 1 ให้ความร้อนแก่อากาศ และชุดที่ 2 รับความร้อนจากหัวเผา) ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 5.1 แสดงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ เทียบกับเวลา ขณะการทดสอบระบบของโมเดลเตาอบแห้ง

5.1.2 ผลการอบแห้งดอกดาวเรือง

ในการทดลองอบแห้งดอกดาวเรือง เป้าหมายเบื้องต้นในการอบแห้งคือการอบแห้งให้อัตราส่วนน้ำหนักเหลือ 1 ต่อ 5 หรือ 1 ต่อ 6 (จากการสอบถามข้อมูลจากเจ้าหน้าที่ของโครงการหลวงสะโงะ) ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 51.7 องศาเซลเซียส ผลการชั่งน้ำหนักดอกดาวเรือง ดังแสดงในรูปที่ 5.2 พบว่า ในช่วงเวลาการทดสอบ 10 ชั่วโมง ถาดที่ 2 และ 3 อบแห้งดอกดาวเรืองให้อัตราส่วนน้ำหนักเหลือ 1 ต่อ 5 ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด คือ 6 ชั่วโมง ถาดที่ 1 ใช้เวลา 7 ชั่วโมง ถาดที่ 4 และ 5 ใช้เวลาในการอบ 8 และ 9 ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนถาดที่ 6 ไม่สามารถอบแห้งได้ตามที่กำหนด เนื่องจากโมเดลเตาอบแห้งไม่ได้ติดตั้งใบปรับทิศทางลมส่งผลให้ลมที่ไหลผ่านชั้นที่ 6 มีอัตราเร็วลมเฉลี่ยต่ำที่สุด สมรรถนะการอบแห้งของโมเดลเตาอบแห้งสามารถประเมินและเปรียบเทียบด้วยค่าอัตราการอบแห้ง และการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ซึ่งในการทดลองอบแห้งดอกดาวเรืองด้วยเตาอบแห้งโมเดลอัตราการอบแห้งมีค่าเท่ากับ 0.15 กิโลกรัมน้ำระเหยต่อชั่วโมง และค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ เท่ากับ 147.3 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย จากผลการประเมินสมรรถนะค่าอัตราการอบแห้งค่อนข้างต่ำ และค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะค่อนข้างสูง เนื่องจากปริมาณวัสดุที่ใช้ในการทดสอบมีจำนวนน้อย เพราะมีราคาแพง เมื่อเปรียบเทียบผลการอบแห้งดอกดาวเรืองกับผลการจำลองการไหลของโมเดลเตาอบแห้ง พบว่า อัตราเร็วลมที่ไหลผ่านแต่ละชั้นส่งผลต่ออัตราการอบแห้ง



รูปที่ 5.2 แสดงอัตราสัดส่วนน้ำหนักของดอกดาวเรืองของแต่ละชั้นเทียบกับเวลา

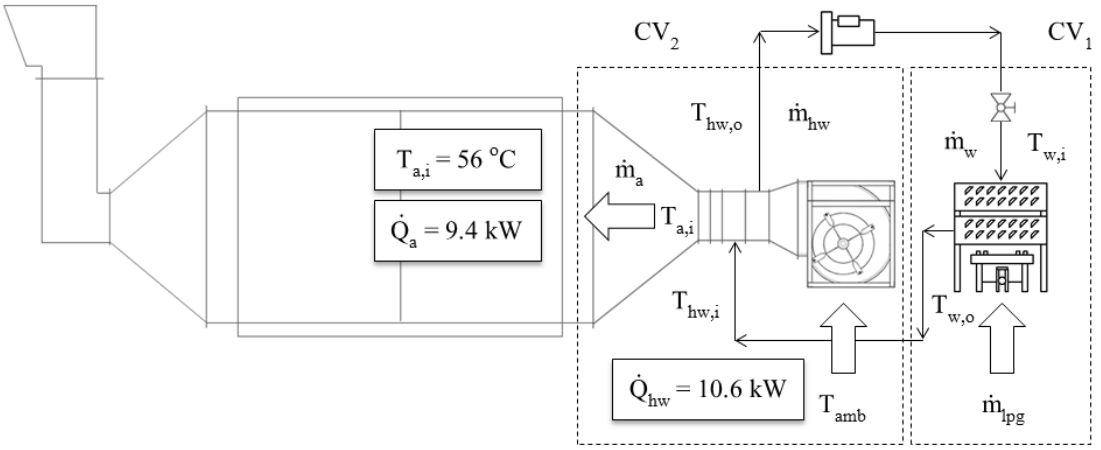
5.2 เตาอบแห้งขนาด 60 กิโลกรัม

5.2.1 สรุปแนวทางการออกแบบและพัฒนาเตาอบแห้งขนาด 60 กิโลกรัม

แนวทางในการออกแบบและพัฒนาเตาอบแห้งดอกคาโมมายล์ขนาดความจุ 60 กิโลกรัมดอกสด เพื่อปรับปรุงให้เตาอบแห้งได้ตามมาตรฐานตามหลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิตอาหาร (GMP) และใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในเชิงวิศวกรรม ในการปรับปรุงเตาอบแห้ง โครงสร้าง ผนัง และประตู ทำจากสเตนเลส SUS 304 โดยผนังห้องอบเป็นการนำแผ่นสเตนเลสพับขึ้นรูปให้เป็นกล่องแล้วข้างในบรรจุด้วยฉนวนกันความร้อน ซึ่งผนังสามารถถอดประกอบได้ เพื่อให้ง่ายต่อการทำความสะอาดและการบำรุงรักษา ปิดรอยต่อต่างๆให้เรียบด้วยซิลิโคน (Food grade) เพื่อป้องกันการรั่วไหลของอากาศร้อนและการสะสมของสิ่งสกปรกและจุลินทรีย์ ในส่วนของถาดใส่ดอกคาโมมายล์ที่สัมผัสกับดอกคาโมมายล์โดยตรง กรอบถาดทำจากอลูมิเนียมและตะแกรงทำจากตาข่ายสเตนเลส SUS 304 ในการปรับปรุงลักษณะถ่ายเทความร้อน คุณลักษณะการไหลของอากาศภายในห้องอบถูกออกแบบด้วยเทคนิคการจำลองการไหลเชิงพลศาสตร์ (CFD) เพื่อหาสภาวะที่ทำให้ความร้อนกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ การแลกเปลี่ยนความร้อนทางอ้อม ใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง (FUNO) เผาก๊าซเชื้อเพลิงโดยมีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่อยู่ฝั่งหัวเผาเป็นชนิดอากาศสู่น้ำ (Air to water heat exchanger) รับความร้อน จากนั้นใช้ปั๊มน้ำหมุนเวียนน้ำร้อนไปสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่อยู่ฝั่งเตาอบชนิดน้ำสู่อากาศ (Water to air heat exchanger) เพื่อสร้างลมร้อน

5.2.2 ผลการทดสอบระบบของเตาอบแห้งขนาด 60 กิโลกรัม

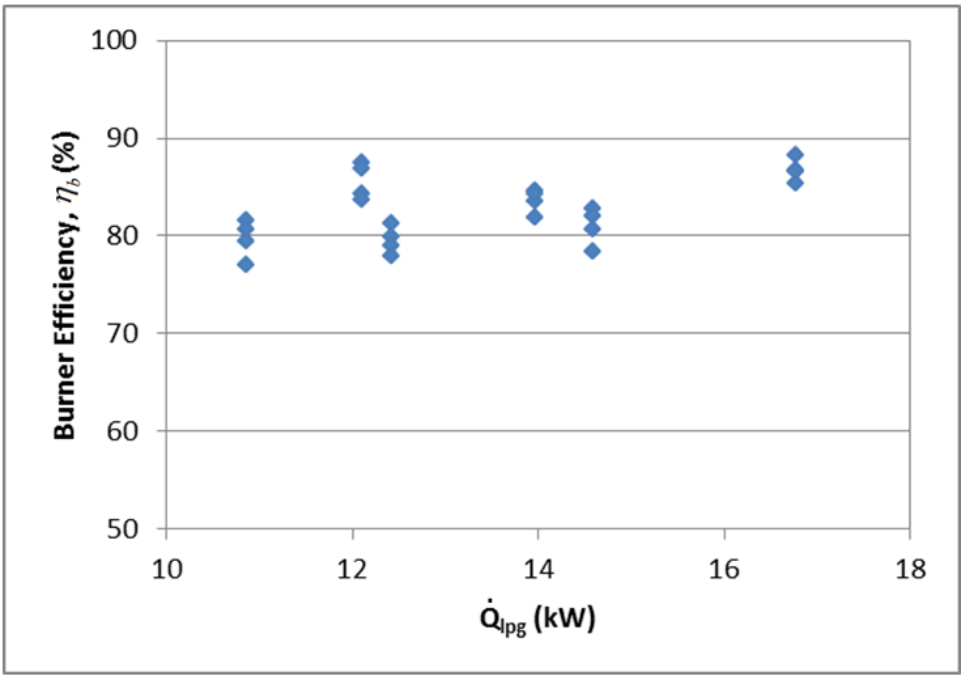
ในการทดสอบระบบของเตาอบแห้งขนาด 60 กิโลกรัม ทำการวิเคราะห์ระบบทางเทอร์โมไดนามิกส์เพื่อเป็นการศึกษาเตาอบแห้งที่อาศัยการแลกเปลี่ยนความร้อนทางอ้อมในการสร้างอากาศร้อนเพื่อใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และหาตัวแปรที่เหมาะสมในการทำงานของเตาอบแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 5.3 โดยแบ่งการวิเคราะห์เป็นปริมาตรควบคุม ทำการวัดอัตราการใช้เชื้อเพลิง อัตราการไหลของน้ำและอุณหภูมิน้ำขาเข้าและออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ทำการวิเคราะห์ดังปริมาตรควบคุมที่หนึ่ง จะสามารถคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของหัวเผาได้ และทำการวิเคราะห์ดังปริมาตรควบคุมที่สอง จะสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมได้



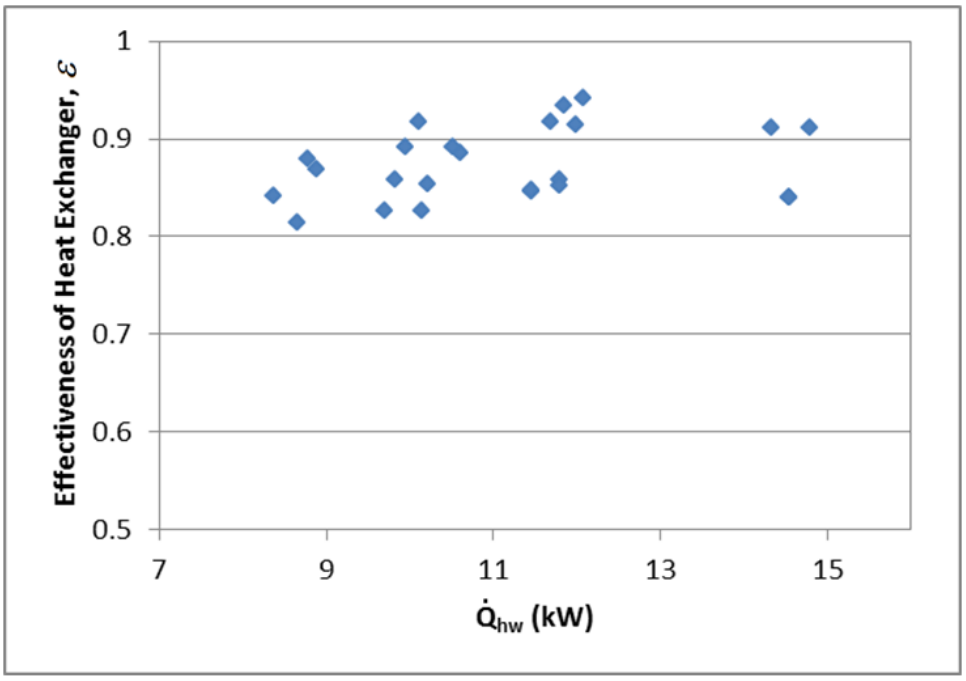
$\dot{m}_{lpg}$ (kg/h)	$\dot{m}_{hw}$ (kg/s)	$T_{hw,i}$ (°C)	$T_{hw,o}$ (°C)	$\dot{m}_a$ (kg/s)	$T_{a,i}$ (°C)	T_{amb} (°C)	η_b (%)	ε	η_{th} (%)
0.94	0.059	95	52	0.331	56	27.9	87.5	0.89	77.4

รูปที่ 5.3 แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ระบบทางเทอร์โมไดนามิกส์

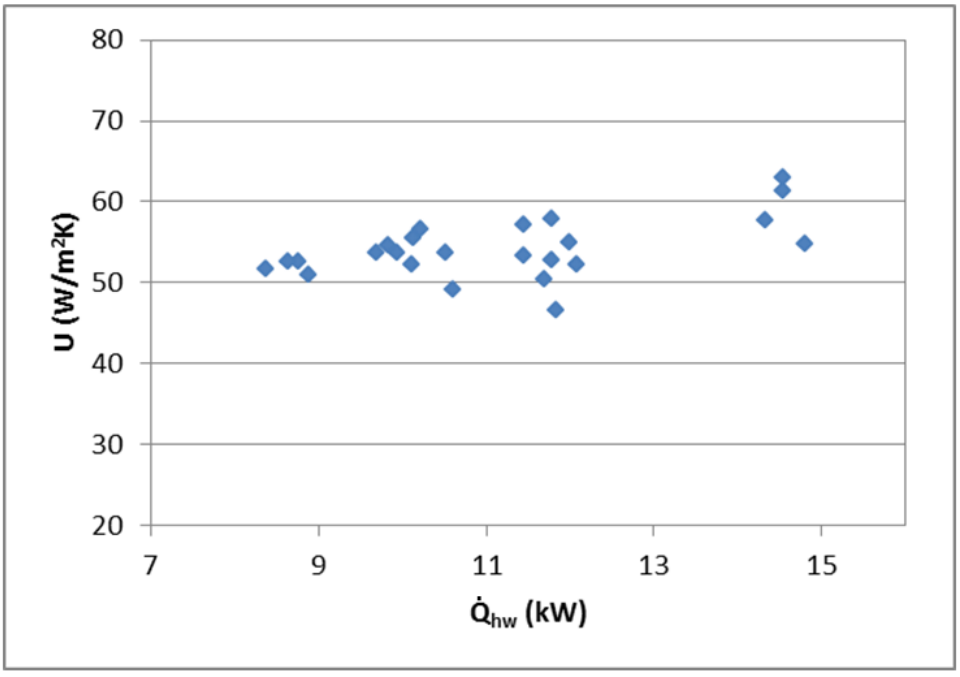
จากผลการทดลอง พบว่า ประสิทธิภาพของหัวเผาอยู่ในช่วง 77.0 – 88.2 เปอร์เซ็นต์ ค่าประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอยู่ในช่วง 0.82 – 0.94 และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมอยู่ในช่วง 46.6 – 63.1 วัตต์ต่อตารางเมตรเคลวิน ดังแสดงในรูปที่ 5.4 5.5 และ 5.6 ตามลำดับ



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของหัวเผา



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงค่าประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



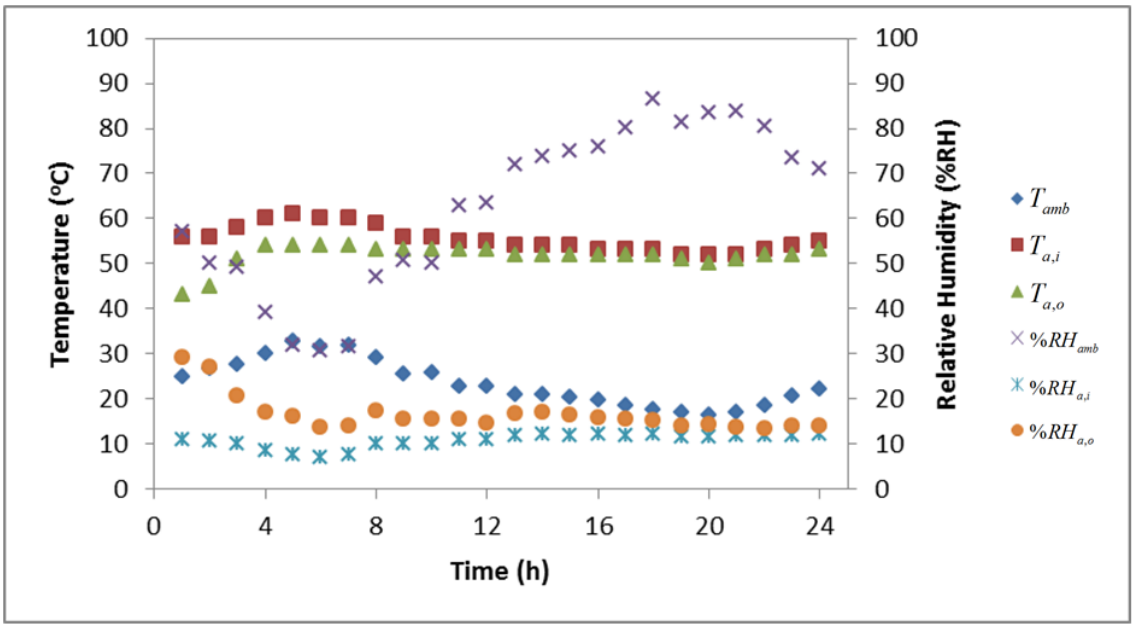
รูปที่ 5.6 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

5.2.3 ผลการอบแห้งดอกคาโมมายล์

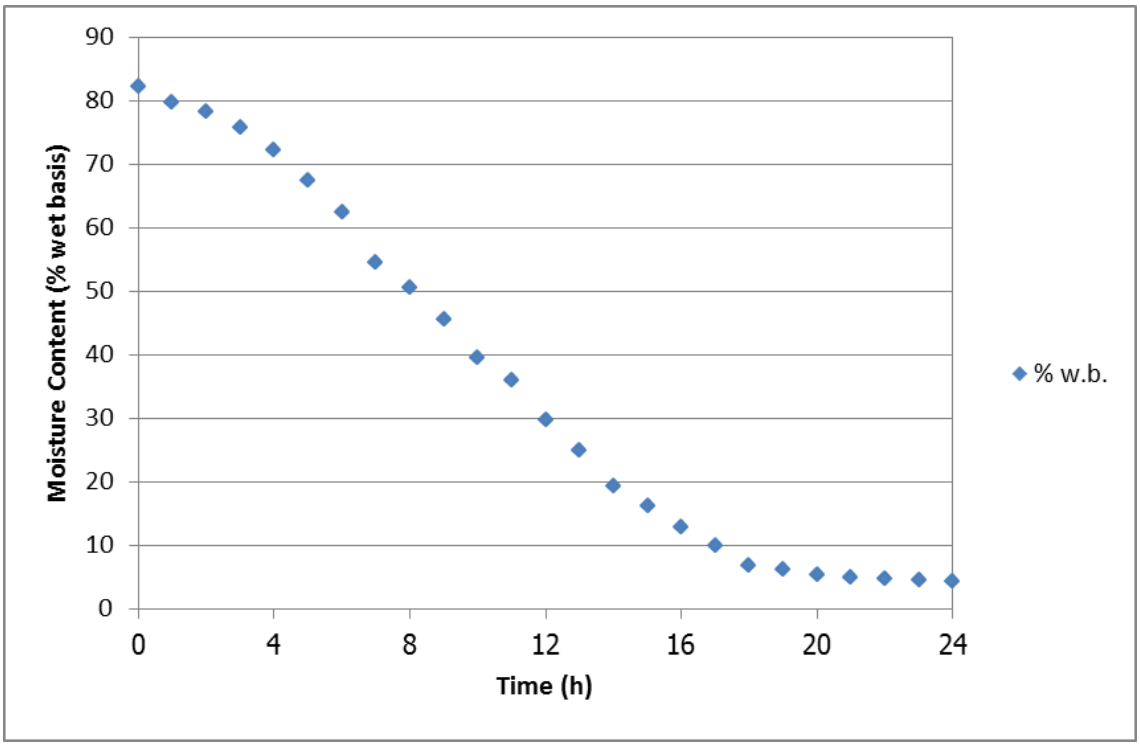
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นของอากาศขณะทำการอบแห้งดอกคาโมมายล์ ดังแสดงในรูปที่ 5.7 พบว่า ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้าและอากาศขาออก ในช่วงเริ่มต้นการอบแห้งจะมีค่าสูงและค่อยๆลดลงเรื่อยๆ จนช่วงท้ายของการอบแห้งอุณหภูมิลมร้อนแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เนื่องจากความชื้นในดอกคาโมมายล์เหลืออยู่น้อย ส่วนความชื้นของอากาศที่ตำแหน่งอากาศขาออกมีค่าสูง และคงที่ จนช่วงท้ายของการอบแห้งความชื้นของอากาศแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย การทดลองอบแห้งดอกคาโมมายล์ที่อุณหภูมิลมร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 55.4 องศาเซลเซียส เมื่อเริ่มอบแห้งความชื้นเริ่มต้นของดอกคาโมมายล์เท่ากับ 82.3 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก โดยในช่วงแรกอัตราการอบแห้งดอกคาโมมายล์ค่อยๆเพิ่มขึ้นจนถึงจุดอัตราการอบแห้งคงที่ แล้วในช่วงท้ายของการอบแห้งอัตราการอบแห้งค่อยๆลดลง ใช้เวลาในการอบแห้ง 18 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 5.8 และค่าความชื้นสุดท้ายของดอกคาโมมายล์เท่ากับ 6.8 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก สมรรถนะการอบแห้งของเตาอบแห้งขนาด 60 กิโลกรัม พบว่า จากดอกคาโมมายล์สดน้ำหนัก 60 กิโลกรัม จะได้ดอกคาโมมายล์อบแห้งน้ำหนักประมาณ 11 กิโลกรัม โดยใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว 13.9 กิโลกรัม และใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 20.3 หน่วย อัตราการอบแห้งเท่ากับ 2.72 กิโลกรัมน้ำระเหยต่อชั่วโมง ค่าสิ้นเปลืองพลังงานเท่ากับ 16.94 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย และต้นทุนในการอบแห้งดอกคาโมมายล์เท่ากับ 37.80 บาทต่อกิโลกรัม

5.2.4 คุณภาพของดอกคาโมมายล์อบแห้ง

การเปรียบเทียบคุณภาพสีของดอกคาโมมายล์อบแห้งกับดอกคาโมมายล์สด พบว่า คุณภาพสีเป็นที่พอใจของเจ้าหน้าที่โครงการหลวงสะโงะ เนื่องจากอุณหภูมิอบแห้งไม่สูง และเหมาะแก่การอบแห้งดอกคาโมมายล์ [14] ดังแสดงในรูปที่ 5.9 การใช้งานเตาอบแห้งขนาด 60 กิโลกรัม สามารถแก้ปัญหาการสลับถาดของเตาอบแห้งเดิมขณะทำการอบแห้งได้ เนื่องจากมีการปรับปรุงเตาอบแห้งให้มีการกระจายความร้อนได้อย่างทั่วถึง เมื่อนำดอกคาโมมายล์อบแห้งมาชงชาดอกคาโมมายล์ พบว่า น้ำชามีกลิ่นและรสชาติที่ดีขึ้น เนื่องจากการอาศัยการแลกเปลี่ยนความร้อนทางอ้อมในการสร้างอากาศร้อนเพื่อใช้ในการอบแห้งดอกคาโมมายล์ จึงไม่มีกลิ่นของสารอื่นเจือปน แม้ว่าการอบแห้งดอกคาโมมายล์ด้วยเตาอบแห้งขนาด 60 กิโลกรัม จะมีต้นทุนที่สูงขึ้น แต่เมื่อการผลิตชาดอกคาโมมายล์ที่มีคุณภาพและความปลอดภัยต่อผู้บริโภค จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีราคาที่สูงขึ้นได้เช่นกัน



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นของอากาศขณะทำการทดลอง



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความชื้นของดอกคาโมมายล์เทียบกับเวลา

รูปที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบสีของดอกคาโมมายล์สดกับดอกคาโมมายล์อบแห้ง