บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ผลการทดลองในงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์การอบแห้งพริกขี้ฟ้า ใบมะกรูด และตะไคร้ ซึ่งได้คำนึงถึงความเหมาะสมในการอบแห้งผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด โดยพิจารณาถึง คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ระยะเวลาในการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง โดยมีเงื่อนไขในการพิจารณาดังนี้

1. การวิเคราะห์ผลการทดลองอบแห้งพริกขี้ฟ้า ใบมะกรูด และตะไคร้ ในกรณีที่
   - การอบแห้งแบบไม่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ (without air recycling)
   - การอบแห้งแบบมีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ (with air recycling)
2. การวิเคราะห์ผลการทดลองหลังการปรับปรุงเครื่องอบแห้งโดยการติดตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์
3. การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

1. <u>การวิเคราะห์ผลการอบแห้งพริกขี้ฟ้า ใบมะกรูด และตะไคร้</u>

ในการทดลองได้แบ่งการทดลองเป็นการอบแห้งแบบมีและไม่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ เพื่อเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบแห้ง โดยในการทดลองอบแห้งแต่ละผลิตภัณฑ์ ได้ทำการหาความเหมาะสมของพารามิเตอร์ในการอบแห้งต่างๆ คือ

- ความหนาของชั้นผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเครื่องอบแห้งที่ใช้เป็นเครื่องอบแห้งที่มีการอบแห้งแบบชั้นหนา ในการอบแห้งจึงต้องคำนึงถึงกำลังการผลิตสูงสุดและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้

- อัตราการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ จากการสำรวจงานวิจัยพบว่าอัตราการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 60 - 80 เปอร์เซ็นต์ แต่อัตราการประหยัดพลังงานในการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของอากาศร้อนที่นำกลับมาใช้ใหม่ด้วยเช่นกัน ซึ่งในการพิจารณาระยะเวลาที่เหมาะสมในการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่นั้นจะพิจารณาจากอุณหภูมิที่ออกจากห้องอบแห้งและปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ลดลง

1.1 <u>การวิเคราะห์ผลการอบแห้งแบบไม่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ (without air recycling)</u>

ส่วนนี้จะทำการทดลองอบแห้งผลิตภัณฑ์โดยการพิจารณาความเหมาะสมในการอบแห้งจากคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง และอัตราการการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพื่อหาความเหมาะสมในการอบแห้งด้านความหนาของชั้นผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด จากผลการ ทดลองอบแห้งแบบไม่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่สามารถสรุปผลได้ดังตาราง 3

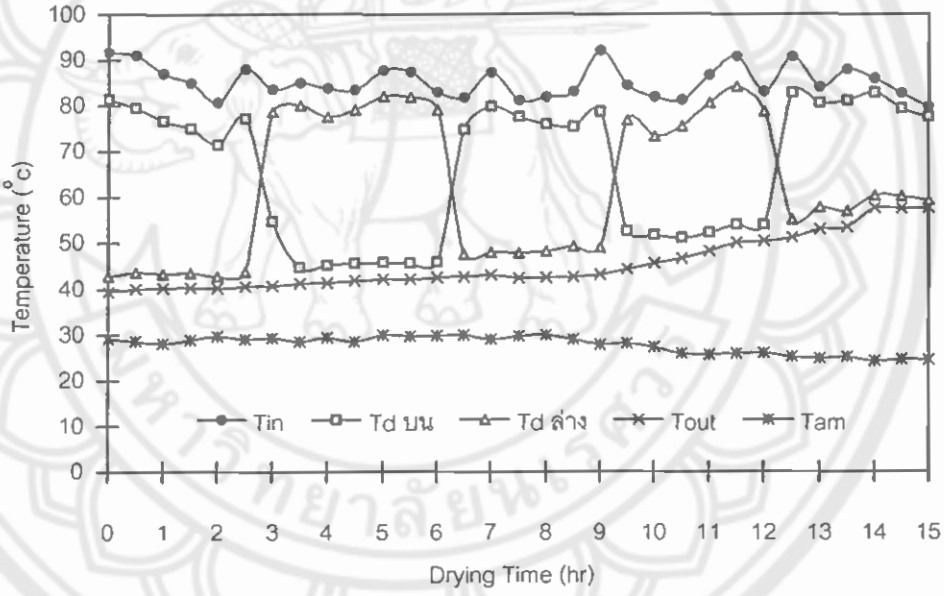
ตาราง 3 ผลการอบแห้งแบบไม่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่

Description	Products		
	Chitly spur pepper	Leech lime leafs	Lemon grass
Thickness (cm)	20	30	30
Average drying temperature ($^{\circ}C$)	78.5	57.9	72.9
Drying time (hr)	15	6	7
Moisture content of products			
before drying (%db)	252.01	162.45	320.84
after drying (%db)	13.14	12.48	12.46
Condition of Products			
initial weight (kg)	197	24	82
dry matter (kg)	58	8	21
Fuel Consumption			
Wood (kg/hr)	7.6	3.0	5.0
Electrical Consumption (kWh)	9.15	3.66	4.55
Energy Consumption (MJ/kg H_2O evap)			
Wood	12.71	17.44	8.85
Electrical	0.24	0.82	0.27
Total Energy Consumption (MJ/kg H_2O evap)	12.95	18.26	9.12

จากตาราง 3 เมื่อพิจารณาถึงคุณภาพผลิตภัณฑ์ ระยะเวลาในการอบแห้ง และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน ในการอบแห้งพริก ใบมะกรูด และตะไคร้ พบว่า

- ผลการอบแห้งพริกชี้ฟ้า เมื่อทำการอบแห้งพริกชี้ฟ้าที่ชั้นความหนา 30 เซนติเมตร อุณหภูมิอบแห้งเฉลี่ย 80°C ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 21 ชั่วโมง แต่จากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งพริกอยู่ที่ 15-18 ชั่วโมง และจากการสังเกตผลิตภัณฑ์ขณะอบแห้งมีลักษณะเหนียวแบนติดกันเป็นก้อนทำให้อากาศร้อนไม่สามารถกระจายทั่วผลิตภัณฑ์ได้จึงทำให้พริกชี้ฟ้าแห้งเฉพาะด้านบนและด้านล่างที่สัมผัสกับอากาศร้อนเท่านั้น ส่งผลให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงได้น้อยกว่าที่ต้องการ และสามารถสรุปว่าการอบแห้งที่ชั้นความหนา 30 เซนติเมตร ไม่เหมาะต่อการอบแห้งพริกชี้ฟ้า

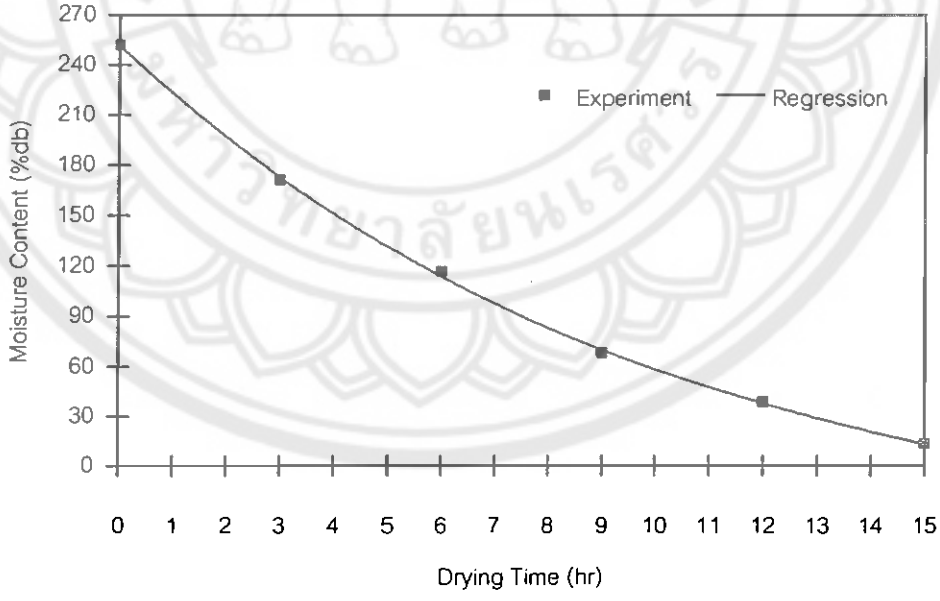
ส่วนการอบแห้งพริกชี้ฟ้าที่ชั้นความหนา 20 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิอบแห้งเฉลี่ย 78.5°C ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 15 ชั่วโมง



ภาพ 23 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศอบแห้งพริกชี้ฟ้า (ความหนา 20 cm)

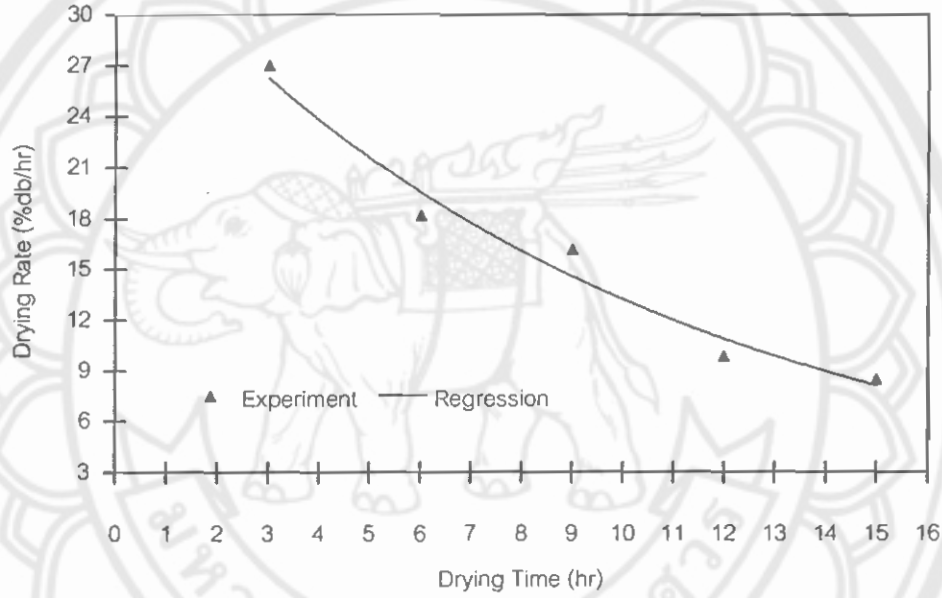
จากกราฟในภาพ 23 เมื่อพิจารณาถึงอุณหภูมิของห้องอบแห้งชั้นบน (Tdบน) และห้องอบแห้งชั้นล่าง (Tdล่าง) พบว่าอุณหภูมิอากาศอบแห้งของทั้งสองห้องมีความแตกต่างกันประมาณ 40°C ในขณะที่อุณหภูมิอากาศที่ขาเข้าห้องอบแห้งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 85.2°C ลักษณะเด่นของเครื่องอบแห้งนี้ คือขณะที่ทำการอบแห้งจะต้องมีการสลับทิศทางลมร้อนตลอดทำการทดลอง ซึ่งใน

การอบแห้งพริกชี้ฟ้านี้ได้ทำการสลับทิศทางลมร้อนทุกๆ 3 ชั่วโมง ทำให้อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงของการสลับทิศทางดังภาพ 23 โดยเริ่มต้นให้ลมร้อนผ่านชั้นบนก่อน ทำให้อุณหภูมิชั้นบนสูงกว่าชั้นล่างประมาณ 38.5°C เมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง มีการสลับทิศทางลมให้ลมร้อนผ่านชั้นล่าง ทำให้อุณหภูมิชั้นล่างสูงขึ้นและในขณะเดียวกันอุณหภูมิที่ชั้นบนก็จะต่ำลง และเป็นเช่นนี้ตลอดการทดลอง และจะเห็นว่าอุณหภูมิออกจากห้องอบแห้งจะเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเวลาในการอบแห้งผ่านไป 9 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับความต่างของอุณหภูมิอบแห้งห้องอบบนและห้องอบล่างก็เริ่มลดลง อยู่ที่ประมาณ 20°C แสดงให้เห็นว่าความชื้นจากผลิตภัณฑ์เริ่มลดลงมากแล้ว ในการทดลองได้หาสัดส่วนความชื้นที่ลดลงแต่ละช่วงเวลาจากการเก็บตัวอย่างเพื่อหาค่าความชื้นโดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง ในการทดลองเก็บตัวอย่างทั้งหมด 4 จุด โดยเก็บที่ห้องอบแห้งบน 2 จุดและล่าง 2 จุด ทุกตัวอย่างจะวางลึกจากผิวชั้นผลิตภัณฑ์ 10 เซนติเมตร และเก็บชั่งน้ำหนักทุกๆ 3 ชั่วโมง ในการบันทึกน้ำหนักของตัวอย่างเพื่อคำนวณหาสัดส่วนความชื้นที่ลดลงในแต่ละช่วงเวลา โดยมีสัดส่วนการลดลงของความชื้นในการทดลองอบแห้งพริกชี้ฟ้าแสดงดังกราฟภาพ 24 ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือในส่วนแรกตั้งแต่เริ่มต้นการอบแห้งจนถึงชั่วโมงที่ 9 ความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว และจะเริ่มลดลงอย่างช้าๆ ในช่วงชั่วโมงที่ 10 จนสิ้นสุดการทดลองเพราะความชื้นในผลิตภัณฑ์เหลือน้อยและลดลงจนถึงความชื้นที่ต้องการ จากผลการทดลองสามารถลดความชื้นจากร้อยละ 252.01 มาตรฐานแห้ง เหลือความชื้นสุดท้ายร้อยละ 13.14 มาตรฐานแห้ง



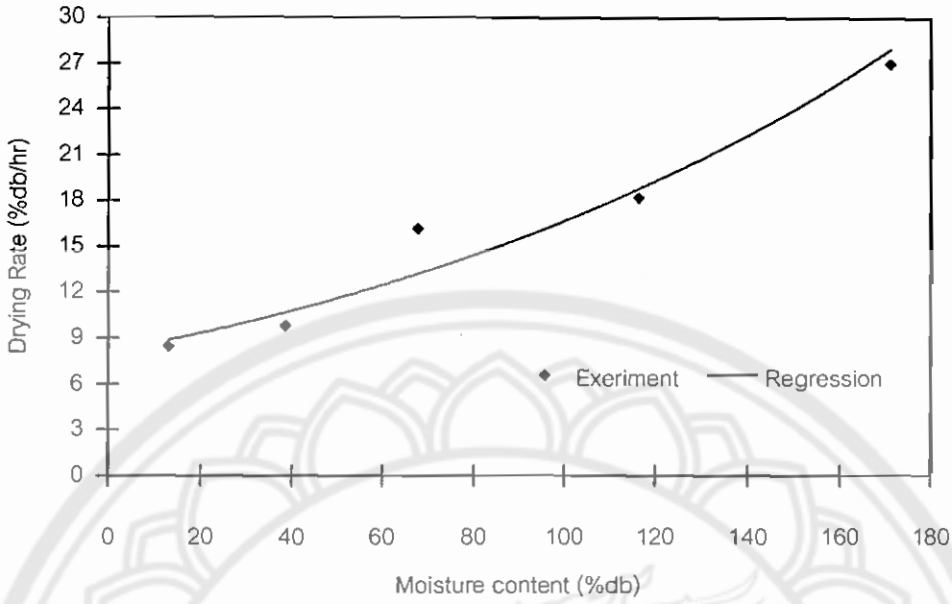
ภาพ 24 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของพริกชี้ฟ้า (ความหนา 20 cm)

ในการเก็บตัวอย่างพริกชี้ฟ้าเพื่อหาค่าความชื้นจะเห็นว่าปริมาณความชื้นที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าจากการทดลองและค่าจากเส้นแนวโน้ม มีความคลาดเคลื่อนกันเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บตัวอย่างให้ถี่ขึ้นจะทำให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับเส้นแนวโน้ม แต่เนื่องจากการเปิดตู้อบแห้งแต่ละครั้งจะทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนจากห้องอบแห้งมาก จึงได้ทำการเก็บตัวอย่างทุก 3 ชั่วโมง อัตราการอบแห้งในช่วง 1-8 ชั่วโมงแรกของการอบแห้งจะมีค่าสูงและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.19 %db/hr ความชื้นลดลงได้ร้อยละ 169.55 มาตรฐานแห้ง หลังจากชั่วโมงที่ 9 อัตราการอบแห้งเฉลี่ยมีค่าลดลงเท่ากับ 9.13 %db/hr ความชื้นลดลงได้ร้อยละ 54.76 มาตรฐานแห้ง ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอัตราการอบแห้งแสดงดังกราฟภาพ 25



ภาพ 25 อัตราการอบแห้งพริก (ความหนา 20 cm)

เมื่อพิจารณากราฟในภาพที่ 26 จะเห็นว่าอัตราการอบแห้งมีค่าสูงในช่วงของการอบแห้งระยะแรกซึ่งเป็นช่วงที่ความชื้นในผลิตภัณฑ์มีค่าสูงและค่อยๆ ลดลง เมื่อระยะเวลาการอบแห้งผ่านไป แสดงให้เห็นว่าเมื่อการอบแห้งผ่านไปถึงจุดหนึ่งที่ผลิตภัณฑ์มีความชื้นค่อนข้างต่ำแล้วอัตราการอบแห้งก็จะลดลงด้วย สำหรับคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้นพริกแห้งที่ได้มีลักษณะเม็ดกลมสีแดงสด ซึ่งเป็นไปตามลักษณะที่ตลาดต้องการ เปรียบเทียบคุณภาพของพริกชี้ฟ้าสดและพริกชี้ฟ้าแห้งจากการทดลองได้ดังภาพ 27 แสดงให้เห็นว่าการอบแห้งพริกชี้ฟ้าโดยใช้เครื่องอบแห้งชนิดนี้มีคุณภาพดี



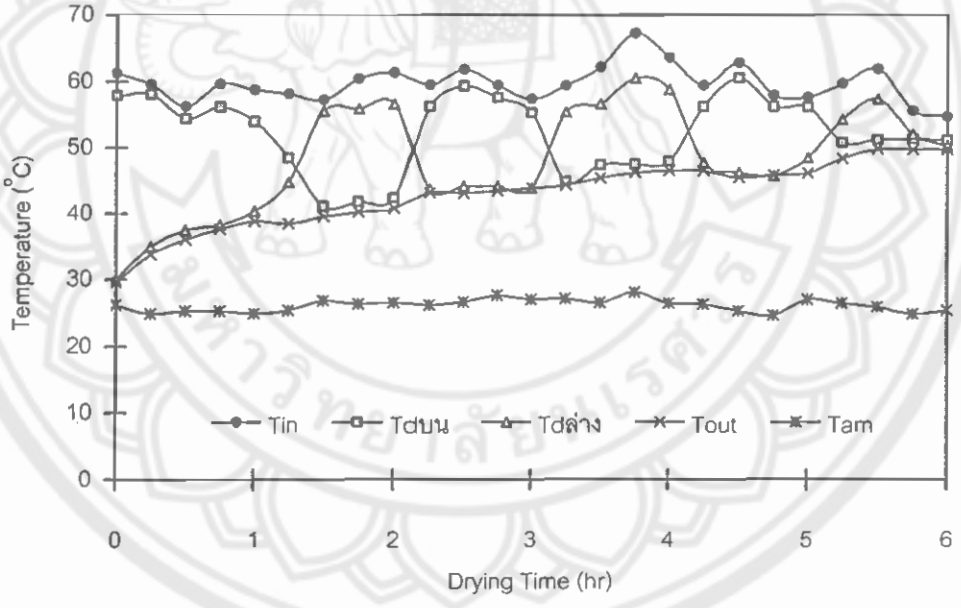
ภาพ 26 อิทธิพลของปริมาณความชื้นที่มีต่ออัตราการอบแห้งพริกชี้ฟ้า (ความหนา 20 cm)

เมื่อพิจารณาการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการอบแห้งพริกชี้ฟ้า พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองไม้ฟืนที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าเฉลี่ย 7.6 kg/hr และเมื่อคิดเป็นอัตราการใช้พลังงานทั้งหมดเทียบกับปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากพริกชี้ฟ้า 139 kg จะสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเท่ากับ 1800 MJ คิดเป็นอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเท่ากับ 12.95 MJ/kg H_2O evap

พริกชี้ฟ้าสด พริกชี้ฟ้าแห้ง

ภาพ 27 พริกชี้ฟ้าก่อนอบแห้งและพริกชี้ฟ้าแห้งที่ได้จากการทดลอง

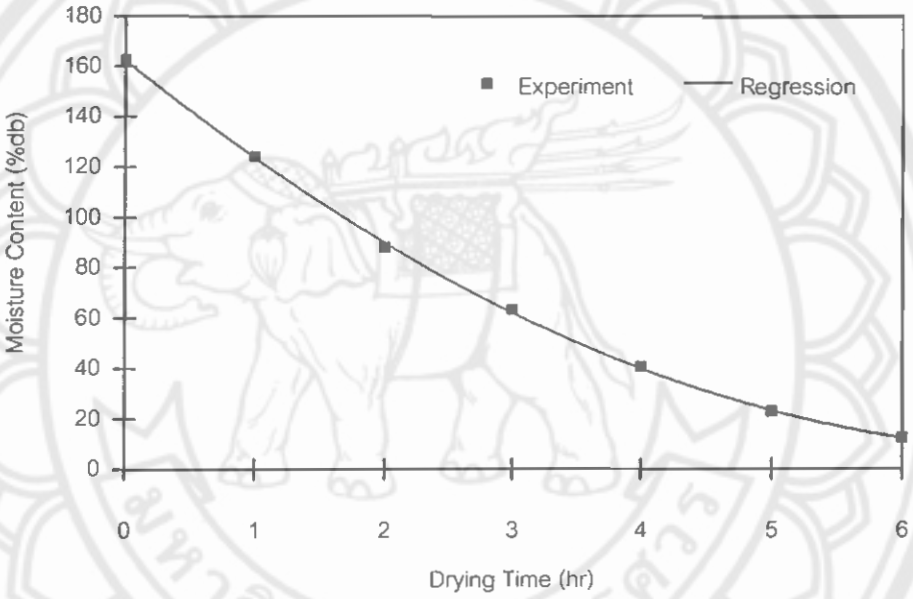
- ผลการอบแห้งใบมะกรูด ทำการอบแห้งที่ความหนา 30 เซนติเมตร อุณหภูมิในการอบแห้งเฉลี่ย 57.9°C จากใบมะกรูดความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 162.5 มาตรฐานแห้ง ลดลงเหลือร้อยละ 12.48 มาตรฐานแห้ง ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 6 ชั่วโมง ในการอบแห้งทำการสลับลมร้อนทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นระยะเวลาสั้นกว่าการอบแห้งพริกเนื่องจากใบมะกรูดและผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นแผ่นบาง แห้งง่าย ถ้าระยะเวลาในการสลับลมนานกว่า 1 ชั่วโมงจะทำให้ด้านผิวหน้าแห้งเร็วจนเกินไปทำให้ใบมะกรูดมีสีเข้มขึ้น จึงต้องทำการสลับลมร้อนให้ถี่ขึ้น เพื่อให้ด้านบนและด้านล่างแห้งสม่ำเสมอ จากกราฟจากกราฟภาพ 28 เมื่อสังเกตลักษณะของอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะพบว่ามีลักษณะเหมือนกับการอบแห้งพริกชี้ฟ้าแต่แตกต่างกันที่ช่วงเวลาการสลับลมร้อน จากกราฟจะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างชั้นบนและชั้นล่างจากเริ่มต้นจากแตกต่างกันประมาณ 30°C และค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนที่ระยะเวลาสิ้นสุดการอบแห้งจะเห็นว่าอุณหภูมิระหว่างห้องอบแห้งบนและห้องอบแห้งล่างมีค่าแตกต่างกันเพียง 1°C ซึ่งชั้นบนและชั้นล่างมีอุณหภูมิประมาณ 50 °C



ภาพ 28 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศอบแห้งใบมะกรูด (ความหนา 30 cm)

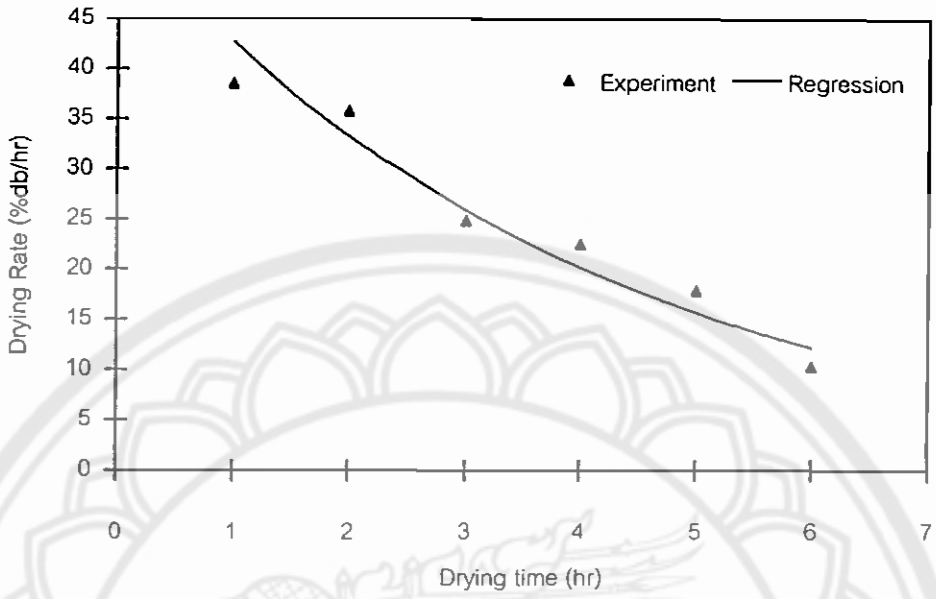
เมื่อพิจารณากราฟดังแสดงในภาพ 29 ความชื้นของผลิตภัณฑ์จะลดลงอย่างมากในช่วง 2 ชั่วโมงแรก หลังจากชั่วโมงที่ 3-5 สัดส่วนการลดลงใกล้เคียงกันในแต่ละชั่วโมง และลดลงน้อย

มากในชั่วโมงสุดท้าย แต่เนื่องจากเป็นการอบแห้งที่ใช้ระยะเวลาสั้นเพียง 6 ชั่วโมงเท่านั้น จึงเห็นความแตกต่างค่อนข้างน้อย เมื่อสังเกตสัดส่วนความชื้นร่วมกับอัตราการอบแห้ง แสดงดังกราฟในภาพ 30 จะเห็นว่าสามารถแบ่งอัตราการอบแห้งให้เห็นเป็นช่วงๆ ได้ค่อนข้างชัดเจน ในช่วงแรก คือ ชั่วโมง ที่ 1-2 อัตราการอบแห้งเฉลี่ย 37.16 %db/hr ในช่วงที่สอง ชั่วโมงที่ 3-5 อัตราการอบแห้งเฉลี่ย 21.76 %db/hr และในชั่วโมงสุดท้ายของการอบแห้งอัตราการอบแห้งเฉลี่ย 10.37%db/hr ซึ่งอัตราการอบแห้งจะสอดคล้องกับความชื้นของผลิตภัณฑ์ด้วยเช่นกัน จากกราฟในภาพ 31 ในขณะที่ความชื้นในผลิตภัณฑ์มีค่าสูงอัตราการอบแห้งก็จะสูง และเมื่อสัดส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์เริ่มลดลงก็จะเห็นว่าอัตราการอบแห้งจะเริ่มลดลงด้วยเช่นกัน

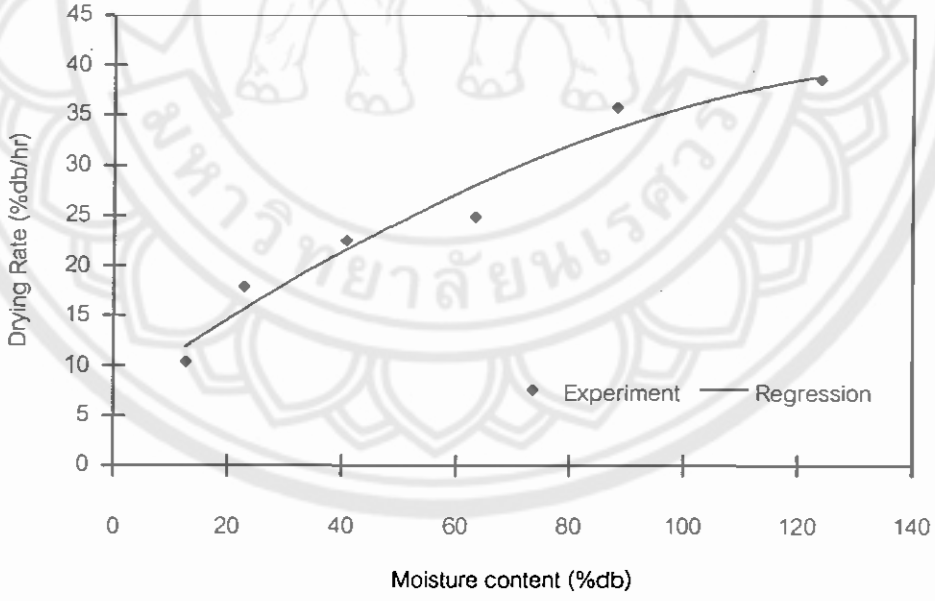


ภาพ 29 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของใบมะกรูด (ความหนา 30 cm)

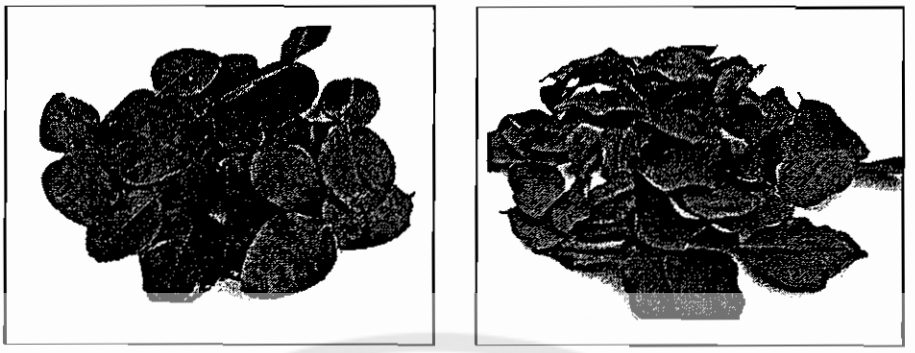
จากการสังเกตคุณภาพของใบมะกรูดที่ได้มีลักษณะสีเขียวใกล้เคียงกับสีใบมะกรูดสด ซึ่งเป็นไปตามที่ตลาดต้องการโดยสังเกตได้จากภาพ 32 ในการทดลองอบแห้งใบมะกรูดมีอัตราการสิ้นเปลืองไม้ฟืนที่ใช้อบแห้งเฉลี่ย 3 kg/hr คิดเป็นพลังงานจำเพาะเท่ากับ 292.2 MJ คิดเป็นอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเทียบกับปริมาณน้ำที่ระเหยได้ 16 kg เท่ากับ 18.26 MJ/kg H_2O evap



ภาพ 30 อัตราการอบแห้งใบมะกรูด (ความหนา 30 cm)



ภาพ 31 อิทธิพลของปริมาณความชื้นที่มีต่ออัตราการอบแห้งใบมะกรูด (ความหนา 30 cm)



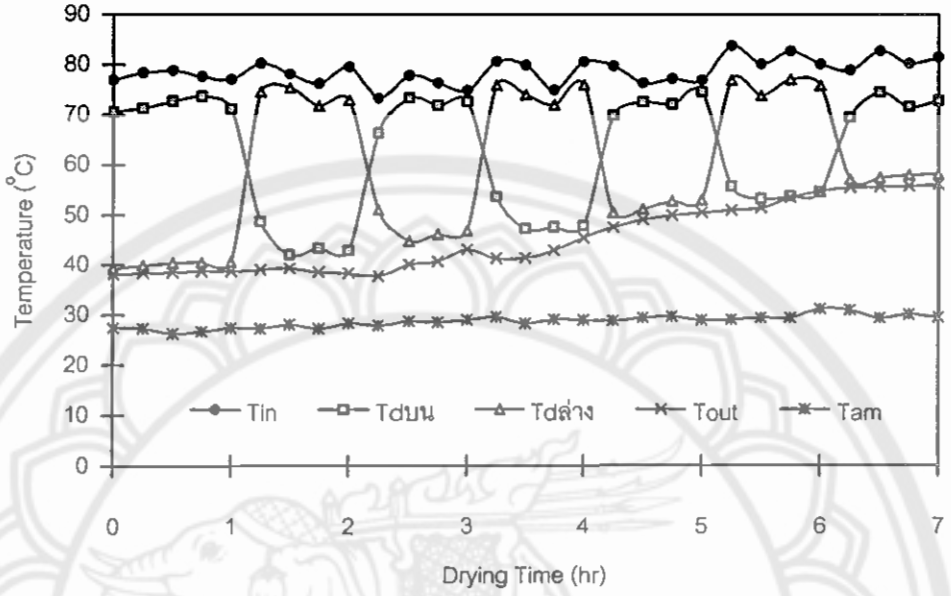
ใบมะกรูดสด ใบมะกรูดแห้ง

ภาพ 32 ใบมะกรูดก่อนอบแห้งและใบมะกรูดแห้งที่ได้จากการทดลอง

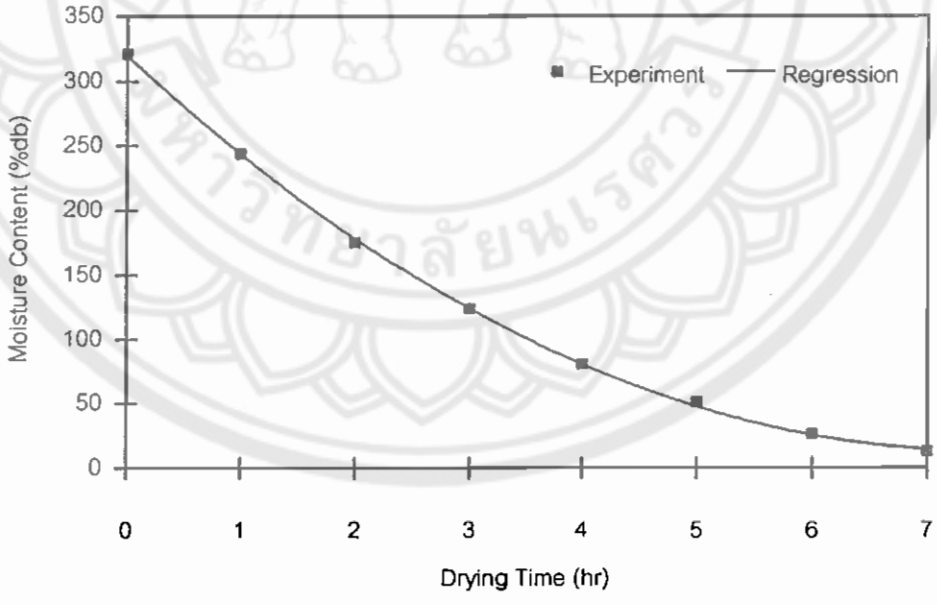
- ผลการอบแห้งตะไคร้ ทำการอบแห้งที่ชั้นความหนา 30 เซนติเมตร เช่นเดียวกับใบมะกรูด อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 72.9 °C จากความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 320.84 มาตรฐานแห้ง ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 7 ชั่วโมง และจากกราฟในภาพ 33 จะเห็นว่าลักษณะของการสลับลมเหมือนกับการอบแห้งใบมะกรูด คือทำการสลับลมร้อนทุกๆ 1 ชั่วโมง ซึ่งการอบแห้งตะไคร้ถ้าใช้ระยะเวลาในการสลับลมมากว่านี้จะทำให้ตะไคร้สีเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล จากกราฟในภาพ 33 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิอากาศขาออกจากห้องอบแห้งเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนตั้งแต่ชั่วโมงที่ 3 และอุณหภูมิระหว่างห้องอบแห้งบนและห้องอบแห้งล่างจะเริ่มต่างกันน้อยลงเรื่อยๆ จากเริ่มต้นการอบแห้งมีความแตกต่างประมาณ 35 °C และความแตกต่างของอุณหภูมิห้องอบแห้งบนและห้องอบแห้งล่างที่ระยะเวลาสิ้นสุดการอบแห้งใกล้เคียงกันประมาณ 15 °C

จากกราฟในภาพ 34 จะเห็นได้ว่าสัดส่วนความชื้นมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 1-4 ชั่วโมงแรก และเริ่มลดลงจนใกล้จะคงที่เมื่อระยะเวลาการอบแห้งผ่านไปตั้งแต่ชั่วโมงที่ 5 จนสิ้นสุดการอบแห้ง และการเปลี่ยนแปลงความชื้นจะสอดคล้องกับอัตราการอบแห้ง จากกราฟภาพ 35 จะเห็นว่าอัตราการอบแห้งเฉลี่ยมีค่าสูงในช่วงแรกและมีค่าเท่ากับ 62.82%db/hr และค่อยๆ ลดลงในช่วง 3 ชั่วโมงสุดท้ายโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.73 %db/hr เมื่อสังเกตความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและอัตราการอบแห้ง จากกราฟในภาพ 36 จะเห็นว่าที่สัดส่วนความชื้นของตะไคร้เมื่อเริ่มต้นการอบแห้งยังคงสูงอยู่ อัตราการอบแห้งก็จะสูงด้วยเช่นกันเพราะอัตราการระเหยน้ำจะสูงในช่วงแรกและเมื่อความชื้นลดลงอัตราการอบแห้งก็จะลดลงด้วย เมื่อสังเกตคุณภาพของตะไคร้แห้งที่ได้พบว่าตะไคร้มีสีเขียวค่อนข้างใกล้เคียงตะไคร้สด เปรียบเทียบตะไคร้แห้งที่ได้กับตะไคร้สดได้จากภาพ 37 ซึ่งตะไคร้ที่ได้จากการทดลองมีคุณภาพดีตามที่ตลาดต้องการ และในการทดลองอบแห้งมีอัตราการสิ้นเปลืองไม้ฟืนในการอบแห้งเท่ากับ 5 kg/hr ระเหยน้ำได้ทั้งหมด 61.3 kg สิ้นเปลือง

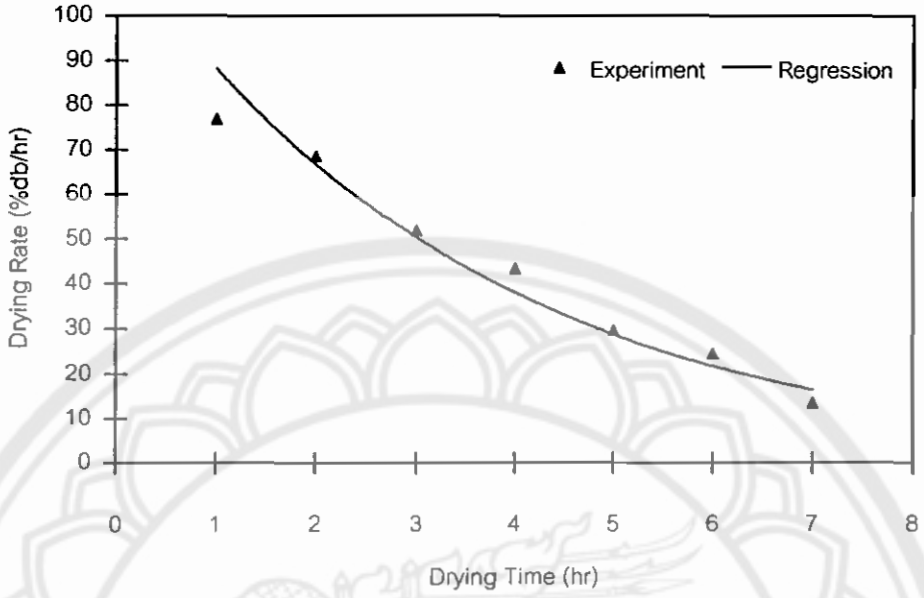
พลังงานทั้งหมด 559 MJ หรือคิดเป็นสัดส่วนการสิ้นเปลืองพลังงานต่อปริมาณน้ำที่ระเหยเท่ากับ 9.12 MJ/kg H_2O evap



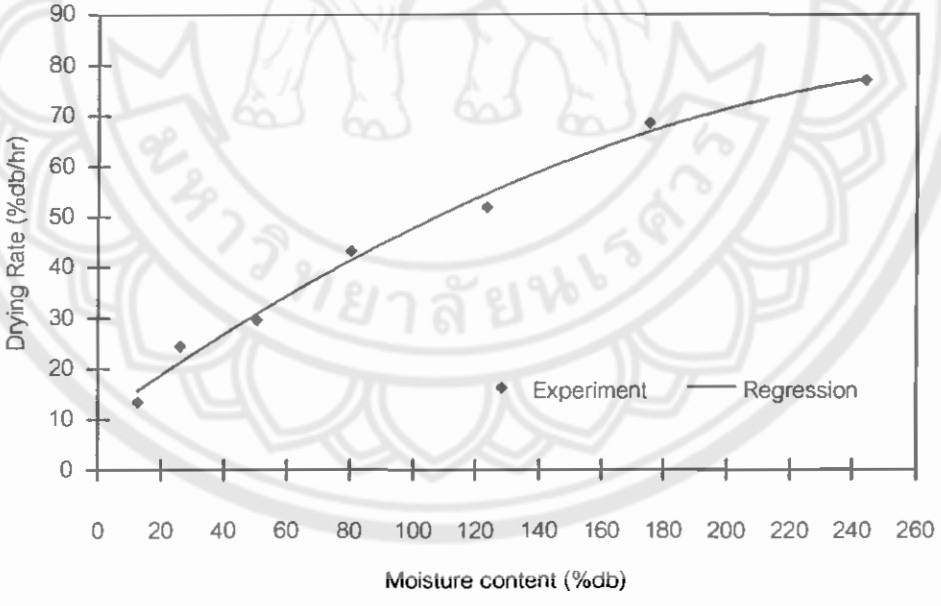
ภาพ 33 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศอบแห้งตะไคร้ (ความหนา 30 cm)



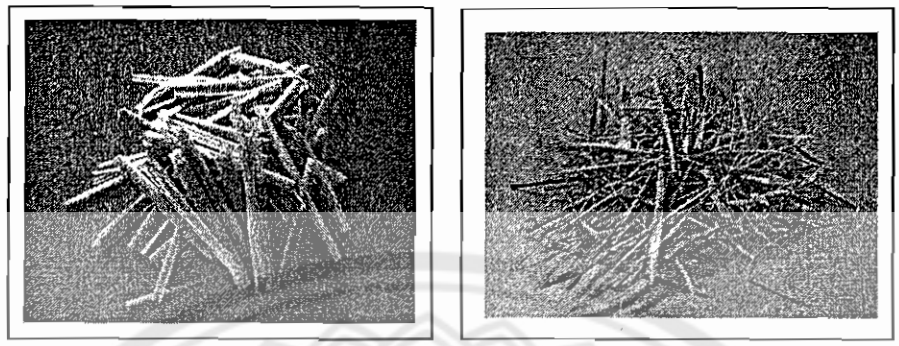
ภาพ 34 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของตะไคร้ (ความหนา 30 cm)



ภาพ 35 อัตราการอบแห้งตะไคร้ (ความหนาหนา 30 cm)



ภาพ 36 อิทธิพลของปริมาณความชื้นที่มีต่ออัตราการอบแห้งตะไคร้ (ความหนา 30 cm)



ตะไคร้สด ตะไคร้แห้ง

ภาพ 37 ตะไคร้ก่อนอบแห้งและตะไคร้แห้งที่ได้จากการทดลอง

1.2 การพิจารณาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการอบแห้ง

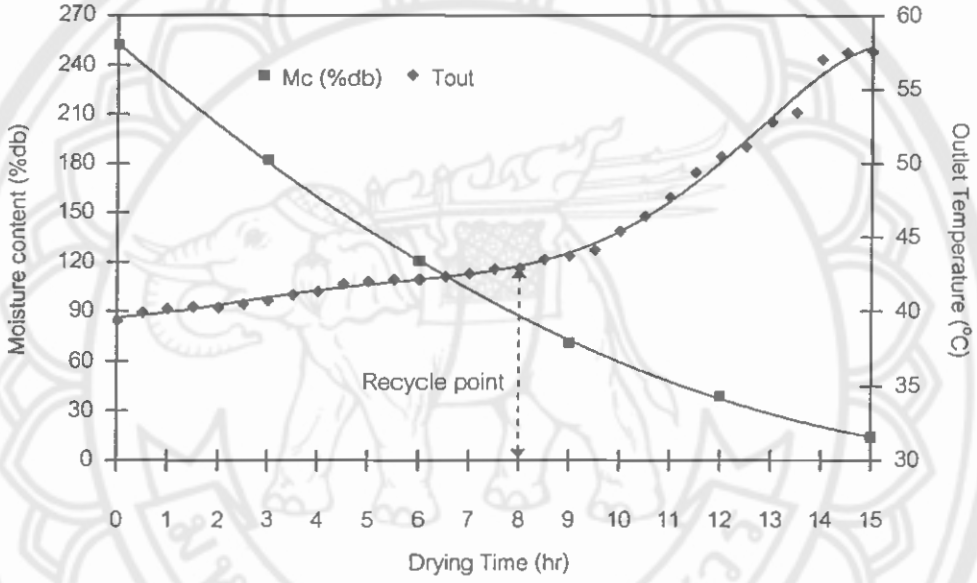
ในการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิดนั้นได้ใช้ข้อมูลการอบแห้งแบบไม่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ และได้ข้อสรุปเพื่อกำหนดสภาวะความเหมาะสมในการอบแห้งแบบมีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ต่อไป โดยพิจารณาความเหมาะสมของความหนา และการพิจารณาช่วงเวลาในการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ โดยสรุปเป็นข้อกำหนดเบื้องต้นได้ดังนี้

- ความหนาชั้นผลิตภัณฑ์ เลือกความหนาของการอบแห้งพริกชี้ฟ้า ใบมะกรูด และตะไคร้ที่ความหนา 20 30 และ30 เซนติเมตร ตามลำดับ

- การพิจารณาระยะเวลาในการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้กราฟภาพ 38-40 ในการพิจารณาการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ของพริกชี้ฟ้า ใบมะกรูด และตะไคร้ จะเห็นว่าอุณหภูมิอากาศออกจากห้องอบแห้งเริ่มเพิ่มขึ้น นั่นคือความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลงมาก มีการพาความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ลดลง การสังเกตการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิออกจากห้องอบแห้งเป็นส่วนหนึ่งของการเลือกระยะเวลาในการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งต้องพิจารณาควบคู่ไปกับความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ทำการอบแห้งด้วย ซึ่งระยะเวลาที่จะทำการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่จะเลือกระยะเวลาที่ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงจากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 50%

จากกราฟภาพ 38 ปริมาณความชื้นของการอบแห้งพริกชี้ฟ้าลดลงจากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 50% ที่เวลาในการอบแห้งผ่านไปประมาณ 7 ชั่วโมง แต่การพิจารณาระยะเวลาการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ต้องคำนึงถึงอุณหภูมิอากาศขาออกจากห้องอบแห้งที่เริ่มเพิ่มขึ้น จาก

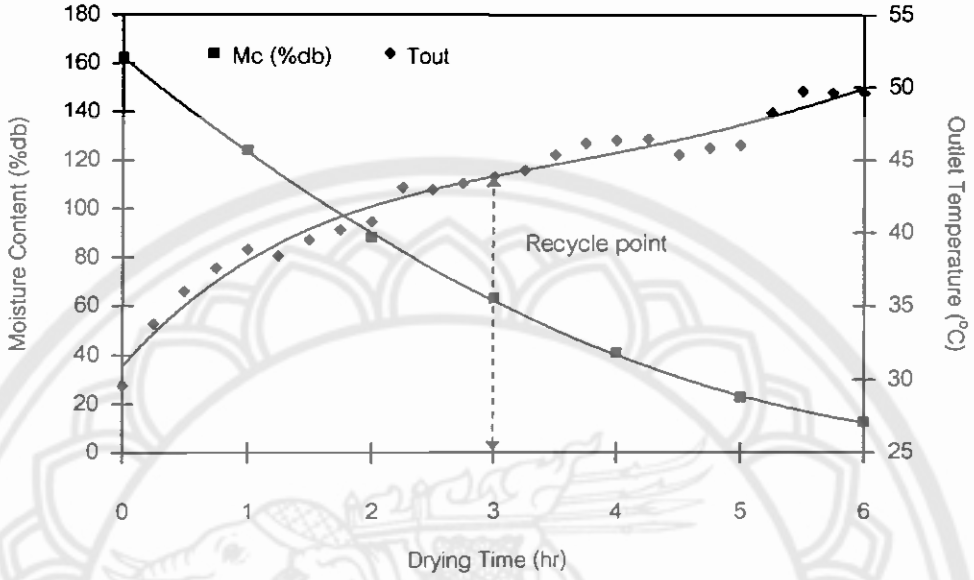
กราฟจะเห็นว่าอุณหภูมิออกจากห้องอบแห้งเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนตั้งแต่ชั่วโมงที่ 8 และในส่วนของความชื้นจากชั่วโมงที่ 1 ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 252.01 มาตรฐานแห้ง จนถึงชั่วโมงที่ 8 ความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 83 มาตรฐานแห้ง ปริมาณความชื้นที่ลดลงคิดเป็นร้อยละ 60 ของความชื้นเริ่มต้น ในขณะที่อัตราการระเหยน้ำของพริกชี้ฟ้า ตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองถึงชั่วโมงที่ 8 จนถึงสิ้นสุดการอบแห้งลดลงจาก 3.3 g/s เป็น 1.53 g/s จะเป็นว่าการอบแห้งหลังชั่วโมงที่ 8 มีอัตราการระเหยต่ำกว่าช่วงแรก ดังนั้นจึงใช้ระยะเวลาในการนำอากาศร้อนกับมาใช้ใหม่ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 8 เป็นต้นไป



ภาพ 38 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและอุณหภูมิอากาศขาออกในการอบแห้งพริกชี้ฟ้า

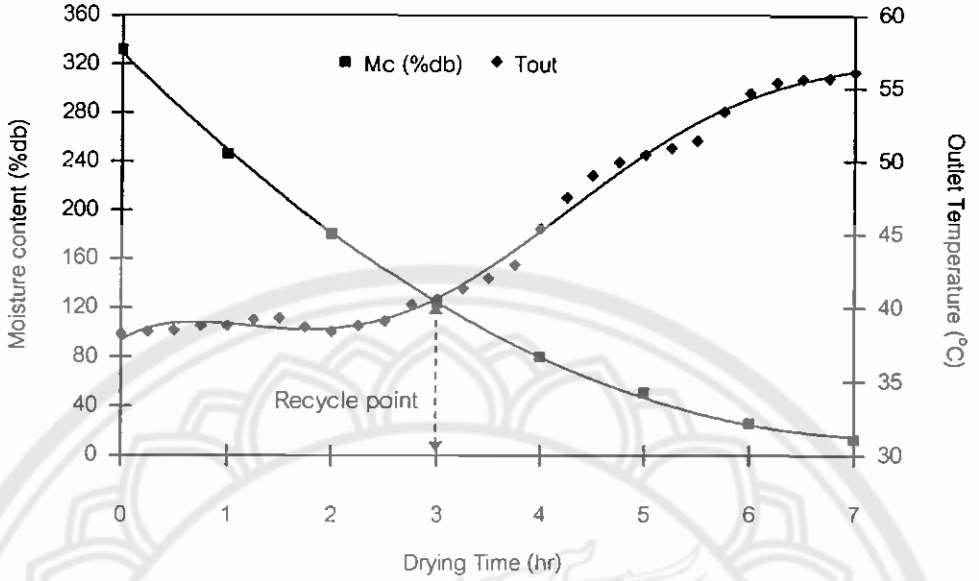
ในการอบแห้งใบมะกรูดเมื่อพิจารณาจากกราฟภาพ 39 จะเห็นว่าอุณหภูมิอากาศขาออกจากห้องอบแห้งเริ่มเพิ่มขึ้นตั้งแต่เวลาในการอบแห้งผ่านไป 2 ชั่วโมง แต่เมื่อพิจารณาจากสัดส่วนความชื้นจะเห็นว่าความชื้นที่เวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งความชื้นลดลงจากร้อยละ162.45 มาตรฐานแห้ง เหลือร้อยละ 63.26 มาตรฐานแห้ง ปริมาณความชื้นที่ลดลงเพียงร้อยละ 42.18 ของความชื้นเริ่มต้น ยังลดลงไม่ถึงร้อยละ 50 ของความชื้นเริ่มต้น ดังนั้นเมื่อพิจารณาอัตราการระเหยน้ำร่วมด้วยจะเห็นได้ว่าตั้งแต่เริ่มทำการอบแห้งจนถึงชั่วโมงที่ 3 อัตราการระเหยของน้ำมีค่าเท่ากับ 0.92 g/s และตั้งแต่ชั่วโมงที่ 4 จนสิ้นสุดการทดลองอัตราการระเหยของน้ำมีค่าลดลงเป็น 0.55 g/s

แสดงให้เห็นว่าอัตราการระเหยน้ำหลังจากชั่วโมงที่ 3 มีค่าค่อนข้างต่ำดังนั้นจึงเลือกระยะเวลาในการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ที่ชั่วโมงที่ 3



ภาพ 39 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและอุณหภูมิอากาศขาออกในการอบแห้งใบมะกรูด

สำหรับการอบแห้งตะไคร้ เมื่อพิจารณาจากกราฟในภาพ 40 อุณหภูมิอากาศขาออกจากห้องอบแห้งเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดตั้งแต่ชั่วโมงที่ 3 และปริมาณความชื้นของตะไคร้ลดลงจากร้อยละ 320.84 มาตรฐานแห้ง เหลือร้อยละ 123.37 มาตรฐานแห้ง ซึ่งปริมาณความชื้นลดลงเกินร้อยละ 50 ของความชื้นเริ่มต้นแล้ว อัตราการระเหยน้ำตั้งแต่เริ่มอบแห้งจนถึงชั่วโมงที่ 3 มีค่าเท่ากับ 3.6 g/s และตั้งแต่ชั่วโมงที่ 4 จนสิ้นสุดการทดลอง อัตราการระเหยน้ำลดลงเป็น 1.53 g/s แสดงให้เห็นว่าอัตราการระเหยน้ำของผลิตภัณฑ์เริ่มลดลงหลังจากชั่วโมงที่ 3 ดังนั้นจึงเลือกระยะเวลาที่จะนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 3 เป็นต้นไป



ภาพ 40 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและอุณหภูมิอากาศขาออกในการอบแห้งตะไคร้

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าระยะเวลาที่เหมาะสมในการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ พริกชี้ฟ้า ใบมะกรูด และตะไคร้ควรจะเป็นที่ 8 3 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ

1.3 <u>การวิเคราะห์ผลการอบแห้งแบบมีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ (With Air Recycling)</u>

การอบแห้งแบบมีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้ความหนาชั้นผลิตภัณฑ์และระยะเวลาในการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ที่เหมาะสมจากการทดลองในหัวข้อ 1.2 โดยทำการทดลองนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ ที่อัตราร้อยละ 60 และ 80 ของอากาศอบแห้งทั้งหมดซึ่งเป็นอัตราที่มีการทดลองแล้วพบว่าเป็นช่วงที่สามารถประหยัดพลังงานจำเพาะได้ดีที่สุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการอบแห้งซึ่งจะเหมาะกับอัตราการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ที่ไม่เท่ากัน ผลการทดลองอบแห้งผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิดที่สภาวะการอบแห้งต่างๆ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังตาราง 4

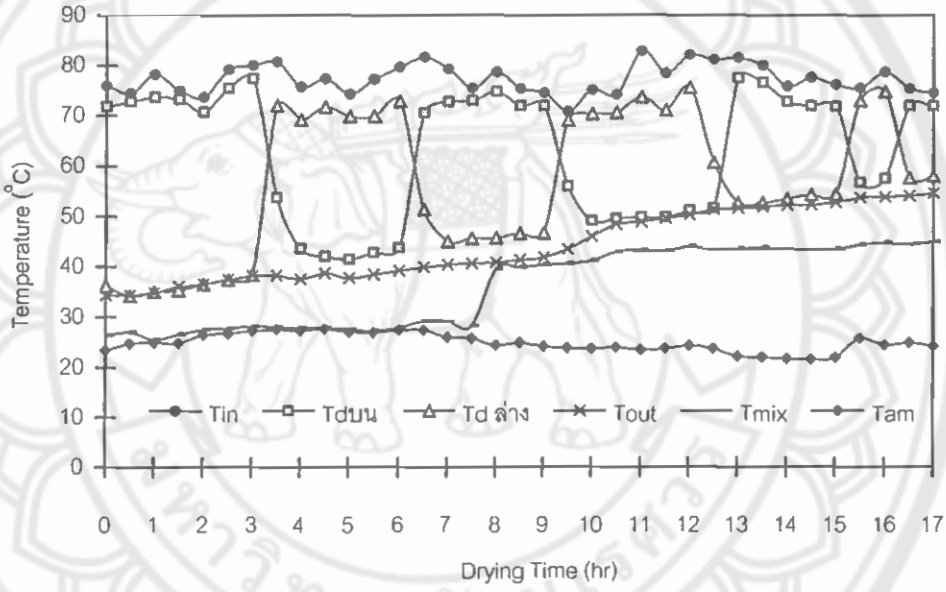
ตาราง 4 ผลการทดลองการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิดที่สภาวะการอบแห้งต่างๆ

Description	Products		
	Chilly spur pepper	Leech lime leafs	Lemon grass
Thickness (cm)	20	30	30
Average drying temperature (°C)	77.28	58.6	75.4
Fraction of air recycle (%)	80	80	80
drying time (hr)	17	6	7
Moisture content of Products			
before drying (%db)	249.41	170.65	309.71
after drying (%db)	13.33	12.79	11.98
Condition of product			
initial weight (kg)	200	25	78
dry matter (kg)	57	9	19
Fuel Consumption			
Wood (kg/hr)	5.4	2.3	3.8
Electrical Consumption (kW-hr)	11.05	3.96	4.34
Energy Consumption (MJ/kg H_2O evap)			
Wood	9.95	13.37	6.99
Electrical	0.28	0.89	0.26
Total Energy Consumption (MJ/kg H_2O evap)			
(with recycle air)	10.23	14.26	7.25
(without recycle air)	12.95	18.26	9.12
Energy saving (%)	21	21.9	20.5

จากตาราง 4 สามารถสรุปได้ว่าการอบแห้งพริกขี้ฟ้า ใบมะกรูด และตะไคร้ นั้นสามารถนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ในอัตราส่วนร้อยละ 80 ของอากาศอบแห้งทั้งหมด ซึ่งเป็นอัตราการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ที่สามารถทำให้เกิดการประหยัดประหยัดพลังงานได้สูงสุดสำหรับสัดส่วนที่กำหนดไว้ในการทดลองนี้ ส่วนผลการทดลองอบแห้งพริกขี้ฟ้า ใบมะกรูด และตะไคร้ แบบ

มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่จะได้ผลการทดลองอุณหภูมิและความชื้นใกล้เคียงกับการทดลองแบบไม่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ซึ่งในขั้นตอนนี้จะนำมาเป็นพารามิเตอร์หลักในการใช้พิจารณาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและระยะเวลาในการอบแห้ง

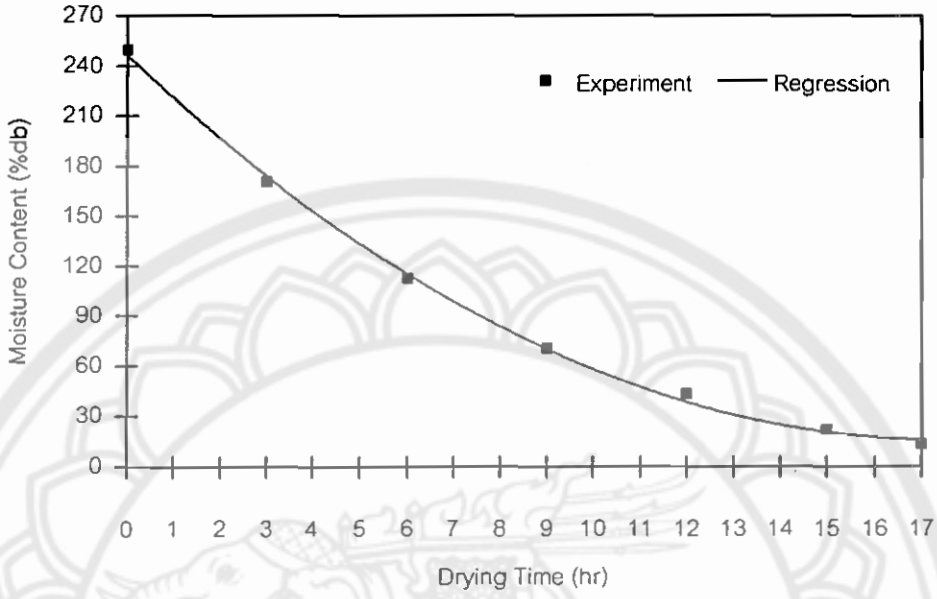
- ผลการอบแห้งพริกชี้ฟ้า อุณหภูมิอบแห้งเฉลี่ยประมาณ 77.28°C ทำการสลับลมร้อนทุกๆ 3 ชั่วโมง และให้ลมร้อนเข้าทางห้องอบแห้งด้านบนก่อน มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 80 ของอากาศอบแห้งทั้งหมด อุณหภูมิที่ท่ออากาศเข้าก็จะเป็นอุณหภูมิผสมระหว่างอากาศแวดล้อมและอากาศที่นำกลับมาใช้ใหม่ จากกราฟภาพ 41 จะเห็นว่าอุณหภูมิผสม (Tmix) จากอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย 23.6 °C เพิ่มขึ้นเป็น 42.8 °C โดยมีความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 19°C



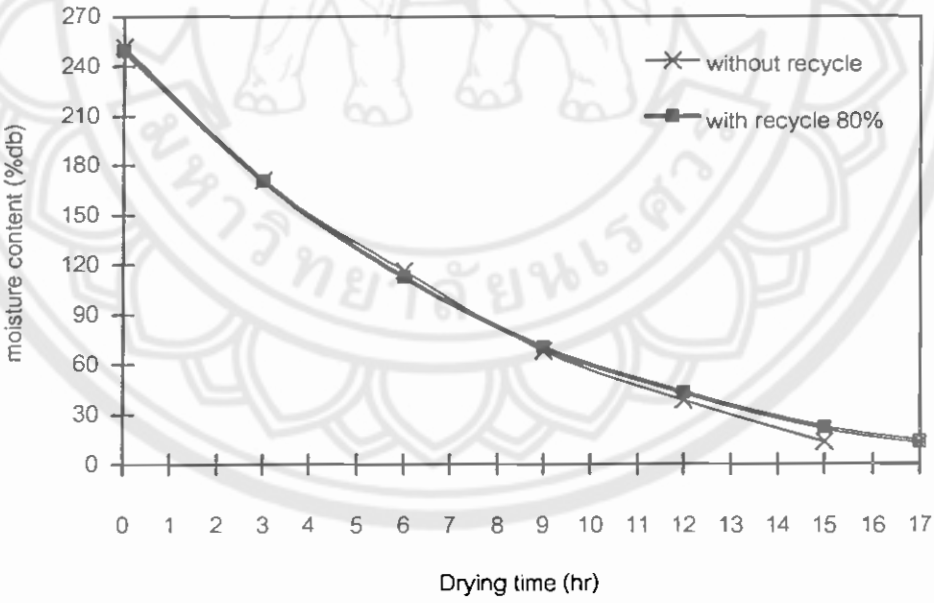
ภาพ 41 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งพริก (อัตราการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ 80%)

อบแห้งพริกชี้ฟ้าที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 249.41 มาตรฐานแห้ง ลดลงเหลือร้อยละ 13.33 มาตรฐานแห้ง ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นจาก 15 ชั่วโมงเป็น 17 ชั่วโมง จากกราฟภาพ 42 ที่ชั่วโมง 15 ของการอบแห้งความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 21.92 มาตรฐานแห้ง ซึ่งยังลดลงไม่ถึงระดับความชื้นที่ต้องการ จากกราฟภาพ 43 จะเห็นว่าอัตราการระเหยน้ำตั้งแต่ชั่วโมงที่ 9 ของการอบแห้งแบบมีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่นั้นมีค่าต่ำกว่าการอบแห้งแบบไม่มีการนำอากาศ

ร้อนกลับมาใช้ใหม่ เนื่องจากอากาศร้อนที่นำกลับมาใช้ใหม่จะมีสัดส่วนความชื้นที่สูงกว่าทำให้ความสามารถในการรองรับความชื้นที่ระเหยจากผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง

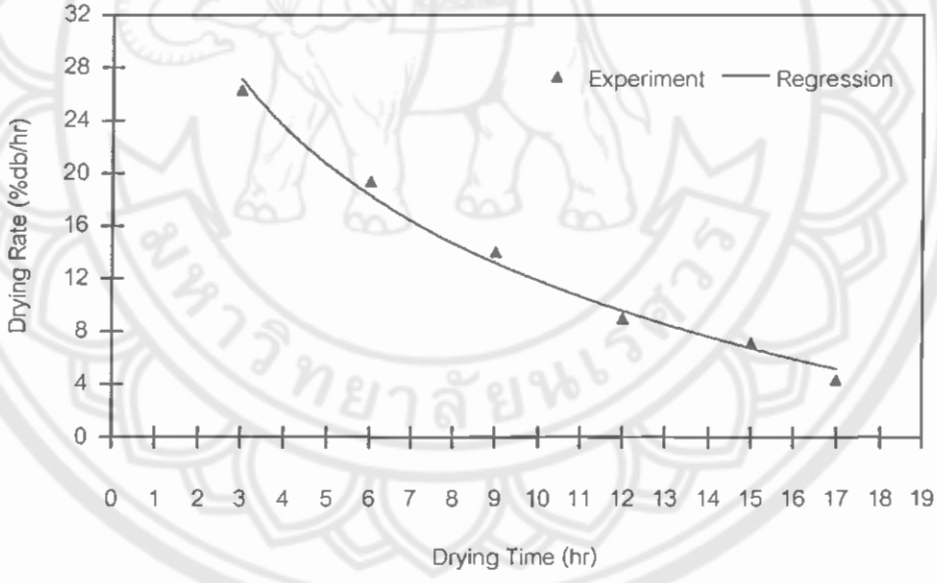


ภาพ 42 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของพริก (อัตราการ นำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ 80%)

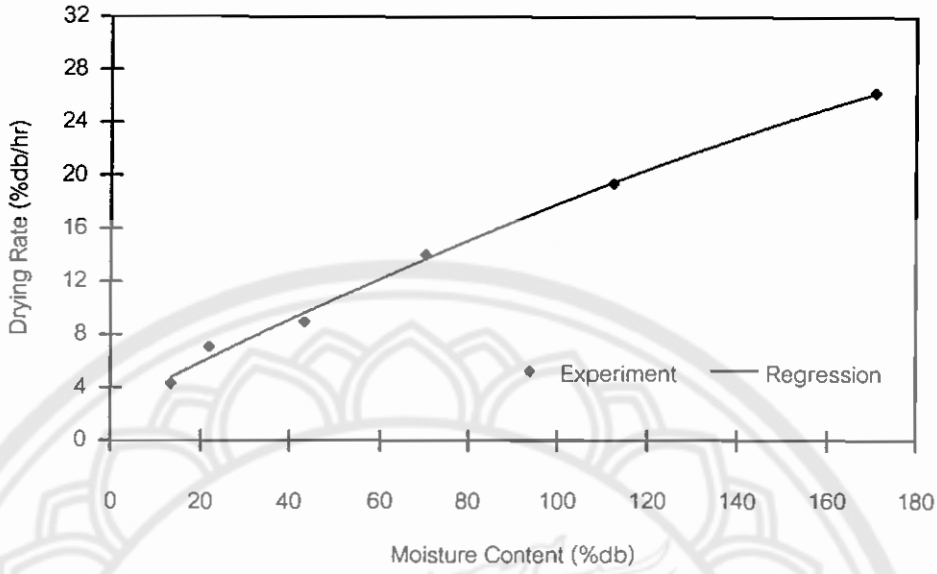


ภาพ 43 การเปรียบเทียบการลดลงของปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์เมื่อมีและไม่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการอบแห้ง โดยพิจารณากราฟในภาพ 44 พบว่าอัตราการอบแห้งในช่วงชั่วโมงที่ 1-8 มีอัตราการอบแห้งเฉลี่ย 20.721 %db/hr และช่วงชั่วโมงที่ 9-15 เป็นช่วงที่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่มีอัตราการอบแห้งเฉลี่ย 8.05 %db/hr จะสังเกตเห็นว่าอัตราการอบแห้งในกรณีที่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่จะมีค่าต่ำกว่าการอบแห้งที่ไม่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น และในช่วงชั่วโมง 16-17 เป็นระยะเวลาอบแห้งที่เพิ่มขึ้นมีอัตราการอบแห้งเฉลี่ย 4.29%db/hr อัตราการอบแห้งแต่ละช่วงจะสอดคล้องกับปริมารณความชื้นที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์แต่ละช่วงเวลา ซึ่งความสัมพันธ์ของอัตราการอบแห้งและปริมาณความชื้น แสดงดังกราฟภาพ 45 จากผลการทดลองพบว่าอัตราการสิ้นเปลืองไม้ฟืนในการอบแห้งมีค่าเท่ากับ 5.4 kg/hr และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าเท่ากับ 1462.7 MJ สามารถคิดเป็นอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่อปริมาณน้ำที่ระเหยได้เท่ากับ 10.23 MJ/kg H_2O evap ทำให้สามารถประหยัดพลังงานจำเพาะในการอบแห้งได้ร้อยละ 21 เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานจำเพาะของการอบแห้งแบบไม่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่

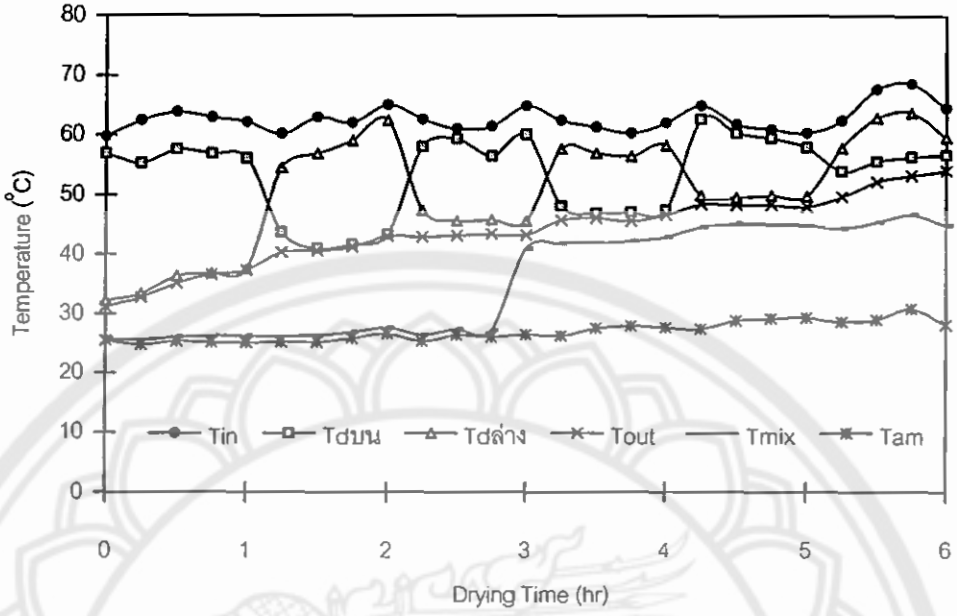


ภาพ 44 อัตราการอบแห้งพริกกรณีที่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ 80%

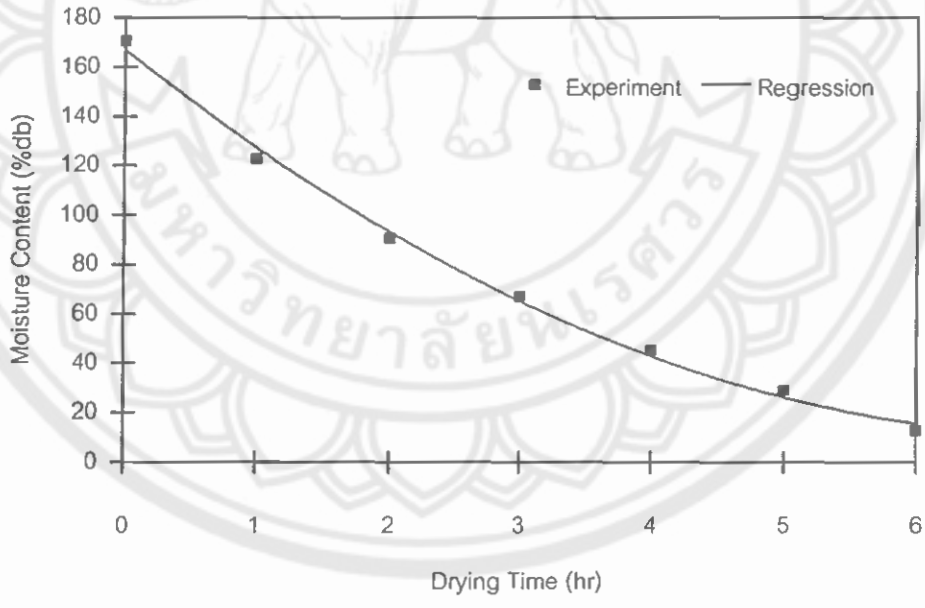


ภาพ 45 อิทธิพลของปริมาณความชื้นที่มีต่ออัตราการอบแห้งพริก
(อัตราการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ 80%)

- ผลการอบแห้งใบมะกรูด ลักษณะของการสลับลมและสัดส่วนการลดลงของความชื้นของการอบแห้งใบมะกรูดในกรณีที่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่มีความใกล้เคียงกับการทดลองแบบไม่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ ในการอบแห้งใบมะกรูดใช้อุณหภูมิอบแห้งเฉลี่ย 58.6°C ทำการสลับลมทุกๆ 1 ชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีลักษณะคล้ายกับการอบแห้งแบบไม่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ดังภาพ 46 เมื่อเวลาในการอบแห้งผ่านไป 3 ชั่วโมงมีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ในอัตราส่วนร้อยละ 80 ของอากาศอบแห้งทั้งหมด จะเห็นว่าอุณหภูมิอากาศผสม (Tmix) เฉลี่ย 44.1 °C เพิ่มจากอุณหภูมิอากาศแวดล้อมประมาณ 17 °C ในช่วงการอบแห้งช่วงท้ายความแตกต่างของอุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง (Td) ลดลงอย่างมากแสดงให้เห็นว่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงมากแล้ว การอบแห้งที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 170.65 มาตาฐานแห้ง ลดลงเหลือร้อยละ 12.79 มาตรฐานแห้ง ปริมาณความชื้นที่ลดลงแสดงดังกราฟในภาพ 47 โดยใช้ระยะเวลาในการอบแห้งเท่ากับการอบแห้งแบบไม่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่

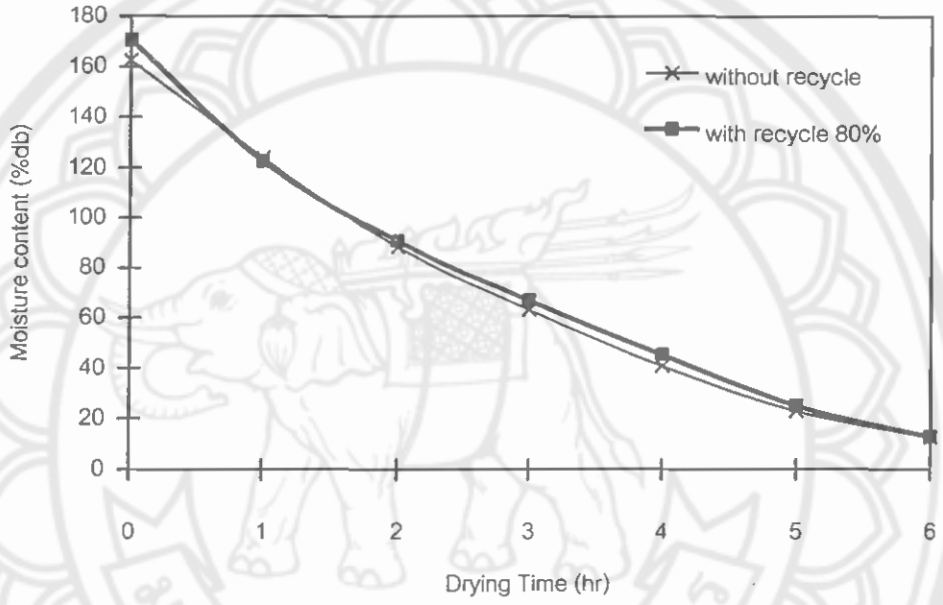


ภาพ 46 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่อบแห้งใบมะกรูดเมื่อมีการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ 80%



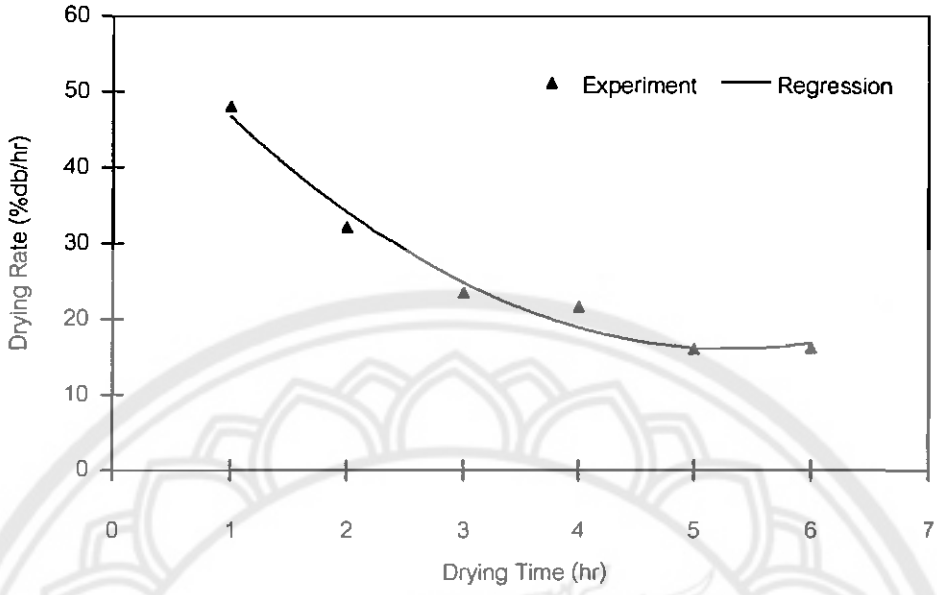
ภาพ 47 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของใบมะกรูดเมื่อมีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ 80%

จากกราฟในภาพ 48 จะเห็นได้ว่าการลดลงของปริมาณความชื้นในการอบแห้งแบบที่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่จะลดลงช้ากว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณความชื้นที่ลดลงของการอบแห้งแบบไม่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ ในส่วนของอัตราการอบแห้งช่วง 3 ชั่วโมงแรก อัตราการอบแห้งเฉลี่ย 40.08%db/hr เป็นช่วงที่ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูง และ ชั่วโมงที่ 4-6 เป็นช่วงที่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่อัตราการอบแห้งจะลดลงเฉลี่ย 19.0%db/hr ดังแสดงในกราฟภาพ 49 ในส่วนของความชื้นและอัตราการอบแห้งจะมีความสัมพันธ์เป็นไปดังกราฟในภาพ 50

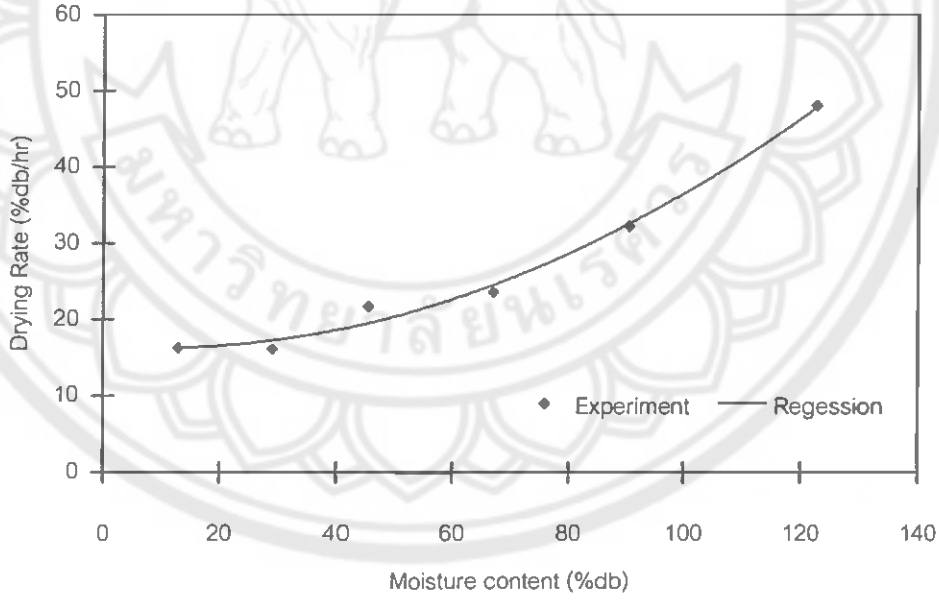


ภาพ 48 การเปรียบเทียบการลดลงของปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์เมื่อมีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่และไม่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้

การอบแห้งในกรณีนี้มีอัตราการสิ้นเปลืองไม้ฟืนประมาณ 2.3 kg/hr คิดเป็นพลังงานทั้งหมด 228.1 MJ และเมื่อคิดเป็นอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานต่อปริมาณน้ำที่ระเหยมีค่าเท่ากับ 14.26 MJ/kg H_2O evap ทำให้สามารถประหยัดพลังงานจำเพาะในการอบแห้งได้ร้อยละ 21.9 ของพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งแบบไม่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่

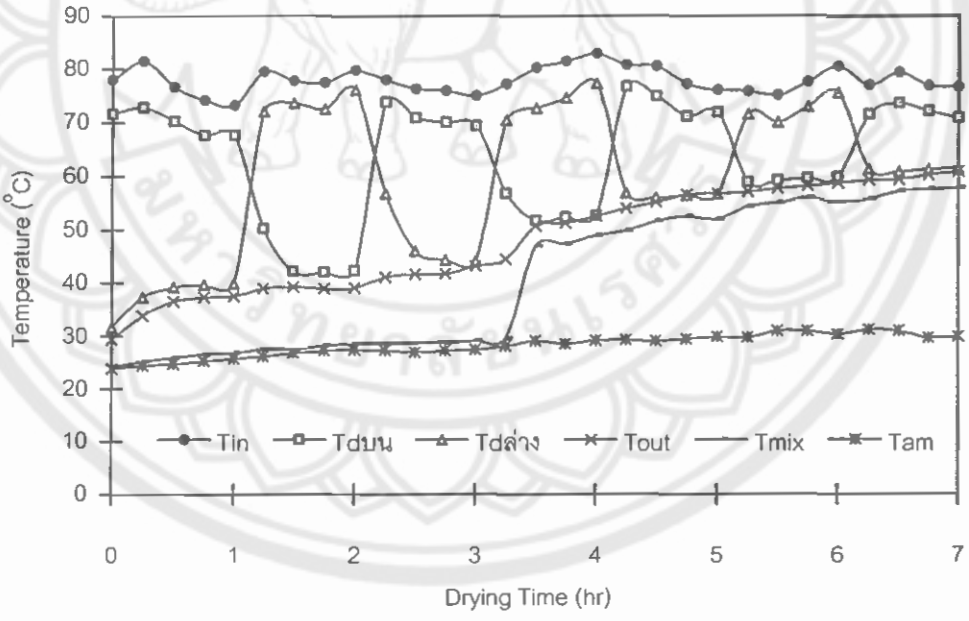


ภาพ 49 การเปลี่ยนแปลงอัตราการอบแห้งใบมะกรูดกรณีที่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ 80%

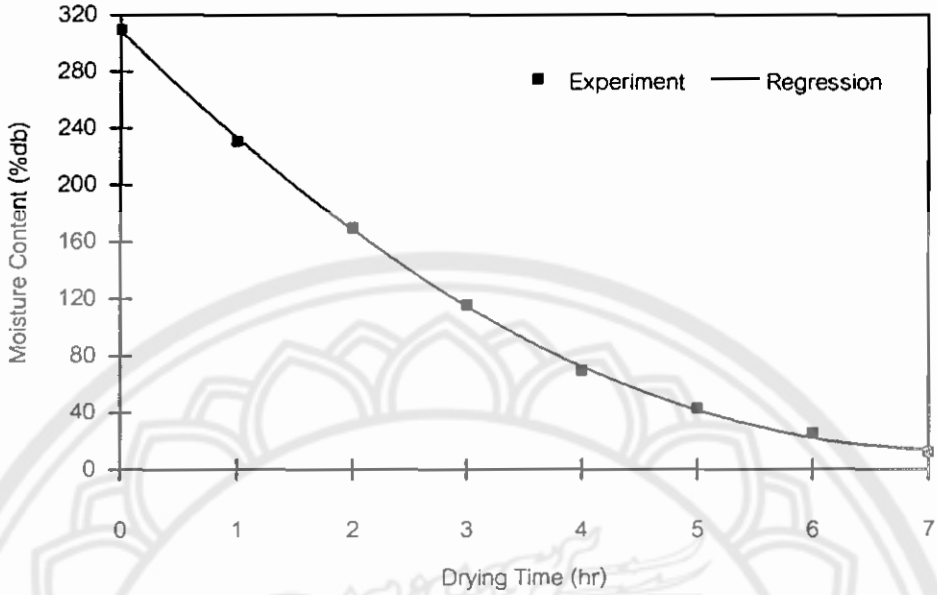


ภาพ 50 อิทธิพลของปริมาณความชื้นที่มีต่ออัตราการอบแห้งใบมะกรูด (อัตราการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ 80%)

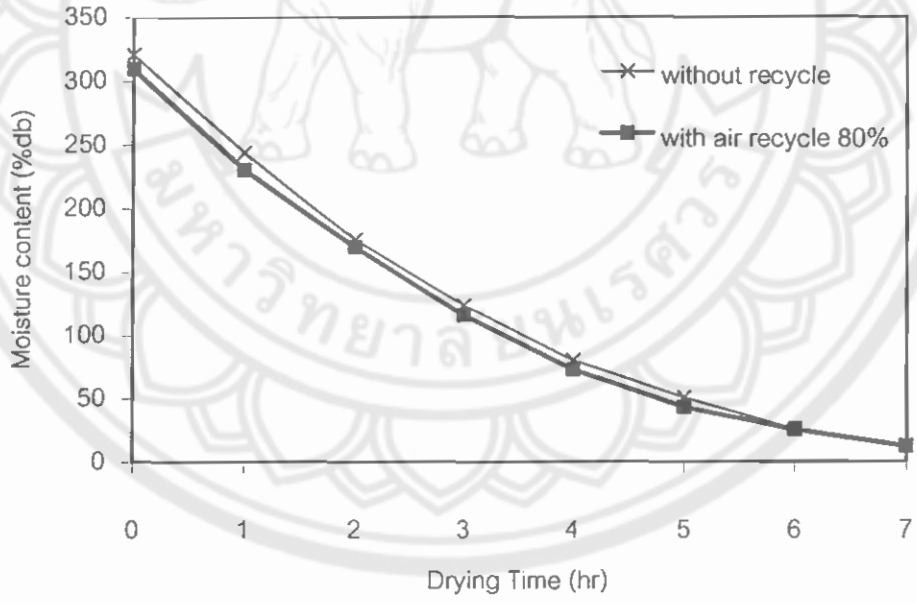
- ผลการอบแห้งตะไคร้ อุณหภูมิอบแห้งเฉลี่ยประมาณ 72.3°C โดยมีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 80 ของอากาศอบแห้งทั้งหมด ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 3 ของระยะเวลาที่อบแห้ง จากกราฟในภาพ 51 จะเห็นว่าอุณหภูมิอากาศผสม (Tmix) เริ่มเพิ่มขึ้นตั้งแต่ชั่วโมงที่ 3 โดยการนำอากาศกลับมาใช้สามารถเพิ่มอุณหภูมิก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ประมาณ 20 °C จากอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย 25.1 °C โดยจะเห็นความแตกต่างของอุณหภูมิของห้องอบแห้งบนและห้องอบแห้งล่างลดน้อยลงทำให้ทราบว่าความชื้นของผลิตภัณฑ์เริ่มลดลงแล้วซึ่งจะสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศขาออกจากห้องอบแห้งที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน เมื่อทำการอบแห้งตะไคร้ที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 309.71 มาตรฐานแห้ง ลดลงเหลือร้อยละ 11.98 มาตรฐานแห้ง ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ลดลงแสดงดังภาพ 52 โดยที่ปริมาณความชื้นที่ลดลงเมื่อพิจารณาจากกราฟภาพ 53 จะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้นตั้งแต่ชั่วโมงที่ 3 มีค่าลดลงน้อยกว่าการอบแห้งแบบไม่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ เนื่องจากเป็นช่วงที่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ทำให้อากาศรับปริมาณน้ำที่ระเหยได้น้อยลง



ภาพ 51 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่อบแห้งตะไคร้เมื่อมีการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ 80%

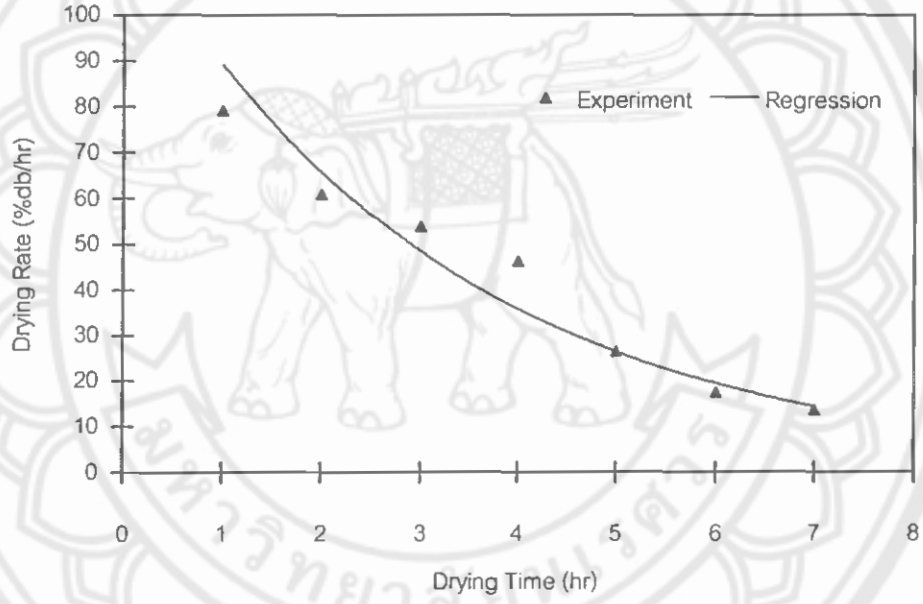


ภาพ 52 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของตะไคร้เมื่อมีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่80%

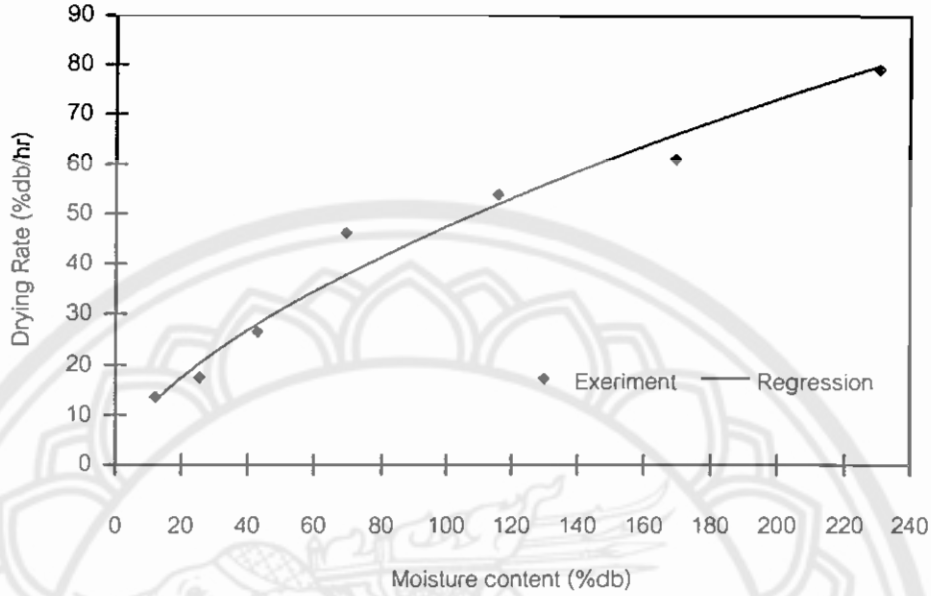


ภาพ 53 การเปรียบเทียบปริมาณความชื้นในการอบแห้งตะไคร้
แบบมีและไม่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่

และเมื่อพิจารณาอัตราการอบแห้งจากกราฟในภาพ 54 โดยเริ่มทำการอบแห้งในช่วงชั่วโมงที่ 1-3 ความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วอัตราการอบแห้งที่ปรากฏจะสูงตามไปด้วยโดยมีค่าเฉลี่ย 64.69 %db/hr และเมื่อระยะเวลาผ่านไปความชื้นจะลดลงจนกระทั่งถึงความชื้นที่ต้องการซึ่งอัตราการอบแห้งลดลงเฉลี่ย 25.19 %db/hr ความสัมพันธ์ของสัดส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้งแสดงดังกราฟในภาพ 55 ในการอบแห้งสิ้นเปลืองไม้ฟืน 3.8 kg/hr คิดเป็นพลังงานทั้งหมด 427.9 MJ และสามารถคิดเป็นอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานต่อปริมาณน้ำที่ระเหยได้เท่ากับ 7.25 MJ/kg H_2O evap ทำให้ประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 20.5 ของพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งตะไคร้แบบไม่นำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่



ภาพ 54 การเปลี่ยนแปลงอัตราการอบแห้งตะไคร้กรณีที่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ 80%



ภาพ 55 อิทธิพลของปริมาณความชื้นที่มีต่ออัตราการอบแห้งตะไคร้
เมื่อมีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ 80%

2. <u>ความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งแบบมีและไม่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่</u>

ในการทดลองอบแห้งพริกชี้ฟ้า ใบมะกรูด และตะไคร้ แบบไม่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่และแบบมีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ เพื่อนำอากาศที่ยังมีอุณหภูมิสูงอยู่แต่มีความชื้นปนอยู่ด้วยกลับมาใช้ร้อยละ 80 ผสมกับอากาศแวดล้อมร้อยละ 20 เป็นอากาศก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยเปรียบเทียบอัตราการประหยัดเชื้อเพลิงในการอบแห้งซึ่งแบ่งการใช้พลังงานออกเป็น 2 ส่วน คือพลังงานชีวมวลได้จาก ฟืน มีค่าความร้อนเท่ากับ 15.5 MJ/kg และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้า พลังงานทั้ง 2 ส่วน รวมเป็นพลังงานจำเพาะในการอบแห้งในรูปของพลังงานความร้อนผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิด

ตาราง 5 ความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้ง

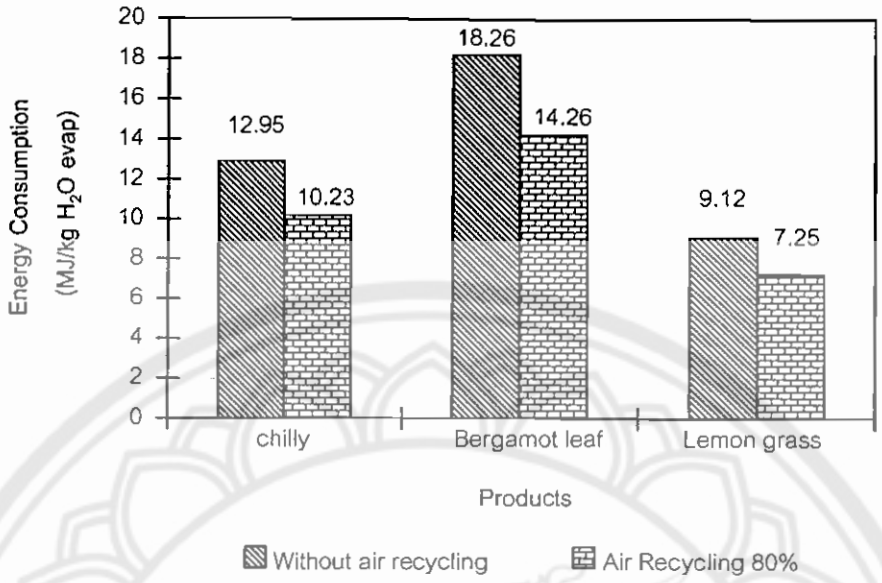
Description	Products		
	Chilly spur pepper	Leech lime leafs	Lemon grass
Total Energy consumption (MJ/kg H_2O evap)			
Without Recycle	12.95	18.26	9.12
With Recycle 80%	10.23	14.26	7.25
Energy saving (%)	21.0	21.9	20.5

ตาราง 5 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งพริกขี้ฟ้า ใบมะกรูด และตะไคร้ ในการทดลองอบแห้งมีสัดส่วนการประหยัดพลังงานดังนี้คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะทั้งหมดในการอบแห้งแบบไม่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ของการอบแห้งพริกขี้ฟ้าเท่ากับ 12.95 MJ/kg H_2O evap เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบมีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่มีความสิ้นเปลืองพลังงานเท่ากับ 10.23 MJ/kg H_2O evap สามารถประหยัดพลังงานจำเพาะได้ถึงร้อยละ 21 แม้ระยะเวลาในการอบแห้งจะมากขึ้นก็ตาม

การอบแห้งใบมะกรูดแบบไม่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่มีการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเท่ากับ 18.26 MJ/kg H_2O evap และในส่วนการอบแห้งแบบมีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่มีการสิ้นเปลืองพลังงานเท่ากับ 14.26 MJ/kg H_2O evap ซึ่งสามารถประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 21.9 ของพลังงานจำเพาะในการอบแห้งแบบไม่มีการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่

และการอบแห้งตะไคร้แบบไม่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่มีการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเท่ากับ 9.12 MJ/kg H_2O evap ซึ่งในส่วนของการอบแห้งแบบมีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่นั้นมีการใช้พลังงานจำเพาะ 7.25 MJ/kg H_2O evap ทำให้สามารถประหยัดพลังงานจำเพาะได้ร้อยละ 20.5

การเปรียบเทียบการใช้พลังงานจำเพาะในการอบแห้งของพริกขี้ฟ้า ใบมะกรูด และตะไคร้ สัดส่วนการประหยัดพลังงานแสดงดังกราฟในภาพ 56



ภาพ 56 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการอบแห้งพริกขี้ฟ้า ใบมะกรูด และตะไคร้ ในกรณีที่มีและไม่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่

จากการทดลองอบแห้งเมื่อเปรียบเทียบการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสามารถกล่าวได้ว่า ระบบการนำอากาศร้อนกลับมาใช้นี้สามารถประหยัดพลังงานจำเพาะในการอบแห้งได้ดี ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของอากาศที่นำกลับมาใช้และความเหมาะสมของอัตราส่วนในการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ด้วยเช่นกัน

3. <u>สมการการอบแห้งพริกขี้ฟ้า ใบมะกรูด และตะไคร้ โดยใช้เครื่องอบแห้งลำไย</u>

จากการศึกษาการอบแห้งพริกขี้ฟ้า ใบมะกรูด และตะไคร้ โดยใช้เครื่องอบแห้งลำไย ซึ่งทดลองภายใต้เงื่อนไขการอบแห้งแบบชั้นหนา และทำการหาความเหมาะสมของพารามิเตอร์ในการอบแห้งโดยประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปของสมการเอกซ์โปเนนเชียลสำหรับอธิบายปรากฏการณ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของผลิตภัณฑ์กับระยะเวลาในการอบแห้งเพื่อใช้เป็นตัวแทนของการอบแห้งพริก ใบมะกรูด และตะไคร้ ซึ่งทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลำไย โดยอาศัยข้อมูลจากการทดลองอบแห้ง ณ สภาวะที่เหมาะสม กับแบบจำลองคณิตศาสตร์ทั้ง 14 แบบ แสดงดังตาราง 6 โดยทำการพิจารณาสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมกับแต่ผลิตภัณฑ์จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, *r*)

ตาราง 6 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ [32]

Model No.	Name	Model equation
1	Newton	MR = exp(-*kt*)
2	Page	MR = exp(-kt^n)
3	Modified Page I	MR = exp[-(kt)^n]
4	Modified Page II	MR = exp[($-kt$)^n]
5	Henderson and Pabis	MR = *a* exp(-*kt*)
6	Logaritmic	MR = *a* exp(-*kt*)+*c*
7	Two term	MR = *a* exp($k_o t$)+*b*exp(-$k_1 t$)
8	Two term exponential	MR = *a* exp(-*kt*)+(1-*a*)exp(-*kat*)
9	Wang and Singh	MR = 1+*at*+bt^2
10	Thompson	t = *a* ln(*MR*)+*b*[ln(*MR*)]^2
11	Diffusion approximation	MR = *a* exp(-*kt*)+(1-*a*)exp(-*kbt*)
12	Verma et al.	MR = *a* exp(-*kt*)+(1-*a*)exp(-*gt*)
13	Modified Henderson and Pabis	MR = *a* exp(-*kt*)+*b*exp(-*gt*)+*c*exp(-*ht*)
14	Midilli et al.	MR = *a*exp(-kt^n)+*bt*

จากการทดลองส

ามารถหาค่าอัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, MR) ของแต่ละผลิตภัณฑ์ได้จากสมการ

$$MR = \frac{M}{M_o}$$ [32][34]

เมื่อ MR = อัตราส่วนความชื้น

M = ความชื้นผลิตภัณฑ์แต่ละช่วงเวลา (มาตรฐานแห้ง)

Mo = ความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ (มาตรฐานแห้ง)

เมื่อทดลองหาค่าคงที่ต่างๆ ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้งหมดโดยอาศัยผลการทดลองอบแห้งซึ่งใช้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง จะได้ค่าคงที่

ต่างๆ ในสมการ และ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการอบแห้งพริกชี้ฟ้า ใบมะกรูด และตะไคร้ ดังตาราง 7

ตาราง 7 ค่าคงที่และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Model No.	Constants & Correlation coefficient (r)	Model constants		
		Products		
		Chili spur pepper	Lime leech leafs	Lemon grass
1	k	0.142756	0.338823	0.352825
	r	0.99739	0.99592	0.99381
2	k	0.104252	0.295158	0.266912
	n	1.148784	1.119518	0.236363
	r	0.99956	0.99756	0.99913
3	k	0.139719	0.336225	0.343584
	n	1.148785	1.119518	1.236364
	r	0.99956	0.99756	0.99913
4	k	0.377831	0.582085	0.593991
	n	0.377831	0.582085	0.593991
	r	0.99739	0.99592	0.99381
5	a	1.017776	1.012804	1.031812
	k	0.145160	0.343416	0.363622
	r	0.99765	0.99609	0.99462
6	a	1.108836	1.183969	1.164413
	k	0.115355	0.242450	0.266096
	c	-0.107318	-0.193107	-0.156363
	r	0.99997	0.99937	0.99903
7	a	0.508888	0.506402	0.515906
	k_o	0.145160	0.343416	0.363622
	b	0.508888	0.506402	0.515906
	k_1	0.045160	0.343416	0.363622
	r	0.99765	0.99609	0.99462

ตาราง 7 (ต่อ)

Model No.	Constants & Correlation coefficient (*r*)	Model constants		
		Products		
		Chili spur pepper	Lime leech leafs	Lemon grass
8	*a*	1.655188	0.999998	1.770008
	k	0.184540	0.338823	0.487350
	r	0.99957	0.99592	0.99901
9	*a*	-0.108832	-0.262913	-0.266254
	b	0.003169	0.018560	0.018578
	r	0.99908	0.99780	0.99968
10	*a*	-18.9224	-5.056420	-7.46263
	b	-4.46148	-0.480991	-1.78710
	r	0.99993	0.96601	0.99909
11	*a*	-5.29329	-9.175920	0.367176
	k	0.234138	0.531489	0.352825
	b	0.914136	0.952349	1.000000
	r	0.99964	0.99875	0.99381
12	*a*	0.543915	-0.000782	-1.71953
	k	0.142756	-0.773383	0.134800
	g	0.142756	0.315432	0.194770
	r	0.99739	0.99985	0.99917
13	*a*	0.339259	0.337601	0.343937
	k	0.145160	0.343416	0.363622
	b	0.339259	0.337601	0.343937
	g	0.145160	0.343416	0.363622
	c	0.339259	0.337601	0.343937
	h	0.145160	0.343416	0.363622
	r	0.99765	0.99609	0.99462

ตาราง 7 (ต่อ)

Model No.	Constants & Correlation coefficient (*r*)	Model constants		
		Products		
		Chili spur pepper	Lime leech leafs	Lemon grass
14	*a*	0.999857	1.00188	0.996353
	k	0.117399	0.284292	0.269402
	n	1.045196	0.839248	1.164387
	b	-0.003134	-0.034214	-0.005635
	r	0.99999	0.99991	0.99948

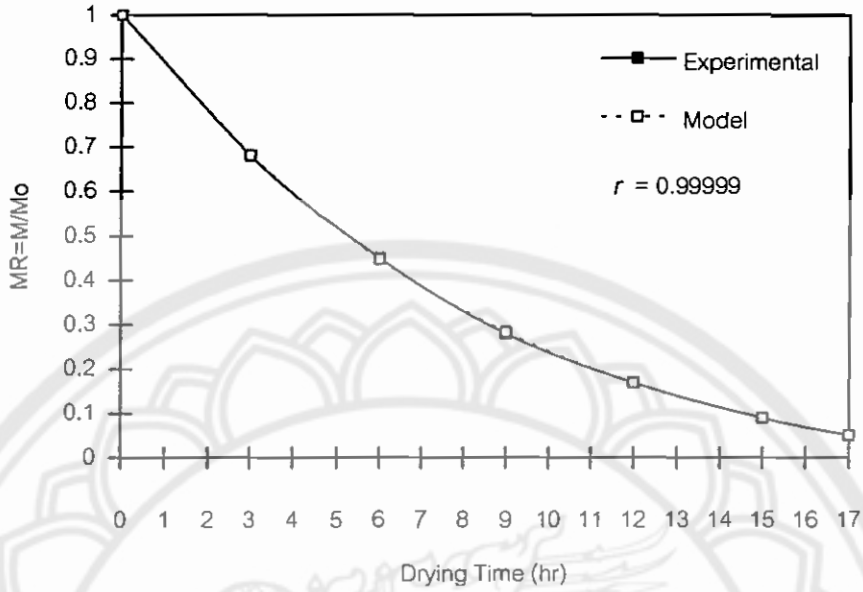
จากการคำนวณหาค่าคงที่ของสมการคณิตศาสตร์แต่ละสมการจากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของการทดลองอบแห้งพริกชี้ฟ้า จะได้ค่าคงที่ของแต่ละสมการดังตาราง 7 ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแต่ละผลิตภัณฑ์ พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์ ได้แก่

3.1 <u>สมการการอบแห้งพริกชี้ฟ้า</u>

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Midilli et al. คือ MR = $a\ \exp(-kt^n)+bt$ ให้ค่า r = 0.99999 สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสมการอื่น จึงได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งพริกชี้ฟ้าด้วยเครื่องอบแห้งลำไย ได้แก่

$$MR = 0.999857\ \exp(-0.117399\ t^{1.045196})+(-0.003134)t$$

โดยความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นกับเวลาจากผลการทดลองและจากสมการการอบแห้ง เป็นไปดังกราฟภาพ 57



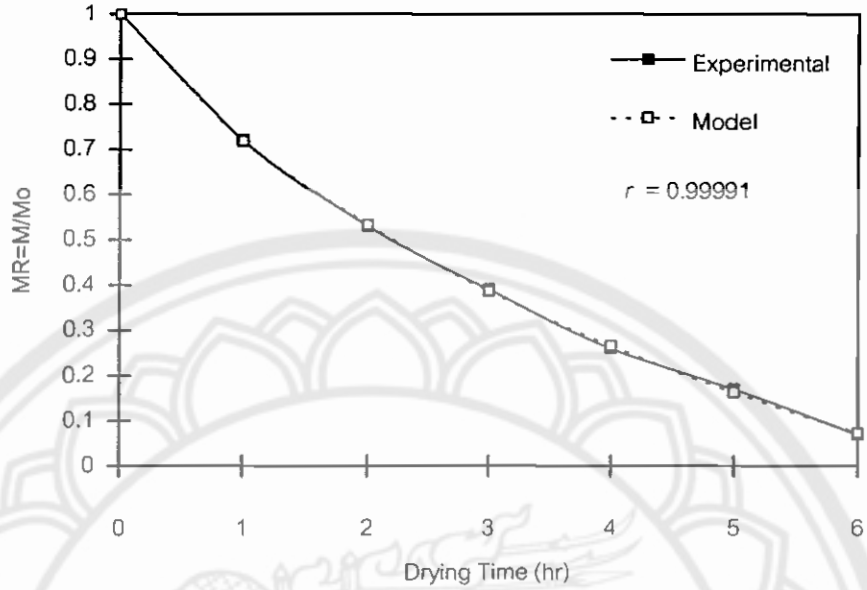
ภาพ 57 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา จากผลการทดลอง เปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของพริกชี้ฟ้า

3.2 <u>สมการการอบแห้งใบมะกรูด</u>

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Midilli et al. คือ MR = $a\exp(-kt^n)+bt$ ให้ค่า r = 0.99991 มีค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสมการอื่น จึงได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งใบมะกรูดด้วยเครื่องอบแห้งลำไย ได้แก่

$$MR = 1.000188 \exp(-0.284292\, t^{0.839248})+(-0.034214)t$$

โดยความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นกับเวลาจากผลการทดลองและจากสมการการอบแห้ง เป็นไปดังกราฟภาพ 58



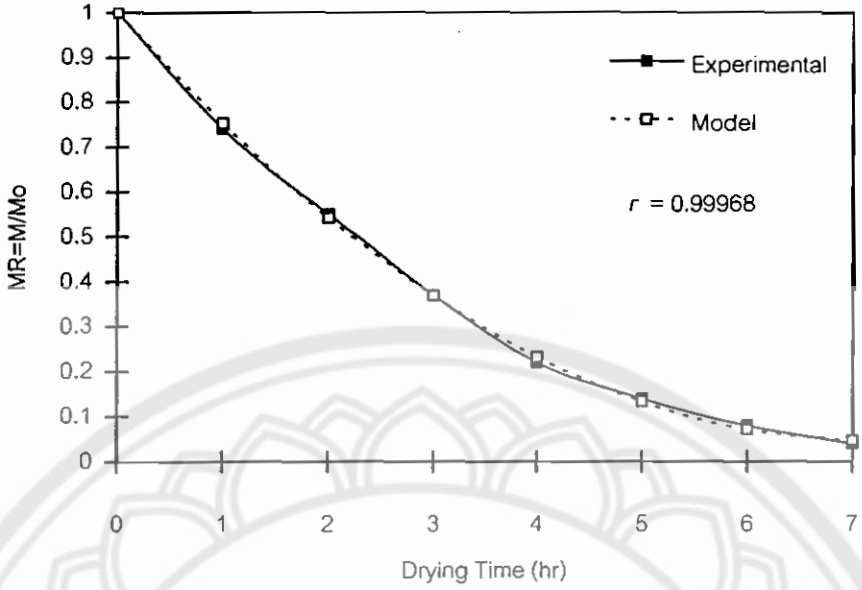
ภาพ 58 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา จากผลการทดลองอบแห้ง เปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของใบมะกรูด

3.3 <u>สมการการอบแห้งตะไคร้</u>

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Wang and Singh คือ $MR = 1 + at + bt^2$ ให้ค่า r = 0.99968 มีค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสมการอื่น จึงได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งตะไคร้ด้วยเครื่องอบแห้งลำไย ได้แก่

$$MR = 1 + (-0.266254)t + 0.018578t^2$$

โดยความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นกับเวลาจากผลการทดลองและจากสมการการอบแห้ง เป็นไปดังกราฟภาพ 59



ภาพ 59 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา จากผลการทดลองอบแห้งเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของใบมะกรูด

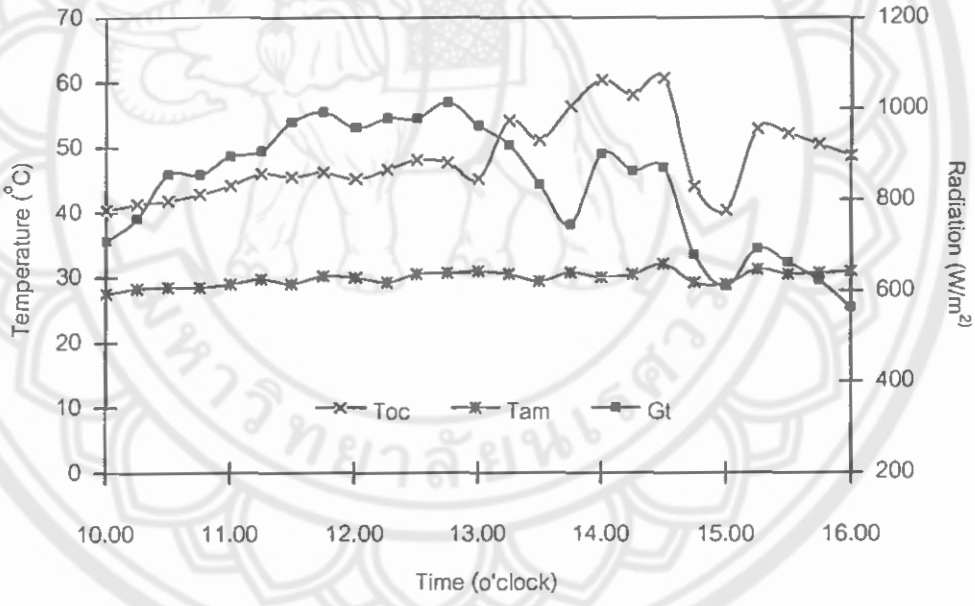
จากความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการอบแห้งพริกชี้ฟ้า ใบมะกรูด และตะไคร้ สามารถนำมาทำนายการอบแห้งที่เหมาะสมได้ถ้าหากทราบเวลาซึ่งแบบจำลองที่ได้เป็นแบบจำลองของการอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องอบแห้งลำไย ณ สภาวะการทดลองที่กำหนด

4. <u>การวิเคราะห์ผลการทดลองหลังการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง</u>

หลังการปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องอบแห้งได้ทดลองอบแห้งใบมะกรูดและตะไคร้ โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองในขั้นตอนที่ 1.1 ขั้นตอนที่ 1.2 และ ขั้นตอนที่ 1.3 ทำการอบแห้งโดยใช้อากาศเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Tin) ที่มีแผงรับรังสีอาทิตย์เป็นตัวอุ่นอากาศแทนอากาศอุณหภูมิแวดล้อม (Tam) ซึ่งเดิมใช้เป็นอากาศก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะระหว่างระบบอบแห้งที่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 80 ของอากาศอบแห้งทั้งหมด จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าหลังการปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องอบแห้งสามารถประหยัดพลังงานจำเพาะในการอบแห้งได้มากกว่าระบบที่ไม่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ โดยการนำอากาศกลับกลับมาใช้ใหม่ร่วมกับการอุ่นอากาศก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยแผงรับรังสีอาทิตย์

- ผลการทดลองอบแห้งใบมะกรูด

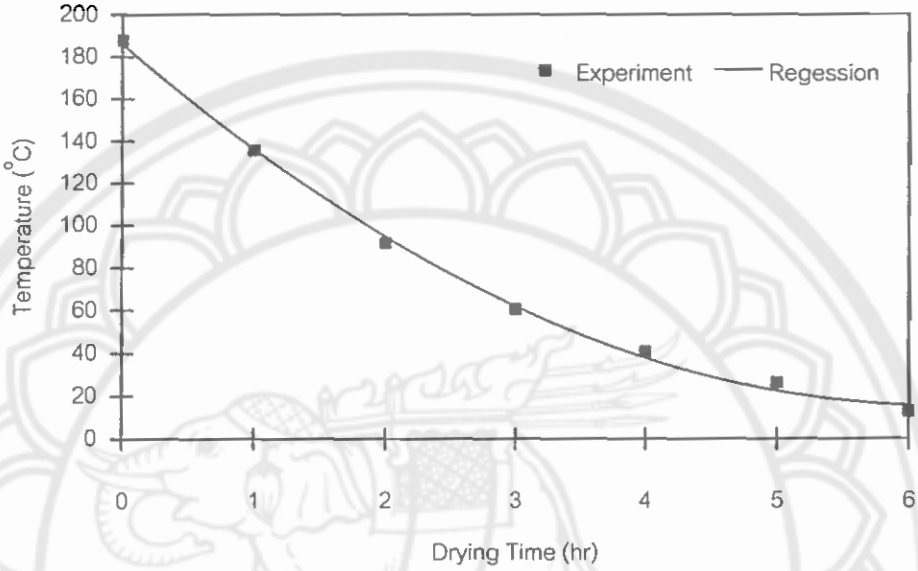
ในการอบแห้งใบมะกรูดโดยเครื่องอบแห้งที่ปรับปรุงโดยการติดตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์เพื่อนำอากาศร้อนมาใช้ พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ใกล้เคียงกับผลการทดลองในหัวข้อ 5.1.1 และ หัวข้อ 5.1.3 โดยมีอุณหภูมิอบแห้งเฉลี่ย 59.7°C ใช้ระยะเวลาอบแห้ง 6 ชั่วโมง สำหรับการนำอากาศร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์มาใช้แทนอากาศแวดล้อมก่อนเข้าเครื่องอบแห้ง อุณหภูมิอากาศขาออกจากแผงรับรังสีอาทิตย์ (Toc) จะขึ้นอยู่กับ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ (Gt) เมื่อพิจารณาจากกราฟในภาพ 60 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิอากาศขาออกจากแผงรับรังสีอาทิตย์มีค่าแปรผันตามค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ ที่ค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ย 831.78 W/m^2 อากาศที่ผ่านแผงรับรังสีอาทิตย์มีอุณหภูมิเฉลี่ย 48.8 °C ซึ่งสามารถเพิ่มอุณหภูมิก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ 19.3 °C จากอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย 28.5°C และจากกราฟจะเห็นว่าค่าความเข้มรังสีอาทิตย์บางจุดลดลงเนื่องจากมีเมฆเป็นบางช่วงจึงส่งผลให้อุณหภูมิอากาศขาออกจากแผงรับรังสีอาทิตย์ลดลงด้วยเช่นกัน



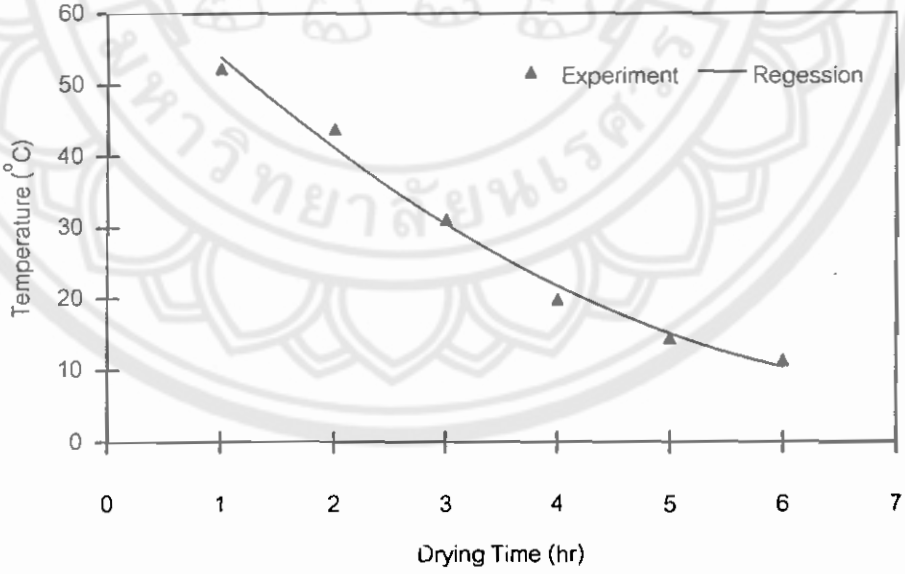
ภาพ 60 ความสัมพันธ์ของค่าความเข้มรังสีอาทิตย์กับอากาศขาออกจากแผงรับรังสีอาทิตย์

ผลการทดลองอบแห้งใบมะกรูดน้ำหนัก 24 kg ที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 187.74 มาตรฐานแห้ง โดยความชื้นลดลงเหลือ 12.8 มาตรฐานแห้ง ได้ใบมะกรูดแห้ง 7.5 kg ปริมาณความชื้นที่ลดลงแต่ละช่วงเวลาแสดงดังกราฟในภาพ 61

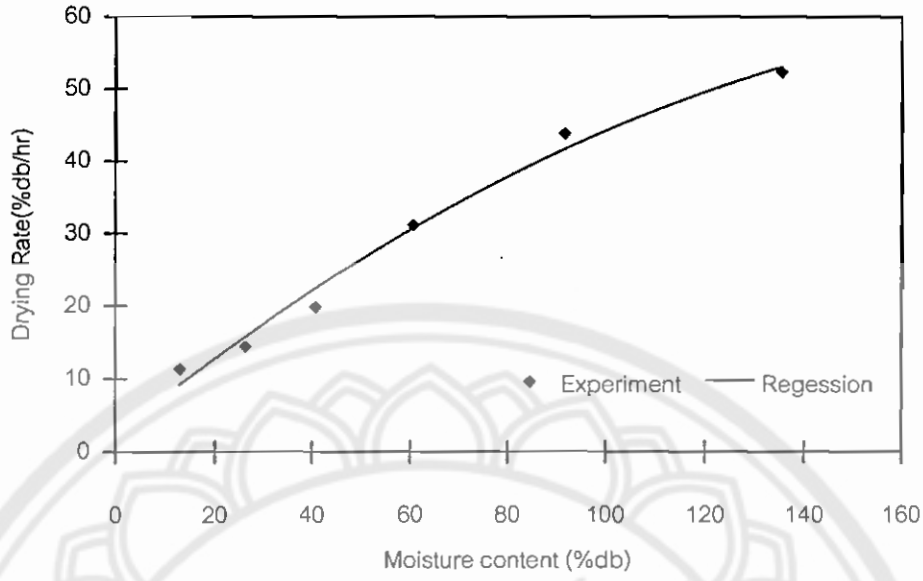
อัตราการอบแห้ง ณ ช่วงเวลาต่างๆ แสดงดังกราฟภาพ 62 ช่วงชั่วโมงที่ 1-3 ไม่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ อัตราการอบแห้งมีค่าเฉลี่ย 42.41 %db/hr และช่วงที่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 4 จนสิ้นสุดการทดลองมีค่าเฉลี่ย 15.23 %db/hr ซึ่งอัตราการอบแห้งจะสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ เป็นไปตามกราฟภาพ 63



ภาพ 61 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในการอบแห้งใบมะกรูดหลังการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง

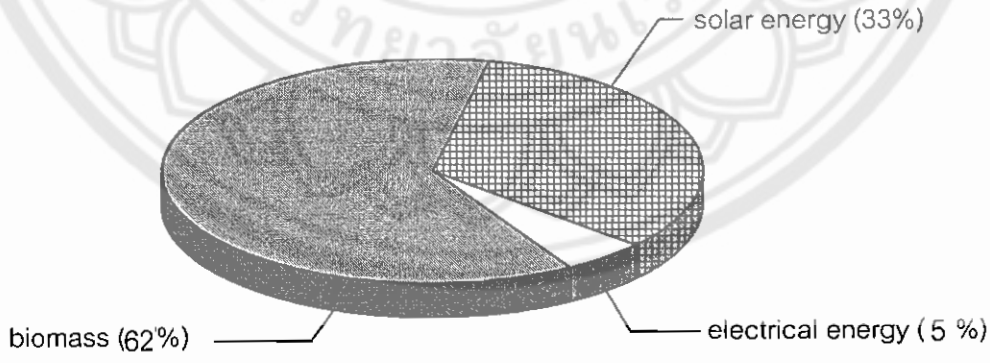


ภาพ 62 การเปลี่ยนแปลงอัตราการอบแห้งใบมะกรูดหลังปรับปรุงเครื่องอบแห้ง



ภาพ 63 อิทธิพลของปริมาณความชื้นที่มีต่ออัตราการอบแห้งใบมะกรูด
หลังการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง

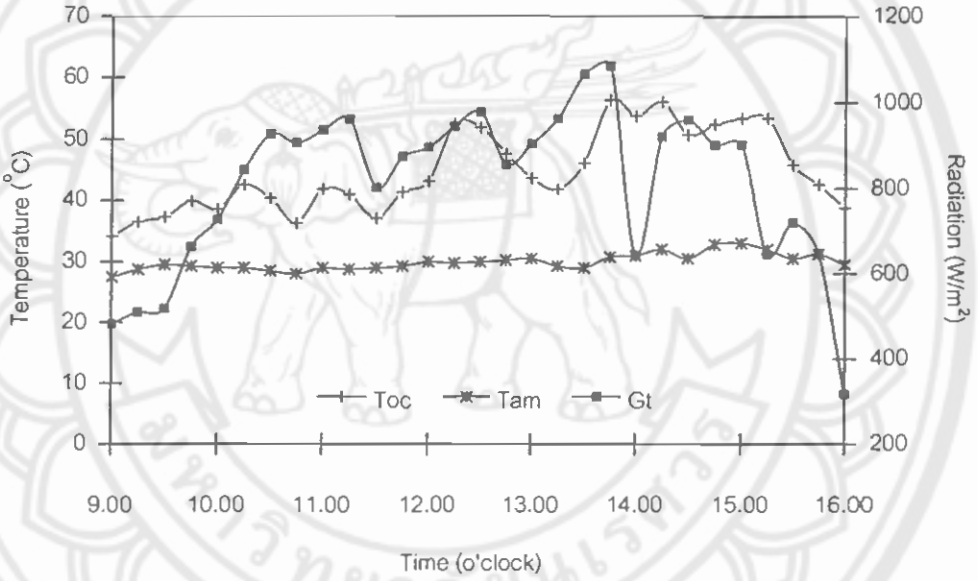
ในการอบแห้งใบมะกรูดใช้พลังงานพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในการอุ่นอากาศก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 89.83 MJ สิ้นเปลืองไม้ฟืนในการอบแห้ง 1.8 kg/hr และไฟฟ้า 3.84 kW-hr รวมเป็นพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมด 271.05 MJ และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานต่อปริมาณน้ำที่สามารถระเหยได้ 16.5 kg คิดเป็น 16.42 MJ/kg H_2O evap สัดส่วนการใช้พลังงานในการอบแห้งเป็นไปดังภาพ 64



ภาพ 64 สัดส่วนการใช้พลังงานในการอบแห้งใบมะกรูดหลังมีการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง

- ผลการทดลองอบแห้งตะไคร้

ในการอบแห้งตะไคร้ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 7 ชั่วโมง อุณหภูมิอบแห้งเฉลี่ย 71.8°C โดยนำอากาศที่อุ่นด้วยแผงรับรังสีอาทิตย์มาใช้ตั้งแต่เริ่มต้นการอบแห้งสามารถเพิ่มอุณหภูมิก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้เฉลี่ย 16.2 °C จากอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย 28.5°C อุณหภูมิอากาศขาออกจากแผงรับรังสีอาทิตย์เฉลี่ย 45.1°C ที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย 810 W/m^2 จากกราฟภาพ 65 จะเห็นว่าอุณหภูมิอากาศขาออกจากแผงรับรังสีอาทิตย์มีค่าแปรผันตามค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ เมื่อพิจารณาการสูญเสียความร้อนที่เกิดจากท่อนำอากาศ จากการทดลองพบว่าการสูญเสียความร้อนในส่วนนี้มีค่าประมาณ 1-3 °C เมื่อเปรียบเทียบการสูญเสียความร้อนกับความยาวท่อถือว่ามีการสูญเสียเพียงเล็กน้อยเท่านั้น



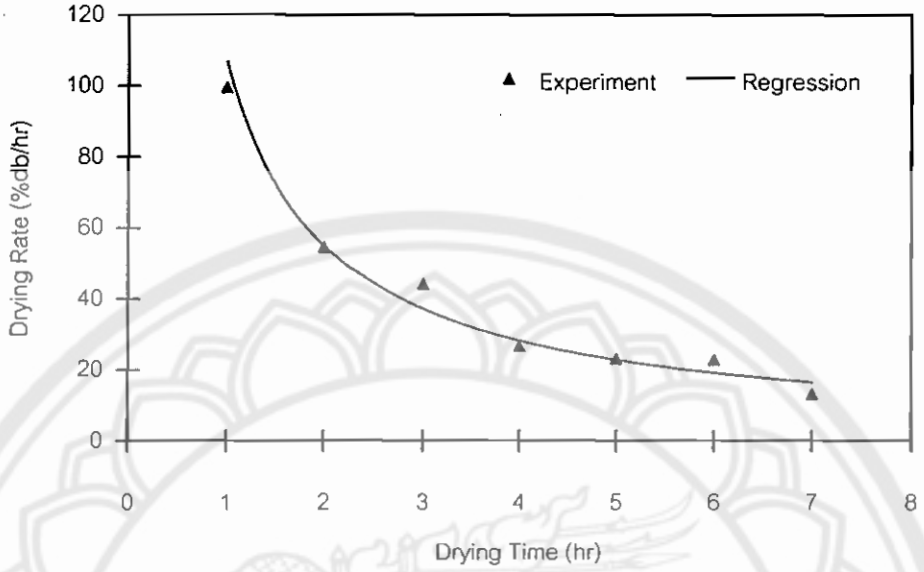
ภาพ 65 ความสัมพันธ์ของค่าความเข้มรังสีอาทิตย์กับอากาศขาออกจากแผงรับรังสีอาทิตย์

การทดลองด้านความชื้นก็ใกล้เคียงกับการอบแห้งแบบเดิมเช่นกัน โดยทดลองอบแห้งตะไคร้น้ำหนัก 80 kg จากความชื้นเริ่มต้น 295.75 %db ลดลงเหลือ 11.40 %db ได้ตะไคร้แห้ง 18.5 kg ซึ่งปริมาณความชื้นที่ลดลงในแต่ละช่วงเวลาการอบแห้งเป็นไปตามกราฟในภาพ 66 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนของความชื้นและอัตราการอบแห้งพบว่าในการอบแห้งตะไคร้มีการเปลี่ยนแปลงของอัตราการอบแห้งเป็นไปดังกราฟภาพ 67 เมื่อพิจารณาอัตราการอบแห้งชั่วโมงที่

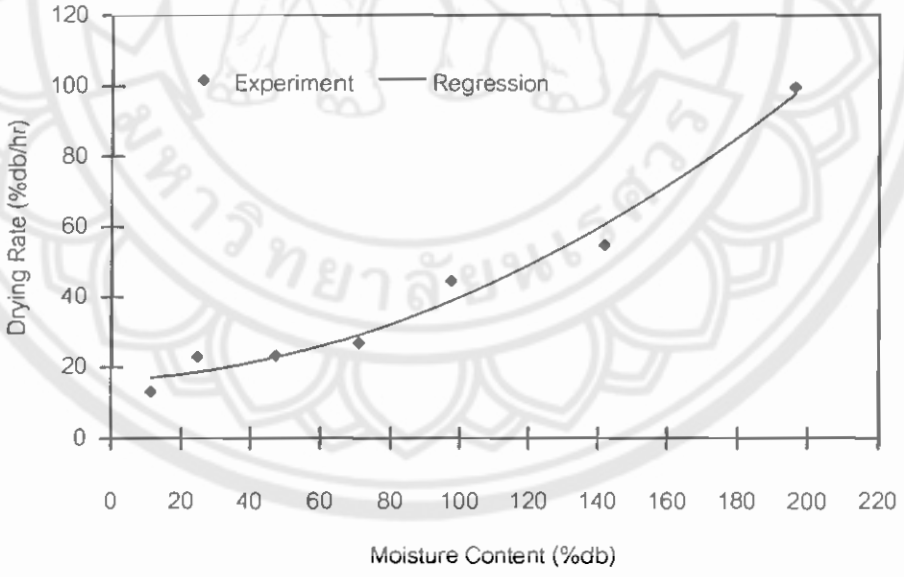
1-3 มีค่าเฉลี่ย 66.17 %db/hr และตั้งแต่ชั่วโมงที่ 4 จนสิ้นสุดการทดลองมีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่มีอัตราการอบแห้งเฉลี่ย 21.46 %db/hr อัตราการอบแห้งของผลิตภัณฑ์จะแปรผันตรงกับปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ดังแสดงในกราฟภาพ 68 ในด้านคุณภาพพบว่าตะไคร้แห้งที่ได้มีสีเขียวใกล้เคียงกับตะไคร้สด และความชื้นก็ได้ตามที่ต้องการ

ภาพ 66 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในการอบแห้งตะไคร้หลังการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง

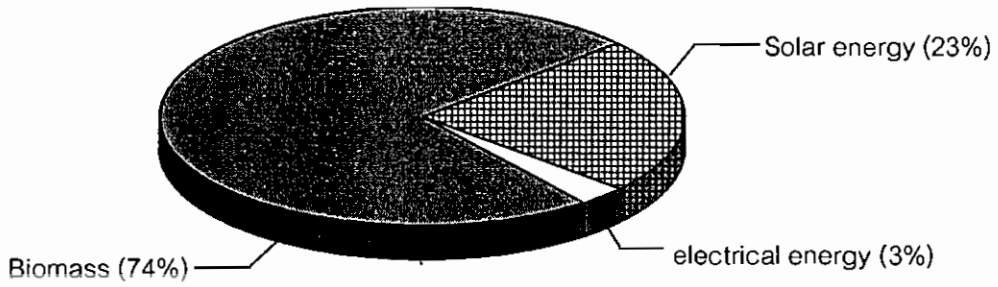
ในการอบแห้งตะไคร้หลังปรับปรุงเครื่องอบแห้งใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในการอุ่นอากาศร้อนมีค่าเท่ากับ 102.06 MJ สิ้นเปลืองไม้ฟืน 3 kg/hr และไฟฟ้า 3.84 kWh รวมเป็นพลังงานที่ใช้อบแห้งทั้งหมด 442.93 MJ เมื่อคิดเป็นอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานต่อปริมาณน้ำที่ระเหยได้ 61.5 kg มีค่าเท่ากับ 7.20 MJ/kg H_2O evap โดยมีสัดส่วนการใช้พลังงานในการอบแห้งแสดงดังภาพ 69



ภาพ 67 การเปลี่ยนแปลงอัตราการอบแห้งตะไคร้หลังการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง



ภาพ 68 อิทธิพลของปริมาณความชื้นที่มีต่ออัตราการอบแห้งตะไคร้หลังการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง



ภาพ 69 สัดส่วนการใช้พลังงานในการอบแห้งตะไคร้หลังมีการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง

5. การเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งก่อนและหลังการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง

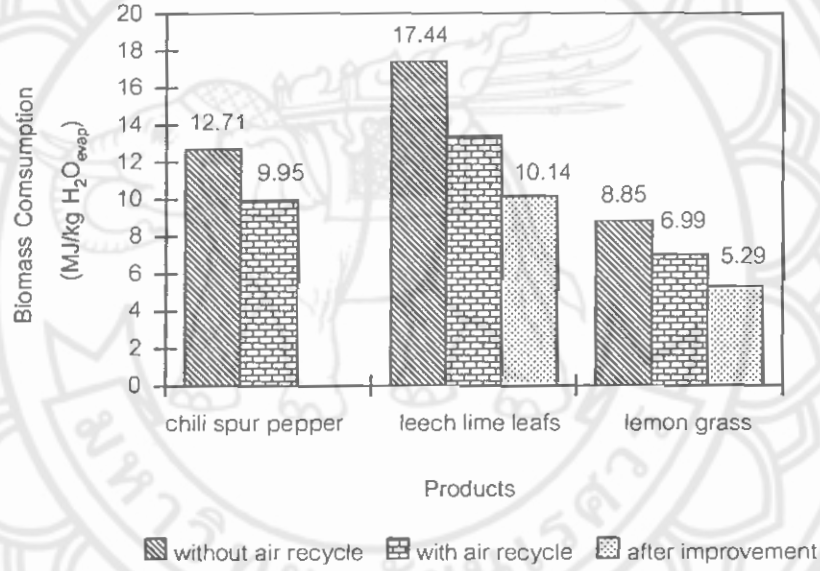
เมื่อพิจารณาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งใบมะกรูดและตะไคร้ทั้งหมดมีค่าเท่ากับผลรวมของพลังงานความร้อนจากฟืนและพลังงานไฟฟ้า การเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งก่อนและหลังการปรับปรุงเครื่องอบแห้งจะพิจารณาจากการใช้พลังงานชีวมวลเป็นหลัก ซึ่งมีความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งและสัดส่วนการประหยัดพลังงานเป็นไปดังตาราง 8

ตาราง 8 ความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งทั้งหมด

Description	Chili spur pepper		Leech lime leafs			Lemon grass		
	(1)*	(2)**	(1)*	(2)**	(3)***	(1)*	(2)**	(3)***
Electrical energy (MJ/kg H_2O_{evap})	0.24	0.28	0.82	0.89	0.84	0.27	0.26	0.22
Biomass energy (MJ/kg H_2O_{evap})	12.71	9.95	17.44	13.37	10.14	8.85	6.99	5.29
Solar energy (MJ/kg H_2O_{evap})	-	-	-	-	5.44	-	-	1.66
Total energy consumption (MJ/kg H_2O_{evap})	12.95	10.23	18.26	14.26	16.42	9.12	7.25	7.20
Energy consumption saving base on biomass (%)								
compare (2) with (1)	-	21.7	-	23.3	-	-	21.0	-
compare (3) with (1)	-	-	-	-	41.8	-	-	40.2

* without air recycling ** with air recycling *** after improvement

จากตาราง 8 สามารถสรุปได้ว่าการสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งใบมะกรูดและตะไคร้ หลังปรับปรุงเครื่องอบแห้งด้วยการติดตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์เพื่ออุ่นอากาศก่อนนำไปใช้นั้น สามารถประหยัดพลังงานชีวมวลในการอบแห้งได้ โดยในการอบแห้งใบมะกรูดมีการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งเท่ากับ 16.42 MJ/kg H_2O evap เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งก่อนมีการปรับปรุงเครื่องอบแห้งสามารถประหยัดพลังงานชีวมวลได้ร้อยละ 41.8 ตามลำดับ และในการอบแห้งตะไคร้ก็เช่นเดียวกันการอบแห้งหลังจากปรับปรุงสมรรถนะเครื่องอบแห้งใช้พลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งเท่ากับ 7.20 MJ/kg H_2O evap สัดส่วนการประหยัดพลังงานชีวมวลก่อนมีการปรับปรุงเครื่องอบแห้งเท่ากับร้อย 40.2 ความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งแสดงดังกราฟ ภาพ 70



ภาพ 70 การเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานชีวมวลในการอบแห้ง

จากผลการทดลองอบแห้งเมื่อพิจารณาความสิ้นเปลืองพลังงานสามารถสรุปได้ว่าทั้งการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ และการใช้อากาศร้อนที่ได้จากแผงรับรังสีอาทิตย์แทนอากาศอุณหภูมิปกติ โดยใช้ร่วมกับระบบที่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ จะช่วยประหยัดพลังงานในการอบแห้งได้ดี ซึ่งความสามารถในการประหยัดพลังงานนั้นต้องขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของระยะเวลา และอัตราส่วนการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ โดยต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของอากาศที่จะ

นำกลับมาใช้ขณะนั้นด้วย อีกส่วนหนึ่งคือการออกแบบและติดตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์ ต้องคำนึงถึงการใช้งานและการสูญเสียความร้อนในส่วนต่างๆ ทั้งส่วนของแผงรับรังสีอาทิตย์และท่อสำหรับดึงอากาศมาใช้ต้องเหมาะสมกับระบบด้วย เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพระบบอบแห้งให้สูงขึ้น

6. <u>การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์</u>

ในการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งเพื่อหาจุดคุ้มทุนของระบบอบแห้ง โดยศึกษาเปรียบเทียบระหว่าง (1) การอบแห้งลำไยเพียงอย่างเดียว (2) การอบแห้งแบบที่มีการวางแผนการอบแห้งอย่างต่อเนื่อง และ (3) การอบแห้งแบบต่อเนื่องโดยมีการปรับปรุงเครื่องอบแห้งด้วย

6.1 <u>การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ในการอบแห้งลำไยเพียงอย่างเดียว</u>

ในการอบแห้งลำไยระยะเวลาที่ทำการอบแห้งอยู่ในช่วงเดือน กรกฎาคม-สิงหาคม อบแห้ง 30 ครั้ง/ปี ในการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อหาจุดคุ้มทุนของการอบแห้งลำไย จากสมมติฐานสำหรับการวิเคราะห์ ดังนี้

6.1.1 <u>การวิเคราะห์ด้านต้นทุนคงที่รายปี</u>

(1) เงินลงทุนในการสร้างเครื่องอบแห้ง 60,000 บาท

คิดเป็นเงินลงทุนสร้างเครื่องอบแห้งรายปี โดยคิดดอกเบี้ย 9.75 % กำหนดอายุการใช้งาน 10 ปี คำนวณจาก

เงินลงทุนในการสร้างเครื่องรายปี = [FC][CRF (9.75%, 10)]

$$= 60{,}000\left[\frac{0.0975(1+0.0975)^{10}}{(1+0.0975)^{10}-1}\right]$$

= 9,660 บาท

เงินลงทุนในการสร้างเครื่องอบแห้งรายปี 9,660 บาท

(2) มูลค่าซากคิดเป็น 10% ของเงินลงทุนสร้างเครื่องอบแห้ง 6,000 บาท

คำนวณเป็นมูลค่าซากรายปี โดยคิดดอกเบี้ย 9.75% กำหนดอายุการใช้งาน 10 ปี

คำนวณจาก

มูลค่าซากรายปี = [FW][SFF] (9.75%, 10)]

$$= 6{,}000\left[\frac{0.0975}{(1+0.0975)^{10}-1}\right]$$

= 381 บาท

มูลค่าซากรายปี	**381**	**บาท**
(3) ค่าบำรุงรักษารายปี	2,540	บาท

ค่าบำรุงรักษาในส่วนนี้จะเป็นค่าวัสดุสิ้นเปลือง ได้แก่มอเตอร์และสายพานสำหรับพัดลมดูดอากาศ พูลเลย์ (pulley) ขับสายพาน ตะแกรงวางผลิตภัณฑ์ ค่าทำความสะอาด ทาสี และซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ฯลฯ มีรายละเอียดดังตารางที่ 1

6.1.2 <u>การวิเคราะห์ต้นทุนแปรผัน</u>

(1) เงินลงทุนค่าผลิตภัณฑ์รายปี	135,000	บาท

(2) ค่าไม้ฟืนที่ใช้ในการอบแห้ง ในการอบแห้งลำไย 1 ครั้งใช้ไม้ฟืน 385 กิโลกรัม [20] ราคาไม้ฟืนกิโลกรัมละ 3 บาท ในหนึ่งปีอบแห้ง 30 ครั้ง

รวมราคาไม้ฟืนที่ใช้ต่อปี	34,650	บาท

(3) ค่าไฟฟ้า สำหรับมอเตอร์พัดลมดูดอากาศ ใช้ไฟฟ้าครั้งละ 18.9 kW-hr ในหนึ่งปีอบแห้ง 30 ครั้ง อัตราค่าไฟฟ้า 2.70 บาท/kW-hr

รวมค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี	1,531	บาท

จากข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์ สามารถคำนวณหาเงินลงทุนรายปีได้จาก

มูลค่ารวมของเงินลงทุนรายปี = เงินลงทุนในการสร้างเครื่องรายปี
+ เงินค่าบำรุงรักษารายปี+เงินค่าผลิตภัณฑ์รายปี
+ เงินลงทุนค่าพลังงาน (ฟืน+ไฟฟ้า)
– มูลค่าซากรายปี

จะได้ มูลค่ารวมของเงินลงทุนรายปี = 9,660+2,540+135,000+36,181-381

= 183,000 บาท

6.1.3 ผลตอบแทนสุทธิรายปี

ในหนึ่งปีอบแห้งลำไย 30 ครั้ง ใช้ลำไยสด 9,000 กิโลกรัม อัตราลำไยสดต่อลำไยแห้งเท่ากับ 3.1:1 ได้ลำไยแห้ง 2903 กิโลกรัม ราคาลำไยแห้งกิโลกรัมละ 55 บาท

ผลตอบแทนสุทธิต่อปี เท่ากับ 159,665 **บาท**

สามารถคำนวณหาระยะเวลาการคืนทุนของการอบแห้งลำไยได้ จาก

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (PBP)} = \frac{\text{มูลค่ารวมของเงินลงทุนรายปี}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิต่อปี}}$$

$$= \frac{183{,}000}{159{,}665}$$

$$= 1 \text{ ปี } 2 \text{ เดือน}$$

จากการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนของระบบอบแห้งที่มีการอบแห้งลำไยเพียงอย่างเดียว โดยทำการอบแห้ง 30 ครั้ง ในระยะเวลา 2 เดือน ซึ่งเป็นช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวลำไย มีมูลค่าเงินลงทุนรายปี 183,000 บาท ได้รายได้สุทธิต่อปี เท่ากับ 159,665 บาท ระบบที่มีการอบแห้งลำไยเพียงอย่างเดียวจะมีระยะเวลาคืนทุนที่ 1 ปี 2 เดือน

6.2 การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งแบบต่อเนื่อง

ในส่วนนี้ทำการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนของระบบอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งลำไยอบแห้งผลิตภัณฑ์อื่น โดยมีการวางแผนการอบแห้งอย่างต่อเนื่องตลอดทั้งปี แทนการอบแห้งลำไยเพียงอย่างเดียว ซึ่งจะมีระยะเวลาการใช้เครื่องอบแห้ง 10 เดือน/ปี มีการอบแห้งทั้งสิ้น 234 ครั้ง โดยทำการอบแห้ง พริกขี้ฟ้า ใบมะกรูด ลำไย และตะไคร้ ส่วน 2 เดือนที่เหลือเป็นช่วงที่มีการดูและปรับปรุงเครื่องอบแห้งและอุปกรณ์ประกอบต่างๆ ใน 1 ปี ซึ่งในการคำนวณจะใช้ข้อมูลจากสมมติฐานในการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ ดังนี้

6.2.1 การวิเคราะห์ต้นทุนคงที่รายปี

(1) เงินลงทุนในการสร้างเครื่องอบแห้ง 60,000 **บาท**

คิดเป็นเงินลงทุนสร้างเครื่องอบแห้งรายปี โดยคิดดอกเบี้ย 9.75 % กำหนดอายุการใช้งาน 10 ปี คำนวณจาก

เงินลงทุนในการสร้างเครื่องรายปี = [FC][CRF (9.75%, 10)]

$$= 60{,}000\left[\frac{0.0975(1+0.0975)^{10}}{(1+0.0975)^{10}-1}\right]$$

= 9,660 บาท

เงินลงทุนในการสร้างเครื่องอบแห้งรายปี 9,660 **บาท**

(2) มูลค่าซากคิดเป็น 10% ของเงินลงทุนสร้างเครื่องอบแห้ง 6,000 บาท
คำนวณเป็นมูลค่าซากรายปี โดยคิดดอกเบี้ย 9.75% กำหนดอายุการใช้งาน 10 ปี
คำนวณจาก

มูลค่าซากรายปี = [FW][SFF (9.75%, 10)]

$$= 6{,}000\left[\frac{0.0975}{(1+0.0975)^{10}-1}\right]$$

= 381 บาท

มูลค่าซากรายปี 381 บาท

(3) เงินสำหรับบำรุงรักษาเครื่องอบแห้ง 2,540 บาท

เงินค่าบำรุงรักษาในส่วนนี้จะเป็นค่าวัสดุสิ้นเปลือง ได้แก่มอเตอร์และสายพานสำหรับพัดลมดูดอากาศ พูลเลย์ (pulley) ขับสายพาน ตะแกรงวางผลิตภัณฑ์ ค่าทำความสะอาด ทาสี และซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ฯลฯ มีรายละเอียดดังตาราง 1

6.2.2 <u>การวิเคราะห์ต้นทุนแปรผันรายปี</u>

(1) ค่าผลิตภัณฑ์รายปี จากพริกชี้ฟ้า 187,200 บาท
ใบมะกรูด 36,000 บาท
ตะไคร้ 21,600 บาท
และ ลำไย 135,000 บาท
รวมเป็นเงินค่าผลิตภัณฑ์รายปี 379,800 บาท

(2) ค่าแรงในการเตรียมผลิตภัณฑ์ในการอบแห้ง

ค่าแรงในการลวกพริกชี้ฟ้า กิโลกรัมละ 1 บาท เป็นเงิน 15,600 **บาท**

ค่าแรงในการลวกใบมะกรูด กิโลกรัมละ 1 บาท เป็นเงิน	1,800	บาท
ค่าแรงในการตัดและหั่นตะไคร้ กิโลกรัมละ 2 บาท	8,640	บาท
ค่าแรงในการเตรียมผลิตภัณฑ์อบแห้งต่อปี	26,040	บาท

(3) ค่าไม้ฟืนที่ใช้ในการอบแห้ง ลำไย พริกชี้ฟ้า ใบมะกรูด และตะไคร้ โดยราคาไม้ฟืน กิโลกรัมละ 3 บาท

อบแห้งลำไยใช้ไม้ฟืนครั้งละ 385 กิโลกรัม อบแห้ง 30 ครั้ง	34,650	บาท
อบแห้งพริกชี้ฟ้าใช้ไม้ฟืนครั้งละ 91.8 กิโลกรัม อบแห้ง 78 ครั้ง	21,480	บาท
อบแห้งใบมะกรูดใช้ไม้ฟืนครั้งละ 13.8 กิโลกรัม อบแห้ง 72 ครั้ง	2,981	บาท
อบแห้งตะไคร้ใช้ไม้ฟืนครั้งละ 26.6 กิโลกรัม อบแห้ง 54 ครั้ง	4,309	บาท
รวมค่าไม้ฟืนที่ใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทั้งหมดต่อปี	63,420	บาท

(4) ค่าไฟฟ้า สำหรับมอเตอร์พัดลมดูดอากาศ อัตราค่าไฟฟ้า 2.70 บาท/kW-hr

อบแห้งลำไยใช้ไฟฟ้าครั้งละ 18.9 kW-hr อบแห้ง 30 ครั้ง	1,531	บาท
อบแห้งพริกชี้ฟ้าใช้ไฟฟ้าครั้งละ 11.05 kW-hr อบแห้ง 78 ครั้ง	2,327	บาท
อบแห้งใบมะกรูดใช้ไฟฟ้าครั้งละ 3.96 kW-hr อบแห้ง 72 ครั้ง	770	บาท
อบแห้งตะไคร้ใช้ไฟฟ้าครั้งละ 4.34 kW-hr อบแห้ง 54 ครั้ง	633	บาท
รวมค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทั้งหมดต่อปี	5,261	บาท

จากข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์ สามารถคำนวณหาเงินลงทุนรายปีได้จาก

มูลค่ารวมของเงินลงทุนรายปี = เงินลงทุนในการสร้างเครื่องรายปี
+ เงินค่าบำรุงรักษารายปี + เงินค่าผลิตภัณฑ์รายปี
+ เงินลงทุนค่าพลังงาน (ฟืน+ไฟฟ้า)
+ ค่าแรง – มูลค่าซากรายปี

จะได้ มูลค่ารวมของเงินลงทุนรายปี = 9,660+2,540+379,800+68,681+26,040-381

= 486,340 บาท

6.2.3 <u>ผลตอบแทนสุทธิรายปี</u>

อบแห้งพริกชี้ฟ้าจำนวน 15600 กิโลกรัม ได้พริกแห้ง 4,496 กิโลกรัม คิดเป็นอัตรากิโลกรัมสดต่อกิโลกรัมแห้ง 3.47 : 1 จำหน่ายกิโลกรัมละ 80 บาท 359,680 บาท

อบแห้งใบมะกรูดจำนวน 1800 กิโลกรัม ได้ใบมะกรูดแห้ง 709 กิโลกรัม คิดเป็นอัตรากิโลกรัมสดต่อกิโลกรัมแห้ง 2.54 : 1 จำหน่ายกิโลกรัมละ 125 บาท 88,625 บาท

อบแห้งตะไคร้จำนวน 4,320 กิโลกรัม ได้ตะไคร้แห้ง 1091 กิโลกรัม คิดเป็นอัตรากิโลกรัมสดต่อกิโลกรัมแห้ง 3.95 : 1 จำหน่ายกิโลกรัมละ 65 บาท 70,915 บาท

อบแห้งลำไยจำนวน 9,000 กิโลกรัม ได้ลำไยแห้ง 3,000 กิโลกรัม คิดเป็นอัตรากิโลกรัมสดต่อกิโลกรัมแห้ง 3.1 : 1 จำหน่ายกิโลกรัมละ 55 บาท 159,665 บาท

รวมมูลค่าของรายได้สุทธิต่อปี 678,885 บาท

สามารถคำนวณหาระยะเวลาการคืนทุนของการอบแห้งลำไยได้จาก

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (PBP)} = \frac{\text{มูลค่ารวมของเงินลงทุนรายปี}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิต่อปี}}$$

$$= \frac{486,340}{678,885}$$

$$= \text{8 เดือน 20 วัน}$$

จากการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนของการอบแห้งแบบต่อเนื่อง โดยที่แบบแรกเป็นการใช้เครื่องอบแห้งเพื่ออบแห้งลำไยเพียงอย่างเดียว ในการวางแผนการอบแห้งนั้นในหนึ่งปีจะอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่มีนอกฤดูกาลผลิตลำไย ซึ่งต้องคำนึงถึงผลิตผลทางการเกษตรทางสามารถผลิตได้ในแต่ละฤดูด้วย ในงานวิจัยเลือกทดลองอบแห้งพริกชี้ฟ้า ใบมะกรูด และตะไคร้ มีมูลค่าเงินลงทุนรายปีสำหรับการอบแห้งแบบต่อเนื่อง 486,340 บาท จะเห็นว่าการอบแห้งแบบมีการวางแผนการอบแห้งอย่างต่อเนื่องสามารถลดระยะเวลาคืนทุนของระบบอบแห้งจาก 1 ปี 2 เดือน เหลือ 8 เดือน 20 วัน นอกจากจะช่วยให้ระยะเวลาคืนทุนลดลงแล้วยังเป็นการใช้เครื่องอบแห้งอย่างคุ้มค่าและต่อเนื่องด้วย

6.3 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์หลังการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง

ในการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง ทำการออกแบบและติดตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์ ขนาด 5 m^2 โดยต้องเพิ่มเงินลงทุนในการสร้าง ติดตั้ง และเงินบำรุงรักษารายปี ของแผงรับรังสีอาทิตย์ เงินลงทุนในส่วนนี้เมื่อนำมาคิดเป็นเงินลงทุนรายปี รวมกับเงินลงทุนในการสร้างเครื่องอบแห้ง มีรายละเอียด ดังนี้

6.3.1 การวิเคราะห์ต้นทุนคงที่รายปี

(1) เงินลงทุนในการสร้างเครื่องรายปี 9,660 บาท

(2) ค่าบำรุงรักษาเครื่องอบแห้งรายปี 2,540 บาท

(3) มูลค่าซากเครื่องอบแห้งรายปี 381 บาท

(4) เงินลงทุนในการสร้างแผงรับรังสีอาทิตย์ 13,000 บาท

คิดเป็นเงินลงทุนสร้างแผงรับรังสีอาทิตย์รายปีรายปี โดยคิดดอกเบี้ย 9.75 % กำหนดอายุการใช้งาน 10 ปี คำนวณจาก

เงินลงทุนในการสร้างแผงรับรังสีอาทิตย์รายปี = [FC][CRF (9.75%, 10)]

$$= 13{,}000\left[\frac{0.0975(1+0.0975)^{10}}{(1+0.0975)^{10}-1}\right]$$

= 2,093 บาท

(5) มูลค่าซากแผงรับรังสีอาทิตย์ 1,300 บาท

คิดเป็น 10% ของเงินลงทุนสร้างแผงรับรังสีอาทิตย์ โดยคำนวณหามูลค่าซากรายปี คิดดอกเบี้ย 9.75% กำหนดอายุการใช้งาน 10 ปี

มูลค่าซากรายปี = [FW][SFF (9.75%, 10)]

$$= 1{,}300\left[\frac{0.0975}{(1+0.0975)^{10}-1}\right]$$

= 83 บาท

(6) ค่าบำรุงรักษาแผงรับรังสีอาทิตย์รายปี 500 บาท

เป็นค่าทำความสะอาดกระจก ทาสี และซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ

6.2.2 <u>การวิเคราะห์ต้นทุนแปรผันรายปี</u>

(1) ค่าผลิตภัณฑ์รายปี 379,800 บาท

(2) ค่าแรงในการเตรียมผลิตภัณฑ์เพื่ออบแห้งต่อปี 26,040 บาท

(3) ค่าไม้ฟืนในการอบแห้งลำไย พริกชี้ฟ้า ใบมะกรูด และตะไคร้ ราคา 3 บาท/กิโลกรัม

อบแห้งลำไยใช้ไม้ฟืนครั้งละ 303 กิโลกรัม อบแห้ง 30 ครั้ง 27,270 บาท

อบแห้งพริกชี้ฟ้าใช้ไม้ฟืนครั้งละ 73.1 กิโลกรัม อบแห้ง 78 ครั้ง 17,105 บาท

อบแห้งใบมะกรูดใช้ไม้ฟืนครั้งละ 10.8 กิโลกรัม อบแห้ง 72 ครั้ง 2,333 บาท

อบแห้งตะไคร้ใช้ไม้ฟืนครั้งละ 21 กิโลกรัม อบแห้ง 54 ครั้ง 3,402 บาท

รวมค่าไม้ฟืนที่ใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทั้งหมดต่อปี 50,110 บาท

(4) ค่าไฟฟ้า สำหรับมอเตอร์พัดลมดูดอากาศ อัตราค่าไฟฟ้า 2.70 บาท/kW-hr

อบแห้งลำไยใช้ไฟฟ้าครั้งละ 18.9 kW-hr อบแห้ง 30 ครั้ง 1,531 บาท

อบแห้งพริกชี้ฟ้าใช้ไฟฟ้าครั้งละ 11.1 kW-hr อบแห้ง 78 ครั้ง 2338 บาท

อบแห้งใบมะกรูดใช้ไฟฟ้าครั้งละ 3.84 kW-hr อบแห้ง 72 ครั้ง 746 บาท

อบแห้งตะไคร้ใช้ไฟฟ้าครั้งละ 4.27 kW-hr อบแห้ง 54 ครั้ง 622 บาท

รวมค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทั้งหมดต่อปี 5,237 บาท

จากข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์ สามารถคำนวณหาเงินลงทุนรายปีได้จาก

มูลค่ารวมของเงินลงทุนรายปี = เงินลงทุนในการสร้างเครื่องรายปี
+ เงินลงทุนสร้างแผงรับรังสีอาทิตย์รายปี
+ เงินค่าบำรุงรักษารายปี (เครื่องอบแห้ง+แผงฯ)
+ เงินลงทุนค่าพลังงานรายปี (ฟืน+ไฟฟ้า)
+ ค่าผลิตภัณฑ์รายปี
+ ค่าแรง – มูลค่าซากรายปี (เครื่องอบแห้ง+แผงฯ)

= 9,660+2,093+3,040+55,347+379,800+26,040
- 464

= 475,516 บาท

6.3.3 <u>ผลตอบแทนสุทธิรายปี</u>

ในหนึ่งปีทำการอบแห้งลำไย พริกซี้ฟ้า ใบมะกรูด และตะไคร้ ซึ่งผลตอบแทนสุทธิรายปี มาจากการจำหน่ายผลิตภัณฑ์แห้งเท่ากับ 678,885 บาท

สามารถคำนวณหาระยะเวลาการคืนทุนของการอบแห้งลำไยได้ จาก

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (PBP)} = \frac{\text{มูลค่ารวมของเงินลงทุนรายปี}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิต่อปี}}$$

$$= \frac{475,516}{678,885}$$

$$= 8 \text{ เดือน } 8 \text{ วัน}$$

จากการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนของระบบอบแห้งที่มีการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง มีค่าเท่ากับ 8 เดือน 8 วัน จากมูลค่าเงินลงทุนที่เพิ่มเข้ามา คือเงินลงทุนในการสร้างแผงรับรังสีอาทิตย์และเงินบำรุงรักษาแผงรับรังสีอาทิตย์ ในขณะเดียวกันก็จะได้เงินที่ประหยัดได้จากการติดแผงรับรังสีอาทิตย์ โดยการใช้พลังงานแสงอาทิตย์อุ่นอากาศให้อุณหภูมิสูงขึ้นและนำไปใช้เป็นอากาศก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อช่วยประหยัดพลังงานความร้อนจากไม้ฟืนที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนอากาศ เพื่อนำไปใช้ในการอบแห้ง ลดการใช้ไม้ฟืนได้เฉลี่ย 4,436 กิโลกรัม/ปี ประหยัดพลังงานได้เฉลี่ยร้อยละ 23 ของการอบแห้งแบบมีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ และสามารถลดต้นทุนในการซื้อเชื้อเพลิงได้ 13,334 บาท/ปี

จากการวิเคราะห์ถึงต้นทุนในการอบแห้ง และรายได้สุทธิ ในการอบแห้งแบบอบแห้งลำไยอย่างเดียว และการอบแห้งแบบที่มีการอบแห้งผลิตภัณฑ์อื่นด้วยโดยมีการวางแผนการอบแห้งไว้แล้วนั้น เมื่อศึกษาเปรียบเทียบกันจะเห็นว่าการอบแห้งแบบต่อเนื่องนั้นจะช่วยให้ระยะเวลาการคืนทุนของระบบสั้นลง จาก 1 ปี 2 เดือน เหลือเพียง 8 เดือน 20 วัน ในการทดลองอบแห้งนี้จะใช้พลังงานความร้อนได้จากฟืนเป็นพลังงานหลักทำให้มีค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงสูง จึงทำการปรับปรุง**เครื่องอบแห้งด้วยการติดตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์ใช้ในการอุ่นอากาศก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อช่วยประหยัดพลังงานชีวมวลที่ใช้ในการอบแห้ง และพลังงานที่สามารถประหยัดได้คิดเป็นเงินได้เท่ากับ 13,334 บาท/ปี ระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 8 เดือน 8 วัน ใกล้เคียงกับระยะเวลาคืนทุนของ**

การอบแห้งก่อนปรับปรุงเครื่องอบแห้ง ซึ่งระยะเวลาคืนทุนสามารถเป็นตัวเลือกได้ว่าเราควรติดแผงรับรังสีอาทิตย์ เพื่อช่วยประหยัดพลังงานและเงินลงทุนด้านพลังงานในการอบแห้ง