

บทที่ 4

การออกแบบระบบการอบแห้งหมากแวน

การอบหมากแวนเป็นระบบต่อเนื่องจากระบบที่มีการหั่นหมาก ซึ่งได้กล่าวรายละเอียดไว้ในบทที่ 3 เป็นเพราะว่ารายละเอียดในส่วนของการอบแห้งหมากมีมาก ดังนั้นในรายงานผลการวิจัยจึงขอแยกมาเป็นบทที่ 4 ซึ่งในบทนี้จะมีการกล่าวถึงการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบเครื่องจักรในครั้งนี้ และส่วนของการออกแบบเริ่มต้นของระบบอบแห้งหมากแวน ในการทำวิจัยในครั้งนี้ได้ดำเนินการเฉพาะการออกแบบเท่านั้น ไม่ได้มีการสร้างระบบอบแห้งหมากแวนต้นแบบ เนื่องจากค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นสูงกว่างบประมาณที่ได้มีการประมาณการไว้ค่อนข้างมาก

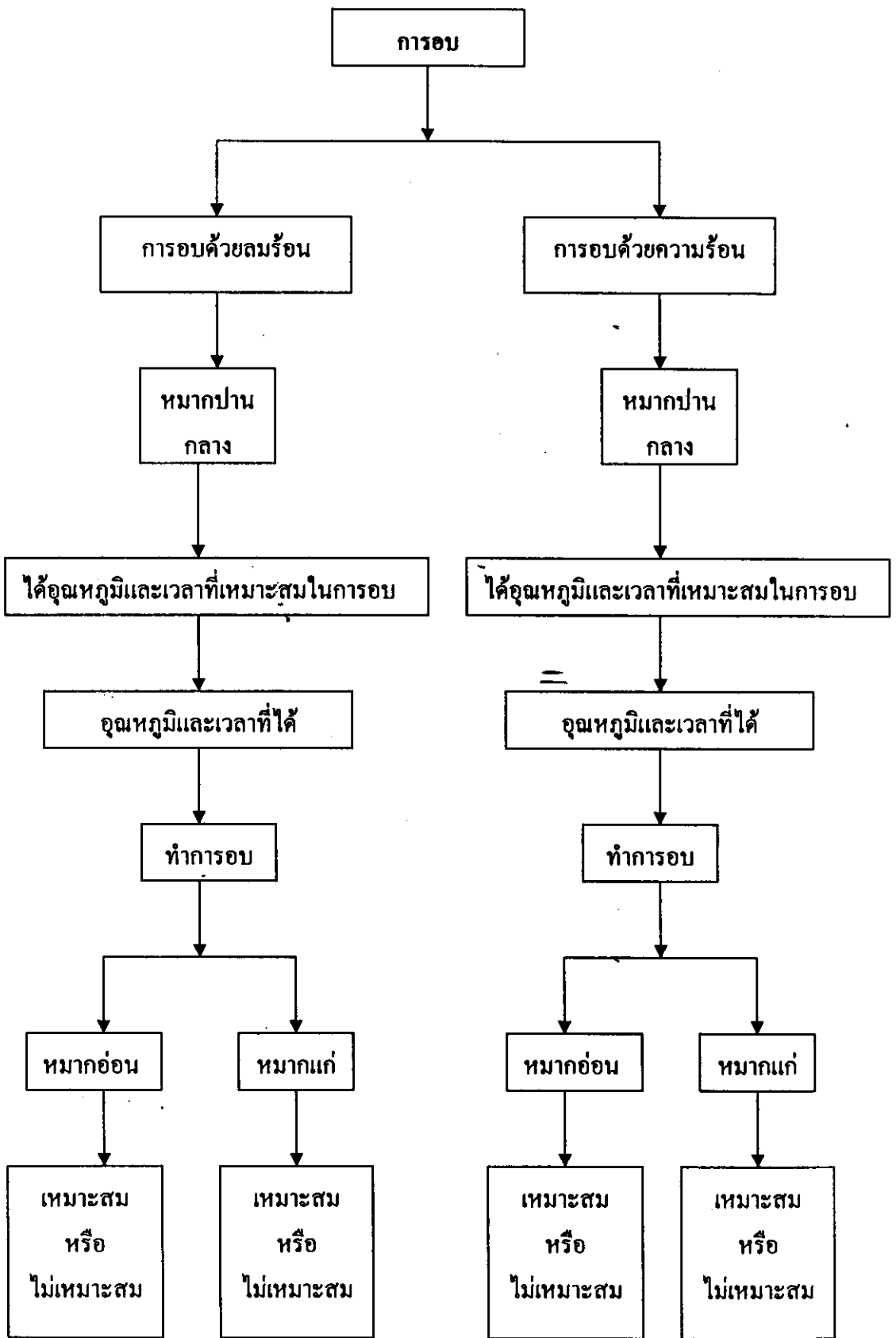
4.1 การวิเคราะห์ผลด้านกระบวนการอบแห้งหมาก

จากการศึกษากระบวนการตากแห้งด้วยวิธีการดั้งเดิม คือ ตากแดดเพียงอย่างเดียวใช้เวลาประมาณ 3-4 วัน หรือการนำเอาหมากไปอบด้วยเตา (ดังแสดงในรูปที่ 2.13 และ 2.14) วัตถุประสงค์ของกระบวนการตากแดด หรือตากให้แห้ง คือ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับเนื้อหมากและการเก็บรักษาได้ยาวนานมากขึ้น ดังนั้นในการทำวิจัยครั้งนี้ คือ การศึกษาถึงปัจจัยที่เหมาะสมในการอบแห้งหมากแวนที่ได้จากบทที่ 3 ให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ตลาดต้องการ โดยปัจจัยที่ต้องมีการศึกษา คือ

1. ความชื้นของหมากทั้งหมากสด ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่จะเข้าในกระบวนการอบ และความชื้นของหมากแห้ง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบ ในการศึกษาปัจจัยเรื่องความชื้น เพื่อเป็นการศึกษาว่า ปริมาณความชื้นที่ต้องนำออกจากเนื้อหมากเป็นเท่าไร

2. กระบวนการอบที่เหมาะสม ดังแสดงกระบวนการอบที่เป็นไปได้ ดังรูปที่ 4.1 คือ การอบโดยใช้ลมร้อน และการอบโดยใช้ฮีตเตอร์ธรรมดา โดยหมากที่ทำการอบมีทั้งหมด 3 แบบ คือ หมากอ่อน หมากปานกลาง และหมากแก่ แต่จะเริ่มศึกษาจากหมากปานกลางก่อน เพราะเป็นหมากที่ใช้ในกระบวนการอบของการทำวิจัย จากนั้นจึงนำอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมที่ได้ไปอบหมากอ่อนและหมากแก่ เพื่อเป็นการศึกษาว่าอุณหภูมิและเวลาที่ได้สามารถอบหมากอ่อนและหมากแก่ได้หรือไม่ และทำการเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการอบทั้ง 2 วิธี ว่าแบบใดมีความเหมาะสมในการอบแห้งหมากมากที่สุด จากแนวคิดดังกล่าวจึงได้มีการออกแบบการทดลอง เพื่อหาว่าการอบด้วยวิธีใดที่มีประสิทธิภาพในการอบมากกว่า และเหมาะสมในการอบแห้งหมาก

ในการทดลองเกี่ยวกับการอบ การออกแบบการทดลองที่ 1 (รายละเอียดการทดลองในภาคผนวก ค.) เป็นการศึกษาหาค่าความชื้นของหมากสดและหมากแห้ง เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบระบบการอบแห้ง ผลการทดลองพบว่าเนื้อหมากมีค่าความชื้นประมาณ $68.34 M_w$



รูปที่ 4.1 ผังการทดลองหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งหมาก

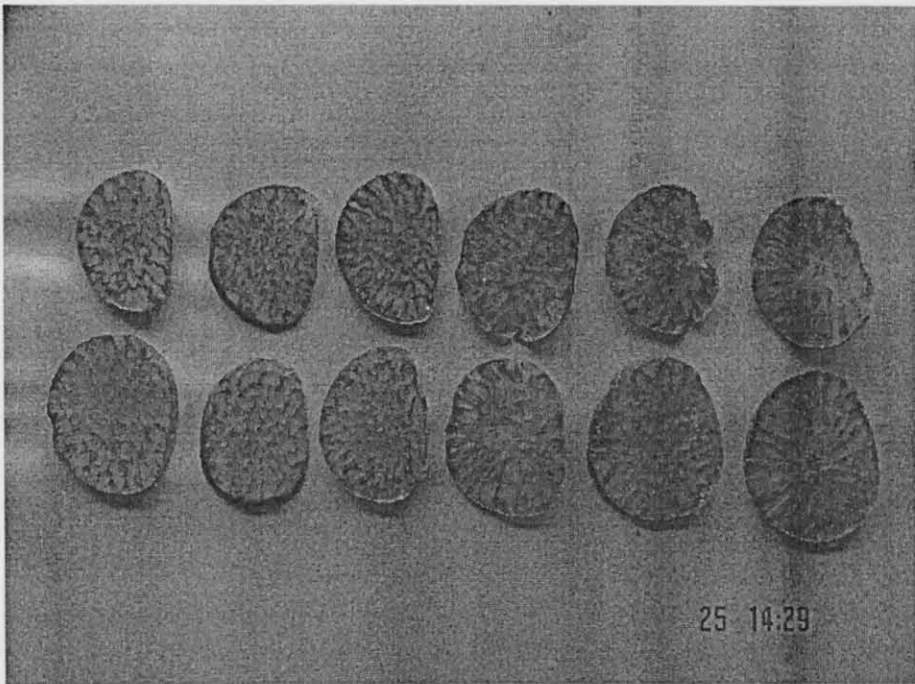
หรือ 68.34% ฐานเปียก จากค่า% ความชื้นดังกล่าวก็ได้มีการนำไปคำนวณค่า C_p ซึ่งจะได้ค่าเท่ากับ 1.692 kJ/kg °C ซึ่งทางทีมีวิจัยจะได้มีการนำค่านี้ไปใช้ในการคำนวณ และออกแบบระบบอบแห้งหมาก

จากนั้นได้มีการออกแบบการทดลอง เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมในการอบหมากแห้ง โดยปัจจัยที่ศึกษามีดังนี้

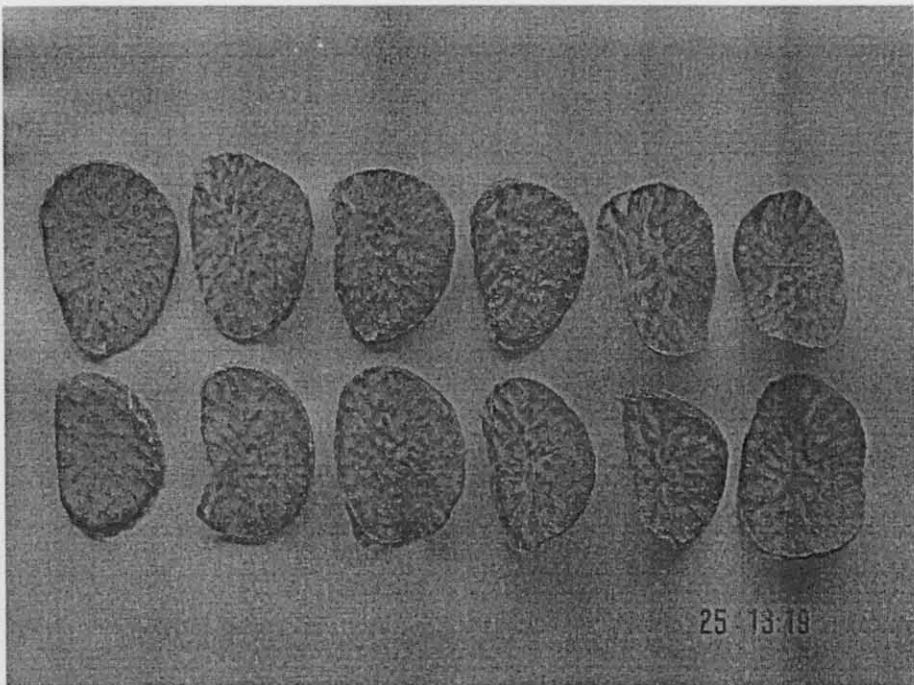
1. การอบแห้งหมากด้วยลมร้อนช่วยในการอบ ตามการทดลองที่ 2 (รายละเอียดในภาคผนวก ค.) การทดลองจะมีการศึกษาถึงอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งหมาก ดังนั้นในการทดลองมีการเริ่มทดลองที่อุณหภูมิ 65 °C มีการสังเกตผลทุก 10 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นจะเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 100 150 200 และ 250 °C
2. การอบแห้งหมากด้วยความร้อนเพียงอย่างเดียว (การทดลองที่ 2) มีการศึกษาที่อุณหภูมิ 65 100 150 และ 200 °C

จากการทดลองที่ 7 พบว่าลักษณะหมากที่ผ่านการอบด้วยลมร้อน ณ อุณหภูมิ 65°C แสดงผลได้ดังรูปที่ 4.2 ความชื้นของหมากที่ผ่านการอบด้วยลมร้อนสูงกว่า 44% ณ อุณหภูมิ 100°C แสดงผลได้ดังรูปที่ 4.3 ความชื้นของหมากสูงกว่า 6% ณ อุณหภูมิ 150°C เวลาประมาณ 30 นาที แสดงผลได้ดังรูปที่ 4.4 ความชื้นของหมากน้อยกว่า 6% ณ เนื้อหมากสีดำไหม้ และอุณหภูมิ 200°C แสดงผลได้ดังรูปที่ 4.5 ความชื้นของหมากน้อยกว่า 6% เนื้อหมากสีดำไหม้เช่นกัน ส่วนผลการทดลองการอบหมากด้วยความร้อนเพียงอย่างเดียว ที่อุณหภูมิ 100°C แสดงผลได้ดังรูปที่ 4.6 ความชื้นของหมากสูงกว่า 6% ที่อุณหภูมิ 150°C แสดงผลได้ดังรูปที่ 4.7 ความชื้นของหมากน้อยกว่า 6% และที่อุณหภูมิ 200°C แสดงผลได้ดังรูปที่ 4.8 ความชื้นของหมากน้อยกว่า 6%

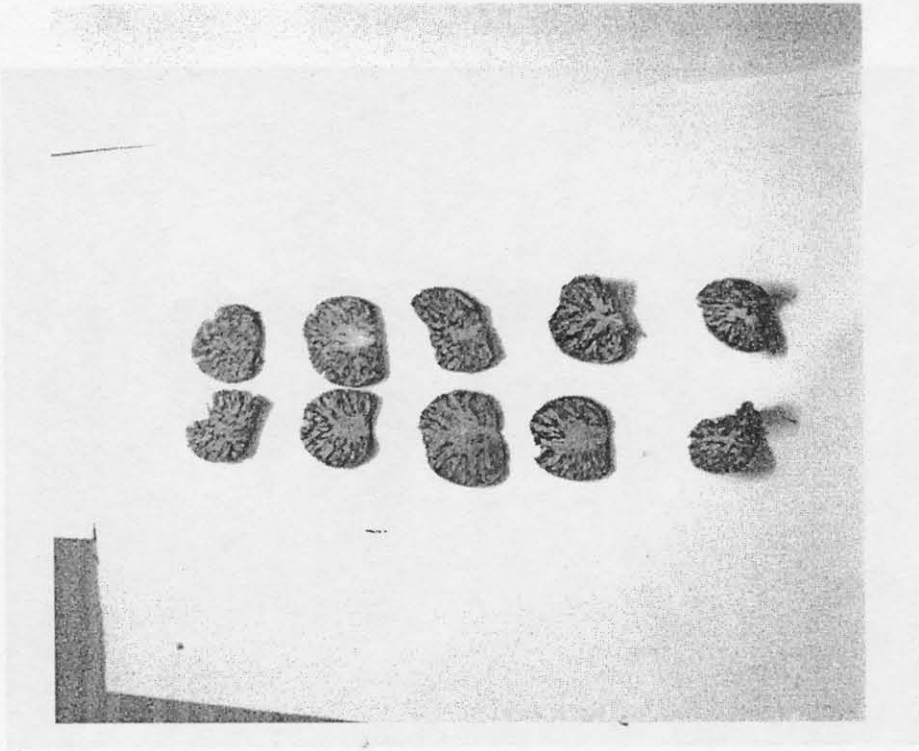
จากการทดลองทำให้เราทราบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งหมากด้วยลมร้อน อยู่ระหว่างอุณหภูมิ 100-150 °C แต่ระยะเวลาในการอบยังไม่สามารถระบุได้ ต้องทำการทดลองอีกครั้งเพื่อหาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งหมาก จากช่วงอุณหภูมิดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้ออกแบบการทดลองที่ 3 เพื่อศึกษาพฤติกรรมของหมากที่ได้รับหากมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการอบแห้ง ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ ดังการทดลองที่ 3



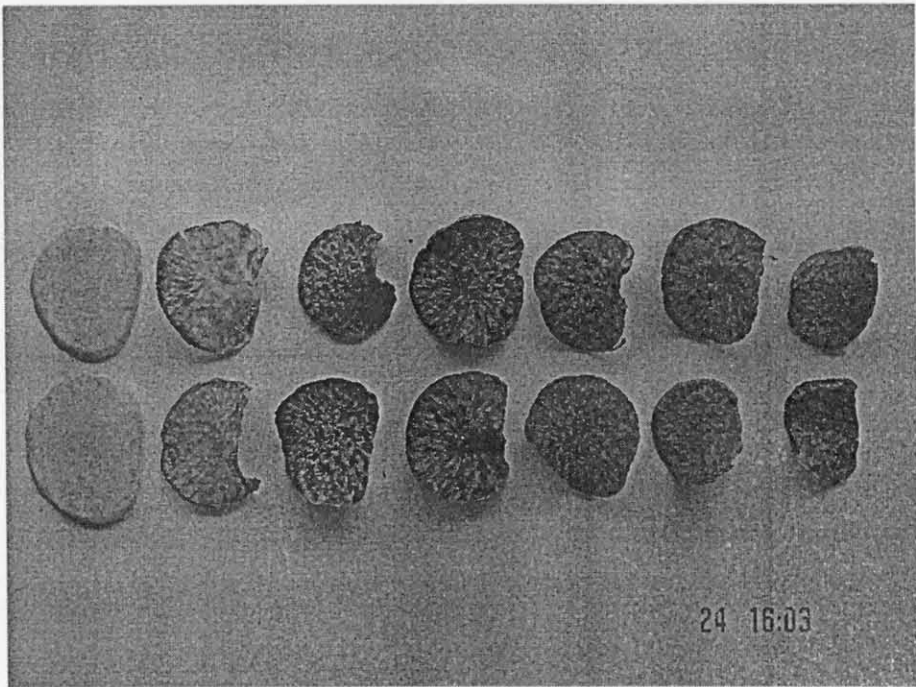
รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบหมากอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 °C การทดลองครั้งที่ 2 ระยะเวลา
ต่างๆ (จากซ้าย 10,20, 30, 40, 50 และ 60 นาที ตามลำดับ)



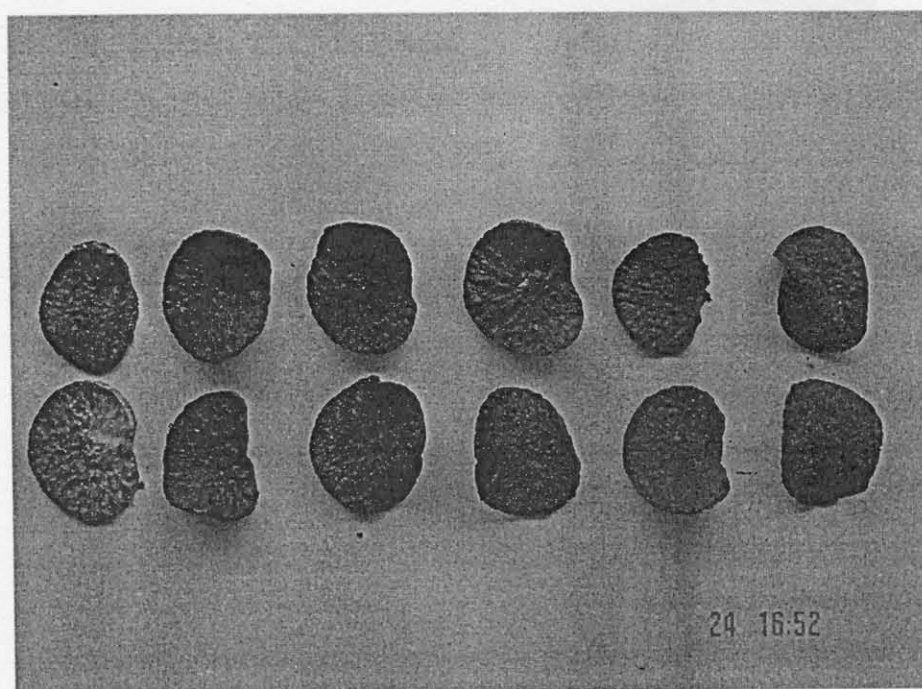
รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบหมากอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C การทดลองครั้งที่ 2 ระยะเวลา
ต่างๆ (จากซ้าย 10,20, 30, 40, 50 และ 60 นาที ตามลำดับ)



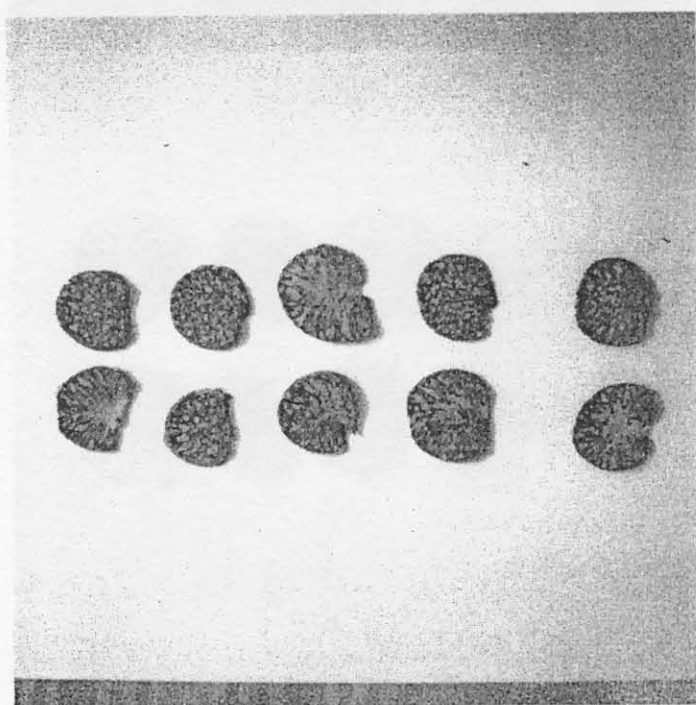
รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบหมากอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C การทดลองครั้งที่ 2 ณ เวลาต่างๆ (จากซ้าย 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที ตามลำดับ)



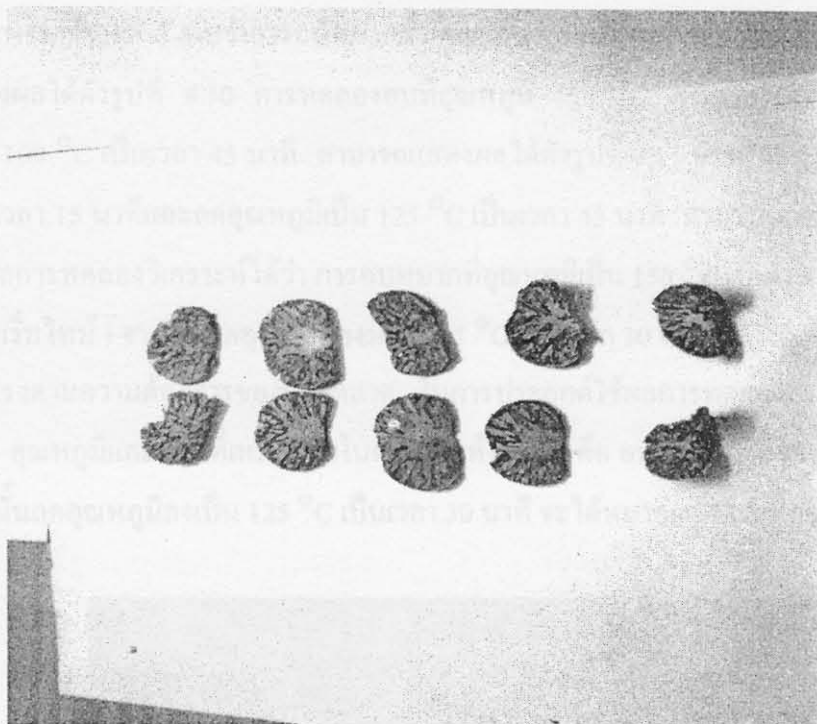
รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบหมากอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 200 °C การทดลองครั้งที่ 1 ณ เวลาต่างๆ (จากซ้าย หมากธรรมชาติ 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที ตามลำดับ)



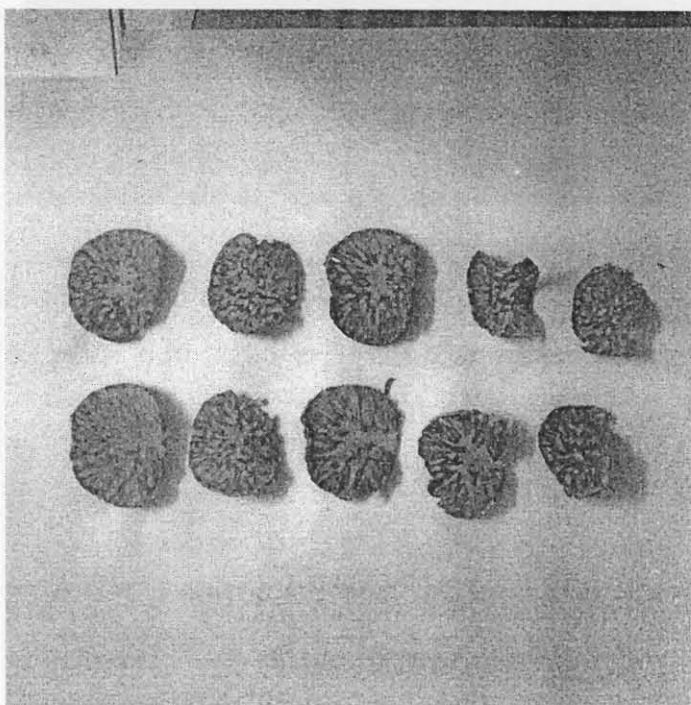
รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบหมากอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 250 °C ณ เวลาต่างๆ
(จากซ้าย 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที ตามลำดับ)



รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบหมากอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 °C ณ เวลาต่างๆ
(จากซ้าย 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที ตามลำดับ)

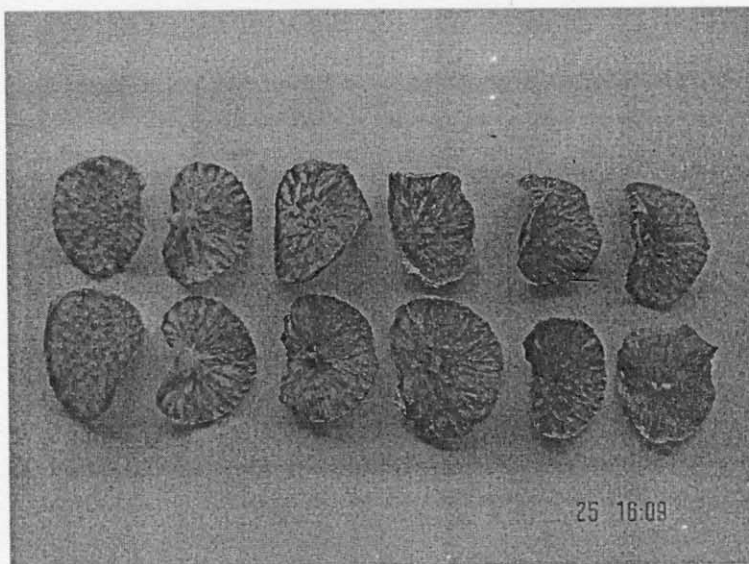


รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบหมากอบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C ณ เวลาต่างๆ
(จากซ้าย 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที ตามลำดับ)

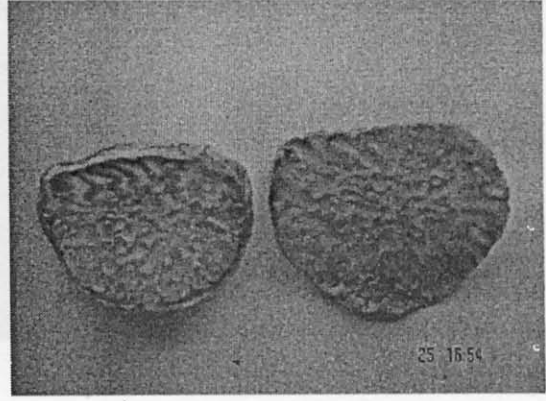
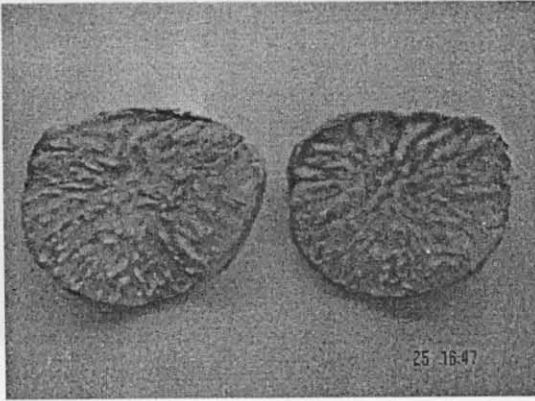


รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบหมากอบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 200 °C ที่เวลาต่างๆ
(จากซ้าย 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที ตามลำดับ)

จากการทดลองที่ 3 พบว่าการอบหมากด้วยลมร้อน ณ อุณหภูมิ 125 °C ที่เวลาต่างๆ กัน สามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 4.10 การทดลองอบที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 15 นาทีและลดอุณหภูมิเป็น 100 °C เป็นเวลา 45 นาที สามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 4.11 การทดลองอบที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 15 นาทีและลดอุณหภูมิเป็น 125 °C เป็นเวลา 45 นาที สามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 4.12 จากผลการทดลองวิเคราะห์ได้ว่า การอบหมากที่อุณหภูมิเป็น 150 °C เป็นเวลา 15 นาที (20 นาทีหมากจะเริ่มไหม้) จากนั้นลดอุณหภูมิลงมาที่ 125 °C เป็นเวลา 30 นาที จะเห็นว่าหมากที่ได้จะมีคุณสมบัติตรงตามความต้องการของท้องตลาด ในการประยุกต์ใช้ผลการทดลองกับการออกแบบระบบการอบ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งหมาก คือ อบที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิลงเป็น 125 °C เป็นเวลา 30 นาที จะได้หมากแห้งตามที่ต้องการ



รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบหมากอบแห้งที่อุณหภูมิ 125 °C ครั้งที่ 1 ณ เวลาต่างๆ (จากซ้าย 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที ตามลำดับ)

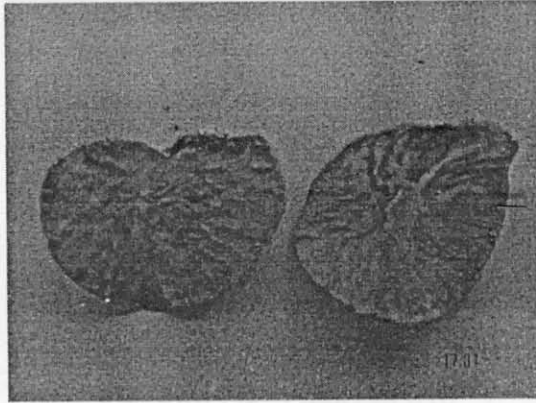


ที่อุณหภูมิ 150 °C เวลา 15 นาที

ที่อุณหภูมิ 125 °C เวลา 15 นาที

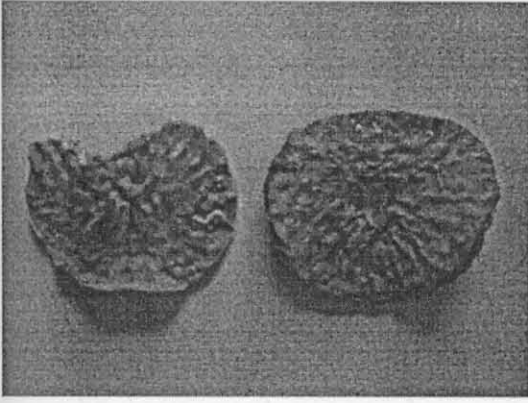
ที่อุณหภูมิ 150 °C เวลา 15 นาที

ที่อุณหภูมิ 100 °C เวลา 15 นาที

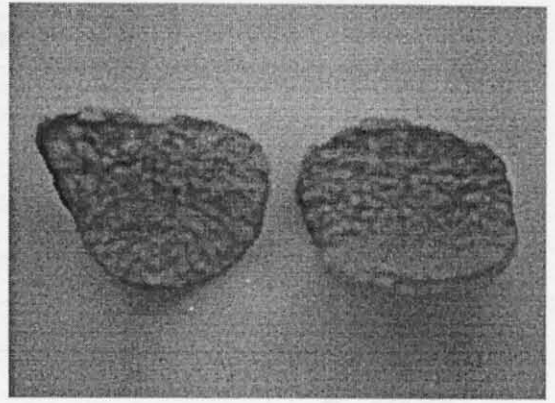


ที่อุณหภูมิ 100 °C เวลา 30 นาที

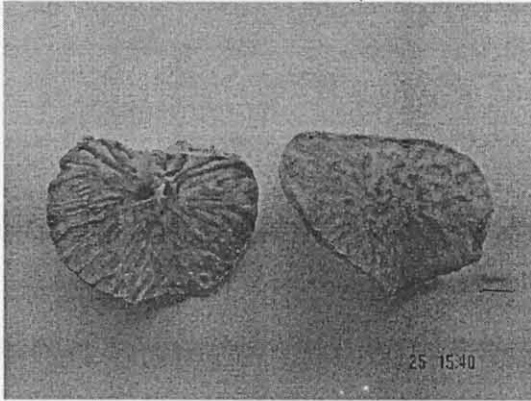
รูปที่ 4.11 เนื้อหมากที่ผ่านการบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆและการเปรียบเทียบลักษณะเนื้อหมาก



ที่อุณหภูมิ 150 °C เวลา 15 นาที



ที่อุณหภูมิ 125 °C เวลา 15 นาที



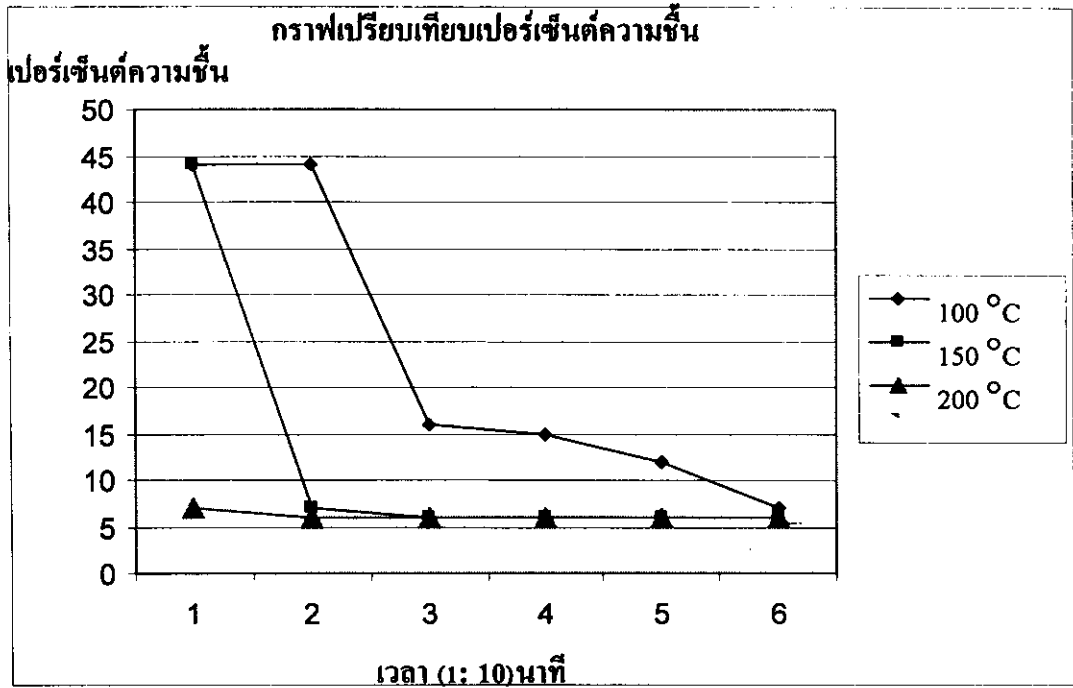
ที่อุณหภูมิ 125 °C เวลา 30 นาที

รูปที่ 4.12 เนื้อหมากที่ผ่านการอบแห้งที่ลดอุณหภูมิจาก 150 เป็น 125 °C ณ เวลาต่างๆ

จากข้อมูลผลการทดลองการอบหมากในลักษณะต่างๆ สามารถนำข้อมูลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้น อุณหภูมิ และเวลา โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ประเภท คือ การอบด้วยลมร้อน และการอบด้วยความร้อน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. การอบด้วยลมร้อน แยกผลการทดลองได้ดังนี้

1.1 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นของการอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 , 150, 200 °C ดังแสดงในรูปที่ 4.13 และตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่อุณหภูมิ 100, 150 และ 200 °C

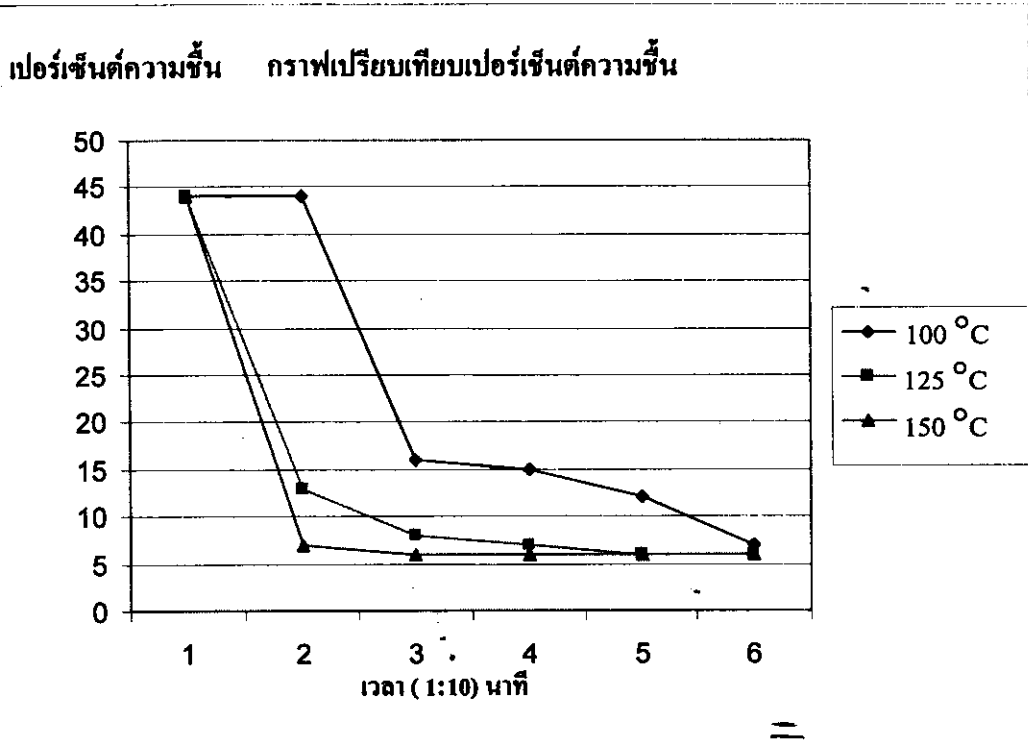
ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่อุณหภูมิ 100, 150 และ 200 °C

เวลา (นาที)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น		
	อุณหภูมิ 100 °C	อุณหภูมิ 150 °C	อุณหภูมิ 200 °C
10	44 %	44%	7%
20	44%	7%	6%
30	16%	6%	6%
40	15%	6%	6%
50	12%	6%	6%
60	7%	6%	6%

จากตารางที่ 4.1 เป็นการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 , 150 และ 200 °C โดยการอบด้วยลมร้อน เมื่อนำเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่อุณหภูมิต่างๆ ไปสร้างกราฟ ดังรูปที่ 4.13 พบว่าที่อุณหภูมิ 200 °C ที่เวลาต่างๆ เปอร์เซ็นต์ความชื้นจะลดลงมากกว่าที่อุณหภูมิที่ 100 และ 150 °C

2. การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นของการอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 , 125, 150 ° C

ดังแสดงในรูปที่ 4.14 และตารางที่ 4.2



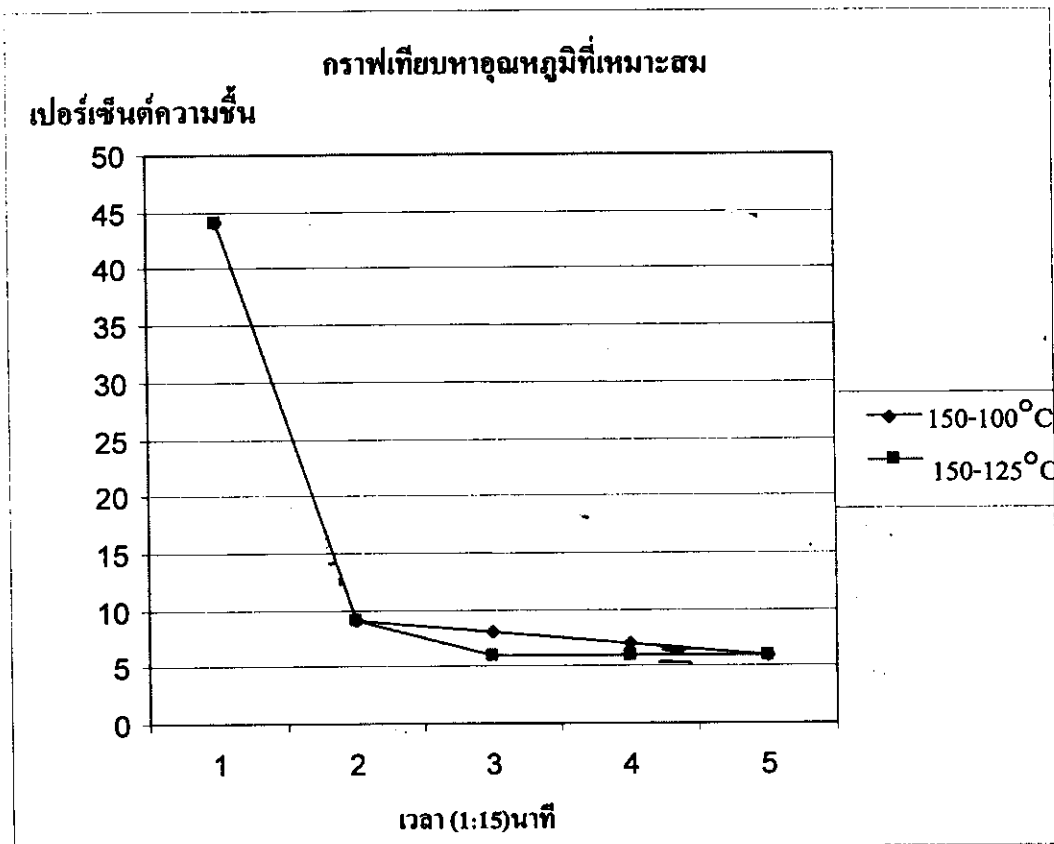
รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 , 125 และ 150 ° C

ตารางที่ 4.2 ตารางเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 , 125 และ 150 ° C

เวลา (นาที)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น		
	อุณหภูมิ 100 ° C	อุณหภูมิ 125 ° C	อุณหภูมิ 150 ° C
10	44 %	44%	44%
20	44%	13%	7%
30	16%	8%	6%
40	15%	7%	6%
50	12%	6%	6%
60	7%	6%	6%

จากตารางที่ 4.2 เป็นการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่อุณหภูมิ 100, 125 และ 150 °C โดยการอบด้วยลมร้อน เมื่อนำเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่อุณหภูมิต่างๆ ไปสร้างกราฟ ดังรูปที่ 4.14 พบว่าที่อุณหภูมิ 125 °C และ 150 °C ที่เวลาต่างๆ เป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งหมาก

3. การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นของการอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 150–100 °C และ 150–125 °C เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสม (เปอร์เซ็นต์ความชื้นน้อยกว่า 6) ดังแสดงในรูปที่ 4.36 และตารางที่ 4.18



รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่อุณหภูมิระหว่าง 150-100 °C และ 150-125 °C

ตารางที่ 4.3 ตารางเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่อุณหภูมิระหว่าง 150-100 °C และ 150-125 °C

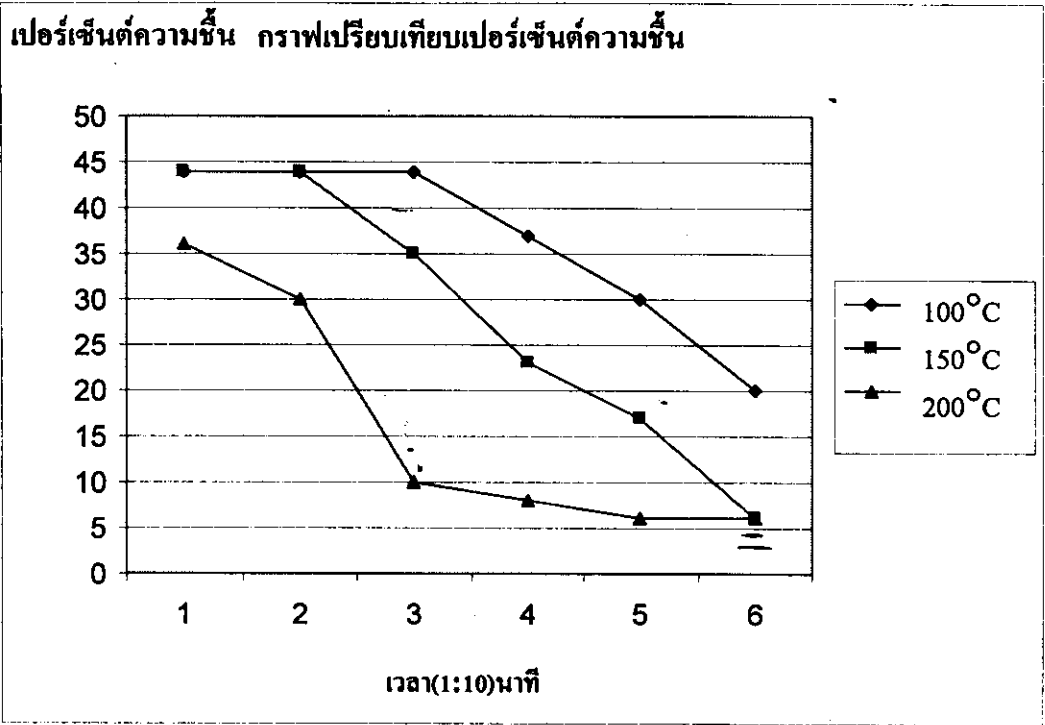
เวลา (นาที)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น	
	อุณหภูมิ 150 – 100 °C	อุณหภูมิ 150 – 125 °C
0	44%	44%
15	9%	9%
30	8%	6%
45	7%	6%
60	6%	6%

จากตารางที่ 4.3 เป็นการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่อุณหภูมิระหว่าง 150-100 °C และ 150-125 °C และนำไปสร้างกราฟได้ดังรูปที่ 4.15 เพื่อช่วงเวลาที่เหมาะสมในการอบด้วยลมร้อน

พบว่าการอบที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิเป็น 125 °C เป็นเวลา 45 นาที มีความเหมาะสมในการอบแห้งหมาก

2. การอบด้วยความร้อน สามารถแยกแยะแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

2.1 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นของการอบด้วยความร้อน(ฮีทเตอร์) ที่อุณหภูมิ 100,150, 200° C ดังแสดงในรูปที่ 4.16 และตารางที่ 4.4



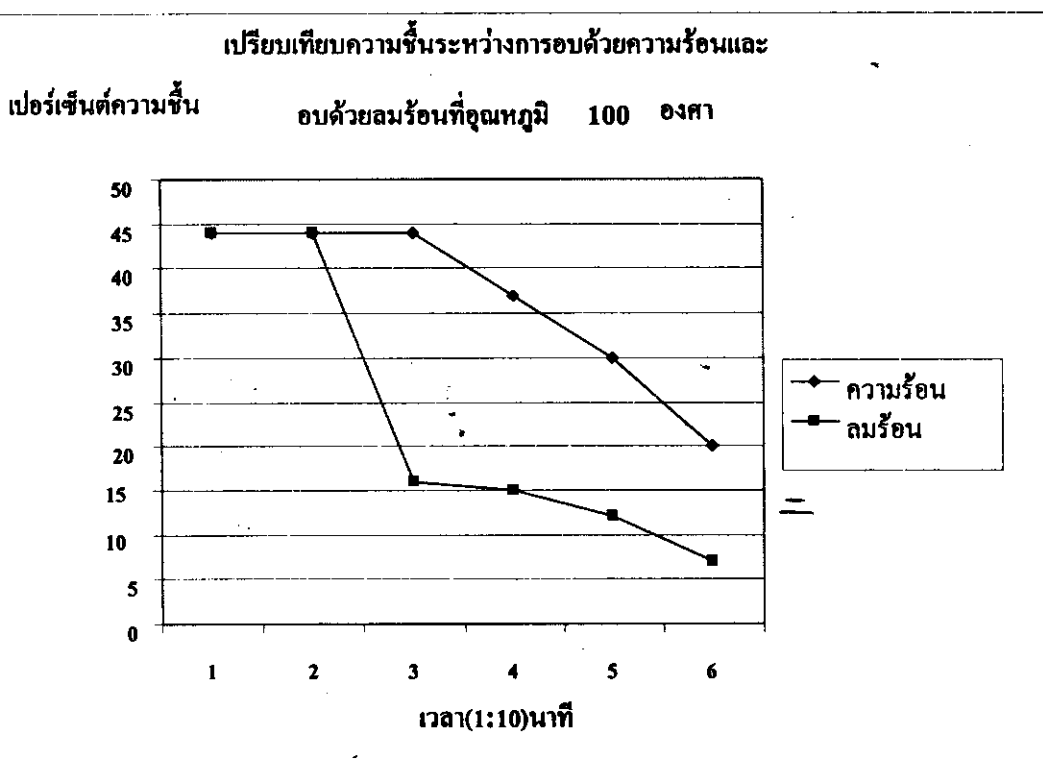
รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นการอบด้วยความร้อนอุณหภูมิ 100 150 และ 200° C

ตารางที่ 4.4 ตารางเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นการอบด้วยความร้อนอุณหภูมิ 100 150 และ 200

เวลา (นาที)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น		
	อุณหภูมิ 100° C	อุณหภูมิ 100° C	อุณหภูมิ 100° C
10	44%	44%	36%
20	44%	44%	30%
30	44%	35%	10%
40	37%	23%	8%
50	30%	17%	6%
60	20%	6%	6%

จากตารางที่ 4.4 เป็นการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 , 150 และ 200 °C โดยการอบด้วยความร้อน(ฮีทเตอร์) เมื่อนำเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่อุณหภูมิต่างๆ ไปสร้างกราฟ ดังรูปที่ 4.16 พบว่าที่อุณหภูมิ 200 °C ที่เวลาต่างๆ เปอร์เซ็นต์ความชื้นจะลดลงมากกว่าที่อุณหภูมิที่ 100 และ 150 °C

2.2 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นระหว่างการอบด้วยความร้อนและการอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C ดังแสดงในรูปที่ 4.17 และตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นระหว่างการอบด้วยความร้อน(ฮีทเตอร์) และการอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C

ตารางที่ 4.5 ตารางการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นระหว่างการอบด้วยความร้อนและการอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C

เวลา (นาที)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นอบด้วยอุณหภูมิ 100 °C	
	อบแบบด้วยความร้อน	อบด้วยลมร้อน
10	44%	44%
20	44%	44%
30	44%	16%
40	37%	15%
50	30%	12%
60	20%	7%

จากตารางที่ 4.5 เป็นการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นระหว่างการอบด้วยความร้อนและการอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C พบว่าการอบด้วยลมร้อนเปอร์เซ็นต์ความชื้นจะลดลงมากกว่าอบด้วยความร้อน(ฮีทเตอร์) ที่เวลาเดียวกัน ดังนั้น อบด้วยลมร้อนจึงมีความเหมาะสมในการอบแห้งมาก

จากการทดลองสร้างเครื่องปอกเปลือกลูกหมากทำให้พบปัญหาในการสร้าง เพราะระบบการทำงานมีความซับซ้อนและเวลาในการทำงานมาก ประสิทธิภาพในการทำงานค่อนข้างต่ำ และค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบสูง จึงไม่สามารถสร้างเครื่องปอกเปลือกลูกหมากที่สมบูรณ์ได้ ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบการทดลองแบบใหม่โดยการสร้างเครื่องหั่นหมากทั้งเปลือก จึงมีการออกแบบการทดลองการอบ เพื่อศึกษาว่าการอบหมากก่อนหั่นเป็นแวน หรือหั่นก่อนการอบแห้งลักษณะใดจะเหมาะสมกว่า นอกจากนี้พบว่ากระบวนการทำงานที่ติดตามมาคือการแยกเนื้อหมากกับเปลือก ซึ่งในการดำเนินงานวิจัยได้มีการแยกโดยน้ำ จากคุณสมบัติของลูกหมากที่ผ่านการหั่นเป็นแวนแล้วนำไปแช่น้ำ จะพบว่าเนื้อหมากและเปลือกหมากจะแยกออกจากกันอย่างชัดเจน ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบการทดลองอบแห้งหมากที่ผ่านการแช่น้ำ เพื่อศึกษาถึงผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นเป็นการทดลองที่ 4 (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ค.)

การทดลองที่ 4 เป็นการทดลองการอบแห้งหมากทั้งผลพร้อมเปลือก อบหมากแวนที่ผ่านการแช่น้ำทั้งเปลือก และหมากแวนที่ผ่านการแช่น้ำ (จากกระบวนการคัดแยกเนื้อหมากและเปลือกหมากออกจากกันด้วยน้ำ) จากผลการทดลอง พบว่าการอบแห้งหมากแวนที่ผ่านการหั่นทั้งเปลือกจะเป็นการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์อย่างเป็นที่ทราบกันอยู่แล้ว แต่สิ่งหนึ่งที่ได้จากการทดลอง คือ ลักษณะของเปลือกที่ผ่านการอบด้วยความร้อนมีการเปลี่ยนรูปเป็นมีลักษณะบิดตัวมากขึ้น และรูปทรงของเปลือกที่บิดตัวก็ไม่แน่นอน ส่งผลให้การคัดแยกหมากแห้งออกจากเปลือกทำได้ยากขึ้น จากผลการทดลองดังกล่าวมีประโยชน์เป็นอย่างยิ่งในการออกแบบเครื่องจักร เนื่องจากผลลัพธ์จากการทดลองที่เกิดขึ้น ทีมวิจัยสามารถสรุปได้ว่าควรจะต้องมีการออกแบบอุปกรณ์คัดแยกเปลือก และเนื้อหมากแวนออกจากกันก่อนการอบ เพราะถ้าให้มีการอบหมากแวนพร้อมเปลือกก็จะมีผลเสีย 2 ประเด็นใหญ่ๆ คือ การสูญเสียพลังงาน และการคัดแยกทำได้ยากขึ้น

ในการดำเนินงานวิจัยจึงได้ดำเนินการวิเคราะห์การแยกเนื้อหมากแวนออกจากเปลือก พบว่าขั้นตอนการแยกโดยการผ่านน้ำจะทำให้เนื้อหมากแยกตัวออกจากเปลือกหมากชัดเจน ดังนั้นจึงได้มีการคิดไว้เบื้องต้นว่าควรจะมีการคัดแยกด้วยน้ำ (ยังไม่ได้ออกแบบหลักการการทำงานอย่างละเอียดเนื่องจากงบประมาณ และเวลาจำกัด จึงเป็นแนวคิดเพื่อที่จะทำในโครงการวิจัยต่อเนื่องต่อไป) จากเหตุผลดังกล่าวทีมวิจัยจึงทำการทดลองต่อไปว่าถ้ามีการแยกด้วยน้ำ หมากที่ผ่านการแช่น้ำจะมีผลกระทบต่อกรอบหรือไม่ จึงมีการออกแบบการทดลอง การอบหมากแวนที่ผ่านการแช่น้ำดังรายละเอียดการทดลองที่ 5 (รายละเอียดในภาคผนวก ค.) จากการทดลองพบว่า หมากแห้งที่ได้หลังจากการอบจะมีลักษณะเหมือนกับหมากแวนที่ไม่ผ่านการแช่น้ำทุกประการ และที่สำคัญพบว่า

เวลาที่ใช้ในการอบน้อยกว่าการอบหมักแวนที่ไม่ผ่านการแช่น้ำ จากผลลัพธ์ดังกล่าวเป็นการสนับสนุนแนวความคิดว่าควรจะต้องมีการแยกเนื้อหมักแวนกับเปลือกออกจากกันก่อนการอบ ส่วนผลลัพธ์ที่การอบหมักแวนผ่านการแช่น้ำใช้นเวลาน้อยกว่าหมักแวนที่ไม่ผ่านการแช่น้ำ ในขณะนี้นักวิจัยได้ตั้งสมมติฐานว่า น้ำน่าจะเป็นตัวละลายฟิล์มบางอย่างในเนื้อหมักทำให้ น้ำในหมักสามารถระเหยออกได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามจะได้มีการวิจัยเพื่อค้นหาคำตอบอย่างละเอียดในงานวิจัยต่อเนื่องต่อไป

4.2 การออกแบบระบบอบแห้งหมัก

ในการอบแห้งหมักแวนจำเป็นต้องมีการคำนวณปริมาณความร้อนต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และแบบเบื้องต้นของการระบบอบแห้ง ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1 การคำนวณการถ่ายเทความร้อนระบบอบ

การคำนวณค่า Heat load (อบแห้งแบบไม่ต่อเนื่อง)

- กำลังการผลิตระบบปอกเปลือก และระบบหั่นประมาณ 720 ลูก/ชม. หรือ 10 kg/ชม.
- ความชื้นก่อนเข้าระบบ 68.34% และอุณหภูมิก่อนนำเข้าเตาเผา 25°C
- อบที่อุณหภูมิ 125°C เป็นเวลา 60 นาที
- ความชื้นหลังการอบแห้งประมาณ 6%
- ค่า C_p ของน้ำเท่ากับ $4.310 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

ค่า C_p ของหมักเท่ากับ $1.692 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

การคำนวณปริมาณความร้อนสำหรับอบแห้งผลิตภัณฑ์

ปริมาณความร้อนส่วนใหญ่ของการอบแห้งมักจะมาจากปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ไปในการทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงขึ้น จากอุณหภูมิจนกระทั่งไปยังอุณหภูมิที่ใช้สำหรับอบแห้งซึ่งได้หาค่าเอาไว้แล้วในหัวข้อและการทดลองข้างต้น โดยสมการสำหรับหาปริมาณความร้อนสำหรับอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} Q_{\text{PRODUCT}} &= m_{\text{PRODUCT}} \times C_p \times (T_{\text{DRYING}} - T_{\text{AMB}}) \\ &= 10 \times 1.692 \times (398.15 - 298.15) \\ &= 1692 \text{ kJ} \end{aligned}$$

การคำนวณปริมาณความร้อนสำหรับระเหยความชื้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์

จากหัวข้อที่แล้วได้ทราบถึงค่าปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ซึ่งบอกด้วยค่าร้อยละ หรือเปอร์เซ็นต์แล้ว โดยจะต้องทราบทั้งปริมาณความชื้นก่อนอบแห้งและหลังอบแห้งเพื่อนำมาหา

ว่าจะต้องระเหยน้ำระหว่างการอบแห้งเป็นปริมาณเท่าใด ปริมาณความร้อนสำหรับระเหยความชื้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์สามารถหาได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} Q_{EVAP} &= m_{MOISTURE} \times h_{fg} \\ &= (6.834 - 0.06) \times 2321.4 \\ &= 15,725.16 \text{ kJ} \end{aligned}$$

การคำนวณปริมาณความร้อนที่ทำให้วัสดุต่างๆภายในอุปกรณ์อบแห้งที่อุณหภูมิสูง

ความร้อนในส่วนอื่นนอกเหนือจากผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น เช่น รถเข็น ถาดสำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์ วัสดุที่ทำให้อุปกรณ์อบแห้ง โดยสามารถหาปริมาณความร้อนในส่วนนี้ได้จากสมการ

$$\text{ค่า } C_p \text{ ของเหล็ก} = 0.444 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} Q_{OTHER} &= m_{OTHER} \times C_p \times (T_{DRYING} - T_{AMB}) \\ &= 2.5 \times 0.444 \times (398.15 - 298.15) \\ &= 111 \text{ kJ} \end{aligned}$$

การคำนวณความร้อนที่สูญเสียให้กับบรรยากาศโดยรอบ

เมื่ออุปกรณ์อบแห้งผ่านการทำงานมาระยะหนึ่ง พื้นผิวนอกก็มีอุณหภูมิสูงขึ้น แต่จะสูงขึ้นเท่าใด จะเท่ากับหรือใกล้เคียงอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งหรือไม่ ก็ขึ้นอยู่กับกำกับการหุ้มฉนวนของอุปกรณ์อบแห้งว่าใช้ชนิดที่เหมาะสมกับการใช้งานหรือไม่ มีประสิทธิภาพอย่างไร

ซึ่งหากเราทราบว่าพื้นผิวของอุปกรณ์อบแห้งมีอุณหภูมิสูงขึ้นสิ่งที่ตามมาก็คือ จะเกิดความร้อนสูญเสียให้กับบรรยากาศโดยรอบ ด้วยกระบวนการถ่ายโอนความร้อนในสองรูปแบบคือการพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน แต่อย่างไรก็ตามการคำนวณค่าการสูญเสียของความร้อนในสองรูปแบบนี้จะมีความแตกต่างกันในการคำนวณขึ้นอยู่กับรูปลักษณะของอุปกรณ์อบแห้งเป็นสำคัญ ในที่นี้จึงขอใช้ตัวเลขประมาณดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} Q_{LOSS} &= 0.2 \times (1,692 + 15,725.16 + 111) \\ &= 3,506 \text{ kJ} \end{aligned}$$

การคำนวณปริมาณความร้อนรวม

ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่จำเป็นต้องใช้ในการอบแห้งจะมาจากปริมาณความร้อนที่ได้พิจารณาแยกเป็นส่วนๆดังกล่าวข้างต้นซึ่งสามารถจะเขียนเป็นสมการสำหรับหาปริมาณความร้อนรวมได้ดังนี้

$$\begin{aligned} Q_{TOTAL} &= Q_{PRODUCT} + Q_{EVAP} + Q_{OTHER} + Q_{LOSS} \\ &= 1,692 + 15,725.16 + 111 + 3,506 \\ &= 5840 \text{ Watt} \end{aligned}$$

การคำนวณปริมาณลมร้อนสำหรับอบแห้ง

ปริมาณลมร้อนที่ใช้สำหรับอบแห้งผลิตภัณฑ์สามารถที่จะพิจารณาได้จากแนวคิดที่ว่าปริมาณความร้อนรวมที่ใช้ในการอบจะต้องได้รับจากลมร้อนเท่านั้นทำให้สามารถเขียนสมการสำหรับหาปริมาณลมร้อนที่ใช้ในการอบได้จาก

$$\begin{aligned} Q_{TOTAL} &= m_{AIR} \times C_p \times (T_{DRYING} - T_{AMB}) \\ 21,034.16 &= m_{AIR} \times 1.0089 \times (398.15 - 298.15) \\ m_{AIR} &= \frac{21,034.16}{1.0089 \times 100} \\ &= 208.5 \text{ kg} \end{aligned}$$

การคำนวณการเลือกขนาด Fan สำหรับการระเหย

$$C_p \text{ ที่ } T = (125^\circ\text{C} + 25^\circ\text{C})/2 = 348.15 \text{ K}$$

$$C_p = 1.0089 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\rho = 1.0048 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$v_{air} = \text{ปริมาณความร้อนของอากาศ}$$

$$= \frac{1}{\rho}$$

$$= \frac{1}{1.0046}$$

$$= 0.995 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$Q_{EVAP} = Q_{air} = m \cdot C_{pair} \Delta T$$

$$\begin{aligned}
 m^\circ &= \frac{Q_{air}}{C_{pair} \Delta T} \\
 &= \frac{15,725.16}{1.0089 \times (125 - 25)} \\
 &= 155.86 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V^\circ &= m^\circ v_{air} = 155.81 \times 0.995 \\
 &= 155.08 \frac{m^3}{kg}
 \end{aligned}$$

เปลี่ยนหน่วยของค่า V° (อัตราการไหลของอากาศ) จาก $\frac{m^3}{kg}$ เป็น cfm โดยมีค่าเท่ากับ

0.588cfm แทนค่าในสมการจะได้

$$\begin{aligned}
 V^\circ &= 155.08 \times 0.588 \\
 &= 91.187 cfm
 \end{aligned}$$

เมื่อ

v_{air} = Specific volume of air

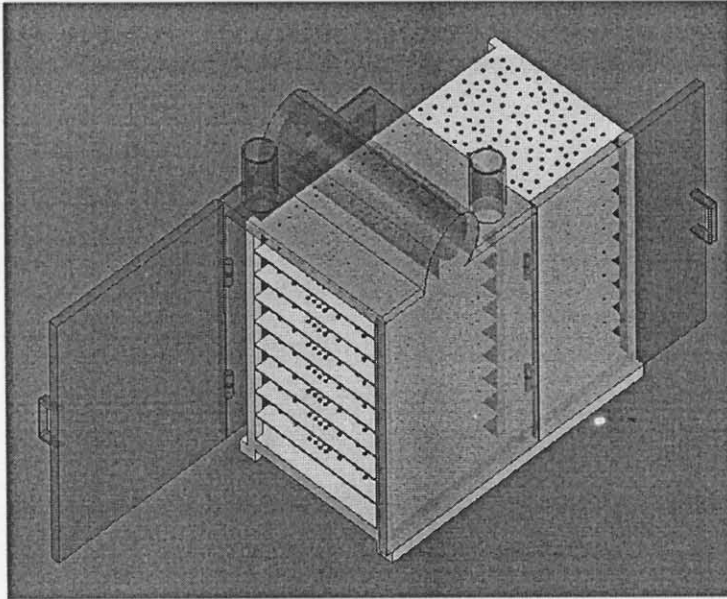
V° = Volume flow rate of air

=

4.2.2 แบบระบบการอบเบื้องต้น

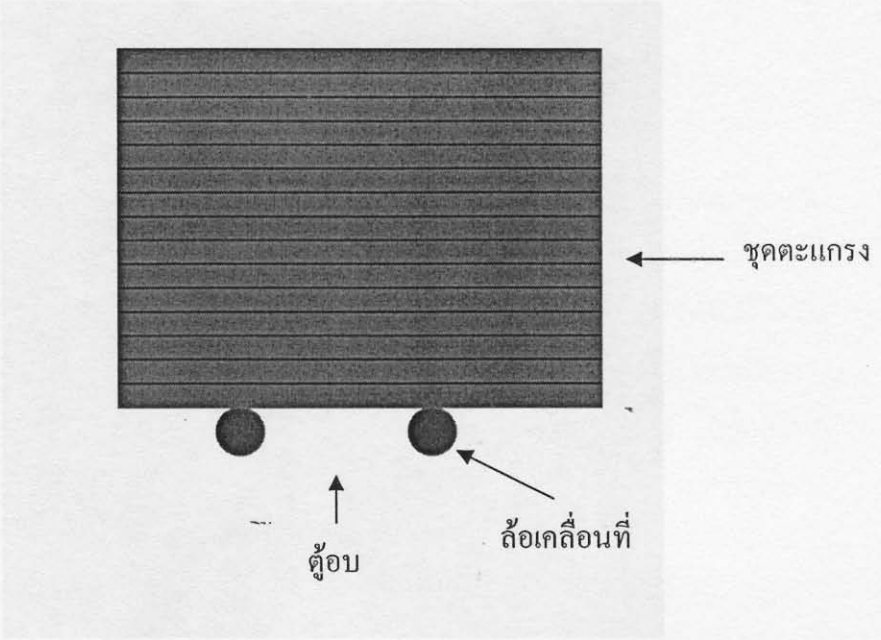
เนื่องจากผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นหมากแห้งเกือบทั้งหมด และในปัจจุบันใช้วิธีการตากแดด ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของท้องตลาด จากเหตุผลดังกล่าวจึงมีแนวคิดในการออกแบบเครื่องอบแห้งหมาก เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตและลดเวลาในการทำให้หมากแห้ง

โดยมีหลักการทำงานดังต่อไปนี้ คือ ตู้มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมที่สามารถเลื่อนเปิดปิดบริเวณด้านข้างได้ โดยด้านหนึ่งจะเป็นตู้อบ และอีกด้านจะเป็นที่พักของเนื้อหมากที่ผ่านการหั่นแล้ว สำหรับรอในระหว่างการอบของอีกด้าน ซึ่งในตู้อบจะมีลักษณะเป็นชั้นๆ และมีรูเพื่อช่วยในการกระจายความร้อน ดังรูปที่ 4.18

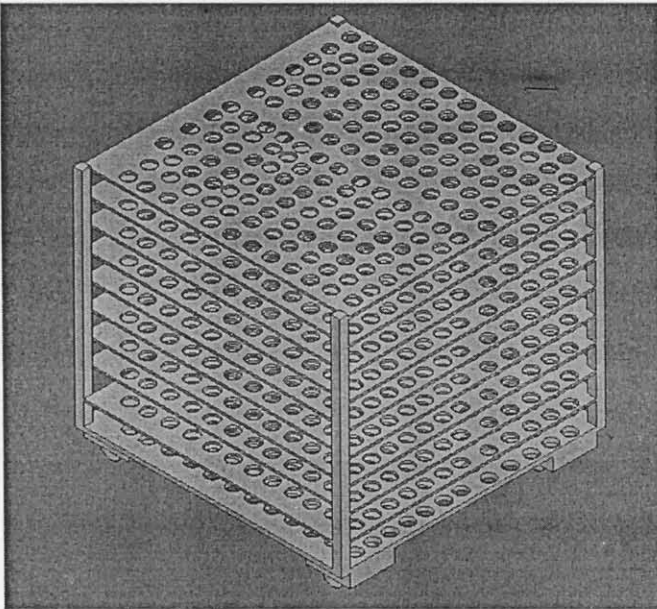


รูปที่ 4.18 เครื่องอบแห้งหมาก

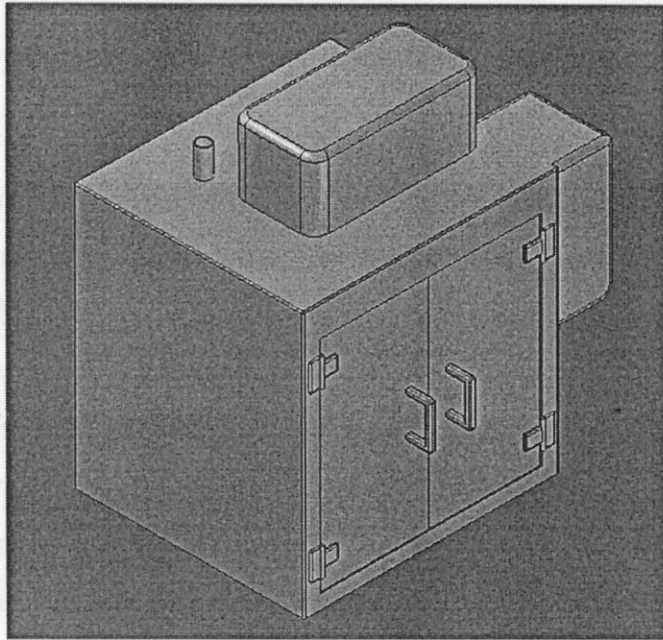
จากแนวคิดข้างต้น พบว่าตู้อบมีการถ่ายเทความร้อนสูง เพราะมีการเคลื่อนที่ของฮีตเตอร์และต้องมีฉนวนป้องกันความร้อนออกจากตู้อบ ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบตู้อบใหม่ มีลักษณะดังต่อไปนี้ คือ จะมีฉนวนลักษณะเป็นตะแกรง โดยชุดตะแกรงจะแบ่งเป็น 2 ชุด ชุดแรกจะนำเนื้อหมากที่ผ่านการหั่นเข้าตู้อบ และชุดที่ 2 ไว้เตรียมเนื้อหมากที่ผ่านการหั่นแล้ว เพื่อรอป้อนกับชุดที่ 1 โดยชุดตะแกรงจะมีล้อติดด้านล่าง เพื่อสะดวกในการเคลื่อนย้าย ดังรูปที่ 4.19 จากแนวคิดในการออกแบบเครื่องอบแห้งหมาก สามารถนำมาออกแบบจำลองเครื่องอบแห้งหมากได้ดังรูปที่ 4.20 และ 4.21



รูปที่ 4.19 ลักษณะของตู้อบแห้งหมาก



รูปที่ 4.20 ชุดตะแกรงเครื่องอบหมาก



รูปที่ 4.21 แบบจำลองตู้อบแห้งหมาก

จากลักษณะการออกแบบดังกล่าว ยังไม่ได้มีการดำเนินการสร้างจริง เป็นเพียงแนวคิดเริ่มต้น ซึ่งระบบการอบหมากแวนจะมีการนำข้อมูลที่ได้จากการทำวิจัยในครั้งนี้ไปดำเนินการต่อสำหรับงานวิจัยต่อไป