การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด

Design and Construction of a Prototype Drying Machine for Betel Nuts

นายปรรณกิต เลิศพยับ

Punnakit Lertpayub

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Engineering in Industrial and Systems Engineering

Prince of Songkla University

2553

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบระบบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด
ผู้เขียน นายปรรณกิต เลิศพยับ
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการและระบบ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....
(รองศาสตราจารย์สมชาย ชูโฉม)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....
(รองศาสตราจารย์วนิดา รัตนมณี)

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ราม แย้มแสงสังข์)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ รัตนวิไล)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์สมชาย ชูโฉม)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์วนิดา รัตนมณี)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์สุชาติ เย็นวิเศษ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพรรณ ไชยประพัทธ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด
ผู้เขียน นายปรรณกิต เลิศพยับ
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการและระบบ
ปีการศึกษา 2552

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด ซึ่งเป็นงานวิจัยที่ต่อเนื่องจากงานวิจัยเรื่องการออกแบบและสร้างเครื่องหั่นหมากต้นแบบ เพื่อเพิ่มกำลังการผลิต และพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้มีความสม่ำเสมอ แต่เนื่องจากในกระบวนการแปรรูปหมากสดเป็นหมากแห้งของเกษตรกร พบว่ายังมีเปลือกหมากเหลือทิ้งไว้โดยเปล่าประโยชน์ ทางผู้ดำเนินการวิจัยจึงนำเปลือกหมากที่เหลือทิ้งมาเผาเพื่อให้พลังงานความร้อนในการอบแห้งเป็นการช่วยลดขยะและสามารถลดค่าไฟฟ้าในการอบแห้งได้ จึงได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดขึ้น เนื่องจากเครื่องหั่นหมากต้นแบบมีความสามารถในการหั่นลูกหมากอยู่ที่ 72 กิโลกรัม/ชั่วโมง หรือได้เนื้อหมากแว่นสดประมาณ 21.6 กิโลกรัม/ชั่วโมง ทางผู้วิจัยจึงได้ออกแบบเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด ให้สามารถอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดให้ได้ครั้งละ 25.5 กิโลกรัม โดยมีระบบให้ความร้อน 2 ระบบ คือ จากขดลวดความร้อน ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้า และจากระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อซึ่งใช้พลังงานจากการเผาเปลือกหมาก การใช้งานสามารถเลือกใช้เพียงระบบเดียว หรือใช้งานร่วมกันทั้งสองระบบก็ได้ จากการทดสอบการทำงานเบื้องต้นพบว่าการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที เป็นสภาวะที่ดีที่สุด คือใช้เวลาในการอบแห้ง 3.5 ชั่วโมง ในการอบแห้งในล็อตที่ 1 และ 3 ชั่วโมงในล็อตที่ต่อเนื่องกัน ในการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนจากเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด พบว่าโครงการนี้ใช้เงินลงทุนทั้งสิ้น 140,000 บาท เมื่อทดลองอบแห้งโดยใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวมีต้นทุนการผลิตกิโลกรัมละ 21.75 บาท เมื่อขายเนื้อหมากแว่นอบแห้งในราคากิโลกรัมละ 45 บาทจะได้กำไรกิโลกรัมละ 23.25 บาท และเมื่อทดลองอบแห้งโดยใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อมีต้นทุนการผลิตกิโลกรัมละ 18.49 บาท จะมีได้กำไรกิโลกรัมละ 26.51 บาท ดังนั้นผลจากการวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่า มีความเป็นไปได้สูงที่จะสร้างเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดเพื่อเพิ่มมูลค่าในเชิงพาณิชย์ได้

Thesis Title	Design and Construction of a Prototype Drying Machine for Betel Nuts
Author	Mr. Punnakit Lertpayub
Major Program	Industrial and Systems Engineering
Academic Year	2009

Abstract

The objective of this research was to design and construct of a prototype drying machine for betel nuts. This study was performed continuously from the studying of design and construction of a slitting machine prototype for betel nuts to increase the production capability and consistency of product quality. There are many useless outermost shells from the process of betel nuts drying. For this reason, we try to develop the drying machine which can reduce the electricity charge in the drying process. The slitting machine prototype can cut betel nuts at the rate of 72 kg/hr. This rate gives the inner nuts 21.6 kg/hr. Therefore, the drying machine was designed for 25.5 kg of fresh betel nuts. The heat is supplied from 2 systems, heater and tube bank heat exchanger, which are separately applied or both together. The results from experimental showed that at 100 ◦C, air velocity at 0.72 m/s, it took 3.5 hrs for the first lot and 3 hrs for the next continuous lots. The investment for the drying machine construction was 140,000 baht. The electric energy cost per kilogram of betel nuts was about 21.75 baht. Thus, the profit was about 23.25 baht from selling of dried betel nuts at 45 baht per kilogram. Whereas, the combination use of electric energy and tube bank heat exchanger energy cost was about 18.49 baht. Therefore, the profit was about 26.51 baht. It is possible to increase in commercial value of betel nuts by this drying machine.

สารบัญ

		หน้า
สารบัญ		(6)
รายการตาราง		(9)
รายการภาพประกอบ		(10)
ตัวย่อและสัญลักษณ์		(12)
บทที่		
1	บทนำ	1
	1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
	1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
	1.4 ระเบียบวิธีการวิจัย	4
	1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	4
2	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย	5
	2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับหมาก	5
	2.2 ชนิดของการอบแห้ง	10
	2.3 ทฤษฎีการอบแห้ง	14
	2.4 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง	20
	2.5 การถ่ายเทความร้อน	22
	2.6 การไหลผ่านกลุ่มท่อ	31
	2.7 ขั้นตอนการออกแบบ	37
	2.8 การวิเคราะห์ต้นทุนผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์	39
	2.9 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	44
3	วิธีการวิจัย	50
	3.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น	50
	3.2 การวิเคราะห์ข้อดีและข้อเสียของการอบแห้งแต่ละชนิด	55
	3.3 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด	58
	3.4 การดำเนินการทดสอบการทำงานเบื้องต้นของเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด	67

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
4 ผลการวิจัยและบทวิจารณ์		72
4.1 รายละเอียดของเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด		72
4.2 ผลการทดสอบเบื้องต้นในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด		79
4.3 การคำนวณต้นทุนการผลิตหมากแว่นอบแห้ง		85
5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ		97
อ้างอิง		100
ภาคผนวก		
ภาคผนวก ก	แสดงข้อมูลการวัดความเร็วลม	103
ภาคผนวก ข	แสดงข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกและค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของเนื้อหมากแว่นสด ก่อนทำการอบแห้ง	113
ภาคผนวก ค	แสดงข้อมูลลักษณะทางกายภาพและสีของเนื้อหมากแว่น จากการทดลองอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดด้วยเตาอบยี่ห้อ Imarflex ที่อุณหภูมิต่างๆ ด้วยความเร็วลม 0.8 เมตร/วินาที	115
ภาคผนวก ง	แสดงข้อมูลปริมาณและมูลค่าการส่งออกหมากสดและหมากแห้งของประเทศไทย	119
ภาคผนวก จ	มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (หมากแห้ง)	123
ภาคผนวก ฉ	แสดงข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกและค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของเนื้อหมากแว่นสด ในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด 5.1 กิโลกรัม ด้วยลมร้อนในแต่ละช่วงเวลา ณ สภาวะต่างๆ	129
ภาคผนวก ช	แสดงข้อมูลค่ายูนิตไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด 5.1 กิโลกรัม ด้วยลมร้อนในแต่ละช่วงเวลา ณ สภาวะต่างๆ	148

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
ภาคผนวก ซ	แสดงข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกและค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของเนื้อหมากแว่นก่อนอบแห้งและหลังอบแห้งในการอบเนื้อหมากแว่นสด 25.5 กิโลกรัม ด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C ความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที	158
ภาคผนวก ฌ	แสดงข้อมูลของอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และค่ายูนิตไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด 25.5 กิโลกรัม ด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C ความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที	161
ภาคผนวก ญ	แสดงภาพประกอบของวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด	164
ภาคผนวก ฎ	แสดงโครงสร้างและขนาดของเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด	169
ประวัติผู้เขียน		174

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
2-1	แหล่งเพาะปลูกหมาก 10 อันดับแรกของไทย	11
2-2	ค่าของ D และ P สำหรับใช้ในสมการที่ 2-23	35
2-3	ค่าของ h_{last}/h_{10} และ $\bar{h}/h_{10}$ สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีของไหลไหลตั้งฉากกับท่อ และมีหลายแถว โดยที่การเรียงท่อเป็นแบบเรียงสลับ	36
2-4	การวิเคราะห์ปัญหาจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาปรับปรุงและออกแบบเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด	48
3-1	ข้อดีและข้อเสียของการอบแห้งแต่ละชนิด	56
4-1	ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (M_d) ของเนื้อหมากแว่นสดก่อนทำการอบแห้งในล็อตที่ 1 และล็อตที่ 2	81
4-2	ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (M_d) ของเนื้อหมากแว่นอบแห้งหลังทำการอบแห้งในล็อตที่ 1 และล็อตที่ 2	83
4-3	อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดในล็อตที่ 1 และล็อตที่ 2	85
4-4	ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด และกำไรสุทธิจากการใช้เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด	96

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1-1	เครื่องหั่นหมากต้นแบบที่ได้ทำการสร้างในงานวิจัย	2
1-2	ลักษณะเนื้อหมากที่ได้จากการหั่นของเครื่องหั่นหมากต้นแบบ	3
2-1	ส่วนประกอบต่างๆ ของผลหมาก	6
2-2	ลักษณะของผลหมากชนิดผลกลมแป้นและผลยาว	7
2-3	ลักษณะผลหมากที่ควรเก็บเกี่ยว	8
2-4	แผนผังการจำหน่ายหมาก	12
2-5	เครื่องหมายของงานและความร้อน	24
2-6	การเรียงท่อแบบแนวเดียวกัน	31
2-7	การเรียงท่อแบบสลับ	32
3-1	การเก็บผลหมาก	50
3-2	การปอกหมากสด	51
3-3	หมากที่ผ่านการปอกเปลือกแล้ว	51
3-4	การหั่นหมากของชาวบ้าน	52
3-5	เครื่องไสหมาก	52
3-6	เนื้อหมากแว่นสดที่ได้จากการไส	53
3-7	การย่างเนื้อหมากแว่นสด	54
3-8	ลักษณะของเตาย่างหมาก	54
3-9	หมากแว่นอบแห้งที่พร้อมจะขาย	55
3-10	การบรรจุเนื้อหมากแว่นสดก่อนทำการอบแห้งในล็อตที่ 1	69
3-11	การบรรจุเนื้อหมากแว่นสดในรถเข็นก่อนทำการอบแห้งในล็อตที่ 2	70
4-1	ด้านหน้าของเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด	73
4-2	ภายในของเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด	74
4-3	การเรียงตัวของขดลวดความร้อน	74
4-4	ด้านซ้ายของเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด	75
4-5	ด้านหลังของเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด	75
4-6	ด้านขวาของเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด	76
4-7	วิธีการใช้เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด	78

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
4-8	เนื้อหมากแว่นสดก่อนทำการอบแห้งในล็อตที่ 1	80
4-9	เนื้อหมากแว่นสดก่อนทำการอบแห้งในล็อตที่ 2	80
4-10	เนื้อหมากแว่นอบแห้งหลังจากทำการอบแห้งในล็อตที่ 1	82
4-11	เนื้อหมากแว่นอบแห้งหลังจากทำการอบแห้งในล็อตที่ 2	82
4-12	อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดในล็อตที่ 1 และล็อตที่ 2	84

ตัวย่อและสัญลักษณ์

◦C	=	องศาเซลเซียส
SI	=	ระบบหน่วยระหว่างประเทศ (International System of Units)
kJ	=	กิโลจูล
kN	=	กิโลนิวตัน
Q_{12} หรือ Q	=	ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทขณะเกิดกระบวนการจากสภาวะที่ 1 ไปสู่สภาวะที่ 2
q	=	ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทต่อหน่วยมวล
s	=	วินาที
kW	=	กิโลวัตต์
Q_{in}	=	ความร้อนที่ถ่ายเทสู่ระบบ
Q_{out}	=	ความร้อนที่ถ่ายเทออกจากระบบ
W_{in}	=	งานที่เข้าระบบ
W_{out}	=	งานที่ได้จากระบบ
kg	=	กิโลกรัม
◦K	=	องศาเคลวิน
m	=	เมตร
Pa	=	พาสคาล
cm	=	เซนติเมตร
hr	=	ชั่วโมง
HP	=	แรงม้า

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์

ประเทศไทยถือได้ว่าเป็นประเทศเกษตรกรรมและมีสินค้าทางการเกษตรมากมายที่สามารถผลิตขึ้นบริโภคภายในประเทศ พร้อมทั้งสามารถส่งออกต่างประเทศได้อีกด้วย โดยแต่ละปีสินค้าทางการเกษตรสามารถนำรายได้เข้าสู่ประเทศได้อย่างมาก หมากเป็นผลผลิตทางการเกษตรอีกประเภทหนึ่งที่มีแนวโน้มการส่งออกต่างประเทศสูงขึ้นทุกปี โดยเฉพาะหมากแห้ง ซึ่งมีประโยชน์ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง ฟอกเส้นใย และทำยารักษาโรค ผลหมากยังสามารถใช้เป็นยาสมุนไพรในการปฐมพยาบาลเบื้องต้น เช่น ใช้สมานแผล แก้ท้องเสีย รักษาโรคเหงือกและฟัน เป็นต้น โดยการแปรรูปหมากสดเป็นหมากแห้งทำให้มูลค่าทางการตลาดเพิ่มสูงขึ้น 1-2 เท่าของหมากสด และหมากแห้งยังสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานอีกด้วย

วนิดา รัตนมณี และ สมชาย ชูโฉม (2550) กล่าวว่าเนื่องจากปัจจุบันกระบวนการหั่นหมากในท้องถิ่นภาคใต้ยังใช้วิธีการแบบดั้งเดิม คือ ใช้มีดในการผ่าหมากออกเป็นสองซีก จากนั้นนำไปผึ่งแดดประมาณ 1-2 แดด ให้เนื้อหมากด้านในหดตัวจึงทำการแกะเนื้อด้านในออก นำเนื้อหมากที่ผ่านการแกะแล้วไปผึ่งแดดอีกครั้งประมาณ 4-5 แดด ก็สามารถเก็บเพื่อส่งขายได้ ซึ่งต้องใช้เวลาประมาณ 8-10 วัน ในการผลิตหมากแห้ง ทำให้ไม่สามารถผลิตหมากแห้งให้เพียงพอต่อความต้องการของตลาด จากกระบวนการผลิตหมากแห้งดังกล่าวยังทำให้เกษตรกรที่ทำการผ่าหมากได้รับบาดแผลที่นิ้วอีกด้วย ภาคใต้เป็นภูมิภาคที่มีฝนตกชุกตลอดปีทำให้เกิดปัญหาหมากเกิดเชื้อราเนื่องจากความชื้นและการผึ่งแดดไม่เพียงพอ ส่งผลให้ไม่สามารถขายหมากแห้งได้ตามราคาที่ต้องการ จากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปปัญหาที่สำคัญ คือ

1) ต้องใช้เวลานานในการผึ่งแดด ทำให้เกิดความล่าช้า

2) มีข้อจำกัดในการผึ่งแดดเช่น เวลาฝนตก หรือเวลาพลบค่ำซึ่งไม่มีแสงแดดในการผึ่งแดดทำให้ประสิทธิภาพในการทำหมากแห้งลดลง

3) ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สะอาด เพราะขณะผึ่งแดดไม่มีอะไรปกปิดหมากไว้ อาจทำให้หมากสัมผัสกับฝุ่นหรือมีแมลงวันตอมได้

4) ผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่มีความชื้นมากกว่า 12 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก ซึ่งไม่ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (ภาคผนวก จ) เนื่องจากการนำหมากไปตากแดดในแต่ละครั้งขึ้นกับสภาพอากาศ ซึ่งถ้ามีอากาศชื้นจะทำให้หมากแห้งไม่สนิทและเกิดเชื้อราขึ้นได้

จากปัญหาที่กล่าวข้างต้นจึงได้มีการทำงานวิจัยโครงการ การออกแบบและสร้างเครื่องหั่นหมากต้นแบบ ดังแสดงในภาพประกอบ 1-1 ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากทุนประเภททั่วไป ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปี 2549 จากการทำงานวิจัยดังกล่าว เครื่องหั่นหมากต้นแบบมีความสามารถในการหั่นผลหมากอยู่ที่ 72 กิโลกรัม/ชั่วโมง หรือได้เนื้อหมากแว่นสดที่มีความหนา 2-3 มิลลิเมตร ประมาณ 21.6 กิโลกรัม/ชั่วโมง ดังแสดงในภาพประกอบ 1-2 จากการทำงานวิจัยพบว่าปัญหาที่เกิดจากการสร้างเครื่องหั่นหมากต้นแบบ คือเครื่องต้นแบบดังกล่าวยังไม่มีระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด ดังนั้นจึงได้มีการทำวิจัยเรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด เป็นโครงการต่อเนื่องจากโครงการวิจัยที่ผ่านมา เป็นการช่วยเพิ่มกำลังการผลิตในกระบวนการแปรรูปหมากสดเป็นหมากแห้งของเกษตรกร เพื่อรองรับต่อความต้องการของตลาด

ภาพประกอบ 1-1 เครื่องหั่นหมากต้นแบบที่ได้ทำการสร้างในงานวิจัย
(ที่มา : วนิดา รัตนมณี และ สมชาย ชูโฉม, 2550)

ภาพประกอบ 1-2 ลักษณะเนื้อหมากที่ได้จากการหั่นของเครื่องหั่นหมากต้นแบบ
(ที่มา : วนิดา รัตนมณี และ สมชาย ชูโฉม, 2550)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด ที่หั่นได้จากเครื่องหั่นหมากต้นแบบในงานวิจัยของวนิดา รัตนมณี และ สมชาย ชูโฉม (2550)
2. เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตหมากแว่นอบแห้งให้กับเกษตรกร ซึ่งปัจจุบันกำลังการผลิตหมากแว่นอบแห้งของเกษตรกรอยู่ที่ประมาณ 13 กิโลกรัม/เตา/วัน (หาญพงศ์ สุวรรณโณ และ อยุทธ์ อังศกีรติรัตน์, 2552)

1.3 ขอบเขตการวิจัย

สามารถอบเนื้อหมากแว่นสดได้ไม่น้อยกว่า 21.6 กิโลกรัมต่อครั้ง หรือได้หมากแว่นอบแห้งประมาณครั้งละ 6.7 กิโลกรัม โดยใช้ความร้อนจากระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อ หรือระบบอื่นๆ ร่วมด้วยก็ได้

1.4 ระเบียบวิธีการวิจัย

ก่อนที่จะเริ่มดำเนินการวิจัย ทางผู้ดำเนินการวิจัยได้รวบรวมระเบียบวิธีการวิจัยเพื่อจะได้เป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. เก็บข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการอบแห้ง
2. วิเคราะห์และตัดสินใจเลือกระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด
3. ออกแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด
4. สร้างระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด และทดลองใช้งาน
5. ทดสอบการทำงานเครื่องจักรต้นแบบทุกระบบ
6. วิเคราะห์และปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องจักร
7. รวบรวมรายละเอียดและจัดทำรูปเล่มรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าได้รับจากการวิจัย

1. เพิ่มกำลังการผลิตหมากแห้งให้กับเกษตรกร
2. ช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยการใช้พลังงานเสริมจากระบบแลกเปลี่ยนความร้อน
3. สามารถนำเปลือกหมากแห้งที่ไม่มีคุณค่ามาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยการนำมาเป็นเชื้อเพลิง

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับหมาก

2.1.1 ประวัติหมาก

พิสมัย พึ่งวิกรัย และ พิมพ์ใจ พัฒนศิริพงศ์ (2543) กล่าวว่าหมากมีชื่อวิทยาศาสตร์เรียกว่า *Arecanut* หรือ *Arecanut Palm* เป็นไม้ยืนต้นตระกูลปาล์มเช่นเดียวกับมะพร้าว ซึ่งหมากมีถิ่นกำเนิดมาจากที่ใด เมื่อใดไม่ปรากฏหลักฐานเด่นชัด แต่มีหลักฐานที่พอจะเชื่อถือได้ว่า มีหนังสือเรื่องหมากเขียนขึ้นในสมัยมาร์โคโปโลและมีผู้ค้นพบหนังสือที่เขียนขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1593 (พ.ศ. 2136) โดยให้ชื่อต้นหมากป่าที่พบว่า พินลาง (Pinlang) ซึ่งคำนี้เป็นชื่อเรียกต้นหมาก ในแหลมมลายูและสุมาตราในปัจจุบัน และนอกจากนี้ยังมีการรายงานว่ามีผู้พบเห็นหมากป่าขึ้นอยู่ในประเทศฟิลิปปินส์ตลอดจนประเทศศรีลังกาอีกเช่นกันด้วยเหตุนี้จึงยังไม่มีผู้ใดยืนยันว่าต้นหมากมีแหล่งกำเนิดจากที่ใดกันแน่ สำหรับในประเทศไทย สันนิษฐานกันว่าการปลูกหมากคงจะมีการปลูกนานกว่า 700 ปีมาแล้ว โดยมีหลักฐานที่ยืนยันได้ คือ หลักศิลาจารึกหลักที่ 1 นั่นเอง ซึ่งแหล่งปลูกหมากที่สำคัญในปัจจุบันได้แก่ จังหวัดฉะเชิงเทรา ชุมพร นครศรีธรรมราช ระนอง และนครปฐม เป็นต้น

2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผลหมาก

ผลหมากมีลักษณะกลมหรือยาวรี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 – 2.5 นิ้ว โดยผลหมากประกอบด้วยส่วนต่างๆ ซึ่งแสดงในภาพประกอบ 2-1 ดังนี้

ภาพประกอบ 2-1 ส่วนประกอบต่างๆ ของผลหมาก
(ที่มา : พิสมัย พึ่งวิกรัย และ พิมพ์ใจ พัฒนศิริพงศ์, 2543)

(1) เปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นนี้จะบางกว่าเปลือกชั้นกลาง มีเส้นใยละเอียด เหนียวและแข็ง ผิวเปลือกมีความมัน

(2) เปลือกชั้นกลาง มีเส้นใยหนา หยาบมองเห็นได้ชัด เมื่อเป็นผลสด เส้นใยจะมีสีขาวและอ่อนนุ่ม เมื่อเป็นผลแก่เส้นใยจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและแข็งขึ้น

(3) เปลือกชั้นใน เป็นเยื่อบางละเอียด ไม่เป็นเส้นใย ลักษณะใสเป็นมัน อยู่ติดกับเนื้อหมาก

(4) เม็ด คือส่วนที่เรียกว่า เนื้อหมาก เมื่อผลอ่อนเนื้อหมากจะนิ่ม สามารถเอาออกจากเปลือกได้ง่าย แต่เมื่อผลแก่เนื้อหมากจะแข็ง เฉาะเปลือกออกยาก ต้องนำไปตากแดด เนื้อหมากจะแห้งแข็งหลุดออกจากเปลือกง่ายขึ้น

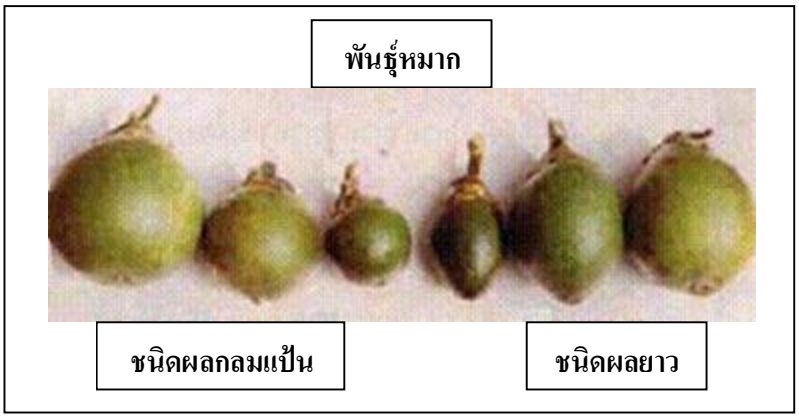
2.1.3 **พันธุ์หมาก**

ในปัจจุบันแบ่งพันธุ์หมากตามลักษณะได้ 2 ลักษณะคือ

(1) แบ่งตามลักษณะของผล ซึ่งแสดงในภาพประกอบ 2-2 ดังนี้

(1.1) ผลกลมแป้น หมากชนิดนี้ส่วนมากจะมีผลใหญ่ รูปทรงของผลมีลักษณะกลมหรือกลมแป้น ขนาดของเม็ดใหญ่ มีลักษณะกลมหรือกลมแป้นเช่นเดียวกับลักษณะผล เปลือกมีความหนาค่อนข้างสม่ำเสมอกัน

(1.2) ผลยาว หมากชนิดนี้จะมีขนาดเล็กกว่าผลกลมแป้น รูปทรงของผลมีลักษณะยาวหรือยาวรี เม็ดมีลักษณะไม่แน่นอน อาจจะกลมแป้น หรือยาวก็ได้ เปลือกมีความหนาไม่ค่อยสม่ำเสมอ ส่วนใหญ่เปลือกทางด้านขั้วผลจะหนากว่าส่วนอื่นๆ



ภาพประกอบ 2-2 ลักษณะของผลหมากชนิดผลกลมแป้นและผลยาว
(ที่มา : พิสมัย พึ่งวิกรัย และ พิมพ์ใจ พัฒนศิริพงศ์, 2543)

(2) แบ่งตามลักษณะทรงของลำต้น

(2.1) พันธุ์ต้นสูง ลักษณะลำต้นสูง ต้นค่อนข้างเล็ก ปล้องห่าง ใบยาว จั่นยาว ให้ผลผลิตสูง เมื่ออายุมากการเก็บเกี่ยวลำบาก ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง

(2.2) พันธุ์ต้นเตี้ย ลักษณะลำต้นเตี้ย ต้นอวบใหญ่ ปล้องถี่ ข้อเกือบจะติดกัน ใบสั้น จั่นสั้น ออกจั่นน้อยให้ผลผลิตต่ำ เหมาะที่จะใช้เป็นไม้ประดับ หรือใช้ในการปรับปรุงพันธุ์

(2.3) พันธุ์ต้นกลาง มีลักษณะลำต้นสูงปานกลาง ต้นอวบใหญ่ ปล้องห่างปานกลาง ใบสั้นปานกลาง จั่นอวบใหญ่ แต่ค่อนข้างสั้น ให้ผลผลิตค่อนข้างสูง หมากพันธุ์นี้เข้าใจว่าเป็นลูกผสมระหว่างพันธุ์ต้นสูงกับพันธุ์ต้นเตี้ย

2.1.4 **ลักษณะผลหมากที่ควรเก็บเกี่ยว**

ลักษณะผลหมากที่ควรเก็บเกี่ยว ซึ่งแสดงในภาพประกอบ 2-3 ดังนี้

(1) หมากดิบหรือหมากสด ผลหมากสดที่ใช้รับประทาน มีอายุนับตั้งแต่เริ่มผสมติดจนถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 5 – 6 เดือน เปลือกสีเขียวเข้ม เนื้อในแก่พอจะรับประทานสดได้

(2) หมากแก่หรือหมากสง คือผลหมากที่มีอายุนับตั้งแต่เริ่มผสมติดจนถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 7 – 8 เดือน แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

(2.1) หมากสงที่มีเปลือกสีเหลืองปนเขียว ช่วงที่ผลหมากมีอายุประมาณ 7 เดือน เนื้อจะหนาและเริ่มแข็ง แต่ยังไม่แข็งมากนัก เฉาะเปลือกออกแล้วเอาเนื้อมาหั่นเป็นชิ้นบางๆ ทำเป็นหมากแห้งได้ เช่น หมากแว่นหรือหมากอีแปะ หมากซอยหรือหมากหั่น

(2.2) หมากสงที่มีเปลือกเหลืองทั้งผล เป็นหมากอายุ 8 เดือนขึ้นไป เนื้อจะหนาและแข็งเต็มที่ ติดกับเปลือกแน่น แกะหรือเฉาะเปลือกออกยากต้องนำไปตากแดด เพื่อให้เปลือกล่อนออกจากเนื้อ แล้วจึงเอาเนื้อไปทำให้เป็นหมากแห้งทั้งเม็ด หมากแห้งผ่าสองหรือผ่าซีก หรือนำไปเพาะเพื่อขยายพันธุ์ โดยทั่วไปแล้วหมากดิบจะมีราคาสูงกว่าหมากแก่ แต่ในปีใดถ้าหมากดิบมีราคาตกต่ำมาก เกษตรกรก็จะนำหมากดิบไปทำเป็นหมากแห้ง หรือปล่อยไว้เป็นหมากแก่เพื่อทำเป็นหมากแห้งจำหน่ายต่อไป

ภาพประกอบ 2-3 ลักษณะผลหมากที่ควรเก็บเกี่ยว
(ที่มา : พิสมัย พึ่งวิกรัย และ พิมพ์ใจ พัฒนศิริพงศ์, 2543)

2.1.5 **การทำหมากแห้ง**

พฤษภะ ณ อยุธยา (2542) กล่าวว่าผลผลิตของหมากเมื่อเก็บมาแล้ว อาจนำไปขายหรือเก็บไว้ใช้บริโภคเองในรูปหมากสดก็ได้ แต่ถ้าเห็นว่าหมากสดมีราคาถูก หรือมีปริมาณมากเกินที่จะบริโภคเองได้หมด สามารถนำหมากเหล่านี้มาทำเป็นหมากแห้ง เพื่อเอาไว้ขายในช่วงที่มีราคาสูง

หรือเอาไว้บริโภคในช่วงที่หมากขาดแคลน โดยหมากแห้งที่จำหน่ายอยู่ในตลาดมีหลายชนิดและหลายลักษณะ แต่สามารถแบ่งหมากแห้งออกเป็นประเภทได้ 2 ประเภท คือ

(1) หมากแห้งที่ทำจากหมากดิบ มี 5 ชนิด ได้แก่

(1.1) หมากซอย นำหมากสดมาเฉาะเปลือกออกเอาเนื้อหมากผ่าเป็น 2 ซีก แล้วใช้มีดซอยออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ หนาประมาณ 1 หุน หรือ 1/8 นิ้ว นำไปตากแดดบนเสื่อลำแพน กระด้ง หรือตะแกรงเกลี่ยให้บางๆ ตากไว้ประมาณ 2-3 แดด

(1.2) หมากกลีบส้ม นำหมากสดมาเฉาะเปลือกออก เอาเนื้อหมากมาผ่าเป็นชิ้นๆ ตามแนวยาวจะมีลักษณะคล้ายกลีบส้ม หมาก 1 ผล นำผ่าได้ประมาณ 5-7 กลีบ แล้วแต่ผลเล็กหรือผลใหญ่ จากนั้นนำไปตากแดดประมาณ 3-5 วัน เมื่อแห้งสนิทแล้วเก็บใส่กระสอบไว้

(1.3) หมากเจียน นำหมากสดมาผ่าออกตามแนวยาว 4-5 ชิ้น แล้วแต่ขนาดผลหมาก เสร็จแล้วนำมาเจียนโดยใช้มีดปอกเปลือกนอกที่เป็นสีเขียวตรงด้านก้นผลออกบางๆ ลอกเปลือกออกไปเกือบถึงโคนทางด้านขั้วผล แต่ยังคงเหลือไว้นิดหนึ่งไม่ให้ขาด จากนั้นก็เจียนเปลือกชั้นในอีกครั้งหนึ่งเช่นเดียวกัน ใช้มีดเจียนเปลือกที่เหลือให้เข้าถึงเนื้อหมาก แกะเอาเนื้อให้ติดเปลือกนอกที่เจียนไว้ออกมาเป็นคำๆ นำมาตากแดด 3-5 แดด เมื่อแห้งสนิทแล้วนำเก็บใส่ภาชนะไว้

(1.4) หมากจุก นำหมากสดมาเจียนเหมือนหมากเจียนแล้วซอยหรือหั่นเป็นชิ้นบางๆ หนาประมาณ 1 หุน หรือ 1/8 นิ้ว เท่ากับหมากซอย นำไปตากแดดประมาณ 2-3 แดด เมื่อแห้งดีแล้วจึงเก็บใส่ภาชนะไว้

(1.5) หมากป่น ได้จากหมากแห้งพวกหมากซอย หมากเจียน หมากจุก หมากแว่นที่แห้งกรอบ และหักเป็นชิ้นเล็กๆ นำมารวมกันเป็นหมากป่น

(2) หมากแห้งที่ทำจากหมากแก่หรือหมากสง มี 4 ชนิด ได้แก่

(2.1) หมากแว่น หมากอีแปะหรือหมากหั่น นำหมากสงที่มีสีเขียวปนเหลืองมาเฉาะเอาเปลือกออก ใช้มีดหั่นหรือใช้เครื่องไสหมากซึ่งมีลักษณะคล้ายไสไม้ โดยนำหมากทั้งเม็ดมาวางบนใบมีด แล้วใช้ใบหรือก้านหมากที่ตัดให้มีขนาดพอเหมาะกดไปที่ลูกหมาก (เม็ดหมาก) ไสเป็นแว่นๆ นำไปตากแดด ประมาณ 2 - 4 วัน จนแห้งสนิทจึงเก็บใส่ภาชนะได้

(2.2) หมากผ่าสองหรือหมากผ่าซีก นำหมากสงที่สุกแล้วมาผ่าออกเป็น 2 ซีกตามแนวยาว นำไปตากแดดประมาณ1 แดด เนื้อหรือเม็ดหมากจะล่อนออกจากเปลือก นำไปตากแดดอีก 4-5 แดด จนแห้งดีแล้วจึงนำไปเก็บไว้

(2.3) หมากผ่าสี่หรือหมากกั๊ก นำหมากสงที่สุกแล้วมาผ่าออกเป็น 4 ส่วนตามแนวยาว นำไปตากแดดประมาณ 1 วัน เนื้อก็จะล่อนออกจากเปลือก นำไปตากแดดอีกประมาณ 4-5 แดด จนแห้งสนิทจึงนำไปเก็บไว้

(2.4) หมากแห้งทั้งเม็ด ใช้หมากสงที่สุกแล้วไปตากแดด จนเม็ดล่อนแยกจากเปลือก เฉาะเปลือกแกะเอาเนื้อออกไปตากแดดอีก 2-3 แดด จนแห้งสนิทจึงนำไปเก็บไว้

2.1.6 **ประโยชน์ของหมากแห้ง**

ประโยชน์ของหมากมิใช่เป็นเพียงของขบเคี้ยวเท่านั้น มนุษย์เราได้ค้นพบคุณค่าจากหมาก ซึ่งนับเป็นพืชอุตสาหกรรมที่สำคัญมากชนิดหนึ่ง โดยที่เม็ดแก่ของหมากที่แห้งแล้ว เมื่อนำมาสกัดจะได้สารพวกไขมัน เมือก ยาง สารอัลคาลอยด์ และสารเทนนิน ซึ่งสารที่สกัดออกมาจากหมากแห้งนี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากมาย (ศุภลักษณ์ เจนถนอมม้า, 2529) เช่น

(1) ส่วนประกอบในอุตสาหกรรมการทำสี

(2) ใช้ย้อมแห อวน ทำให้นิ่มและยืดอายุการใช้งาน

(3) ใช้เป็นน้ำยาฟอกหนัง ซึ่งน้ำยานี้จะทำให้หนังนิ่มและมีสีสวย

(4) ใช้เป็นพืชสมุนไพรในการรักษาโรคต่างๆ เช่น ยาถ่ายพยาธิในสัตว์ ยาแก้ท้องเดิน ท้องเสีย ยาขับพิษ ยาแก้คัน และยาแก้ปากเปื่อย (เสริมศักดิ์ รักธรรม, 2536)

2.1.7 **แหล่งปลูกหมากในประเทศไทย**

แหล่งปลูกหมากในประเทศไทยส่วนใหญ่อยู่ในภาคใต้ ภาคกลาง พื้นที่ปลูกหมากของไทยมีประมาณ 116,756 ไร่ ผลผลิตรวม 437,010 ตัน จังหวัดที่มีการปลูกหมากมากที่สุด คือจังหวัดชุมพร รองลงมาคือจังหวัดนครศรีธรรมราช ระนอง ฉะเชิงเทรา พัทลุง ตรัง พังงา ระยอง นครปฐม และ สุราษฎร์ธานี ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 แหล่งเพาะปลูกหมาก 10 อันดับแรกของไทย

ลำดับที่	จังหวัด	พื้นที่ปลูก (ไร่)	ผลผลิตเฉลี่ย (กิโลกรัม/ไร่)	ผลผลิตรวม (ตัน)
1	ชุมพร	24,516	6,700	107,849.9
2	นครศรีธรรมราช	18,408	6,091.84	99,461.5
3	ระนอง	13,556	3,430.74	31,230.04
4	ฉะเชิงเทรา**	9,583	1958.4	17,641.3
5	พัทลุง**	6,451	6,700	34,786.4
6	ตรัง	4,649	6,700	28,387.9
7	พังงา	4,282	5,362.81	14,683.36
8	ระยอง	4,048	2,089.88	7,026.19
9	สุราษฎร์ธานี	3,427	4,705.38	11,509.36
10	นครปฐม	3,409	3,172.3	10,697.01

(ที่มา : ฝ่ายประมวลผล กองแผนงาน กรมส่งเสริมการเกษตร, 2545)

หมายเหตุ : ** ข้อมูลจากปี 2544

2.1.8 **ตลาดและการส่งออก**

รายละเอียดในเรื่องของตลาดสามารถแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การจำหน่ายในประเทศ และการจำหน่ายในต่างประเทศ มีรายละเอียดดังนี้

2.1.8.1 **การจำหน่ายภายในประเทศ**

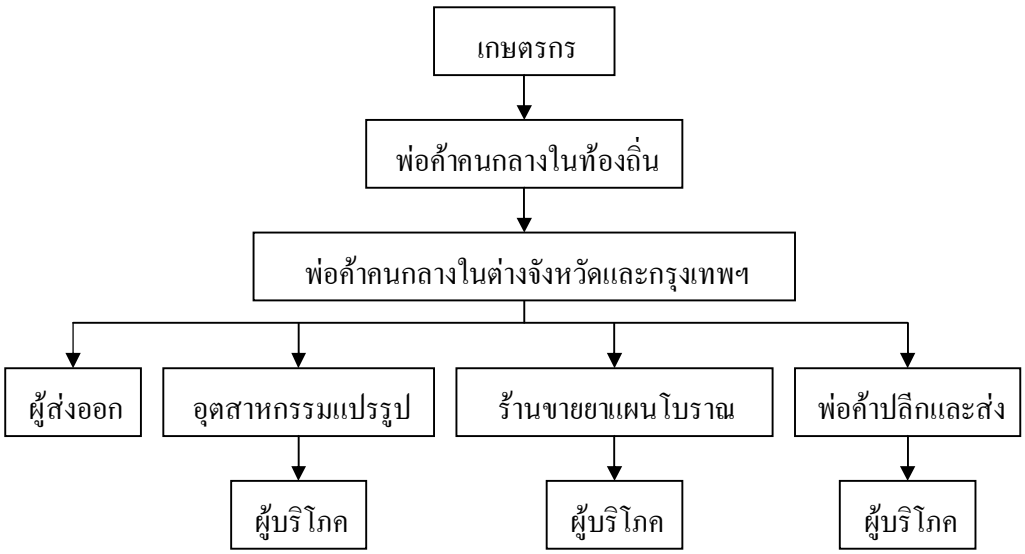
การจำหน่ายในรูปของหมากสดหรือหมากดิบ การจำหน่ายในลักษณะนี้ ส่วนมากชาวสวนจะนำหมากไปขายในท้องตลาดในลักษณะของการขายปลีก โดยการนับจำนวนผลขาย ชาวสวนบางรายจำหน่ายผลผลิตในรูปขายส่งให้กับพ่อค้าที่มารับซื้ออีกต่อหนึ่ง มีทั้งการนับจำนวนขายเป็นร้อยผล และการชั่งขายเป็นกิโลกรัม นอกจากนี้ชาวสวนบางรายขายเหมาผลผลิตให้กับพ่อค้า โดยพ่อค้าเป็นผู้รับผิดชอบในการเก็บเกี่ยวเองทั้งหมด ทั้งนี้ลักษณะหมากสดหรือหมากดิบที่

ตลาดต้องการ คือ ผลใหญ่ ฝาด เนื้อดี และหน้าเต็ม การรับซื้อจะไม่แบ่งพันธุ์ แต่จะคละกันทั้งผลกลมแป้น และผลยาว

การจำหน่ายในรูปของหมากสงหรือหมากสุก ในกรณีที่หมากดิบหรือหมากสดมีจำนวนมากเกินไปจนเก็บไม่ทัน หรือราคาถูกมาก ๆ ชาวสวนบางรายจะปล่อยให้หมากในสวนแก่และเอาไว้ขายในรูปของหมากสง โดยมีการจำหน่ายในลักษณะเช่นเดียวกับหมากสดหรือหมากดิบ

การจำหน่ายในรูปของหมากแห้ง ชาวสวนบางรายอาจทำหมากแห้งจำหน่ายให้กับพ่อค้าเป็นกิโลกรัม ทั้งนี้หมากแห้งจากหมากดิบเกือบทั้งหมดจะใช้บริโภคในประเทศ ในขณะที่หมากแห้งจากหมากสง ส่วนใหญ่ส่งออกจำหน่ายต่างประเทศ

การจำหน่ายในประเทศ พ่อค้าคนกลางในท้องถิ่นจะทำหน้าที่รวบรวมหมากจากเกษตรกร เพื่อนำไปจำหน่ายแก่พ่อค้าส่งทั้งในต่างจังหวัดและในกรุงเทพฯ นอกจากนั้นพ่อค้าคนกลางในท้องถิ่นบางรายยังทำหน้าที่ รวบรวมผลผลิตให้แก่ผู้ส่งออกด้วย โดยเริ่มจากเกษตรกรจนถึงผู้บริโภค ซึ่งแสดงในภาพประกอบ 2- 4



ภาพประกอบ 2-4 แผนผังการจำหน่ายหมาก

(ที่มา : ฝ่ายประมวลผล กองแผนงาน กรมส่งเสริมการเกษตร, 2545)

2.1.8.2 **การส่งออกต่างประเทศ**

การส่งออกหมากไปจำหน่ายต่างประเทศ จะส่งออกมี 2 รูปแบบคือ หมากสดและหมากแห้ง

(1) หมากสด โดยส่งขายในรูปของหมากอ่อน อายุการเก็บเกี่ยวหมากอ่อนระยะตั้งแต่เริ่มติดผลประมาณ 5 วัน ก็ตัดขายได้ หมากอ่อน 1 กิโลกรัมจะมีประมาณ 190-200 ผล ขนาดเท่าปากขวดชูกำลังและเป็นหมากอ่อนหน้าขาว ในช่วง 4 เดือนแรกของปี 2549 ปริมาณการส่งออกหมากสดหรืออ่อนเท่ากับ 81 ตัน มูลค่า 2.78 ล้านบาท เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปีก่อนแล้วทั้งปริมาณและมูลค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 118.9 และ 116.3 ตามลำดับ

ตลาดที่รับซื้อหมากอ่อนมากที่สุดคือ ไต้หวัน เนื่องจากในไต้หวันนิยมบริโภคหมากอ่อน โดยเฉพาะกลุ่มผู้ใช้แรงงานและกลุ่มผู้สูงอายุ ทำให้ต้องมีการนำเข้าถึงปีละกว่า 10,000 ตัน ราคาตันละ 70,000-100,000 บาท ในปี 2544 มีมูลค่าการส่งออก 36.61 ล้านบาท ประเทศผู้นำเข้ารายใหญ่คือไต้หวัน โดยนำเข้าในรูปหมากอ่อน ซึ่งในปี 2546 มีมูลค่าการส่งออกสูงถึง 89.88 ล้านบาท (ตาราง ง-1) แต่ในปี 2547 ได้ตรวจสอบการส่งออกหมากอ่อนลดน้อยลงมาก เหตุผลจากการที่ไต้หวันได้ปรับปรุงกฎระเบียบการนำเข้า ทำให้หมากไทยไม่สามารถส่งออกได้ โดยใช้มาตรฐานสินค้าเกษตรทางด้านอนุสัญญา ว่าด้วยการอารักขาพืชระหว่างประเทศ แต่ถ้าเป็นเหตุผลทางการเมืองรัฐบาลไต้หวันคงไม่อยากให้ประชาชนของเขากินหมากมากกว่า การส่งออกหมากอ่อนไปต่างประเทศนอกจากจะนำรายได้เข้ารัฐแล้วยังเป็นการตัดวงจรของหมากแก่ให้ลดลงถึง 30 % ของผลผลิตทั้งหมด

ดังนั้นใน ปี 2547 นี้ คาดว่าผลผลิตของหมากแก่จะมากในช่วงเดือนสิงหาคม – ตุลาคม ทำให้ราคาตกต่ำได้ ทางออกที่น่าพิจารณาคือการทำหมากแห้งต่อไป แต่ก็เป็นการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าเท่านั้น ในปี 2549 ทางกระทรวงเกษตรฯจัดทำข้อมูลเกี่ยวกับมาตรการควบคุมแมลงวันผลไม้ในหมากเสนอให้สำนักงานกักกันและตรวจสอบสุขอนามัยพืชและสัตว์ของไต้หวันวิเคราะห์ความเสี่ยงศัตรูพืช เพื่ออนุญาตนำเข้าหมากอ่อนของไทย ทำให้ไต้หวันอนุญาตให้ไทยส่งออกหมากอ่อนไปยังไต้หวันได้แล้ว โดยมีผลบังคับตั้งแต่วันที่ 29 พฤษภาคม 2549 หลังจากที่ไต้หวันมีมาตรการเข้มงวดการนำเข้าหมากอ่อนของไทยในปี 2547 ทำให้ปัจจุบันไทยสามารถส่งออกหมากอ่อนยังไต้หวันได้ โดยเฉพาะในช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคม ซึ่งไต้หวันกำหนดอัตราภาษีนำเข้าไว้ต่ำมาก และการส่งออกในช่วงนี้ไทยได้เปรียบคู่แข่งขันสำคัญคือเวียดนาม เนื่องจากคุณภาพของหมากไทยได้รับการยอมรับจากไต้หวัน แต่ในช่วงเดือนมิถุนายน-กุมภาพันธ์ ไต้หวันจะใช้ระบบโควตาภาษีปกป้องสินค้า เนื่องจากเป็นช่วงที่หมากของไต้หวันออกสู่ตลาด ทำให้

ได้หวันปรับอัตราภาษีนำเข้าให้สูงขึ้น ดังนั้นถ้าผู้ส่งออกหมากอ่อนของไทยส่งเข้าไปในตลาดได้หวันในช่วงดังกล่าวก็ต้องเผชิญกับปัญหาภาษีนำเข้าที่อยู่ในเกณฑ์สูง

(2) หมากแห้ง รูปแบบการส่งออกหมากแห้งจะเป็นหมากสง (หมากแก่) ทั้งหมด ซึ่งการส่งออกหมากแห้งเริ่มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังจากที่การส่งออกหมากอ่อนของไทยประสบปัญหาการส่งออกไปตลาดได้หวัน ทำให้ต้องหันมาแปรรูปเป็นหมากแห้งและส่งออกต่อไป

ประเทศไทยมีการส่งออกหมากแห้ง ในปี 2544-2546 (ตาราง ง-2) ถึง 410.97 ล้านบาท 429.59 ล้านบาท และ 478.89 ล้านบาท ตามลำดับ ซึ่งรูปแบบการส่งออกหมากแห้งจะเป็นหมากสง (หมากแก่) ทั้งหมด ประเทศผู้นำเข้า คือ ปากีสถาน เกาหลี แคนาดา สหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ เป็นผู้นำเข้ารายใหญ่ของไทย ฉะนั้น สรุปได้ว่าการส่งออกหมากสด และหมากแห้งของไทย ในปี 2540 มีมูลค่าเพียง 160 ล้านบาท และเพิ่มขึ้น ในปี 2546 มีมูลค่าสูงถึง 569 ล้านบาท (ตาราง ง-3)

2.3 **ทฤษฎีการอบแห้ง**

2.3.1 **นิยามของการอบแห้ง**

การอบแห้ง คือ กระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งไปยังวัสดุที่มีความชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย โดยอาศัยความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย โดยทั่วไปปริมาณน้ำที่มีอยู่ในวัสดุอบแห้งจะถูกนิยามให้อยู่ในรูปของอัตราส่วนเทียบกับมวลวัสดุ นิยมบอกในรูปของเปอร์เซ็นต์ (%) ซึ่งสามารถแยกได้เป็นสองแบบ (วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, 2529) คือ

(1) ความชื้นมาตรฐานเปียก, M_w (Wet Basis)

จะใช้น้ำหนักของวัสดุชื้น (ก่อนการทำการไล่ความชื้นออก) เป็นมาตรฐานของการคำนวณ

$$M_W = \frac{(w - d)}{w} \times 100 \qquad \text{....2-1}$$

เมื่อ w คือน้ำหนักสดของวัสดุ, (กิโลกรัม)

d คือน้ำหนักของวัสดุแห้ง (ไม่มีความชื้น), (กิโลกรัม)

(2) ความชื้นมาตรฐานแห้ง, M_d (Dry Basis)

ในกระบวนการอบแห้ง น้ำหนักของวัสดุเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เพื่อความสะดวกจะใช้น้ำหนักของวัสดุแห้งเป็นมาตรฐานการคำนวณ

$$M_d = \frac{(w - d)}{d} \times 100 \quad \text{....2-2}$$

เมื่อ M_W คือความชื้นมาตรฐานเปียก, (%)

M_d คือความชื้นมาตรฐานแห้ง, (%)

w คือน้ำหนักสดของวัสดุ, (กิโลกรัม)

d คือน้ำหนักของวัสดุแห้ง (ไม่มีความชื้น), (กิโลกรัม)

จากสมการ 2-1 และ 2-2 ทำให้ทราบว่าความชื้นมาตรฐานเปียกนั้น จะมีค่าไม่เกิน 100 % ส่วนความชื้นมาตรฐานแห้งอาจมีค่าเกิน 100 % ก็ได้

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นทั้ง 2 มาตรฐาน มีดังนี้

$$M_W = \frac{(100 \times M_d)}{(100 + M_d)} \quad \text{....2-3}$$

หรือ $$M_d = \frac{(100 \times M_W)}{(100 - M_W)} \quad \text{....2-4}$$

ในการลดปริมาณความชื้นออกจากผลิตผล ก็คือการกำจัดน้ำออกจากผลิตผลนั่นเอง ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$d = \frac{w \times (100 - M_i)}{(100 - M_f)} \quad \text{....2-5}$$

เมื่อ M_i คือปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียกเริ่มต้น, (%)

M_f คือปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียกสุดท้าย, (%)

จะได้ว่าปริมาณน้ำที่ต้องกำจัดออกไป มีค่าดังสมการ

$$W_w = w - d \quad \text{....2-6}$$

เมื่อ W_w คือน้ำหนักของน้ำที่ถูกกำจัดออก, (กิโลกรัม)

สมชาติ โสภณรณฤทธ์ (2535) กล่าวว่า การอบแห้งวัสดุทั่วๆ ไปนั้น มักใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ความร้อนจะถ่ายเทจากกระแสอากาศไปยังผิววัสดุ ความร้อนส่วนใหญ่ถูกใช้ไปในการระเหยน้ำ ในขณะเดียวกัน ไอน้ำจะเคลื่อนที่จากบริเวณผิววัสดุมายังกระแสอากาศ ถ้าผิววัสดุมีปริมาณน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวจะคงที่ ซึ่งส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งคงที่ด้วย ถ้าอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วของกระแสอากาศมีค่าคงที่ เมื่อผิวของวัสดุมีปริมาณน้ำลดลงมาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิววัสดุย่อมเปลี่ยนแปลงไป โดยที่อุณหภูมิจะสูงขึ้น และความเข้มข้นจะลดลง ซึ่งส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งลดลง ความชื้นที่อยู่ระหว่างช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง เรียกว่า ความชื้นวิกฤต วัสดุการเกษตรส่วนใหญ่มักมีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุน ซึ่งสามารถแบ่งการอบแห้งได้เป็น 2 ช่วง คือช่วงแรกในขณะที่มีความชื้นสูงอยู่ การอบแห้งมักเป็น แบบอัตราการอบแห้งคงที่ เมื่อวัสดุมีความชื้นลดต่ำลงจนถึงความชื้นวิกฤต น้ำจากภายในวัสดุจะเคลื่อนที่มายังผิววัสดุในรูปของของเหลวหรือไอน้ำ แล้วจึงระเหยเคลื่อนที่ไปยังกระแสอากาศ การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของเหลวจะเกิดขึ้นในระยะแรก ขณะที่วัสดุยังมีความชื้นสูงพอประมาณ เมื่อความชื้นลดต่ำมากแล้ว น้ำอาจเคลื่อนที่ในรูปของไอน้ำ

2.3.2 **ชนิดของการอบแห้ง**

การอบแห้งมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด แต่ละชนิดมีหลักการทำงานแตกต่างกันไป ชนิดของการอบแห้งมีดังนี้

2.3.2.1 **การอบแห้งแบบตู้** (Cabinet Drying)

โครงสร้างเป็นตู้ปิด ผนังมีฉนวนกันความร้อน มีช่องสำหรับใส่ถาดบรรจุอาหารเรียงซ้อนห่างกันประมาณ 10-12 เซนติเมตร โดยทั่วไปถาดทำด้วยอลูมิเนียมหรือสแตนเลส ตู้อบที่ทันสมัยขึ้นมีรถเข็นเป็นโครงให้วางถาดเข็นเลื่อนเข้าออกจากตู้ได้สะดวก ทำให้สามารถจัดเรียงถาดบนรถเข็นก่อนเข้าอบ หรือเข็นรถนำอาหารออกมากลับด้านหรือเปลี่ยนตำแหน่งวางถาดภายนอกตู้ จึงให้ความสะดวกในการทำงานและไม่สูญเสียพลังงานจากการต้องเปิดประตูตู้อบค้างไว้ อุณหภูมิอากาศร้อนที่ใช้โดยทั่วไปสำหรับอบแห้งผลไม้ ประมาณ 60 – 70 °C (สมชาติ โสภณรณฤทธ์, 2540)

2.3.2.2 **การอบแห้งแบบอุโมงค์** (Tunnel Drying)

เป็นวิธีการอบแห้งที่คล้ายกับการอบแห้งแบบตู้ แต่ตัวตู้มีความยาวมาก ทำให้ดูเหมือนอุโมงค์ ภายในอุโมงค์จะมีรถเข็นจำนวนหลายคันบรรจุถาดซึ่งมีผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปอบแห้ง

2.3.2.3 **การอบแห้งแบบสายพาน** (Belt Drying)

เป็นการอบแห้งผลิตภัณฑ์บนเครื่องขนถ่ายวัสดุแบบสายพาน ซึ่งตัวสายพานมีรูให้อากาศไหลผ่านได้ ส่วนมากมักจะอบให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงจนถึงระดับหนึ่งก่อนที่จะนำไปอบแห้งในถังอบแห้งต่อไป

2.3.2.4 **การอบแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก** (Drum Drying)

เป็นการอบแห้งที่นิยมใช้กับอาหารประเภทที่สามารถอยู่ในสภาพของเหลวที่มีความหนืดสูง และสามารถจับเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ รอบลูกกลิ้งได้ เช่น น้ำนม น้ำผลไม้ น้ำแป้ง จะได้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นแผ่นหรือเป็นผง

2.3.2.5 **การอบแห้งแบบแช่แข็ง หรือการทำแห้งแบบระเหิด** (Freeze Drying)

เป็นการอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งมาแล้วภายใต้สภาวะสูญญากาศ ทำให้น้ำแข็งระเหิดกลายเป็นไอ ซึ่งเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งมีโครงสร้างที่ดี คือ มีโครงสร้างเป็นรูพรุน ซึ่งเป็นผลให้สามารถทำให้กลับคืนรูปเดิมได้ดีและรวดเร็ว มีกลิ่นดี แต่การอบแห้งวิธีนี้จะต้องมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนค่อนข้างสูงมาก

2.3.2.6 **การอบแห้งโดยไมโครเวฟ** (Microwave Drying)

เป็นการอบแห้งโดยใช้ช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เหมาะสม ซึ่งสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในตัวของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำให้แห้งโดยคลื่นดังกล่าวจะสั่นสะเทือนแล้วสลายตัวน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการระเหยของน้ำจึงเป็นไปอย่างรวดเร็วมาก การอบแห้งวิธีนี้จะเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง

2.3.2.7 **การอบแห้งแบบอินฟาเรด** (Infra-red Drying)

การอบแห้งโดยทั่วไปจะมีแหล่งกำเนิดความร้อนเป็น ไฟฟ้า ก๊าซ และไอน้ำ และลักษณะการถ่ายเทความร้อนจะเป็นแบบการนำและการพาความร้อนเป็นส่วนใหญ่ ความร้อนไม่สามารถผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ การใช้รังสีอินฟาเรดจะทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุและเกิดความร้อนขึ้นพร้อมกันได้ทุกๆ จุด ทำให้อัตราการอบแห้งสูงมาก

2.3.2.8 **การลดความชื้นโดยออสโมซิส** (Osmosis Drying)

เป็นการลดความชื้นโดยกระบวนการออสโมซิส ซึ่งทำได้โดยการนำผลิตภัณฑ์ใส่ลงในน้ำเชื่อมเนื่องจากความเข้มข้นของน้ำตาลในผลิตภัณฑ์และน้ำเชื่อมแตกต่างกัน ดังนั้นจึงเกิดการแพร่ของน้ำในผลิตภัณฑ์สู่น้ำเชื่อมซึ่งความเข้มข้นสูงกว่า ซึ่งวิธีการนี้จะลดความชื้นได้ครึ่งหนึ่งของความชื้นเริ่มต้น จากนั้นจึงนำไปอบแห้งต่อไป

2.3.2.9 **การทำแห้งแบบพัฟ** (Puff Drying)

การทำแห้งแบบพัฟเหมาะกับการทำแห้งผักและผลไม้ ด้วยการนำผักและผลไม้ขนาดเล็กสัมผัสกับอากาศร้อนอุณหภูมิสูงภายใต้ความดันสูงในระยะเวลาสั้นๆ แล้วปล่อยให้ผลิตภัณฑ์สัมผัสกับความดันบรรยากาศ ซึ่งจะทำให้น้ำในผักและผลไม้ระเหยกลายเป็นไออย่างรวดเร็วทันทีทันใด ผลิตภัณฑ์จะมีรูพรุนทำให้น้ำภายในผลิตภัณฑ์ส่งผ่านสู่บรรยากาศอย่างรวดเร็ว

2.3.2.10 **การอบแห้งแบบพ่นฝอย** (Spray Drying)

การอบแห้งแบบพ่นฝอยเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผง โดยวัสดุที่จะนำมาอบจะต้องทำเป็นของเหลวได้ โดยอาจอยู่ในรูปของ เจล (Gel) หรือ อีมัลชั่น (Emulsion) การอบแห้งจะทำให้ของเหลวดังกล่าวแตกกระจายเป็นละอองภายในห้องอบที่มีอากาศร้อนไหลผ่าน ดังนั้น การถ่ายเทความร้อนจึงเกิดขึ้นได้เร็วมากเนื่องจากของเหลวดังกล่าวอยู่ในรูปของละอองทำให้มีพื้นที่ผิวที่จะสัมผัสกับก๊าซร้อนมาก ทำให้น้ำระเหยออกไปได้เร็ว ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผง

2.3.2.11 **การอบแห้งแบบโฟม** (Foam Drying)

อาศัยหลักการเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับอาหารที่จะสัมผัสกับอากาศร้อน จะทำให้เกิดการอบแห้งเร็วขึ้น ดังนั้นการทำให้อากาศกระจายตัวเป็นฟองภายในเนื้ออาหาร จะทำให้น้ำระเหยออกจากอาหารได้เร็วขึ้น การทำให้เกิดฟองสามารถทำได้โดยการตีหรือกวนด้วยความเร็วสูง หรือโดยการพ่นอากาศใส่เข้าไปจะทำให้อาหารเหลวแตกตัวและมีอากาศแทรกอยู่เป็นฟอง

2.3.2.12 **การทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด** (Fluidize Bed Drying)

การทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด อาหารเป็นชิ้นควรมีลักษณะสม่ำเสมอค่อนข้างกลม จะลอยตัวอยู่บนอากาศร้อนที่ผ่านรูช่องตะแกรง ชิ้นของอาหารจะหมุนรอบตัวลอยอยู่บนอากาศร้อนทำให้การถ่ายเทมวลสารไอน้ำ ระเหยออกจากอาหารเป็นไปได้รวดเร็วมาก สม่ำเสมอตลอดผิวหน้าของอาหาร

2.3.2.13 **การอบแห้งด้วยระบบปั๊มความร้อน** (Heat Pump Drying)

การอบแห้งด้วยระบบปั๊มความร้อนอาศัยหลักการของการนำเอาอากาศร้อนภายหลังที่ใช้ในการอบแห้งแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ โดยแบ่งเป็นการอบแห้งระบบเปิด (Open System) คืออากาศร้อนเมื่อนำไปใช้อบแห้งแล้ว จะถูกปล่อยทิ้งออกสู่บรรยากาศทั้งหมด การอบแห้งระบบปิด (Closed System) คืออากาศหลังอบแห้งจะถูกนำออกมาใช้ใหม่ทั้งหมดเพื่อช่วยประหยัดพลังงาน และการอบแห้งระบบปิดบางส่วน (Partial Close System) คืออากาศหลังอบแห้งจะถูกปล่อยทิ้งบางส่วน และนำอากาศใหม่เข้ามาแทนที่ นอกจากนี้ยังแบ่งตามลักษณะของการใช้ประโยชน์จากปั๊มความร้อนได้อีก 2 ลักษณะ คือ ใช้ปั๊มความร้อนลดความชื้น (Dehumidifier Heat Pump) และใช้ความร้อนอุ่นอากาศ (Heat Recovery Heat Pump) (สุทธิศักดิ์ ภัทรสถาพรกุล, 2543)

2.3.2.14 **การอบแห้งด้วยระบบแสงอาทิตย์** (Solar Drying)

การอบแห้งด้วยระบบแสงอาทิตย์จะประกอบด้วยห้องอบที่สามารถเก็บสะสมความร้อนโดยมีแผงเก็บความร้อนหรือ วัสดุที่จะสะสมความร้อนได้ เพื่อทำให้อุณหภูมิในตู้อบสูงขึ้น และทำให้อัตราการอบแห้งเกิดขึ้นได้เร็ว ภายในห้องอบจะมีถาดสำหรับใส่วัสดุวางเป็นชั้นๆ ด้านบนของห้องอบที่สัมผัสกับแสงอาทิตย์จะเป็นแผ่นพลาสติกใสที่ยอมให้แสงทะลุผ่านไปสัมผัสกับวัสดุได้และจะต้องมีที่ระบายไอน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุออกไปยังภายนอกตู้อบด้วย

2.4 **ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง**

Nonhebel and Moss (1971) กล่าวว่าสภาวะการอบแห้งสามารถเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากการดำเนินงานและการควบคุม สภาวะภายนอกที่สำคัญและมีผลต่ออัตราการอบแห้งวัสดุ ได้แก่ อุณหภูมิของลมร้อน ความเร็วของลมร้อน ความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อน และน้ำหนักของวัสดุอบแห้งต่อหน่วยพื้นที่ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ เช่น การกวน การแบ่งขนาดของชิ้นวัสดุ

2.4.1 อุณหภูมิของลมร้อน

โดยทั่วไปการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิของการอบแห้งจะถูกควบคุมด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ในกรณีดังกล่าวถือว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยคงที่ ในกรณีที่มีการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิในขณะอบแห้งจะถือว่าอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการอบแห้งเป็นอย่างมาก ในกรณีการอบแห้งวัสดุที่ความเร็วลมร้อนคงที่ อัตราการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะเปียกกับกระเปาะแห้งของอากาศร้อนเท่านั้น ดังนั้นอัตราการอบแห้งมีค่าสูง เมื่ออุณหภูมิกระเปาะแห้งมีค่าสูงและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าต่ำสุด ในช่วงของอัตราการอบแห้งคงที่ อัตราการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และผลต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศแห้งเท่านั้น ส่วนในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงวัสดุอบแห้งมีแนวโน้มจะแห้งเร็วขึ้นถ้าอุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้น (Borgstrom, 1968)

2.4.2 ความเร็วของลมร้อน

ความเร็วของลมร้อนไม่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอากาศ อุณหภูมิและการนำอากาศที่ใช้แล้วมาผสมกับอากาศแวดล้อม แม้ว่าการนำอากาศที่ใช้แล้วมาผสมกับอากาศแวดล้อม ทำให้องค์ประกอบและคุณสมบัติของอากาศร้อนเปลี่ยนแปลงไป แต่จะไม่มีผลต่อความเร็วของลมร้อน โดยปกติในการอบแห้งจะควบคุมให้ความเร็วของลมร้อนคงที่ตลอดช่วงของการอบแห้ง ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของลมร้อน ความเร็วของลมร้อนมีผลต่ออัตราการอบแห้ง เนื่องจากความเร็วของลมร้อนจะมีผลต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ดังนั้นถ้าปัจจัยอื่นๆ คงที่ การอบแห้งที่ความเร็วลมร้อนสูง จะทำให้อัตราการอบแห้งดีขึ้น (Brennan *et al*., 1986)

2.4.3 ความชื้นของลมร้อน

ความชื้นจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของอากาศที่ใช้แล้วกับอากาศแวดล้อมและยังขึ้นอยู่กับอัตราการอบแห้งที่เวลาใดๆ หากลมร้อนมีความชื้นสูงจะทำให้ความสามารถในการดึงน้ำในวัสดุอบแห้งต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของลมร้อนลดลง นั่นคืออัตราการอบแห้งจะลดลงด้วย และในทางทฤษฎีสามารถที่จะควบคุม ความชื้นของลมร้อนได้ โดยการควบคุมการผสมของอากาศที่ใช้แล้วกับอากาศแวดล้อม ซึ่งหากเพิ่มการผสมของอากาศที่ใช้แล้วกับอากาศแวดล้อมมากขึ้นเท่าใด อัตราการอบแห้งจะลดลงมากขึ้นเท่านั้น ในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถควบคุมการผสมของอากาศที่ใช้

แล้วกับอากาศแวดล้อมได้แน่นอน และวิธีที่นิยมทดลองกันคือ การลองผิดลองถูก หรือหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น อัตราการอบแห้งขณะใดขณะหนึ่งและสัดส่วนของการผสมของอากาศที่ใช้แล้วกับอากาศแวดล้อม โดยการสมดุลมวลสาร (Hield and Josly, 1967)

2.4.4 น้ำหนักของวัสดุต่อหน่วยพื้นที่หรือความหนาของชิ้นวัสดุ

ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่อัตราการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นผิววัสดุเท่านั้น ดังนั้นความหนาของวัสดุไม่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้งช่วงนี้เลย แต่เมื่อถึงช่วงอัตราการอบแห้งลดลง การแพร่ของน้ำจากภายในสู่พื้นผิวของวัสดุซึ่งเกิดการระเหยจะเป็นตัวควบคุมอัตราการอบแห้ง ในช่วงนี้การเพิ่มความหนาของชั้นวัสดุจะทำให้อัตราการอบแห้งลดลง ดังนั้นต้องกำหนดความหนาของชั้นวัสดุที่เหมาะสมด้วย (Somogyin and Lun, 1986)

2.4.5 ปัจจัยอื่นๆ

นอกจากอุณหภูมิของลมร้อน ความเร็วของลมร้อน ความชื้นสัมพัทธ์ และความหนาของชั้นวัสดุอบแห้งแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการอบแห้ง เช่น การสลับตำแหน่งของถาดบรรจุวัสดุขณะทำการอบแห้ง ขนาดของชิ้นวัสดุอบแห้ง (Williams, 1976)

2.5 การถ่ายเทความร้อน

ความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่ถ่ายเทระหว่างระบบกับระบบอื่นหรือระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม การถ่ายเทความร้อนระหว่างวัตถุสองชิ้นใดๆ จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อวัตถุทั้งสองนั้นมีอุณหภูมิแตกต่างกัน ดังนั้นพลังงานที่ถือว่าเป็นพลังงานความร้อนทางเทอร์โมไดนามิกส์จะหมายถึงพลังงานที่ถ่ายเทระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมโดยมีสาเหตุมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ นอกจากนี้พลังงานที่เรียกว่าความร้อนนั้นจะหมายถึงเฉพาะในขณะที่พลังงานนั้นกำลังเดินทางข้ามขอบเขตของระบบเท่านั้น และเมื่อพลังงานนั้นได้เดินทางข้ามขอบเขตไปแล้วไม่ว่าจะอยู่ในระบบหรือสิ่งแวดล้อมก็จะถือว่าพลังงานนั้นได้เปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานรูปอื่นไม่ใช่ความร้อนอีกต่อไป กล่าวอย่างง่ายๆ ก็คือความร้อนเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นที่ขอบเขต (Boundary Phenomena) เท่านั้น นอกจากนี้แล้วในเมื่อความร้อนเกิดขึ้นที่ขอบเขตแล้วเปลี่ยนรูปไป

ทันทีเมื่อข้ามขอบเขตไปแล้ว ความร้อนจึงไม่สามารถกำหนดสภาวะของระบบได้ หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งก็คือความร้อนไม่เป็นคุณสมบัติของระบบ

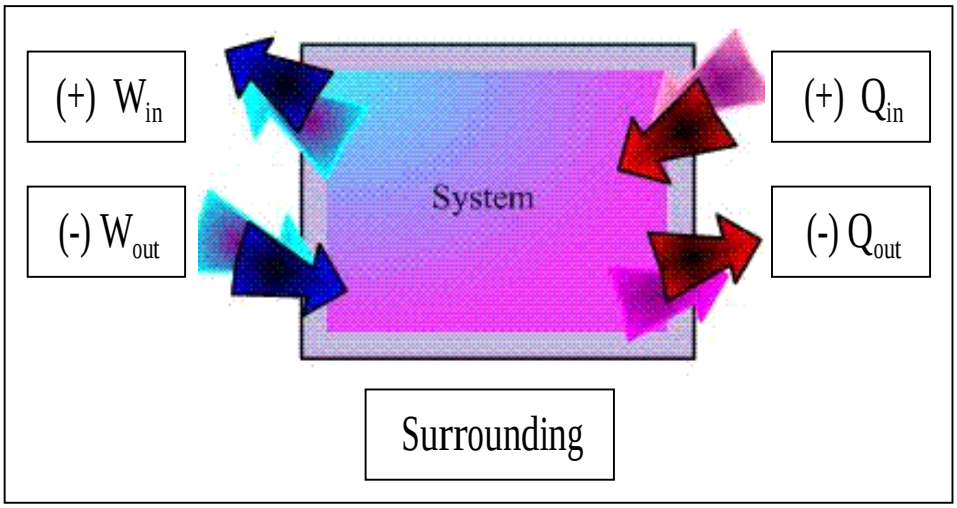
สำหรับกระบวนการใดๆ ที่เกิดขึ้นโดยที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนเลยจะเรียกว่ากระบวนการอะเดียแบติก (Adiabatic Process) โดยวิธีการที่จะทำให้เกิดกระบวนการเช่นนี้ขึ้นได้มีอยู่สองวิธี วิธีแรกคือ การหุ้มฉนวนระบบอย่างดีเพื่อทำให้ไม่สามารถเกิดการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบต่างๆ ได้ ส่วนวิธีที่สองคือการทำให้ระบบและสิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิเท่ากันเพราะเนื่องจากว่าการถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นต่อเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิเท่านั้น

เนื่องจากความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่ง ดังนั้นความร้อนจึงมีมิติเป็นมิติของพลังงาน (หรืองาน) นั่นคือมีมิติเป็นมิติของแรงคูณกับมิติของระยะทาง สำหรับหน่วยนั้นในระบบหน่วย SI จะมีหน่วยเป็น kJ (โดย 1 kJ = 1 kN-m) และนิยมใช้สัญลักษณ์ Q_{12} หรือ Q แทนปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทขณะเกิดกระบวนการจากสภาวะที่ 1 ไปสู่สภาวะที่ 2 สำหรับปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทต่อหน่วยมวลจะใช้สัญลักษณ์ q โดย

$$q = \frac{Q}{m} \qquad \text{....2-7}$$

ส่วนอัตราการถ่ายเทความร้อน (Rate of Heat Transfer) ก็คือปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทต่อหนึ่งหน่วยเวลาหรือ $\dot{Q} = Q/t$ และมีหน่วยในระบบหน่วย SI เป็น กิโลจูล/วินาที หรือ กิโลวัตต์

ความร้อนนั้นเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณ (Quantity) เพียงอย่างเดียวเท่านั้น เช่นหากกล่าวว่าเกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมปริมาณ 5 กิโลจูล จะไม่สามารถรู้ได้เลยว่าเกิดการถ่ายเทจากแหล่งใดสู่แหล่งใด แต่ทิศทางของการถ่ายเทความร้อนนั้นมีความสำคัญเพราะเป็นเครื่องบ่งชี้ว่าแหล่งนั้นมีพลังงานเพิ่มขึ้นหรือลดลง ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจในทางเดียวกันจึงมีการกำหนดเป็นข้อตกลงเครื่องหมายของความร้อนขึ้น โดยกำหนดว่า ความร้อนที่ถ่ายเทสู่ระบบมีเครื่องหมายเป็นบวก และความร้อนที่ถ่ายเทออกจากระบบเป็นลบ ซึ่งแสดงในภาพประกอบ 2 – 5 ดังนี้



ภาพประกอบ 2-5 เครื่องหมายของงานและความร้อน
(ที่มา: http://www.sut.ac.th/e-texts/Eng/thermo/index4-1.html)

2.5.1 **รูปแบบการให้ความร้อน**

สมศรี จงรุ่งเรือง (2542) ได้กล่าวถึงรูปแบบการให้ความร้อนว่ามี 3 ลักษณะ คือ การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ การพาและการแผ่รังสี ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.5.1.1 **การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ** (Heat Transfer by Conduction)

การถ่ายเทความร้อนโดยการนำหรือการนำความร้อนเป็นกลไกการแลกเปลี่ยนพลังงานภายในจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่ง หรือจากส่วนหนึ่งของวัสดุไปยังส่วนอื่นๆ ของวัตถุโดยการแลกเปลี่ยนพลังงานที่เกิดจากการสั่นของโมเลกุลที่อยู่ติดกัน การถ่ายเทความร้อนโดยการนำนั้นความร้อนจะไหลจากโมเลกุลของวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่โมเลกุลที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าโดยที่วัตถุนั้นไม่มีการเคลื่อนที่ การนำความร้อนจะเกิดได้ดีในวัสดุที่เป็นของแข็ง ส่วนวัสดุที่เป็นของเหลวหรือแก๊สจะมีการนำความร้อนเกิดขึ้นเช่นเดียวกับการพาความร้อน

กฎเบื้องต้นที่ใช้อธิบายถึงวิธีการถ่ายเทความร้อนโดยการนำก็คือ กฎของ Fourier ซึ่งกล่าวว่าอัตราการไหลของความร้อนโดยการนำในทิศทางที่กำหนด (ทิศทางในแนวแกน x) จะ

เป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับระยะทาง (dT/dx) พื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อน (A) ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำในทิศทางแนวแกน x ก็คือ

$$Q_x = -kA\frac{dT}{dx} \quad \text{....2-8}$$

เมื่อ Q_x คืออัตราการไหลของความร้อนในทิศทางแนวแกน x บวก (W)

k คือสภาพการนำความร้อน ($W/m \times {}^\circ C$)

A คือพื้นที่ตั้งฉากกับทิศทาง x (m^2)

$\frac{dT}{dx} = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta T}{\Delta x}$ คือเกรเดียนต์ของอุณหภูมิในทิศทางการไหลของความร้อน

2.5.1.2 **การถ่ายเทความร้อนโดยการพา** (Heat Transfer by Convection)

การพาความร้อนเป็นศัพท์ที่ใช้กับกลไกของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในของไหลอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของมวลของของไหล กระบวนการที่แท้จริงของการถ่ายเทพลังงานของโมเลกุลของของไหลจากโมเลกุลหนึ่งไปยังโมเลกุลอื่นๆ ยังคงเป็นการนำความร้อน พลังงานอาจเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังจุดอื่นๆได้โดยการเคลื่อนที่ของของไหลเอง

การที่จะคะเนอัตราที่ความร้อนถูกพาออกจากผิวของวัตถุหรือพาจากของไหลเข้าสู่ผนังของวัตถุโดยของไหลที่อยู่รอบๆ วิเคราะห์โดยกฎการเย็นตัวของ Newton

$$Q = h \times A \times (T_h - T_c) \quad \text{....2-9}$$

เมื่อ Q คืออัตราการถ่ายเทความร้อน (W)

h คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ($W/m^2 \times {}^\circ C$)

A คือพื้นที่ตั้งฉาก (m^2)

T_h คืออุณหภูมิที่ร้อนกว่า (ของของไหล หรือ พื้นผิวของของแข็ง) (◦C)

T_c คืออุณหภูมิที่เย็นกว่า (ของของไหล หรือ พื้นผิวของของแข็ง) (◦C)

2.5.1.3 **การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อน** (Heat Transfer by Radiation)

วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 0 องศาเคลวิน จะเปล่งพลังงาน (Emit Energy) ออกมาเนื่องจากอุณหภูมิของวัตถุหรือสาร พลังงานที่เปล่งออกมาโดยวัตถุหรือสารเนื่องจากอุณหภูมิของวัตถุหรือสารมีชื่อว่า รังสีความร้อน (Thermal Radiation) พลังงานรังสีที่ปล่อยออกจากวัตถุหรือสารไปสู่ผิวภายนอกที่แท้จริงมาจากบริเวณภายในของวัตถุหรือสาร พลังงานรังสีที่ตกลงบนผิวของวัตถุหรือสารหนึ่งๆ จะแทรกซึมเข้าไปในเนื้อของวัตถุหรือสารซึ่งดูดกลืนเอาไว้

รังสีความร้อนเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปล่อยออกจากสาร กลไกการแผ่รังสีจึงแตกต่างจากการถ่ายเทความร้อนโดยการพาและการนำดังนี้คือ ความร้อนอาจเคลื่อนที่จากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งได้โดยไม่ต้องมีตัวกลางระหว่างวัตถุทั้งสองเลย รังสีความร้อนที่เปล่งออกมาจากวัตถุหนึ่งถูกกำหนดโดยกฎของ Stefan-Boltzmann ดังนี้

$$Q_b = \varepsilon A \sigma T^4 \qquad \text{....2-10}$$

เมื่อ Q_b คือรังสีความร้อนที่เปล่งโดยวัตถุดำ (W)

σ คือค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann ($W/m^2 \times {}^\circ K^4$)

T คืออุณหภูมิสัมบูรณ์ของวัตถุ (◦K)

ε คือค่าการเปล่งรังสีความร้อน (Emissivity) ของวัตถุซึ่งจะมีค่าน้อยกว่า 1 สำหรับวัตถุจริงและมีค่าเท่ากับ 1 สำหรับวัตถุดำ

2.5.2 **การคำนวณปริมาณความร้อนสำหรับอบแห้งผลิตภัณฑ์**

Wanida and Somchai (2006) กล่าวว่าปริมาณความร้อนส่วนใหญ่ของการอบแห้งมักจะมาจากปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ไปในการทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงขึ้น จากอุณหภูมิบรรยากาศไปยังอุณหภูมิที่ใช้สำหรับอบแห้ง โดยสมการสำหรับหาปริมาณความร้อนสำหรับอบแห้งผลิตภัณฑ์ ดังนี้

การหาค่าความร้อนจำเพาะของเนื้อหมาก

$$C_p = 1.675 + 0.025w \text{ (กรณีที่ค่า } w > 50\ \%) \quad \text{....2-11}$$

เมื่อ w คือค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของเนื้อหมากแว่นสด

กรณีอบแห้งแบบกะ คำนวณปริมาณความร้อนได้ดังสมการที่ 2-12

$$Q_{PRODUCT} = m_{PRODUCT} \times C_P \times (T_{DRYING} - T_{AMB}) \quad \text{....2-12}$$

เมื่อ $Q_{PRODUCT}$ คือปริมาณความร้อนสำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ กรณีอบแห้งแบบกะ (kJ)

$m_{PRODUCT}$ คือมวลของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอบแห้ง กรณีอบแห้งแบบกะ (kW)

C_P คือค่าความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์ (kJ/kg $\times$ °K)

T_{DRYING} คืออุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง (°K)

T_{AMB} คืออุณหภูมิของอากาศ (°K)

2.5.3 **การคำนวณปริมาณความร้อนสำหรับระเหยความชื้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์**

การคำนวณปริมาณความร้อนสำหรับระเหยความชื้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์จะต้องทราบเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกก่อนอบแห้งและเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกหลังอบแห้ง

เพื่อนำมาหาว่าจะต้องระเหยน้ำระหว่างการอบแห้งเป็นปริมาณเท่าใด ปริมาณความร้อนสำหรับระเหยความชื้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ (กรณีอบแห้งแบบกะ) สามารถหาได้ด้วยสมการ 2-13 ดังนี้

$$Q_{EVAP} = m_{MOISTURE} \times h_{fg} \quad \text{....2-13}$$

เมื่อ Q_{EVAP} คือปริมาณความร้อนสำหรับระเหยความชื้น กรณีอบแห้งแบบกะ (kJ)

$m_{MOISTURE}$ คือปริมาณความชื้นที่ต้องการระเหย กรณีอบแห้งแบบกะ (kg)

h_{fg} คือค่าเอลทัลปีของน้ำที่อุณหภูมิเฉลี่ย $(T_{DRYING} - T_{AMB})/2$ ซึ่งหาได้จากตารางไอน้ำในหนังสือเทอร์โมไดนามิกส์ทั่วๆ ไป (kJ/kg)

2.5.4 **การคำนวณปริมาณความร้อนที่ทำให้วัสดุต่างๆ ภายในอุปกรณ์อบแห้งมีอุณหภูมิสูง**

ความร้อนในส่วนอื่นนอกเหนือจากผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น เช่น รถเข็นถาดสำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์ วัสดุที่ใช้ในการสร้างตู้อบ โดยสามารถหาปริมาณความร้อนในส่วนนี้ (กรณีอบแห้งแบบกะ) ได้จากสมการ 2-14

$$Q_{OTHER} = m_{OTHER} \times C_P \times (T_{DRYING} - T_{AMB}) \quad \text{....2-14}$$

เมื่อ Q_{OTHER} คือปริมาณความร้อนที่สูญเสียให้กับวัสดุต่างๆ กรณีอบแห้งแบบกะ (kJ)

m_{OTHER} คือมวลของวัสดุส่วนต่างๆ (kg)

C_P คือค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุส่วนต่างๆ $(kJ/kg \times {}^\circ K)$

T_{DRYING} คืออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง $({}^\circ K)$

T_{AMB} คืออุณหภูมิอากาศ $({}^\circ K)$

2.5.5 **การคำนวณปริมาณความร้อนที่สูญเสียให้กับบรรยากาศโดยรอบ**

เมื่ออุปกรณ์อบแห้งผ่านการทำงานมาระยะหนึ่ง พื้นที่ผิวนอกก็มีอุณหภูมิสูงขึ้น แต่จะสูงขึ้นเท่าใด จะเท่ากับหรือใกล้เคียงอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งหรือไม่ ก็ขึ้นอยู่กับการหุ้มฉนวนของอุปกรณ์อบแห้งว่าใช้ชนิดใดที่เหมาะสมกับการใช้งานหรือไม่ มีประสิทธิภาพอย่างไร ซึ่งหากเราทราบว่าพื้นผิวของอุปกรณ์อบแห้งมีอุณหภูมิสูงขึ้นสิ่งที่ตามมาก็คือจะเกิดความร้อนสูญเสียให้กับบรรยากาศโดยรอบ ด้วยกระบวนการถ่ายโอนความร้อนในสองรูปแบบคือ การพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน แต่อย่างไรก็ตามการคำนวณค่าการสูญเสียของความร้อนในสองรูปแบบนี้จะมีความแตกต่างกันในการคำนวณขึ้นอยู่กับรูปลักษณะของอุปกรณ์อบแห้งเป็นสำคัญ ในที่นี้จากการออกแบบตู้อบให้มีการหุ้มฉนวนกันความร้อนหนาประมาณ 1 นิ้ว ซึ่งค่อนข้างหนา ทำให้มีการสูญเสียความร้อนค่อนข้างน้อย จึงขอใช้ตัวเลขประมาณเท่ากับ 0.2 ในการคำนวณ ดังสมการที่ 2-15

$$Q_{LOSS} = 0.2 \times (Q_{PRODUCT} + Q_{EVAP} + Q_{OTHER}) \quad \text{....2-15}$$

เมื่อ Q_{LOSS} คือปริมาณความร้อนที่สูญเสียให้กับบรรยากาศโดยรอบ (kJ)

2.5.6 **การคำนวณปริมาณความร้อนรวม**

ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่จำเป็นต้องใช้ในการอบแห้งจะมาจากปริมาณความร้อนที่ได้พิจารณาแยกเป็นส่วนๆ ดังกล่าวข้างต้นซึ่งสามารถจะเขียนเป็นสมการสำหรับหาปริมาณความร้อนรวมได้ดังสมการที่ 2-16

$$Q_{TOTAL} = Q_{PRODUCT} + Q_{EVAP} + Q_{OTHER} + Q_{LOSS} \quad \text{....2-16}$$

2.5.7 **การคำนวณปริมาณลมร้อนสำหรับอบแห้ง**

ปริมาณลมร้อนที่ใช้สำหรับอบแห้งผลิตภัณฑ์สามารถที่จะพิจารณาได้จากแนวคิดที่ว่าปริมาณความร้อนรวมที่ใช้ในการอบจะต้องได้รับจากลมร้อนเท่านั้น ทำให้สามารถเขียนสมการสำหรับคำนวณปริมาณลมร้อนที่ใช้ในการอบได้ดังสมการที่ 2-17

กรณีอบแห้งแบบกะ คำนวณปริมาณลมร้อนได้ดังสมการที่ 2-17

$$Q_{TOTAL} = m_{AIR} \times C_P \times (T_{DRYING} - T_{AMB}) \quad \text{....2-17}$$

เมื่อ Q_{TOTAL} คือปริมาณความร้อนรวม กรณีอบแห้งแบบกะ (kJ)
m_{AIR} คือปริมาณความร้อนที่ต้องการสำหรับการอบแห้ง (kg)
C_P คือค่าความร้อนจำเพาะของอากาศ (kJ/kg $\times$ ◦K)
T_{DRYING} คืออุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง (◦K)
T_{AMB} คืออุณหภูมิอากาศ (◦K)

2.5.8 **การคำนวณหาขนาดมอเตอร์ของพัดลมดูดอากาศ**

ในการคำนวณหาขนาดมอเตอร์ของพัดลมดูดอากาศ สามารถคำนวณจากความดันที่สูญเสียและอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่ต้องใช้ในการอบแห้ง ซึ่งสามารถคำนวณกำลังของพัดลมดูดอากาศได้ (ณัฐวุฒิ ดุษฎี, 2534) ดังนี้

$$Q = \frac{m_{AIR}}{\rho} \quad \text{....2-18}$$

$$P_f = \frac{QP}{e_f} \quad \text{....2-19}$$

$$P_m = \frac{P_f}{e_f} \quad \text{....2-20}$$

เมื่อ Q คืออัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ (m^3/s)

ρ คือความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

P_f คือกำลังงานของพัดลม (W)

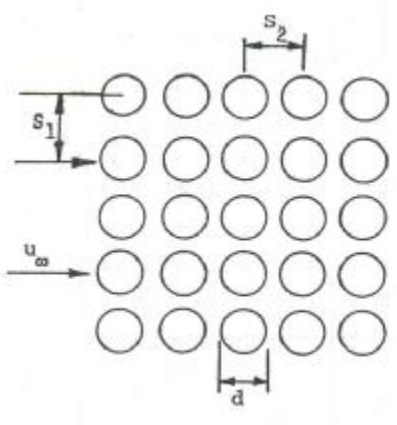
P_m คือกำลังงานที่ใช้ฉุดมอเตอร์ (W)

P คือการสูญเสียความดัน (Pa)

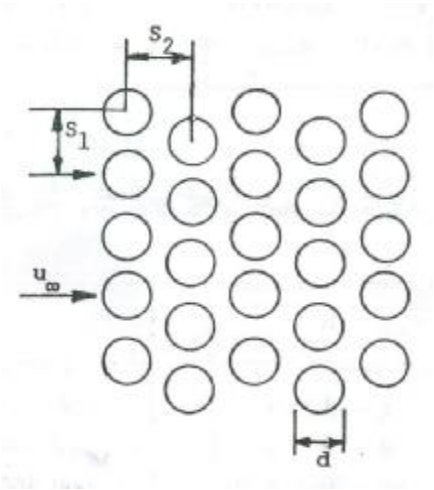
e_f คือประสิทธิภาพพัดลม

2.6 **การไหลผ่านกลุ่มท่อ** (Tube Bank)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนส่วนมาก จะประกอบด้วยท่อหลายท่อวางเรียงกันเป็นกลุ่ม เรียกว่ากลุ่มท่อ การเรียงท่อจะมีอยู่สองแบบ คือ การเรียงท่อที่อยู่ในแนวเดียวกัน ดังแสดงในภาพประกอบ 2-6 และการเรียงสลับ ดังแสดงในภาพประกอบ 2-7



ภาพประกอบ 2-6 การเรียงท่อแบบแนวเดียวกัน
(ที่มา : Incropera and Dewitt, 1965)



ภาพประกอบ 2-7 การเรียงท่อแบบสลับ
(ที่มา : Incropera and Dewitt, 1965)

สำหรับการคำนวณสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในกรณีนี้นั้น จะใช้สมการที่หามาได้สำหรับท่อเดียวไม่ได้ เพราะลักษณะการไหลของของไหล ซึ่งมีผลกระทบต่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมากนั้น แตกต่างไปจากกรณีของการไหลผ่านท่อเดียวมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งท่อที่อยู่ในแถวหลังๆ จากการทดลองได้พบว่า สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของท่อแต่ละแถว มีค่าไม่เท่ากัน สัมประสิทธิ์ของการพาความร้อนของท่อที่อยู่ในแถวท้ายๆ จะมีค่ามากกว่าสัมประสิทธิ์ของการพาความร้อนของท่อที่อยู่ในแถวต้นๆ ทั้งนี้เพราะ ความอลวน (Degree of Turbulence) ของของไหลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อของไหลยิ่งไหลผ่านท่อมากแถวขึ้น และความอลวนนี้มีส่วนในการเพิ่มสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

สำหรับค่าความเร็วสูงสุดพิจารณาบนพื้นที่การไหลอิสระต่ำสุด (Minimum Free-Flow Area, A_{min}) สำหรับกลุ่มท่อที่จัดเรียงท่อแบบแนวเดียวกันและจัดเรียงท่อแบบสลับ ค่าความเร็วสูงสุดหาได้ดังนี้

$$U_{max} = U_\infty \times \left(\frac{S_1}{S_1 - d}\right) \qquad \text{....2-21}$$

เมื่อ U_{max} คือความเร็วสูงสุด (m/s)
U_{∞} คือความเร็วของอากาศก่อนกระทบกับท่อ (m/s)
S_1 คือระยะห่างระหว่างท่อจากภาพประกอบ 2-7 (m)
d คือเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)

ตัวเลขเรย์โนลด์สำหรับการไหลผ่านกลุ่มท่อนิยามจาก

$$R_{e,max} = \frac{\rho \times U_{max} \times d}{u} \quad \text{....2-22}$$

เมื่อ $R_{e,max}$ คือค่าของตัวเลขเรย์โนลด์ที่ความเร็วสูงสุด
ρ คือความหนาแน่น (kg/m^3)
U_{max} คือความเร็วสูงสุด (m/s)
μ คือความหนืด ($kg/m \times s$)
d คือเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)

สำหรับสมการที่จะใช้คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนนั้น จากการทดลองได้พบว่าสมการในในรูปต่อไปนี้ใช้ได้ผลดีคือสมการที่เสนอโดย Grimison (1960) ซึ่งให้ไว้ใน Incropera and Dewitt (1965) ซึ่งเขียนได้ดังนี้

$$\text{Nu} = 1.13 D R_{e,max}^{p} P_r^{\frac{1}{3}} = \frac{\bar{h} d}{k} \quad \text{....2-23}$$

เมื่อ Nu คือตัวเลขนัสเซลท์
$R_{e,max}$ คือค่าของตัวเลขเรย์โนลด์ที่ความเร็วสูงสุด
P_r คือตัวเลขแพรนเติล
P และ D คือค่าที่ได้จากการเปิดตารางที่ 2-1
$\bar{h}$ คือค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การพาความร้อน($W/m^2 \times °K$)
k คือค่าการนำความร้อน ($W/m \times °K$)
d คือเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)

สมการที่ 2-23 ให้ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การพาความร้อน สำหรับกลุ่มท่อที่มีตั้งแต่ 10 แถวขึ้นไป โดยที่ค่าของตัวเลขเรย์โนลด์ จะต้องคำนวณโดยอาศัยความเร็วสูงสุดนั้น ก็คือความเร็วเมื่อของไหลผ่านที่ว่างระหว่างท่อที่มีพื้นที่น้อยที่สุด ส่วนค่าของคุณสมบัติของของไหลที่ใช้ในการคำนวณนั้น หาได้ที่ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของของไหล และของผนัง (Mean Film Temperature)

สำหรับค่าของ D และ Pในสมการที่ 2-23 นั้น จะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลางของท่อ และเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (S_1, S_2 และ d) ซึ่งแสดงไว้ในภาพประกอบ 2-6 และภาพประกอบ 2-7 ค่าของ D และ P ให้ไว้ในตารางที่ 2-2

สมการที่ 2-23 ใช้ได้ในกรณีที่กลุ่มท่อมีมากกว่า 10 แถว หากกลุ่มท่อมีน้อยกว่า 10 แถว ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยเฉลี่ย จะมีค่าต่ำกว่าที่ให้โดยสมการที่ 2-23 หากกลุ่มท่อมี 4 แถว ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะมีค่าน้อยกว่าค่าที่ให้โดยสมการที่ 2-23 ประมาณ 12 % โดยที่แถวแรกจะมีค่าสัมประสิทธิ์ของการพาความร้อนเท่ากับในกรณีของท่อเดียว

สำหรับการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของท่อ ในแต่ละแถวของกลุ่มท่อนั้น จากการศึกษาได้พบว่า ในกรณีการเรียงสลับ ค่าของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะเพิ่มขึ้น จนถึงแถวที่ 5 หรือ 6 แล้วก็มีค่าคงที่ การเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแต่ละแถว และค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจนถึงแถวที่กำลังพิจารณา ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2-3 จากตารางที่ 2-3 และสมการที่ 2-23 ทำให้สามารถที่จะคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของการพาความร้อนของแถวใดก็ได้

ตารางที่ 2-2 ค่าของ D และ P สำหรับใช้ในสมการที่ 2-23

การจัดท่อ	S_2/d	S_1/d							
		1.25		1.5		2.0		3.0	
		P	D	P	D	P	D	P	D
เรียงในแนวเดียวกัน inline arrangement	1.25	0.348	0.592	0.275	0.608	0.100	0.704	0.0633	0.752
	1.5	0.367	0.586	0.250	0.620	0.101	0.202	0.0678	0.744
	2.00	0.418	0.570	0.299	0.602	0.229	0.632	0.198	0.648
	3.00	0.290	0.610	0.357	0.584	0.374	0.581	0.286	0.608
เรียงสลับ staggered arrangement	0.6	-	-	-	-	-	-	0.213	0.636
	0.9	-	-	-	-	0.446	0.571	0.401	0.521
	1	-	-	0.497	0.558	-	-	-	-
	1.125	-	-	-	-	0.478	0.565	0.518	0.560
	1.5	0.518	0.556	0.505	0.554	0.519	0.556	0.522	0.562
	2.00	0.451	0.568	0.46	0.562	0.452	0.568	0.488	0.568
	2.50	0.404	0.572	0.416	0.568	0.482	0.556	0.449	0.570
	3.00	0.310	0.592	0.756	0.580	0.440	0.562	0.421	0.574

(ที่มา : Ozisik, 1977)

ตารางที่ 2-3 ค่าของ h_{last}/h_{10} และ $\bar{h}/h_{10}$ สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีของไหลไหลตั้งฉากกับท่อและมีหลายแถว โดยที่การเรียงท่อเป็นแบบเรียงสลับ

จำนวนแถว	h_{last}/h_{10}	$\bar{h}/h_{10}$
1	0.63	0.60
2	0.75	0.70
3	0.92	0.76
4	0.98	0.83
5	0.99	0.85
6	1.00	0.87
7	1.00	0.89
8	1.00	0.91
9	1.00	0.92
10	1.00	0.93
15	1.00	0.94
20	1.00	0.95
30	1.00	0.96

(ที่มา : Schenck H, 1967)

การคำนวณค่าของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของกลุ่มท่อกับของไหล เราอาจจะทำได้โดยใช้สมการที่ 2-24 ซึ่งเสนอโดย Jackob and Hawkins (1957) ซึ่งให้ค่าโดยประมาณ

$$\mathrm{N}_u = 0.33 R_{e,max}^{0.6} P_r^{1/3} \qquad \text{....2-24}$$

ในสมการที่ 2-24 ค่าของตัวเลขเรย์โนลด์คำนวณโดยใช้ความเร็วของของไหลตอนที่ผ่านพื้นที่ระหว่างท่อที่มีค่าต่ำสุด (นั่นก็คือ ความเร็วสูงสุด) สำหรับคุณสมบัติของของไหลนั้น หาได้จากอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างผนังท่อ และอุณหภูมิของของไหล

2.7 ขั้นตอนการออกแบบ

วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์ และคณะ (2541) กล่าวว่าการสร้างเครื่องจักรกลจะต้องมีกระบวนการออกแบบ ซึ่งเป็นกระบวนการที่จะต้องคำนึงถึงรายละเอียดต่างๆ ของเครื่องจักรกลที่จะสร้าง เช่น กำหนดหน้าที่พื้นฐาน พิจารณาถึงกลไกการทำงานและโครงสร้างที่จำเป็น นอกจากนี้ยังต้องกำหนดรูปทรงรายละเอียดพื้นฐาน ขนาด วัสดุ ผลที่ได้จากการออกแบบคือ แบบวาดที่พร้อมสำหรับการสร้าง โดยสิ่งที่ต้องพิจารณาก่อนการออกแบบแบ่งได้เป็นขั้นตอนดังนี้

2.7.1 รับรู้ความต้องการ

การออกแบบเริ่มต้นขึ้นจากการที่วิศวกรได้รับรู้ความต้องการและตัดสินใจที่จะทำอะไรบางสิ่งบางอย่างขึ้น หรืออาจได้รับข้อมูลจากลูกค้าที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ในด้านการใช้งานและคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาจเป็นแรงผลักดันให้มีการออกแบบขึ้นได้ การแข่งขันกันทางด้านธุรกิจและอุตสาหกรรม ทำให้เกิดความต้องการในการออกแบบอุปกรณ์ กระบวนการ และเครื่องกลใหม่ๆ สิ่งสำคัญก็คือต้องยอมรับรู้ว่าเกิดความต้องการขึ้นแล้ว ใช้ประสบการณ์พื้นฐานที่มีอยู่ทำความเข้าใจกับความต้องการนั้นให้ถ่องแท้

2.7.2 ลักษณะจำเพาะ

รวบรวมรายละเอียดของสิ่งที่ต้องการออกแบบให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งอาจประกอบไปด้วย คุณลักษณะ ขนาด ราคา จำนวนที่ต้องการผลิต อายุการใช้งาน อุณหภูมิใช้งาน ความเชื่อถือได้ และสิ่งที่คาดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงได้บ้าง เช่น น้ำหนัก ขนาดต่างๆ พร้อมทั้งบางสิ่งบางอย่างที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากการออกแบบ เช่น กรรมวิธีการผลิต ความชำนาญของช่าง และการแข่งขันทางด้านตลาด เป็นต้น การออกแบบงานบางประเภทต้องทำตามเกณฑ์ เช่น หม้อไอน้ำ ภาชนะความดัน ก็จำเป็นจะต้องศึกษาเกณฑ์นั้นให้ทราบถึงสิ่งสำคัญต่างๆที่เป็นข้อควรระวังและปฏิบัติตาม

2.7.3 ศึกษารายละเอียด

เมื่อได้ลักษณะจำเพาะต่างๆ แล้วขั้นต่อไปก็คือศึกษารายละเอียด ทั้งนี้ก็เพื่อแยกแยะถึงสิ่งที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายหรือความล้มเหลว ทั้งทางด้านเทคนิคและด้านเศรษฐศาสตร์ โดยปกติแล้วผู้ที่รับผิดชอบในการศึกษารายละเอียดมักจะเป็นวิศวกรที่ผ่านงานออกแบบมาแล้วอย่างมาก มีความรู้ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ต่างๆ เป็นอย่างดี รู้วิธีการเลือกใช้วัสดุ รู้วิธีการผลิตและความต้องการของแผนกขาย ผู้ที่ทำการศึกษารายละเอียดมักจะเป็นผู้รับผิดชอบโครงการทั้งหมดมีบ่อยครั้งที่ผลจากการศึกษารายละเอียดจะทำให้ลักษณะจำเพาะต้องเปลี่ยนไปเพื่อความสำเร็จของโครงการ

2.7.4 สังเคราะห์ความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบ

เมื่อศึกษารายละเอียดแล้ว ต่อไปก็จะถึงขั้นการสังเคราะห์ความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ท้าทายและน่าสนใจที่สุดในการออกแบบ เพราะถ้าไม่มีสิ่งขีดจำกัดอันใดแล้ว ผู้ออกแบบจะทำหน้าที่เป็นวิศวกร นักประดิษฐ์ และจิตรกรในเวลาเดียวกัน

2.7.5 ออกแบบเบื้องต้นและปรับปรุง

หลังจากผ่านกระบวนการสังเคราะห์ความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบแล้ว อาจจะมีวิธีการออกแบบที่เหมาะสมกับลักษณะจำเพาะและความต้องการหลายวิธี จึงจำเป็นที่จะต้องตัดสินใจเลือกเอาวิธีใดวิธีหนึ่งเป็นเบื้องต้นและปรับปรุงต่อไป ในขั้นนี้จำเป็นจะต้องมีแบบแสดงเครื่องจักรกลหรือระบบที่มีความเกี่ยวข้องกัน เพื่อหาความสัมพันธ์ต่างๆ ของระบบทั้งหมด แบบควรมีขนาดสำคัญพร้อมทั้งรูปประกอบ รูปด้านข้างอย่างสมบูรณ์ นอกจากนั้นยังต้องพิจารณาทางด้านจลนพลศาสตร์ (Kinematics) ของระบบด้วยเพื่อความมั่นใจว่าจะทำงานได้

โดยปกติแล้วในขั้นนี้ยังไม่ได้ผลสมบูรณ์ จึงต้องมีการตรวจสอบลักษณะจำเพาะเพื่อให้มีความสมบูรณ์ครบถ้วน พร้อมกันนั้นยังมีการปรับปรุง เพื่อพิสูจน์ให้เห็นถึงแนวความคิดเพื่อหาวัสดุที่มีความเหมาะสม เพื่อประเมินผลของอุปกรณ์ หรือค้นหาสิ่งที่ยังไม่แน่ชัดจากข้อมูลทางเทคนิคและประสบการณ์ที่ผ่านมา ดังนั้นช่วงการออกแบบเบื้องต้นนี้อาจจะช้าหรือเปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่ได้

2.7.6 **ออกแบบรายละเอียด**

การออกแบบรายละเอียดเกี่ยวข้องกับขนาดจริง และขนาดของส่วนประกอบอื่นๆ ทั้งหมดทั้งที่จะผลิตขึ้นเอง หรือผลิตภัณฑ์สำเร็จที่จะซื้อมาใช้ ซึ่งจะประกอบเข้าด้วยกันทั้งหมดเป็นระบบ ดังนั้นจึงต้องมีแบบรายละเอียดของชิ้นส่วนทุกชิ้น แสดงรูปด้านต่างๆเท่าที่จำเป็น โดยต้องกำหนดทั้งขนาด พิกัดความเผื่อไว้ให้ครบถ้วน วัสดุที่ใช้ กรรมวิธีทางความร้อน จำนวนชิ้นส่วน ชื่อชิ้นส่วน และบางครั้งอาจจะต้องใช้แบบประกอบของชิ้นงานสำเร็จด้วย

โดยปกติช่างเขียนแบบจะทำงานไปพร้อมกับวิศวกร เพื่อเขียนแบบที่วิศวกรกำหนดขึ้น วิศวกรจะต้องให้ข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็น เช่น รูปแบบเบื้องต้นที่วิศวกรควรจะร่างขึ้นมาก่อน จะต้องให้ขนาด ชนิดของวัสดุโดยใช้เทคนิคในการวิเคราะห์และประสบการณ์ที่ผ่านมา ซึ่งหมายความว่าวิศวกรต้องใช้พื้นฐานทางด้านคณิตศาสตร์ กลศาสตร์ ความแข็งแรงของวัสดุ กลศาสตร์ของไหล การสั่นสะเทือน โลหะวิทยา กระบวนการผลิต โดยวิศวกรอาจจะหาผู้ช่วยที่มีความชำนาญพิเศษเฉพาะสาขามาช่วยได้

2.7.7 **สร้างและทดลอง**

หลังจากที่มีรายละเอียดต่างๆ สมบูรณ์ มีแบบแยกชิ้น แบบประกอบ รวมทั้งวัสดุและรายการชิ้นส่วนต่างๆแล้ว จึงส่งแบบที่สมบูรณ์ทั้งหมดไปยังโรงงานเพื่อสร้างตามแบบ เมื่อสร้างเสร็จเรียบร้อยก็เตรียมประเมินผลและทดสอบ ผลจากการทดสอบอาจทำให้ต้องเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงการออกแบบเบื้องต้น หรือแบบรายละเอียดบางประการ หลังจากเปลี่ยนแปลงปรับปรุงชิ้นส่วนบางชิ้นแล้วจะทดสอบและประเมินผลใหม่อีกครั้ง หรืออาจต้องทำอีกหลายครั้งจนวิศวกรผู้ออกแบบพึงพอใจที่งานมีสมรรถนะตามต้องการ

2.8 **การวิเคราะห์ต้นทุนผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์**

การประมาณการต้นทุน หรือค่าใช้จ่าย (Cost) ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Investment Costs) และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการผลิต (Operating Costs) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Investment Costs) คือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเพื่อทำให้เกิดการพร้อมที่จะดำเนินการผลิต แต่ยังไม่ผลิต ซึ่งค่าใช้จ่ายนี้ไม่ผันตามขนาดการผลิตเรียกว่าเป็นต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) ต้นทุนคงที่จะประกอบไปด้วยค่าใช้จ่ายหมวดต่างๆ ดังนี้ คือ ค่าใช้ที่ดิน ค่าเสื่อมเครื่องมืออุปกรณ์โดยประเมินเอาจากทรัพย์สิน และค่าเสียโอกาสเงินลงทุน สำหรับโครงการผลิตเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดนี้เป็นการผลิตขนาดกลาง ซึ่งเกษตรกรมีที่ดินและโรงเรือนอยู่แล้ว การคิดต้นทุนคงที่จึงคิดเฉพาะค่าเสื่อมราคาของเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด และค่าเสียโอกาสเงินลงทุน

(1.1) ค่าเสื่อมราคาตู้อบแห้ง

ในการคิดค่าเสื่อมราคาของทรัพย์สินนั้น จำเป็นต้องทราบราคาของทรัพย์สินที่ซื้อมาครั้งแรก มูลค่าซาก (Salvage Value หรือ Scrap Value) หลังจากที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ในธุรกิจฟาร์มได้ต่อไป (สมศักดิ์ เพียบพร้อม, 2530) ดังนั้นค่าเสื่อมราคาของตู้อบแห้งต่อกิโลกรัมหมากแห้งของการผลิตหมากแว่นอบแห้งมีสูตรการคำนวณดังนี้ คือ

$$A = \frac{(V - S)}{Y \times W_D} \quad \text{....2-25}$$

เมื่อ A คือ ต้นทุนค่าใช้จ่ายตู้อบแห้ง/กิโลกรัมหมากแห้ง (บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง)

V คือราคาตู้อบแห้ง (บาท)

S คือมูลค่าซาก (บาท)

Y คือ อายุการใช้งาน

W_D คือน้ำหนักหมากแว่นอบแห้งที่ผลิตได้ใน 1 ปี (กิโลกรัม)

(1.2) ค่าเสียโอกาสเงินลงทุนตู้อบแห้ง

ค่าเสียโอกาสเงินลงทุนตู้อบแห้งต่อกิโลกรัมหมากแห้งของการผลิตหมากแว่นอบแห้งมีสูตรการคำนวณดังนี้ คือ

$$P_d = \frac{\frac{(V+S)}{2} \times i \times \frac{x}{365 \text{ วัน}}}{W_D} \quad \text{....2-26}$$

เมื่อ P_d คือค่าเสียโอกาสเงินลงทุน (บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง)
i คืออัตราดอกเบี้ย (%)
x คือจำนวนวันที่ใช้ตู้อบแห้ง

(1.3) ต้นทุนค่าใช้ตู้อบแห้ง

ต้นทุนค่าใช้ตู้อบแห้งต่อกิโลกรัมหมากแห้งของการผลิตหมากแว่นอบแห้งมีสูตรการคำนวณดังนี้คือ

$$I = A + P_d \quad \text{....2-27}$$

เมื่อ I คือต้นทุนค่าใช้ตู้อบแห้ง (บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง)

(2) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (Operating Costs) คือค่าใช้จ่ายเมื่อเกิดการผลิต ซึ่งค่าใช้จ่ายส่วนนี้จะผันตามขนาดกำลังการผลิต ในการคิดต้นทุนส่วนนี้จึงคิดไปตามขนาดกำลังการผลิต เรียกว่าเป็นต้นทุนผันแปร (Variable Costs) ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ประกอบด้วย

(2.1) ค่าวัตถุดิบ (Raw Materials)

ค่าวัตถุดิบในที่นี้ หมายถึง หมากแว่นที่ผ่านการหั่นแล้ว ค่าวัตถุดิบหาได้จากสูตรการคำนวณดังนี้ คือ

$$P_m = \frac{(W_m \times P)}{W_d} \quad \text{....2-28}$$

เมื่อ P_m คือค่าวัตถุดิบ (บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง)
W_m คือน้ำหนักสดของเนื้อหมากแว่นสดที่ใช้อบแห้งแต่ละครั้ง (กิโลกรัม)

P คือราคาวัตถุดิบต่อหน่วย (บาท/กิโลกรัมหมากสด)

W_d คือน้ำหนักแห้งของหมากแว่นอบแห้งที่ผลิตได้แต่ละครั้ง (กิโลกรัม)

(2.2) ค่าไฟฟ้า

ค่าไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จะแปรผันไปตามกำลังการผลิต ไฟฟ้าใช้ในส่วนของพัดลมดูดอากาศ ขดลวดความร้อน และมอเตอร์สำหรับหมุนรถเข็นในตู้อบแห้ง ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตครั้งนั้นๆ หาได้จากสูตรการคำนวณดังนี้ คือ

$$P_e = \frac{(W_e \times E)}{W_d} \quad \text{....2-29}$$

เมื่อ P_e คือค่าไฟฟ้า (บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง)

W_e คือหน่วยไฟฟ้าที่ใช้อบแต่ละครั้ง (หน่วย)

E คือราคาไฟฟ้าต่อหน่วยไฟฟ้า (บาท)

(2.3) ค่าแรงงาน

ค่าแรงงานในการอบแห้งเป็นค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการจ้างแรงงานเพื่อทำการล้างและบรรจุหมากแว่นสดที่หั่นแล้วลงในถาด จากนั้นนำหมากแว่นสดเข้าตู้อบ ดังนั้นค่าแรงงานในการดูแลตู้อบหาได้จากสูตรการคำนวณดังนี้

$$P_L = \frac{(T_d \times L)}{W_d} \quad \text{....2-30}$$

เมื่อ P_L คือค่าแรงงานในการอบแห้ง (บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง)

T_d คือเวลาที่ใช้ในการทำการอบแห้งทั้งหมดจริง (ชั่วโมงทำงาน)

L คือค่าจ้างแรงงาน (บาท/ชั่วโมงทำงาน)

(2.4) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการรวม (Operating Costs)

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการรวม หาได้จากผลรวมของค่าใช้จ่ายข้างต้นโดยมีสูตรในการคำนวณ ดังนี้

$$O = P_m + P_e + P_L \quad \text{....2-31}$$

เมื่อ O คือค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง)

(3) ต้นทุนการผลิตหมากแว่นอบแห้งรวม เป็นการรวมต้นทุนค่าใช้ตู้อบแห้งเข้ากับค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานรวม โดยมีสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$C = I + O \quad \text{....2-32}$$

เมื่อ C คือต้นทุนการผลิตหมากแว่นอบแห้งรวม (บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง)

(4) การวิเคราะห์ต้นทุนผลตอบแทน เป็นการวิเคราะห์ต้นทุนผลตอบแทนการผลิตหมากแว่นอบแห้งในที่นี้ใช้ตัวชี้วัด คือกำไรสุทธิ (π) ซึ่งหาได้จากสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$\text{กำไรสุทธิ } (\pi) = B - C \quad \text{....2-33}$$

เมื่อ B คือรายรับจากการผลิตหมากแว่นอบแห้ง 1 กิโลกรัม หรือราคาหมากแว่นอบแห้ง (บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง)

(5) ระยะเวลาคืนทุน เป็นที่ทราบกันดีว่า หากการดำเนินงานได้รับผลตอบแทนคุ้มกับจำนวนเงินที่ลงทุนได้รวดเร็วเท่าไรก็จะเป็นการดีมากขึ้นเท่านั้น เพราะโอกาสเสี่ยงต่อการขาดทุนในอนาคตน้อยลง และอีกประการหนึ่งผู้ลงทุนสามารถนำเงินทุนที่ถอนคืนนี้ไปลงทุนหาผลประโยชน์ในกิจการอื่นต่อไป การหาค่างวดเวลาคืนทุนสามารถทำได้ดังนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินสดจ่ายลงทุนสุทธิ(Total Invesment)}}{\text{กระแสเงินสดไหลเข้ารายปี}} \quad \text{....2-34}$$

2.9 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทำแห้งเป็นวิธีการถนอมอาหารวิธีหนึ่ง ที่ทำให้ปริมาณน้ำในผลิตผลมีน้อยจนไม่ถูกทำลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ และสามารถเก็บไว้รอการจำหน่ายในระยะเวลานาน เป็นการช่วยลดการสูญเสียภายหลังการเก็บเกี่ยวและเพิ่มมูลค่าผลผลิต การตากแดดซึ่งอาศัยความร้อนจากแสงอาทิตย์ และการนำและพาของลม ในการช่วยลดความชื้นออกจากผลิตผล กรรมวิธีดังกล่าวแม้จะใช้ได้ผลดี ในช่วงเวลาที่ปลอดฝน แต่ก็มีความเสียหายของผลิตผล เนื่องจากการตกหล่นและการถูกทำลายจากนก หนู การทำอาหารแห้งโดยอาศัยแสงแดด เป็นกรรมวิธีที่มีขีดจำกัดมาก แม้ว่าจะมีราคาและต้นทุนการผลิตต่ำ ทั้งนี้เพราะ การระวังรักษาความสะอาดของอาหารแห้งทำได้ยาก ต้องใช้พื้นที่มากในการตากแดด และไม่สามารถที่จะกระทำได้ตลอดเวลา โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝน อาหารมักจะเน่าเสีย เพราะใช้ระยะเวลานานในการทำให้แห้ง ทำให้อาหารมีรสเปรี้ยว และการควบคุมคุณภาพทำได้ยาก เช่น สีของอาหาร และแห้งไม่สม่ำเสมอ เป็นต้น (วัฒนพงษ์ รักษ์วิเชียร, 2534) นอกจากนี้อาจพบกลิ่นสาบ กลิ่นหมัก เชื้อรา และรสชาติเปลี่ยนไป (วิชัย หฤทัยธนาสันต์, 2530)

เจียมจิต คู่เทียม (2527) ทดลองอบกระเทียมด้วยตู้อบแบบถาด (Tray Dryer) ใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงาน มีพัดลมช่วยในการไหลเวียนอากาศร้อน โดยเป่าอากาศผ่านแผงความร้อนด้วยความเร็วลมคงที่ตลอดการทดลอง ควบคุมพัดลมโดยปรับปุ่มควบคุมรอบพัดลมไว้ที่ตำแหน่ง 200 อบกระเทียมด้วยอุณหภูมิ 4 ระดับ คือ 45 °C 55 °C 70 °C และ 80 °C ในแต่ละการทดลอง ใช้เวลา 330 นาทีต่อการทดลอง ผลการทดลองได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55 °C มีลักษณะทางกายภาพดีที่สุด ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับผลการวิจัยของกองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ซึ่งเสนอให้อุณหภูมิในช่วง 45 °C – 60 °C

เฉลิมชัย คำบุญลือ และ อดุลย์ ลิ้มเจริญ (2531) ได้มีข้อเสนอแนะเพื่อให้เครื่องอบแห้งมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นคือ การนำอากาศร้อนกลับมาใช้ในระบบอีกครั้ง ซึ่งต่อมา รติกร เนรมิตรังสี และคณะ (2540) ได้ปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบไต้หวัน โดยมีการดูดลมร้อนกลับมาใช้ในระบบอบแห้งใหม่ โดยทดลองอบลำไยและพริก พบว่าการดูดลมร้อนกลับมาใช้อบแห้งใหม่ทำให้ใช้เวลา

ในการอบแห้งน้อยลง และทำให้ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงน้อยลงด้วย อย่างไรก็ตามเครื่องอบแห้งที่ปรับปรุงโดย รติกรและคณะ ยังคงมีปัญหาเรื่องความไม่สม่ำเสมอของการแห้งของผลิตผล และได้มีข้อเสนอแนะให้พิจารณาเรื่องการกลับผลิตผลในระหว่างอบด้วย

วิวัฒน์ คล่องพานิช และ ชลทิศ ศรีสัตบุตร (2533) ได้รายงานการวิจัยการอบแห้งลำไยโดยสร้างเตาอบทดลองแบบไต้หวัน พบว่าการใส่ลำไยทั้งหมดลงบนตระแกรงให้ผลที่ไม่น่าพอใจ เนื่องจากลำไยจะแห้งไม่สม่ำเสมอ บางจุดแห้งจนแข็งแต่บางจุดยังมีความชื้นมากอยู่ โดยได้ประเมินและให้ข้อเสนอแนะ เพื่อให้ได้คุณภาพที่สม่ำเสมอว่า ต้องปรับปรุงการกระจายตัวของอากาศร้อนที่เป่าผ่านลำไยและลดความหนาของชั้นลำไยที่อบ นอกจากนั้นต้องพลิกกลับลำไยให้บ่อยขึ้น ซึ่งในทางปฏิบัติอาจไม่สะดวกนัก จะเห็นว่าการอบโดยใช้เตาอบแบบ Batch Type จะมีปัญหาเรื่อง ความไม่สม่ำเสมอของการแห้งของผลิตผล ซึ่งจะต้องแก้ปัญหาโดยการพลิกกลับผลิตผลในระหว่างอบ จึงจะทำให้ได้คุณภาพ ซึ่งการพลิกกลับผลิตผลในระหว่างอบ นอกจากจะเสียเวลา แรงงาน ความเสียหายของผลิตผลระหว่างการพลิกกลับแล้ว ยังต้องเพิ่มต้นทุนในส่วนของถุงที่บรรจุผลิตผล เพื่อความสะดวกในการพลิกกลับด้วย

ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์ และคณะ (2535) ศึกษาออกแบบเครื่องอบแห้งผักโดยใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานความร้อน ตู้อบประกอบด้วย ขดลวดให้ความร้อน 2 ชุด ซึ่งแต่ละชุดจะอยู่คนละด้านของตู้อบทดลอง ทำการอบแห้งผักโดยใช้พัดลมเป่าลมร้อนผ่านขดลวดให้ความร้อน สลับชุดไปมาชุดละ 1 ชั่วโมง เพื่อที่จะไม่ต้องสลับถาด

สมยศ จรรยา (2530) อบมะม่วงแช่อิ่มด้วยเครื่องอบแห้งแบบ Tray Dryer ขนาด 32 × 34 × 22 นิ้ว ปริมาตรภายใน 0.39 เมตร^3 แบ่งเป็น 6 ชั้น อบภายใต้อุณหภูมิ 40 ◦C ได้มะม่วงแช่อิ่มมีสีดีน่ารับประทาน

สิงหนาท พวงจันทน์แดง และคณะ (2534) ทดลองอบผักกาดหางหงส์ ผักกะหล่ำปลี และผักกาดแม้ว ด้วยตู้อบแบบถาด (Tray Dryer) ขนาดตู้ 0.80 เมตร × 0.60 เมตร × 1.03 เมตร ด้านบนและด้านข้างตู้อบมีช่องระบายอากาศ โดยอาศัยการพาความร้อนตามธรรมชาติ ใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง ด้านในตู้แบ่งเป็น 3 ชั้น ด้านล่างติดตั้งเตาแก๊สแบบหัวกะโหลก บนเตามีแผ่นเหล็กเพื่อส่งถ่ายความร้อนให้กระจายทั่วตู้สามารถอบผักต่างๆ ดังกล่าวให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 ◦C โดยมีสี และคุณภาพดี

สมบัติ ของทวีวัฒนา (2529) ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง คือความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ซึ่งมีผลต่อการระเหยน้ำออก ถ้าใช้อุณหภูมิในการอบสูงอัตราการอบแห้งก็จะสูงใช้เวลาในการอบแห้งสั้นลง แต่ลักษณะธรรมชาติของอาหารที่นำมาอบแห้งก็มีผลต่ออัตราการอบแห้งเช่นเดียวกัน อาหารที่มีองค์ประกอบเป็นแป้ง และโปรตีนที่ละลายได้สามารถเกิดเจล (Gel) ได้เมื่อได้รับอุณหภูมิสูงขณะทำการผลิต ทำให้อัตราการอบแห้งลดลง น้ำในเซลล์จะซึมออกมาได้ช้าลงเนื่องจากการจับตัวกันเป็นก้อนเจล ซึ่งเรียกว่า Cass hardening

Lewicki *et al*. (1998) ได้ทำการทดลองอบหอมหัวใหญ่พันธุ์โอปอลโต (Oporto) ด้วย Convective Dryer ในห้องทดลอง เครื่องอบสามารถควบคุมอุณหภูมิและความเร็วลมได้ อบหอมหัวใหญ่หั่นขนาด 0.3 cm ใช้วัตถุดิบ 5 กิโลกรัม/เมตร^2 อบด้วยอากาศร้อนที่มีอุณหภูมิ 5 แบบ โดยการอบในแบบที่ 1 คือ อบด้วยอุณหภูมิคงที่ 60 ◦C 70 ◦C และ 80 ◦C การอบในแบบที่ 2 คือ เริ่มอบที่อุณหภูมิ 70 ◦C จนกระทั่งน้ำระเหยออกไป 50 % ลดอุณหภูมิลงเหลือ 60 ◦C การอบในแบบที่ 3 คือ เริ่มอบที่อุณหภูมิ 70 ◦C จนกระทั่งน้ำระเหยออกไป 75 % ลดอุณหภูมิลงเหลือ 60 ◦C การอบในแบบที่ 4 คือ เริ่มอบที่อุณหภูมิ 80 ◦C จนกระทั่งน้ำระเหยออกไป 50 % ลดอุณหภูมิลงเหลือ 60 ◦C และการอบในแบบที่ 5 คือ เริ่มอบที่อุณหภูมิ 80 ◦C จนกระทั่งน้ำระเหยออกไป 75 % ลดอุณหภูมิลงเหลือ 60 ◦C ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิอากาศร้อนในการอบแห้ง มีผลให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น และอัตราการแพร่ของน้ำดีขึ้น และการลดอุณหภูมิเป็นช่วงๆ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเส้นกราฟการอบแห้ง (Drying Curve) แต่มีผลต่อระยะเวลาการอบแห้ง โดยการลดอุณหภูมิลงจาก 70 ◦C เป็น 60 ◦C จะใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่าการอบด้วยอุณหภูมิคงที่ 60 ◦C ส่วนการลดอุณหภูมิลงจาก 80 ◦C เป็น 60 ◦C จะใช้เวลาในการอบน้อยกว่าการอบด้วยอุณหภูมิคงที่ 60 ◦C

Rapusas and Driscoll (1995) ศึกษาลักษณะการแห้งของหอมหัวใหญ่หั่นสีขาว (White Onion Slices) อบแห้งแบบชั้นบาง (Thin Layer) โดยอบหอมหัวใหญ่หั่นขนาด 0.2-0.5 เซนติเมตร ด้วยตู้อบแบบ Batch Type (Tray Dryer) ใช้อากาศร้อนอุณหภูมิ 42.5 ◦C-90 ◦C มีความชื้น 0.0093-0.0442 kg - H_2O/kg - dry air ความเร็วลม 0.6-1.4 เมตร/วินาที ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอากาศและความหนาของชิ้นวัตถุดิบที่ใช้ในการอบแห้ง มีอิทธิพลอย่างมากต่ออัตราอบแห้ง (Drying Rate) โดยที่อุณหภูมิอากาศ 90 ◦C หอมหัวใหญ่หั่นมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าที่อุณหภูมิ 70 ◦C และ 50 ◦C ตามลำดับ และหอมหัวใหญ่หั่นชิ้นใหญ่จะมีความต้านทานการระเหยน้ำสูงกว่าชิ้นเล็ก โดยชิ้นขนาด 0.8 เซนติเมตร ใช้เวลาในการอบแห้งนานที่สุด นานกว่า

การอบชิ้นขนาดเล็ก 0.2 เซนติเมตรมาก ส่วนความชื้นในอากาศและความเร็วลมนั้นมีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้งเพียงเล็กน้อย

Singh (1994) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งผักไฟฟ้าขนาดเล็ก แบบ Tray Dryer ที่มีขนาด 2.750 เมตร × 0.965 เมตร × 2.605 เมตร ตัวห้องอบแห้งแบ่งเป็น 10 ชั้น ชั้นละ 2 ถาด (Two Side-by-Side Stacks of 10) ให้อากาศร้อนเคลื่อนที่เข้าทางด้านล่างของตู้อบ ออกทางด้านบนด้วยอัตราเร็วคงที่ 0.33 เมตร^3/วินาที วัดอุณหภูมิอากาศในถาดชั้นที่ 1 4 7 และ10 พบว่าแต่ละชั้นมีอุณหภูมิไม่เท่ากัน โดยชั้นที่ 1 (อยู่ด้านล่าง) มีอุณหภูมิสูงที่สุด และอุณหภูมิลดลงตามระดับความสูง จึงทดลองสลับถาดทุกๆ 2 ชั่วโมง พบว่ากระหล่ำดอกทุกถาดแห้งสม่ำเสมอกัน อีกทั้งในการอบแห้งหอมหัวใหญ่หั่นขนาด 0.30 – 0.35 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิอากาศ 56 ◦C ใช้เวลา 12 ชั่วโมง ในการลดความชื้นจากความชื้นเริ่มต้น 92.5 % เหลือ 7.5 % สม่ำเสมอกันทุกถาด

จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้สรุปปัญหาออกเป็นหัวข้อต่างๆ และได้นำปัญหาจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาปรับปรุงเพื่อใช้ในการออกแบบเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด ดังแสดงในตารางที่ 2-4 ดังนี้

ตารางที่ 2-4 การวิเคราะห์ปัญหาจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาปรับปรุงและออกแบบเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด

ปัญหาจากเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	การออกแบบเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดโดยปรับปรุงจากงานวิจัยที่ผ่านมา
1. ในการอบแห้งมีปัญหาเรื่องความไม่สม่ำเสมอของการแห้งของผลิตผล (วัฒนพงษ์ รักษ์วิเชียร, 2534)	1. เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมาเป็นแบบถาดอยู่กับที่ หรือเป็นการใช้พัดลมเป่าอากาศผ่านขดลวดความร้อนเข้าสู่ตู้อบ ทางผู้วิจัยจึงออกแบบให้ถาดสามารถหมุนได้รอบ และใช้พัดลมดูดอากาศผ่านขดลวดความร้อนเพื่อเข้าสู่ตู้อบ นอกจากนี้ยังมีฟินกระพือลมขึ้นลง ทำให้การกระจายตัวของอากาศดียิ่งขึ้นและผลิตผลมีความสม่ำเสมอของการแห้งดียิ่งขึ้น
2. งานวิจัยส่วนใหญ่ไม่มีการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ (สิงหนาท พวงจันทน์แดง และคณะ, 2534)	2. ได้มีการนำอากาศร้อนกลับมาอบแห้งใหม่เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานและลดเวลาในการอบแห้ง
3. แต่ละงานวิจัยมีการใช้พลังงานจากแหล่งเดียว เช่นจากไฟฟ้า หรือจากแก๊สหุงต้ม (ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์ และคณะ, 2535)	3. ตู้อบมีแหล่งให้พลังงานจาก 2 แหล่งคือ จากพลังงานไฟฟ้าและจากระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อ โดยนำเปลือกหมากแห้งเหลือทิ้งมาเผา เพื่อเอาพลังงานความร้อน เป็นการลดขยะและช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้า
4. บางงานวิจัยต้องมีการพลิกกลับผลิตผล หรือสลับถาดทำให้ไม่สะดวก (วิวัฒน์ คล่องพานิช และ ชลทิศ ศรีสัตบุตร, 2533)	4. ถาดภายในตู้อบสามารถหมุนได้ และมีฟินกระพือลมขึ้นลง ทำให้การกระจายตัวของอากาศดียิ่งขึ้น จึงไม่จำเป็นต้องสลับด้านผลิตผลหรือสลับถาด

ปัญหาจากเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	การปรับปรุงเพื่อใช้ในการออกแบบ เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด
5. แต่ละงานวิจัยไม่สามารถอบแห้งผลิตผลได้คราวละมากๆ (สมยศ จรรยา, 2530)	5. ออกแบบให้แต่ละถาดมีขนาดความกว้าง × ความยาว × ความสูง เท่ากับ 0.7 เมตร × 0.7 เมตร × 0.02 เมตร โดยถาดหนึ่งถาดสามารถบรรจุเนื้อหมากแว่นสดได้ประมาณ 0.7 กิโลกรัม จึงกำหนดให้มีจำนวนถาด 15 ถาด ซึ่งจะสามารถอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดได้ล็อตละ 25.5 กิโลกรัม เพื่อให้สอดคล้องกับการทำงานของเครื่องหั่นหมากต้นแบบ ซึ่งหั่นได้ 21.6 กิโลกรัม/ชั่วโมง
6. การอบแห้งไม่สามารถใช้อุณหภูมิสูงได้ เพราะจะทำให้ผลิตผลมีสีไม่น่ารับประทาน หรือผลิตผลที่มีองค์ประกอบเป็นแป้ง และโปรตีนที่ละลายได้ สามารถเกิดเจล (Gel) ได้เมื่อได้รับอุณหภูมิสูง ทำให้อัตราการอบแห้งลดลง (สมบัติ ของทวีวัฒนา, 2529)	6. ได้ทดลองใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงถึง 100 °C เพราะไม่ทำให้ผิวของเนื้อหมากไหม้ และเนื้อหมากแว่นสดไม่เกิดเจลที่ผิวทำให้การอบแห้งใช้เวลาไม่นาน
7. บางงานวิจัยอบแห้งผลิตผลที่มีความหนามากเกินไปทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งนาน และแห้งไม่สม่ำเสมอ (Rapusas and Driscoll, 1995)	7. ใช้เนื้อหมากแว่นสดที่มีความหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร ในการทดลอง จึงทำให้การอบแห้งใช้เวลาไม่นาน และผลิตผลมีความสม่ำเสมอของการแห้งดียิ่งขึ้น

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะทำการพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตหมากแห้งในขั้นตอนของการอบแห้ง เพื่อให้การผลิตหมากแห้งมีประสิทธิภาพมากขึ้น และสามารถประหยัดพลังงาน นอกจากนี้ยังช่วยลดปริมาณเปลือกหมากที่เหลือทิ้ง โดยการนำมาเป็นเชื้อเพลิงก่อให้เกิดประโยชน์อีกทางหนึ่ง

3.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

ทางผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นในการผลิตหมากแว่นอบแห้งของเกษตรกร พบว่าจากการลงสำรวจพื้นที่ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ของหาญพงศ์ สุวรรณโณ และอยุทธ์ อังศกีรติรัตน์ (2552) ทำให้ทราบถึงวิธีการที่ชาวบ้านทำการแปรรูปหมากเป็นหมากแว่นอบแห้ง โดยกระบวนการผลิตหมากแว่นอบแห้งมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เก็บผลหมากสดที่อยู่บนต้นซึ่งมีอายุประมาณ 4 – 6 เดือน โดยชาวบ้านจะปีนขึ้นไป ดังแสดงในภาพประกอบ 3-1 แล้วใช้มีดตัดทลายหมาก

ภาพประกอบ 3-1 การเก็บผลหมาก
(ที่มา : หาญพงศ์ สุวรรณโณ และ อยุทธ์ อังศกีรติรัตน์, 2552)

ขั้นตอนที่ 2 นำหมากที่เก็บได้มาปอกเปลือกให้เหลือแต่เนื้อหมาก โดยใช้มีดผ่าเป็นกลีบๆ แล้วแยกเปลือกออก ดังแสดงในภาพประกอบ 3-2 จะได้เนื้อหมาก ดังแสดงในภาพประกอบ 3-3 กำลังการผลิตในการปอกหมากประมาณ 30 – 40 กิโลกรัม/คน/วัน

ภาพประกอบ 3-2 การปอกหมากสด
(ที่มา : หาญพงศ์ สุวรรณโณ และ อยุทธ์ อังศกีรติรัตน์, 2552)

ภาพประกอบ 3-3 หมากที่ผ่านการปอกเปลือกแล้ว
(ที่มา : หาญพงศ์ สุวรรณโณ และ อยุทธ์ อังศกีรติรัตน์, 2552)

ขั้นตอนที่ 3 นำเนื้อหมากที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 มาทำการหั่นหมากด้วยเครื่องไสหมากแบบชาวบ้าน ดังแสดงในภาพประกอบ 3-4 โดยเครื่องไสหมากสามารถปรับความหนาของหมากที่หั่น

ออกมาได้ตามความต้องการ ดังแสดงในภาพประกอบ 3-5 และภาพประกอบ 3-6 เนื้อหมากแว่นสดที่ได้จากการไส กำลังการผลิตหมากแว่นได้ประมาณ 100-160 กิโลกรัม/คน/วัน

ภาพประกอบ 3-4 การหั่นหมากของชาวบ้าน
(ที่มา : หาญพงศ์ สุวรรณโณ และ อยุทธ์ อังศกีรติรัตน์, 2552)

ภาพประกอบ 3-5 เครื่องไสหมาก
(ที่มา : หาญพงศ์ สุวรรณโณ และ อยุทธ์ อังศกีรติรัตน์, 2552)

ภาพประกอบ 3-6 เนื้อหมากแว่นสดที่ได้จากการไส
(ที่มา : หาญพงศ์ สุวรรณโณ และ อยุทธ์ อังศกีรติรัตน์, 2552)

ขั้นตอนที่ 4 นำไปตากแดด 8-10 วัน หรือย่างประมาณ 5 ชั่วโมง โดยต้องเกลี่ยทุก 15 นาที ดังแสดงในภาพประกอบ 3-7 หลังจากย่างเสร็จแล้ว ก็ตั้งอังไฟไว้อีก 1 คืนจึงเสร็จ โดย 1 เตาสามารถย่างเนื้อหมากแว่นสดได้ครั้งละประมาณ 50 กิโลกรัม ได้หมากแว่นอบแห้งประมาณ 13 กิโลกรัม/วัน และภาพประกอบ 3-8 แสดงลักษณะของเตาย่างหมากโดยใช้เชื้อเพลิงเป็นไม้ จะได้หมากแว่นอบแห้งตามต้องการ ดังแสดงในภาพประกอบ 3-9 การส่งขาย ชาวบ้านจะส่งขายให้พ่อค้าคนกลาง โดยการชั่งกิโลกรัมขาย ประมาณกิโลกรัมละ 45 บาท ซึ่งจะได้กำไรกิโลกรัมละประมาณ 10 บาท

ภาพประกอบ 3-7 การย่างหมากแว่น
(ที่มา : หาญพงศ์ สุวรรณโณ และ อยุทธ์ อังศกีรติรัตน์, 2552)

ภาพประกอบ 3-8 ลักษณะของเตาย่างหมาก
(ที่มา : หาญพงศ์ สุวรรณโณ และ อยุทธ์ อังศกีรติรัตน์, 2552)

ภาพประกอบ 3-9 หมากแว่นอบแห้งที่พร้อมจะขาย
(ที่มา : หาญพงศ์ สุวรรณโณ และ อยุทธ์ อังศกีรติรัตน์, 2552)

3.2 **การวิเคราะห์ข้อดีและข้อเสียของการอบแห้งแต่ละชนิด**

ก่อนที่จะทำการสร้างเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด ทางผู้วิจัยได้ศึกษาชนิดของการอบแห้งแต่ละชนิด จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ข้อดีและข้อเสียของการอบแห้งแต่ละชนิดและตัดสินใจเลือกชนิดของการอบแห้งที่เหมาะสมที่สุด เมื่อได้บทสรุปจึงได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด ซึ่งการอบแห้งแต่ละชนิดมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน จากการวิเคราะห์ของผู้วิจัยได้สรุปไว้ในตาราง 3-1 ดังนี้

ตารางที่ 3-1 ข้อดีและข้อเสียของการอบแห้งแต่ละชนิด

ชนิดของการอบแห้ง	ข้อดี	ข้อเสีย
1. การอบแห้งแบบตู้	1. สามารถสร้างได้ง่าย 2. ใช้พื้นที่น้อย 3. ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี 4. ใช้งานได้ง่าย	1. อบได้ครั้งละไม่มาก 2. ต้องนำวัตถุดิบออกมากลับด้านหรือเปลี่ยนตำแหน่งวางถาดภายนอกตู้
2. การอบแห้งแบบอุโมงค์	1. อบได้ครั้งละมากๆ 2. ใช้เวลาในการอบแห้งน้อย 3. ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี	1. ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งสูง 2. สิ้นเปลืองพื้นที่
3. การอบแห้งแบบสายพาน	1. อบได้ครั้งละมากๆ 2. ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี	1. ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งสูง 2. สิ้นเปลืองพื้นที่ 3. ใช้เวลานานในการอบแห้ง
4. การอบแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก	1. สามารถอบแห้งวัตถุดิบที่เป็นของเหลวได้ 2. ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี 3. ใช้พื้นที่น้อย	1. ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งสูง 2. ไม่สามารถอบแห้งวัตถุดิบที่เป็นชิ้นได้
5. การอบแห้งแบบแช่แข็งหรือการทำแห้งแบบระเหิด	1. ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สูญเสียคุณค่าทางอาหาร 2. ผลิตภัณฑ์ที่ได้กลับคืนรูปเดิมได้ดีและรวดเร็ว มีกลิ่นดี	1. ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งสูงมาก 2. หลักการทำงานยุ่งยาก
6. การอบแห้งโดยไมโครเวฟ	1. ใช้เวลาในการอบน้อย 2. ผลิตภัณฑ์แห้งสนิทและสม่ำเสมอ	1. อบได้ครั้งละไม่มาก 2. ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งสูง
7. การอบแห้งแบบอินฟาเรด	1. ใช้เวลาในการอบน้อย 2. ผลิตภัณฑ์แห้งสนิทและสม่ำเสมอ 3. มีอัตราการอบแห้งสูงมาก	1. อบได้ครั้งละไม่มาก 2. ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งสูง

ชนิดของการอบแห้ง	ข้อดี	ข้อเสีย
8. การลดความชื้นโดยออสโมซิส	1. ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี 2. ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สูญเสียคุณค่าทางอาหาร	1. ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งสูง 2. ใช้เวลานานในการอบแห้ง
9. การทำแห้งแบบพัฟ	1. ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี 2. ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สูญเสียคุณค่าทางอาหาร	1. ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งสูง 2. ใช้เวลานานในการอบแห้ง 3. อบแห้งได้เฉพาะวัตถุดิบขนาดเล็ก
10. การอบแห้งแบบพ่นฝอย	1. สามารถอบแห้งวัตถุดิบที่เป็นของเหลวได้ 2. ใช้เวลาในการอบแห้งน้อย	1. ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งสูง 2. ไม่สามารถอบแห้งวัตถุดิบที่เป็นชิ้นได้
11. การอบแห้งแบบโฟม	1. สามารถอบแห้งวัตถุดิบที่เป็นของเหลวได้ 2. ใช้เวลาในการอบแห้งน้อย 3. ใช้พื้นที่น้อย	1. ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งสูง 2. ไม่สามารถอบแห้งวัตถุดิบที่เป็นชิ้นได้
12. การทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด	1. ใช้เวลาในการอบน้อย 2. ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สูญเสียคุณค่าทางอาหาร 3. ผลิตภัณฑ์แห้งสม่ำเสมอ	1. อบแห้งได้เฉพาะผลิตภัณฑ์ขนาดเล็ก 2. อาจทำให้ผลิตภัณฑ์มีการแตกหัก เพราะมีการกระจายตามแรงลม 3. หลักการค่อนข้างยุ่งยาก
13. การอบแห้งด้วยระบบปั๊มความร้อน	1. ประหยัดพลังงาน 2. ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี	1. อบได้ครั้งละไม่มาก 2. ใช้เวลาในการอบแห้งค่อนข้างนาน

ชนิดของการอบแห้ง	ข้อดี	ข้อเสีย
14. การอบแห้งด้วยระบบแสงอาทิตย์	1. ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งต่ำ 2. สามารถสร้างตู้อบได้ง่าย	1. ไม่สามารถอบได้ตลอดเวลา เช่น เวลาค่ำหรือเวลาฝนตก 2. ควบคุมสภาวะอบแห้งยาก 3. ใช้เวลานานในการอบแห้ง 4. ผลิตผลแห้งไม่สม่ำเสมอ

จากการวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียของการอบแห้งแบบต่างๆ แล้ว ทางผู้วิจัยได้ตัดสินใจเลือกการอบแห้งแบบตู้ในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด เพราะสร้างได้ง่าย ใช้พื้นที่น้อย ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี และใช้งานได้ง่าย

3.3 **การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด**

ทางผู้วิจัยได้ออกแบบให้เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด มีระบบให้ความร้อน 2 ระบบ คือจากขดลวดความร้อน (Heater) และจากระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อ เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และเป็นการช่วยลดปริมาณเปลือกหมากเหลือทิ้ง โดยแบ่งส่วนประกอบของเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) ตู้อบ และ 2) ระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อ รายละเอียดของการออกแบบเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด มีดังนี้

3.3.1 **การออกแบบตู้อบแห้ง**

การออกแบบในส่วนของตู้อบแห้งได้คำนวณหาปริมาณความร้อนรวมที่ต้องใช้ในการอบแห้ง เพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้อขดลวดความร้อนและมอเตอร์ของพัดลมดูดอากาศ ดังนี้

3.3.1.1 ข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ในการออกแบบตู้อบแห้ง

ในส่วนของข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ในการออกแบบตู้อบแห้ง ได้มีการทำการทดลองเบื้องต้น 2 การทดลองคือ การทดลองแรกทดลองเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกเฉลี่ยของเนื้อหมากแว่นสด การทดลองที่ 2 เป็นการทดลองเพื่อหาระยะเวลาในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด

(1) การทดลองเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกเฉลี่ยของเนื้อหมากแว่นสด จากการทดลองพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกเฉลี่ยของเนื้อหมากแว่นสดมีค่าประมาณ 83.05 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก (ตาราง ข-1) ทางผู้วิจัยจึงใช้ค่านี้ในการคำนวณ

(2) การทดลองเพื่อหาระยะเวลาในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด การทดลองในครั้งนี้ได้ใช้เตาอบยี่ห้อ Imarflex (ภาพประกอบ ญ-8) ในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด ทางผู้วิจัยได้เลือกใช้อุณหภูมิ 80 °C 100 °C และ 120 °C ในการอบแห้ง โดยทุกอุณหภูมิมีความเร็วลมเท่ากับ 0.8 เมตร/วินาที เท่ากัน ผลการทดลองเบื้องต้นพบว่า ถ้าอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดที่อุณหภูมิ 80 °C พบว่าได้หมากแว่นที่แห้งสนิท และผิวของหมากแว่นไม่ไหม้ ซึ่งต้องใช้เวลา 5 ชั่วโมงในการอบแห้ง (ตาราง ค-1) ถ้าใช้อุณหภูมิในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดที่ 100 °C พบว่าได้หมากแว่นที่แห้งสนิท และผิวของหมากแว่นไม่ไหม้ ซึ่งต้องใช้เวลา 3.5 ชั่วโมงในการอบแห้ง (ตาราง ค-2) และถ้าใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่ 120 °C พบว่าผิวหน้าของหมากแว่นไหม้ก่อนที่เนื้อหมากด้านในจะแห้ง (ตาราง ค-3) ทางผู้วิจัยจึงเลือกใช้อุณหภูมิ 100 °C และเวลา 3.5 ชั่วโมงในการคำนวณ

จากผลการทดลองเบื้องต้น ทางผู้วิจัยจึงใช้ข้อมูลในการคำนวณ ดังนี้ การอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดในแต่ละครั้งจะอบครั้งละ 25.5 กิโลกรัม ความชื้นของเนื้อหมากแว่นสดก่อนเข้าตู้อบแห้งเท่ากับ 83 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก อุณหภูมิอากาศก่อนนำเข้าตู้อบแห้งเท่ากับ 27 °C หรือ 300.15 °K อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเท่ากับ 100 °C หรือ 373.15 °K เวลาที่ใช้ในการอบแห้งเท่ากับ 3.5 ชั่วโมง จึงจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นหมากแว่นอบแห้งที่มีความชื้นไม่เกิน 12 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก ซึ่งตรงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (ภาคผนวก จ) แต่ทางผู้วิจัยได้กำหนดให้หมากแว่นอบแห้ง มีความชื้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกเพื่อให้แน่ใจว่าหมากแว่นอบแห้งแห้งสนิทแล้ว เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ศึกษาในส่วนของการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด ทางผู้วิจัยจึงได้กำหนดคุณลักษณะที่ต้องการของหมากแว่นอบแห้งเฉพาะ

ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น ส่วนคุณลักษณะอื่นๆ ที่ต้องการ เช่น ลักษณะทั่วไป สี จุลินทรีย์ จึงยังไม่กล่าวถึงในงานวิจัยนี้

3.3.1.2 **การคำนวณปริมาณความร้อนสำหรับอบแห้งผลิตภัณฑ์**

ปริมาณความร้อนส่วนใหญ่ของการอบแห้งจะมาจากปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ไปในการทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงขึ้น จากอุณหภูมิบรรยากาศไปยังอุณหภูมิที่ใช้สำหรับอบแห้ง จากข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ในการออกแบบตู้อบแห้งสามารถนำมาแทนในสมการแต่ละสมการเพื่อคำนวณหาค่าต่างๆ ได้

จากสมการ 2-11 ดังนั้น

$$Cp = 1.675 + 0.025\,(0.83)$$
$$= 1.696\ \frac{kJ}{kg \times {}^{\circ}K}$$

จากสมการ 2-12 ดังนั้น

$$Q_{PRODUCT} = 25.5\,kg \times 1.696\ \frac{kJ}{kg \times {}^{\circ}K} \times (373.15 - 300.15)^{\circ}K$$
$$= 3{,}157.10\,kJ$$

3.3.1.3 **การคำนวณปริมาณความร้อนสำหรับระเหยความชื้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์**

จากข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ในการออกแบบตู้อบแห้ง และค่าเอลทัลปีของน้ำที่อุณหภูมิเฉลี่ย (27 + 100)/2 = 63.5 °C หรือ 336.65 °K ซึ่งหาได้จากการเปิดตารางไอน้ำในหนังสือเทอร์โมไดนามิกส์ทั่วๆ ไปได้เท่ากับ 2,349.89 kJ/kg เมื่อนำมาคำนวณปริมาณความร้อนสำหรับระเหยความชื้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ จากสมการ 2-13 ดังนั้น

$$Q_{EVAP} = 25.5\,kg \times (0.83 - 0.10) \times 2{,}349.89\ \frac{kJ}{kg}$$
$$= 43{,}743.20\,kJ$$

3.3.1.4 **การคำนวณปริมาณความร้อนที่ทำให้วัสดุต่างๆ ภายในอุปกรณ์อบแห้งที่อุณหภูมิสูง**

กำหนดให้ค่า Cp ของเหล็กเท่ากับ 0.444 kJ/kg × °K และสมมุติให้น้ำหนักของเหล็กที่ใช้มาเป็นส่วนประกอบในการสร้างเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดประมาณ 40 กิโลกรัม จากสมการ 2-14 ดังนั้น

$$Q_{OTHER} = 40\,kg \times 0.444 \frac{kJ}{kg \times {}^{\circ}K} \times (373.15 - 300.15)\,{}^{\circ}K$$
$$= 1{,}296.48\,kJ$$

3.3.1.5 **การคำนวณปริมาณความร้อนที่สูญเสียให้กับบรรยากาศโดยรอบ**

ในที่นี้จากการออกแบบตู้อบให้มีการหุ้มฉนวนกันความร้อนหนาประมาณ 1 นิ้ว ซึ่งค่อนข้างหนา ทำให้มีการสูญเสียความร้อนค่อนข้างน้อย จึงสมมุติให้ปริมาณความร้อนที่สูญเสียให้กับบรรยากาศโดยรอบเท่ากับ 0.2 ของปริมาณความร้อนสำหรับอบแห้งผลิตภัณฑ์ ปริมาณความร้อนสำหรับระเหยความชื้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ และปริมาณความร้อนที่ทำให้วัสดุต่างๆ ภายในอุปกรณ์อบแห้งที่อุณหภูมิสูงรวมกัน จากสมการ 2-15 ดังนั้น

$$Q_{LOSS} = 0.2 \times (902.03 + 12{,}498.06 + 370.42)\,kJ$$
$$= 9{,}639.36\,kJ$$

3.3.1.6 **การคำนวณปริมาณความร้อนรวม**

ปริมาณความร้อนรวมที่ต้องใช้ในการอบแห้งจะได้จากปริมาณความร้อนข้างต้นรวมกันทั้งหมด จากสมการ 2-16 ดังนั้น

$$Q_{TOTAL} = 902.03 + 12{,}498.06 + 370.42 + 2{,}754.10\,kJ$$
$$= 57{,}836.14\,kJ$$

จากการทดลองเบื้องต้น (ตาราง ค-2) พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 °C ใช้เวลาในการอบแห้ง 3.5 ชั่วโมง จึงจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นหมากแว่นแห้งที่มีความชื้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก ดังนั้น การอบแห้งในเวลา 3.5 ชั่วโมง ต้องใช้ปริมาณความร้อนเท่ากับ

$$\text{ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้} = \frac{57{,}836.14\ \text{kJ}}{3.5\ \text{hr}}$$
$$= 16{,}524.61\ \frac{\text{kJ}}{\text{hr}}$$

ทางผู้วิจัยได้กำหนดให้ค่า Safety Factor ของปริมาณความร้อนเท่ากับ 1.5 ดังนั้น ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่จำเป็นต้องใช้จริงเท่ากับ

$$\text{Actual Load} = 16{,}524.61\ \frac{\text{kJ}}{\text{hr}} \times 1.5$$
$$= 24{,}786.92\ \frac{\text{kJ}}{\text{hr}}$$
$$= \frac{24{,}786.92}{3{,}600}\ \text{kW}$$
$$= 6.885\ \text{kW}$$
$$= 6{,}885\ \text{W}$$

ดังนั้น ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่จำเป็นต้องใช้จริงเท่ากับ 6,885 วัตต์ ทางผู้วิจัยจึงตัดสินใจเลือกใช้ขดลวดความร้อนขนาด 2,500 วัตต์ จำนวน 3 ตัว ซึ่งให้พลังงานความร้อนรวมเท่ากับ 7,500 วัตต์ เพื่อสามารถให้พลังงานความร้อนอย่างเพียงพอ

3.3.1.7 **การคำนวณปริมาณอากาศ (ลมร้อน) สำหรับอบแห้ง**

สมมุติให้ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศประมาณ 1 kJ/kg × °K และจากข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ในการออกแบบตู้อบแห้งอุณหภูมิอากาศก่อนนำเข้าตู้อบแห้งเท่ากับ 300.15 °K และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดเท่ากับ 373.15 °K จากสมการ 2-17 ดังนั้น

$$16{,}524.61\ \frac{kJ}{hr} = m_{AIR} \times 1\frac{kJ}{kg \times {}^{\circ}K} \times (373.15 - 300.15)\,{}^{\circ}K$$

$$m_{AIR} = \frac{16{,}524.61\frac{kJ}{hr}}{1\frac{kJ}{kg \times {}^{\circ}K} \times 73{}^{\circ}K}$$

$$m_{AIR} = 226.36\ \frac{kg}{hr}$$

$$\text{หรือ} \quad m_{AIR} = 0.063\ \frac{kg}{s}$$

ดังนั้น ต้องใช้อากาศสำหรับอบแห้งเท่ากับ $0.063\ \frac{kg}{s}$

3.3.1.8 **การคำนวณหาขนาดมอเตอร์ของพัดลมดูดอากาศ**

จากสมการ 2-18 กำหนดให้ความหนาแน่นของอากาศประมาณ 1 kg/m^3 ดังนั้น อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$Q = \frac{0.063\frac{kg}{s}}{1\frac{kg}{m^3}}$$

$$= 0.063\ \frac{m^3}{s}$$

จากสมการ 2-19 กำหนดให้ประสิทธิภาพของพัดลมเท่ากับ 0.5 จากการคำนวณอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศเท่ากับ 0.063 m^3/s และจากการทดสอบวัดการสูญเสียความดันของภายในตู้อบกับบรรยากาศภายนอกตู้อบ โดยใช้มาโนมิเตอร์ในการวัด ประมาณได้ว่าการสูญเสียความดันเท่ากับ 2,345 Pa (ณัฐวุฒิ คุษฎี, 2534) ดังนั้น

$$P_f = \frac{0.063 \frac{m^3}{s} \times 2{,}345\ Pa}{0.5}$$
$$= 295.47\ W$$

จากสมการ 2-20 สมมุติให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์เท่ากับ 0.5 ดังนั้น

$$P_m = \frac{295.47\ W}{0.5}$$
$$= 590.94\ W$$
$$= \frac{590.94\ W}{746\ W}$$
$$= 0.79\ HP$$

ดังนั้น ทางผู้วิจัยจึงตัดสินใจเลือกมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า เพื่อป้องกันการทำงานเกินกำลังของมอเตอร์

3.3.2 **การออกแบบระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อ**

เป็นการคำนวณหาจำนวนท่อที่ต้องใช้ ในระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อ ซึ่งมีขั้นตอนในการคำนวณ ดังนี้

(1) หาค่า Pr, ρ, k และ u

กำหนดให้อุณหภูมิห้องเท่ากับ 27 °C และอุณหภูมิผิวนอกของท่อเหล็กเท่ากับ 73 °C ดังนั้น หาคุณสมบัติของอากาศที่อุณหภูมิ (27 °C + 73°C)/2 = 50 °C หรือ 323.15 °K เพื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่า $\bar{h}$ โดยแทนในสมการ 2-23 จากการเปิดตารางในหนังสือเทอร์โมไดนามิคทั่วๆ ไปมีค่าดังนี้คือ

$$Pr = 0.704$$
$$\rho = 1.084\ kg/m^3$$
$$k = 28.013 \times 10^{-3}\ W/m \times {}^{\circ}K$$
$$\mu = 195.525 \times 10^{-7}\ kg/m \times s$$

(2) กำหนดค่า S_1/d และ S_2/d

ออกแบบให้ $S_1/d = 2.5$ เพราะถ้า S_1/d น้อยกว่า 2.5 จะทำให้การเชื่อมท่อทำได้ยาก แต่ถ้า S_1/d มากกว่า 2.5 จะทำให้ความสูงของตู้อบสูงมากเกินไป ดังนั้น $S_1 = 0.04$ เมตร $\times$ 2.5 = 0.1 เมตร และ กำหนดให้ $S_2/d = 2.5$ เพราะถ้า S_2/d น้อยกว่า 2.5 จะทำให้การเชื่อมท่อทำได้ยาก แต่ถ้า S_2/d มากกว่า 2.5 จะทำให้ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีค่าน้อยลงทำให้ต้องใช้จำนวนท่อมากขึ้น ดังนั้น $S_2 = 0.04$ เมตร $\times$ 2.5 = 0.1 เมตร

(3) คำนวณหาค่า U_{max}

เมื่อเปิดพัดลมดูดอากาศแล้ว จากการทดลองวัดความเร็วของอากาศก่อนกระทบกับท่อพบว่ามีความเร็ว 8.5 เมตร/วินาที และกำหนดให้ระยะ S_1 เท่ากับ 0.1เมตร ระยะ S_2 เท่ากับ 0.1 เมตร แทนค่าในสมการ 2-21 เพื่อหาค่าความเร็วสูงสุดท่อ

ดังนั้น $$U_{max} = 8.5\frac{m}{s} \times \left(\frac{0.1\,m}{0.1\,m - 0.04\,m}\right)$$

$$= 14.17\ \frac{m}{s}$$

(4) คำนวณหาค่า $R_{e,max}$

นำค่า ρ และ μ ที่ได้จากการเปิดตารางในหนังสือเทอร์โมไดนามิคทั่วๆ ไป มาแทนในสมการ 2-22 เพื่อหาค่า $R_{e,max}$

ดังนั้น $$R_{e,max} = \frac{1.084\ \frac{kg}{m^3} \times 14.17\ \frac{m}{s} \times 0.04\ m}{(195.525 \times 10^{-7})\ \frac{kg}{m \times s}}$$

$$= 31{,}423.66$$

(5) คำนวณหาค่า $\bar{h}$

จากการเปิดตารางที่ 2-2 จะได้ค่า D เท่ากับ 0.563 ค่า P เท่ากับ 0.466 นำค่า D, P และ Pr, k ที่ได้จากการเปิดตารางในหนังสือเทอร์โมไดนามิคทั่วๆ ไปมาแทนในสมการ 2-23 เพื่อหาค่า $\bar{h}$ จากสมการ 2-23 ดังนั้น

$$\bar{h} = \frac{1.13 \times 0.563 \times 31{,}423.66^{0.466} \times 0.704^{\frac{1}{3}} \times 28.013 \times 10^{-3} \frac{W}{m \times {}^{\circ}K}}{0.04\,m}$$

$$= 49.41 \frac{W}{m^2 \times {}^{\circ}K}$$

(6) คำนวณหาจำนวนท่อที่ต้องใช้

การออกแบบกลุ่มท่อจะออกแบบให้มีการดัดท่อเป็นรูปตัวยูเพื่อให้ความร้อนอยู่ในท่อนานขึ้นทำให้ใช้พลังงานความร้อนอย่างเกิดประโยชน์สูงสุด โดยการดัดท่อนั้นจะต้องมีจำนวนแถวเท่ากับ 4 แถว 8 แถว 12 แถวหรือ 16 แถว เพื่อจะได้ดัดโค้งให้เข้าคู่กันได้ ส่วนจำนวนท่อในแต่ละแถวนั้นควรจะมีไม่เกินแถวละ 3 ท่อเพราะถ้าจำนวนท่อมากกว่า 3 ท่อในแต่ละแถวจะทำให้ตู้อบมีความสูงมากเกินไป จะทำให้เกิดความยากลำบากในการอบแห้งได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงออกแบบให้กลุ่มท่อมี 8 แถว แถวละ 3 ท่อซึ่งจะทำให้ได้ผลรวมของความยาวท่อมาก และความสูงของตู้อบไม่มากเกินไป ส่วนการออกแบบในแบบอื่นๆ ที่ไม่ตัดสินใจเลือกเพราะ

ถ้าออกแบบให้กลุ่มท่อมี 4 แถวแถวละ 3 ท่อ จะทำให้ตู้อบมีความสูงไม่มากเกินไปแต่จะทำให้ได้พื้นที่ผิวท่อค่อนข้างน้อย

ถ้าออกแบบให้กลุ่มท่อมี 4 แถวแถวละ 4 ท่อ จะทำให้ตู้อบมีความสูงมากเกินไปเพราะแต่ละแถวมี 4 ท่อ

ถ้าออกแบบให้กลุ่มท่อมี 8 แถวแถวละ 2 ท่อ ความสูงของตู้อบไม่มากเกินไปแต่จะทำให้ได้พื้นที่ของผิวท่อน้อยกว่าแบบ 8 แถวแถวละ 3 ท่อ

ถ้าออกแบบให้กลุ่มท่อมี 12 แถวแถวละ 2 ท่อ ความสูงของตู้อบไม่มากเกินไปแต่จะทำให้โครงสร้างของกลุ่มท่อมี 3 ชั้น โดยท่อชั้นในสุดจะมีความยาวท่อสั้นเกินไป ซึ่งจะทำให้ใช้พลังงานความร้อนไม่คุ้มค่า และท่อชั้นนอกสุดจะยาวมากเกินไปจะทำให้โครงสร้างของตู้อบยื่นออกมาด้านหน้าตู้อบ

ถ้าออกแบบให้กลุ่มท่อมี 16 แถวแถวละ 2 ท่อ ความสูงของตู้อบไม่มากเกินไปแต่จะทำให้โครงสร้างของกลุ่มท่อมี 4 ชั้น โดยท่อชั้นในสุดจะมีความยาวท่อสั้นเกินไป ซึ่งจะทำให้ใช้พลังงานความร้อนไม่คุ้มค่า และท่อชั้นนอกสุดจะยาวมากเกินไปจะทำให้โครงสร้างของตู้อบยื่นออกมาด้านหน้าตู้อบ

จากการออกแบบได้ออกแบบท่อให้มีจำนวนแถว 8 แถว ค่า $\bar{h}$ เมื่อมีจำนวนแถว 8 แถวจะมีค่า 0.91 ของค่า $\bar{h}$ ที่คำนวณได้ (ตาราง 2-3) และ (T_h-T_c) คือผลต่างระหว่างอุณหภูมิ

ผิวท่อกับอุณหภูมิของบรรยากาศ ซึ่งจากการวัดอุณหภูมิผิวท่อขณะทำการทดลองเผาเปลือกหมากผิวท่อมีอุณหภูมิเท่ากับ 73 °C อุณหภูมิของบรรยากาศเท่ากับ 27 °C และกำหนดให้ค่า Safety Factor ของปริมาณความร้อนเท่ากับ 1.5 ดังนั้น ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่จำเป็นต้องใช้จริงเท่ากับ 6,885 วัตต์ จากนั้นนำค่าต่างๆที่ได้มาแทนในสมการ 2-9 เพื่อหาพื้นที่ของท่อที่ต้องการใช้ ดังนั้น

$$A = \frac{Q}{\bar{h} \times (T_h - T_c)}$$

$$A = \frac{6{,}885\,W}{49.41\frac{W}{m^2 \times {}^\circ K} \times 0.91 \times 46\,{}^\circ K}$$

$$A = 3.33\,m^2$$

จากการใช้คอมพิวเตอร์ในการเขียนแบบได้คำนวณความยาวของท่อวงนอกได้เท่ากับ 2.47 เมตรและความยาวของท่อวงในได้เท่ากับ 2.25 เมตร (ภาคผนวก ฎ-4) ซึ่งท่อวงในและท่อวงนอกจะขดเป็นรูปตัวยูได้จำนวนท่อเท่ากับ 4 ท่อ ดังนั้นคิดเป็นความยาวเฉลี่ยท่อละ 1.18 เมตร ดังนั้น

$$\text{จำนวนท่อที่ต้องใช้ในการสร้าง} = \frac{3.33\,m^2}{\pi \times 0.04\,m \times 1.18\,m}$$

$$= 22.46 \text{ ท่อ}$$

แสดงว่าการออกแบบท่อให้มีจำนวนแถว 8 แถวแถวละ 3 ท่อ ซึ่งเท่ากับ 24 ท่อ สามารถให้ความร้อนเพียงพอกับความต้องการ

3.4 การดำเนินการทดสอบการทำงานเบื้องต้นของเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบการทำงานเบื้องต้นของเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงาน อุณหภูมิภายในตู้อบ เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเนื้อหมากแว่นหลังจากทำการอบแห้งแล้ว และค่าไฟฟ้าในล็อตที่ 1 และล็อตที่ 2 ว่าต่างกันอย่างไร โดยได้ทำการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดล็อตละ 25.5 กิโลกรัม ด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C ระดับ

ความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที เพราะเป็นสภาวะที่สามารถอบแห้งได้เร็วที่สุดจากการทดลองอบแห้งเบื้องต้น (ตาราง ฉ-18) โดยการอบแห้งในล็อตที่ 1 จะเริ่มทำการอบแห้งที่อุณหภูมิห้อง ส่วนการอบแห้งในล็อตที่ 2 จะสมมุติสภาวะให้เหมือนกับการอบแห้งต่อจากล็อตที่1 โดยจะเซตอุณหภูมิในตู้อบให้ถึง 100 °C จากนั้นเปิดตู้อบและใส่เนื้อหมากแว่นสดในล็อตที่ 2 แล้วดำเนินการอบแห้งต่อไป

3.4.1 **วัสดุอุปกรณ์**

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินการวิจัย (ภาพประกอบ ญ-1 ถึง ภาพประกอบ ญ-7) มีดังนี้

(1) เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด

(2) เนื้อหมากแว่นสดที่หั่นแล้วมีความหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร

(3) เปลือกหมากแห้ง

(4) เครื่องชั่งน้ำหนักขนาด 7 กิโลกรัม

(5) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 3 ตำแหน่ง

(6) เครื่องวัดความเร็วลมแบบใบพัด (Vane Anemometer)

(7) ตู้อบไฟฟ้า (Hot Air Oven)

3.4.2 **การทดสอบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดครั้งละ** 25.5 **กิโลกรัม ในล็อตที่** 1 **ด้วยอุณหภูมิ** 100 °C **ความเร็วลม** 0.72 **เมตร/วินาที**

วิธีการดำเนินการทดสอบ

(1) นำเนื้อหมากแว่นสดมาล้างทำความสะอาด

(2) นำมาเกลี่ยใส่ถาดๆ ละ 1.700 กิโลกรัม โดยสุ่มหยิบเนื้อหมาก 10 กรัม จำนวน 3 ชุด ของทุกๆ ถาดทั้งหมด 15 ถาด (นำไปหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของแต่ละถาด)

(3) นำเนื้อหมากแว่นสดทั้ง 15 ถาดใส่ในตู้อบแห้ง ดังแสดงในภาพประกอบ 3-10 ปิดตู้อบ

(4) เซตอุณหภูมิที่ 100 °C และความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที จากนั้นบันทึกอุณหภูมิและค่าไฟฟ้าตอนเริ่มอบแห้งและบันทึกอีกทุกๆ 30 นาที

(5) ในช่วงแรกเปิดลิ้นระบายความชื้นเพื่อระบายความชื้นทิ้ง จนอุณหภูมินิ่งจึงเริ่มปิดลิ้น

(6) เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 100 °C อบต่ออีก 1 ชั่วโมง 30 นาที

(7) เมื่อครบเวลาเปิดตู้อบและนำถาดแต่ละถาดไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเนื้อหมาก

ภาพประกอบ 3-10 การบรรจุเนื้อหมากแว่นสดก่อนทำการอบแห้งในล็อตที่ 1

3.4.3 **การทดสอบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดครั้งละ** 25.5 **กิโลกรัม ในล็อตที่** 2 **ด้วยอุณหภูมิ** 100 ◦C **ความเร็วลม** 0.72 **เมตร/วินาที**

วิธีการดำเนินการทดสอบ

การทดสอบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดครั้งละ 25.5 กิโลกรัม ในล็อตที่ 2 ด้วยอุณหภูมิ 100 ◦C ความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที จะทำการทดสอบคล้ายกับการทดสอบในหัวข้อ 3.4.2 เพียงแต่เซตอุณหภูมิในตู้อบให้มีอุณหภูมิ 100 °C ก่อนทำการทดสอบ จากนั้นจึงเริ่มใส่เนื้อหมากแว่นสด และทำการทดสอบเหมือนเดิม ดังแสดงในภาพประกอบ 3-11

ภาพประกอบ 3-11 การบรรจุเนื้อหมากแว่นสดในรถเข็นก่อนทำการอบแห้งในล็อตที่ 2

3.4.4 **การเก็บข้อมูลในระหว่างการทดสอบ**

ข้อมูลที่ต้องเก็บและบันทึกทุกครั้งที่ทำการทดสอบ คือ

(1) อุณหภูมิ

(1.1) อุณหภูมิลมร้อนขณะเข้าสู่ระบบ : โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลบันทึกอุณหภูมิขาเข้าทุกๆ 30 นาที

(1.2) อุณหภูมิลมร้อนก่อนผ่านตัวอย่าง : โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลบันทึกอุณหภูมิก่อนที่ลมร้อนจะเข้าถาดที่ 1 ถาดที่ 8 และถาดที่ 15 ทุกๆ 30 นาที

(1.3) อุณหภูมิหลังผ่านตัวอย่างแล้ว : โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลบันทึกอุณหภูมิขาออกทุกๆ 30 นาที

(2) ความชื้นของเนื้อหมากแว่น : ทำการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเนื้อหมากแว่นสดก่อนทำการอบแห้ง โดยทำการสุ่มเนื้อหมากแว่นสดแต่ละถาด ถาดละ 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 10 กรัม แล้วนำไปอบจนแห้งสนิทเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเนื้อหมากแว่นก่อนอบแห้ง และทำการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเนื้อหมากแว่นหลังทำการอบแห้ง โดยการชั่งน้ำหนักเนื้อหมากแว่นก่อนทำการอบแห้งและหลังทำการอบแห้งในทุกๆ ถาด แล้วนำมาคำนวณเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยใช้สมการที่ 2-1 และ 2-2

(3) ค่าไฟฟ้า : จะทำการวัดค่ายูนิตไฟฟ้าที่ใช้ตั้งแต่เริ่มทำการอบและทุกๆ 30 นาที

บทที่ 4
ผลการทดลองและบทวิจารณ์

4.1 รายละเอียดของเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด

ผลที่ได้จากการคำนวณซึ่งนำมาใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดมีดังนี้

(1) จากการคำนวณปริมาณความร้อนรวมที่ใช้ในการอบแห้งเท่ากับ 6,885 วัตต์ ดังนั้นจึงเลือกใช้ขดลวดความร้อนขนาด 2,500 วัตต์ จำนวน 3 ตัว ซึ่งมีปริมาณความร้อนรวมเท่ากับ 7,500 วัตต์

(2) จากการคำนวณต้องใช้มอร์เตอร์ของพัดลมดูดอากาศขนาด 0.79 แรงม้า จึงตัดสินใจเลือกมอเตอร์ของพัดลมดูดอากาศขนาด 1 แรงม้า เพื่อป้องกันการทำงานเกินกำลังของมอเตอร์

(3) จากการเกลี่ยหมากในพื้นที่ 0.7 เมตร × 0.7 เมตร จะได้น้ำหนักเนื้อหมากแว่นสดเท่ากับ 1.7 กิโลกรัม ดังนั้นจึงออกแบบให้ตู้อบมีถาดทั้งหมด 15 ถาด ซึ่งจะสามารถอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดได้ครั้งละ 25.5 กิโลกรัม

(4) ออกแบบให้กลุ่มท่อมี 8 แถว แถวละ 3 ท่อซึ่งจะเท่ากับ 24 ท่อ แต่ละท่อยาวเฉลี่ยท่อละ 1.18 เมตร เพื่อให้ได้ปริมาณความร้อนตามต้องการและไม่ทำให้ตู้อบมีความสูงหรือความกว้างมากเกินไป

จากข้อมูลเบื้องต้นได้ใช้ในการสร้างเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด โดยแบ่งเป็นส่วนประกอบหลักๆ 2 ส่วน คือส่วนของตู้อบแห้ง และส่วนของระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อ ซึ่งมีรายละเอียด (ภาพประกอบ 4-1 ถึง ภาพประกอบ 4-6) ดังนี้

คำอธิบายภาพประกอบที่ 4-1 ถึง 4-6

(1) ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด

(2) พัดลมดูดอากาศ

(3) ประตูตู้อบแห้ง

(4) ระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อ

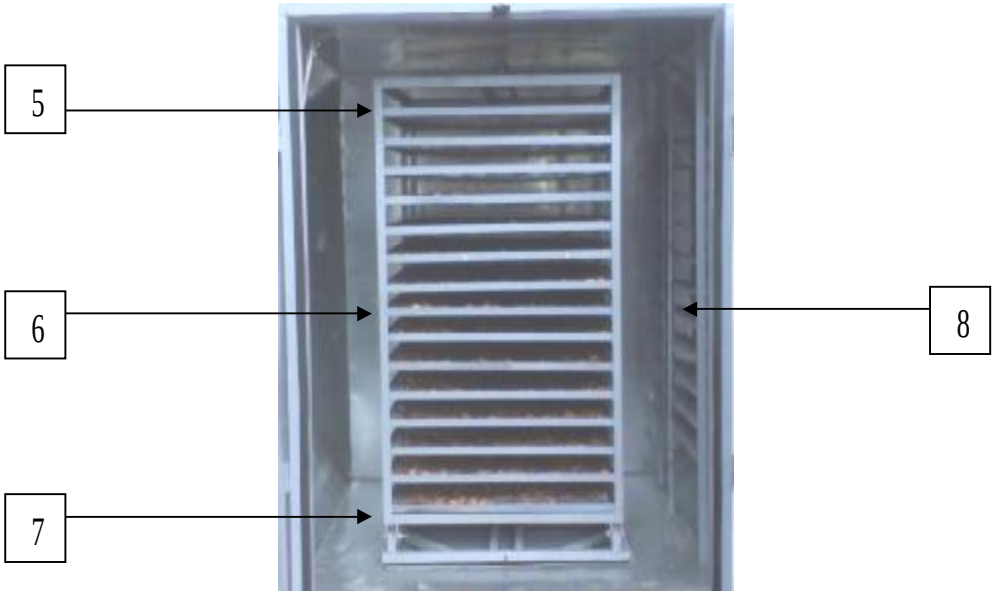
(5) ตำแหน่งของถาดที่ 1

(6) ตำแหน่งของถาดที่ 8

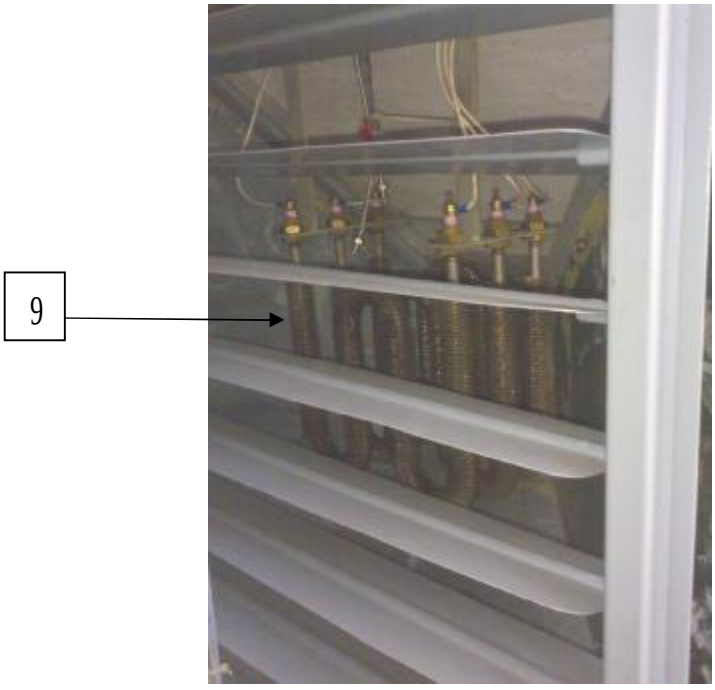
(7) ตำแหน่งของถาดที่ 15

(8) ฟินกระพือลม
(9) ขดลวดความร้อนขนาด 2,500 วัตต์ จำนวน 3 ตัว
(10) ลิ้นปิดเปิดตัวที่ 1
(11) ลิ้นปิดเปิดตัวที่ 2
(12) ปล่องควัน
(13) ท่อระบายอากาศ
(14) ลิ้นปิดเปิดตัวที่ 3
(15) ห้องเผาไหม้
(16) ลิ้นปิดเปิดตัวที่ 4
(17) วาล์วผีเสื้อ

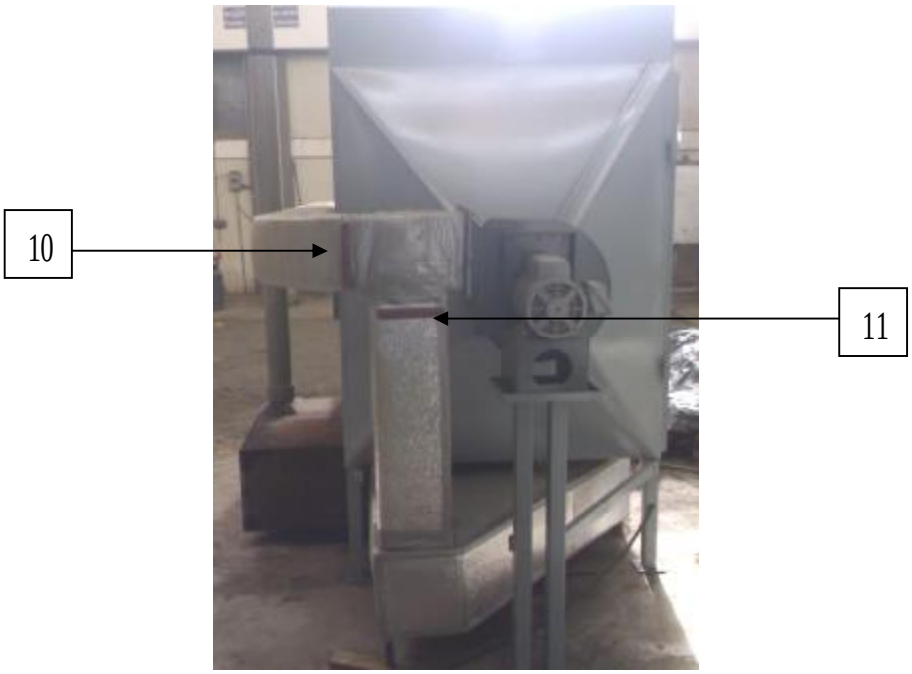
ภาพประกอบ 4-1 ด้านหน้าของเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด



ภาพประกอบ 4-2 ภายในของเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด

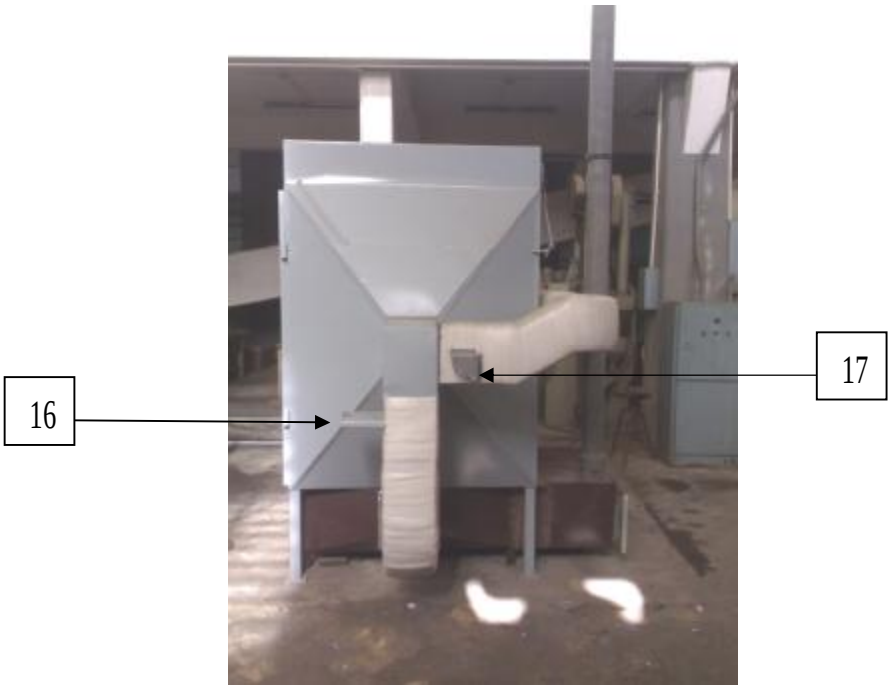


ภาพประกอบ 4-3 การเรียงตัวของขดลวดความร้อน



ภาพประกอบ 4-4 ด้านซ้ายของเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด

ภาพประกอบ 4-5 ด้านหลังของเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด



ภาพประกอบ 4-6 ด้านขวาของเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด

4.1.1 **รายละเอียดของตู้อบแห้ง**

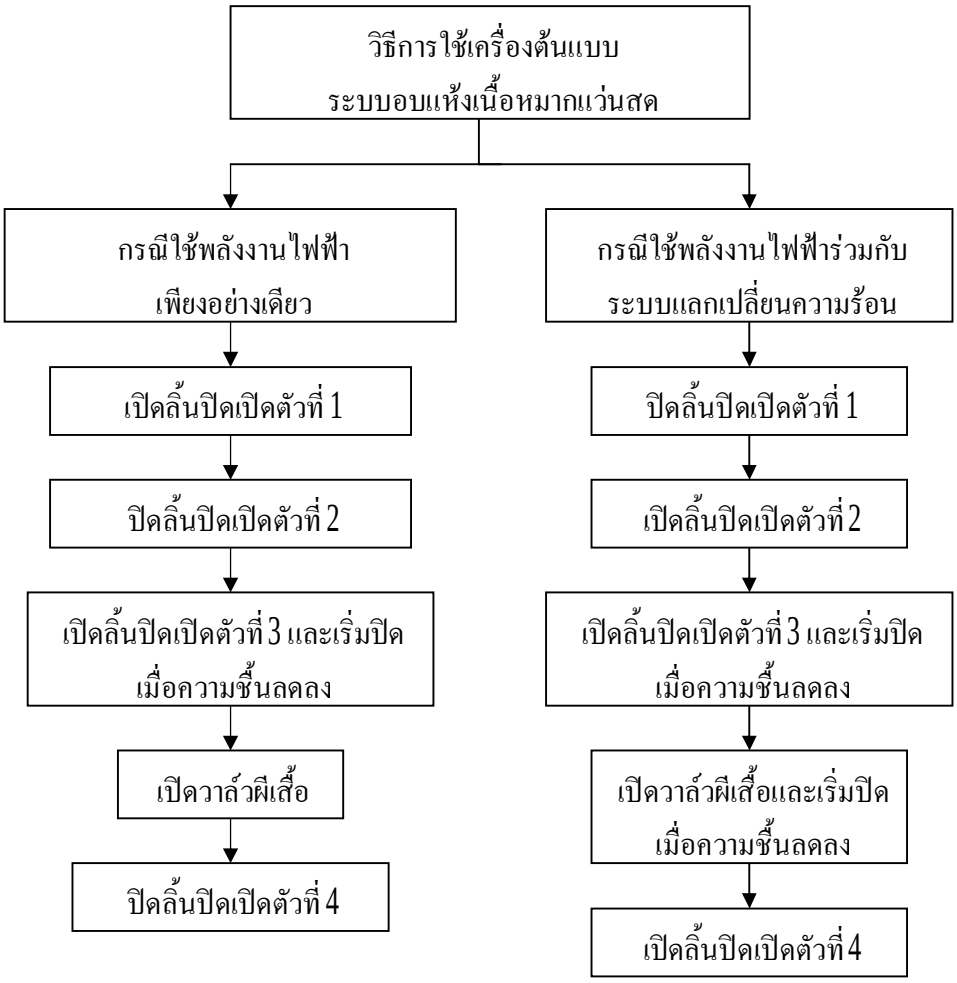
ตู้อบแห้งตั้งอยู่บริเวณด้านบนของระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อ ลักษณะของตู้อบแห้งมีขนาดกว้าง × ยาว × สูง เท่ากับ 1.20 เมตร × 1.20 เมตร × 1.95 เมตร ถ้านับเฉพาะส่วนของตู้อบแห้งจะมีส่วนสูงของตู้อบแห้ง 1.55 เมตร ตู้อบแห้งสามารถอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดได้ครั้งละ 25.5 กิโลกรัม โดยการบรรจุเนื้อหมากแว่นสดใส่ในตู้อบ จะใส่เนื้อหมากแว่นสดในรถเข็นซึ่งมีถาดใส่เนื้อหมากแว่นสดทั้งหมด 15 ถาด ซึ่งสร้างโดยการใช้ตะแกรงเหล็กมาซ้อนกันเพื่อป้องกันเนื้อหมากแว่นสดหล่น แต่ละถาดจะมีความกว้าง × ยาว × สูง เท่ากับ 0.7 เมตร × 0.7 เมตร × 0.02 เมตร มีระยะห่างกันถาดละ 0.075 เมตร เมื่อเข็นรถเข็นใส่ไว้ในส่วนของฐานในตู้อบแล้ว ก็จะใช้ตัวยึดเพื่อยึดไม่ให้รถเข็นเคลื่อนที่ โดยขณะอบ รถเข็นจะมีอัตราการหมุน 3 รอบ/นาที ด้านซ้ายของตู้อบจะประกอบด้วยพัดลมดูดอากาศขนาด 1 แรงม้า สำหรับดูดอากาศเย็นจากด้านขวาเพื่อให้อากาศเย็นผ่านขดลวดความร้อนซึ่งอยู่ทางด้านขวาของตู้อบ ซึ่งมีขนาด 2,500 วัตต์ จำนวน 3 ตัว เมื่ออากาศเย็นกลายเป็นอากาศร้อน อากาศร้อนจะถูกดูดโดยพัดลมดูดอากาศผ่านฟินกระพือลมซึ่งอยู่ถัดจากขดลวดความร้อน โดยฟินกระพือลมจะกระพือขึ้นลง 6 ครั้ง/นาที การหมุนของถาดหมุนจะใช้มอเตอร์ขนาด 0.5 แรงม้า ในการหมุนและใช้เฟือง

ในการทดแรงเพื่อมาทำการขับเคลื่อนการกระพือขึ้นลงของฟินกระพือลม ทำให้อากาศร้อนกระจายไปทั่วตู้อบ ลมร้อนจะผ่านถาดทุกๆ ถาดซึ่งหมุนอยู่ ซึ่งทำให้เนื้อหมากแว่นสดได้รับลมร้อนทั่วทั้งถาดในทุกๆ ถาด และหลังจากพัดลมดูดอากาศมาก็จะเป่าอากาศเข้าไปในท่อระบายอากาศซึ่งจะอยู่ด้านหลังตู้อบ ซึ่งบริเวณส่วนแรกของท่อระบายอากาศจะต่อจากพัดลมดูดอากาศมีลิ้นปิดเปิดสองตัวคือ ลิ้นปิดเปิดตัวที่หนึ่งและลิ้นปิดเปิดตัวที่สอง โดยลิ้นปิดเปิดตัวที่หนึ่งจะอยู่ด้านข้างของพัดลมดูดอากาศ ส่วนลิ้นปิดเปิดตัวที่สองจะอยู่ด้านล่างของพัดลมดูดอากาศ บริเวณกลางท่อระบายอากาศจะมีลิ้นปิดเปิดตัวที่สามที่ใช้ปิดเปิดเพื่อระบายอากาศที่มีความชื้นทิ้ง บริเวณปลายท่อระบายอากาศซึ่งอยู่ก่อนจะถึงบริเวณที่ติดตั้งขดลวดความร้อนจะมีวาล์วผีเสื้อ 1 ตัวไว้สำหรับปิดเปิดให้อากาศเข้าออกและด้านล่างของวาล์วผีเสื้อจะมีลิ้นปิดเปิดตัวที่สี่ ในกรณีที่จะใช้ความร้อนจากขดลวดความร้อนเพียงอย่างเดียว จะเปิดลิ้นปิดเปิดตัวที่หนึ่ง ปิดลิ้นปิดเปิดตัวที่สอง เปิดลิ้นปิดเปิดตัวที่สามและเริ่มปิดเมื่อความชื้นลดลง เปิดวาล์วผีเสื้อและปิดลิ้นปิดเปิดตัวที่สี่เพื่อให้อากาศไหลเวียนเฉพาะส่วนของตู้อบกับท่อระบายอากาศ ดังแสดงในภาพประกอบ 4-7 โดยการควบคุมความแรงของลมนั้น จะควบคุมโดยใช้วาล์วผีเสื้อในการควบคุม ถ้าต้องการความเร็วลมมากจะเปิดวาล์วผีเสื้อเต็มที่ แต่ถ้าต้องการความเร็วลมน้อยให้เปิดวาล์วผีเสื้อแค่ครึ่งเดียว

4.1.2 **รายละเอียดของระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อ**

ในส่วนของระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อนี้จะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนของห้องเผาไหม้และส่วนของกลุ่มท่อ โดยในส่วนของห้องเผาไหม้จะก่อด้วยอิฐมวลเบาทนความร้อน โดยห้องเผาไหม้มีขนาดความกว้าง × ความยาว × ความสูง เท่ากับ 0.53 เมตร × 0.37 เมตร × 0.34 เมตร ด้านล่างของห้องเผาไหม้จะมีตะแกรงสูงจากพื้นดิน 0.09 เมตร สำหรับให้อากาศเข้าในห้องเผาไหม้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้ ส่วนตรงพื้นของห้องเผาไหม้จะมีถาดเหล็กไว้รองเศษขี้เถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ ตรงประตูของห้องเผาไหม้จะมีบานเลื่อนเพื่อเปิด-ปิด เพื่อให้อากาศเข้า ในส่วนของกลุ่มท่อ จะใช้เหล็กคาร์บอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.04 เมตร โดยมีท่อทั้งหมด 12 ท่อ แต่จะม้วนท่อเป็นรูปตัวยูจนมีจำนวนท่อ 24 ท่อ โดยจัดเรียงท่อเป็น 8 แถว แถวละ 3 ท่อ แต่ละท่อจะยาวเฉลี่ยท่อละ 1.18 เมตร แต่ละท่อจะมีระยะ S_1 เท่ากับ 0.1 เมตร และระยะ S_2 เท่ากับ 0.1 เมตร การจัดเรียงท่อจะจัดเรียงท่อแบบสลับ (ภาพประกอบ 2-7) ตรงส่วนปลายของกลุ่มท่อจะมีปล่องควันซึ่งเป็นท่อปูนมีส่วนสูง 4 เมตร กรณีที่ใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อนจากระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อ โดยการนำเปลือกหมากแห้งมาเผาในห้องเผาไหม้ ควันไฟซึ่งมีความร้อนก็จะเข้าไปในกลุ่มท่อ ทำให้ผิวท่อ

ด้านในของกลุ่มท่อทั้งหมดมีความร้อนและถ่ายเทความร้อนมายังผิวท่อด้านนอก ทำให้ผิวท่อด้านนอกมีความร้อนเช่นเดียวกัน จากนั้นเปิดพัดลมดูดอากาศ ปิดลิ้นปิดเปิดตัวที่หนึ่ง เปิดลิ้นปิดเปิดตัวที่สอง เปิดลิ้นปิดเปิดตัวที่ 3 และเริ่มปิดเมื่อความชื้นลดลง เปิดวาล์วผีเสื้อและเริ่มปิดเมื่อความชื้นลดลง และเปิดลิ้นปิดเปิดตัวที่สี่ ดังแสดงในภาพประกอบ 4-7 เพื่อให้พัดลมดูดอากาศดูดอากาศเย็นจากในตู้อบและเป่าผ่านลิ้นปิดเปิดตัวที่สองซึ่งเปิดอยู่ มาปะทะกับกลุ่มท่อที่อยู่ด้านล่างทำให้อากาศเย็นได้รับความร้อนจากผิวของกลุ่มท่อ จึงกลายเป็นอากาศร้อน อากาศร้อนจะผ่านลิ้นปิดเปิดตัวที่สี่ ผ่านขดลวดความร้อนและฟันกระพือลมเข้าสู่ตู้อบ และถูกพัดลมดูดอากาศดูดอากาศหมุนวนอยู่อย่างนี้ ถ้าต้องการควบคุมความเร็วลม กรณีต้องการความเร็วลมสูงก็เปิดลิ้นปิดเปิดตัวที่สี่เต็มที่ แต่ถ้าต้องการความเร็วลมน้อยก็เปิดลิ้นปิดเปิดตัวที่สี่แค่ครึ่งเดียว



ภาพประกอบ 4-7 วิธีการใช้เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด

4.2 ผลการทดสอบเบื้องต้นในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด

ในการทดสอบใช้เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด ได้ทดสอบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด 2 ล็อต ล็อตละ 25.5 กิโลกรัม มีผลการทดสอบเบื้องต้น ดังนี้

4.2.1 ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเนื้อหมากแว่นก่อนทำการอบแห้งและหลังทำการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 100 °C และความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที ในล็อตที่ 1 และล็อตที่ 2

จากการทดลองเบื้องต้นในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดแบบเต็มความสามารถของตู้อบแห้งในล็อตที่ 1 และล็อตที่ 2 (ภาพประกอบ 4-8 และ 4-9) คือ อบแห้งเนื้อหมากแว่นสดด้วยอุณหภูมิ 100 °C ความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที อบแห้งครั้งละ 25.5 กิโลกรัม ซึ่งมีค่าความชื้นเฉลี่ยเริ่มต้นของเนื้อหมากแว่นสดในล็อตที่ 1 และล็อตที่ 2 เท่ากับ 501.26 และ 503.92 % (Dry Basis) (ตาราง 4-1) โดยการอบแห้งในล็อตที่ 1 ใช้เวลาในการอบแห้ง 3 ชั่วโมง 30 นาที และการอบแห้งในล็อตที่ 2 ใช้เวลาในการอบแห้ง 3 ชั่วโมง จากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นเฉลี่ยสุดท้ายของเนื้อหมากแว่นอบแห้งในล็อตที่ 1 และล็อตที่ 2 เท่ากับ 10.45 และ 10.56 % (Dry Basis) ตามลำดับ (ตาราง 4-2) ซึ่งตรงตามความต้องการของท้องตลาด (ภาคผนวก จ) คือมีความชื้นไม่เกิน 13.6 % (Dry Basis) หรือ 12 % (Wet Basis) (ภาพประกอบ 4-10 และภาพประกอบ 4-11)

ภาพประกอบ 4-8 เนื้อหมากแว่นสดก่อนทำการอบแห้งในล็อตที่ 1

ภาพประกอบ 4-9 เนื้อหมากแว่นสดก่อนทำการอบแห้งในล็อตที่ 2

ตารางที่ 4-1 ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (M_d) ของเนื้อหมากแว่นสดก่อนทำการอบแห้งในล็อตที่ 1 และล็อตที่ 2

ถาดที่	ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของเนื้อหมากแว่นสดก่อนอบแห้งในล็อตที่ 1 (%, d.b.)	ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของเนื้อหมากแว่นสดก่อนอบแห้งในล็อตที่ 2 (%, d.b.)
1	488.24	553.85
2	464.78	566.67
3	525.00	525.00
4	541.51	502.84
5	490.28	486.21
6	476.27	518.18
7	464.78	502.84
8	480.20	536.70
9	531.97	472.39
10	546.39	484.19
11	541.51	500.71
12	500.71	476.27
13	480.20	484.19
14	502.84	470.47
15	484.19	478.23
เฉลี่ย	501.26	503.92

ภาพประกอบ 4-10 เนื้อหมากแว่นอบแห้งหลังจากทำการอบแห้งในล็อตที่ 1

ภาพประกอบ 4-11 เนื้อหมากแว่นอบแห้งหลังจากทำการอบแห้งในล็อตที่ 2

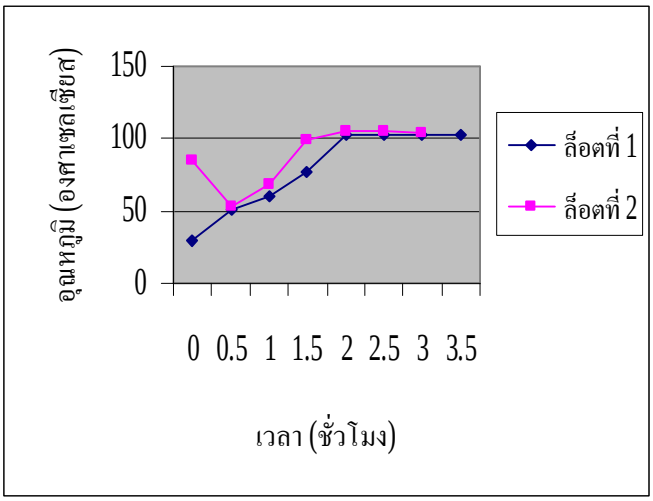
ตารางที่ 4-2 ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (M_d) ของเนื้อหมากแว่นอบแห้งหลังทำการอบแห้งในล็อตที่ 1 และล็อตที่ 2

ถาดที่	ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของเนื้อหมากแว่นหลังอบแห้งในล็อตที่ 1 (%, d.b.)	ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของเนื้อหมากแว่นหลังอบแห้งในล็อตที่ 2 (%, d.b.)
1	11.07	9.62
2	10.30	10.20
3	9.93	9.93
4	9.06	10.64
5	10.42	11.03
6	10.85	8.73
7	10.63	11.35
8	9.56	10.49
9	10.41	11.45
10	9.51	11.34
11	10.57	9.89
12	11.31	10.85
13	11.60	11.34
14	10.28	11.07
15	11.34	10.54
เฉลี่ย	10.45	10.56

4.2.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดด้วยอุณหภูมิ 100 °C และความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที ในล็อตที่ 1 และล็อตที่ 2

จากการทดลองอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดในล็อตที่ 1 พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยก่อนทำการอบแห้งเท่ากับ 29.5 °C ซึ่งในการอบแห้งช่วงแรกนั้น จะทำการเปิดลิ้นระบายความชื้นเพื่อระบายความชื้นทิ้งไป เพราะมีความชื้นอยู่ค่อนข้างสูง อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งค่อยๆ สูงขึ้น

อย่างต่อเนื่อง จนอบแห้งไปได้ประมาณ 1 ชั่วโมง 17 นาที อุณหภูมิเฉลี่ยในตู้อบแห้งเริ่มนิ่งอยู่ที่ 65.33 °C ผู้ทำการทดลองจึงเริ่มปิดลิ้นระบายความชื้น หลังจากปิดลิ้นระบายความชื้นประมาณ 45 นาที อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งสูงขึ้นเรื่อยๆ จนคงที่อยู่ที่ประมาณ 102 °C จากนั้นผู้ทำการทดลองได้ทำการอบแห้งต่อไปอีกประมาณ 1 ชั่วโมง 30 นาที เป็นอันเสร็จสิ้นการอบในล็อตที่ 1 (ภาคผนวก ฌ-1) และการทดลองอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดในล็อตที่ 2 พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยก่อนทำการใส่เนื้อหมากแว่นสดเพื่อทำการอบแห้งเท่ากับ 104.83 °C หลังจากใส่เนื้อหมากแว่นสดในตู้อบแห้งและปิดตู้อบแห้งเรียบร้อยแล้ว อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งลดลงเหลือ 84.83 °C โดยในช่วงแรกที่ทำการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดในล็อตที่ 2 นั้น ได้ทำการปิดลิ้นระบายความชื้นเพราะไม่ต้องการให้มีการสูญเสียความร้อน เมื่อเริ่มทำการอบแห้งไปประมาณ 10 นาที พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งหยุดนิ่งอยู่ที่ 66.00 °C จึงทำการเปิดลิ้นระบายความชื้นเพื่อระบายความชื้นออก หลังจากทำการอบแห้ง 30 นาที อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งลดลงจนเหลือ 52.83 °C จากนั้นอุณหภูมิเฉลี่ยในตู้อบแห้งเริ่มสูงขึ้นจนอุณหภูมิเฉลี่ยคงที่อยู่ที่ 65.17 °C หลังจากอบแห้งไปแล้วเป็นเวลา 55 นาที จึงเริ่มปิดลิ้นระบายความชื้น หลังจากทำการอบแห้งเป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง 30 นาที อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งคงที่อยู่ที่ประมาณ 99.33 °C ผู้ทำการทดลองได้ทำการอบแห้งต่ออีกประมาณ 1 ชั่วโมง 30 นาที เป็นอันเสร็จสิ้นการอบในล็อตที่ 2 (ภาคผนวก ฌ-1) การเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดในล็อตที่ 1 และล็อตที่ 2 ดังแสดงในภาพประกอบ 4-12 โดยมีรายละเอียดอยู่ในตารางที่ 4-3



ภาพประกอบ 4-12 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดในล็อตที่ 1 และล็อตที่ 2

ตารางที่ 4-3 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดในล็อตที่ 1 และล็อตที่ 2

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบ ในล็อตที่ 1 (◦C)	อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบ ในล็อต ที่ 2 (◦C)
0	29.50	84.83
0.5	50.50	52.83
1	60.50	69.00
1.5	77.33	99.33
2	102.17	104.67
2.5	102.83	104.67
3	102.50	104.50
3.5	102.83	

4.3 การคำนวณต้นทุนการผลิตหมากแว่นอบแห้ง

การคำนวณต้นทุนการผลิตหมากแว่นอบแห้งจะแบ่งการคำนวณออกเป็น 2 ส่วนคือ การคำนวณต้นทุนกรณีที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวและการคำนวณต้นทุนกรณีที่ใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อนจากระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อ โดยมีข้อสมมุติฐานเบื้องต้น ดังนี้

(1) กำหนดให้ตู้อบแห้งเนื้อหมากแว่นสดมีการใช้งานตลอดปี โดยมีอายุการใช้งาน 5 ปี

(2) กำหนดให้มูลค่าซากของตู้อบแห้งเท่ากับ 5 % ของราคาซื้อ

(3) กำหนดให้มีการใช้ตู้อบแห้งเพื่ออบแห้งหมากอย่างเต็มความสามารถของตู้อบ โดยการอบแต่ละครั้งจะมีการอบ 3 ล็อตติดต่อกัน ใน 1 ล็อตจะสามารถอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดได้ล็อตละ 25.5 กิโลกรัม ดังนั้นในการอบแห้งแต่ละครั้ง จะสามารถอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดได้ครั้งละ 76.5 กิโลกรัม

(4) การจ้างงานคิดค่าจ้าง 200 บาทต่อวัน ทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน ดังนั้นค่าจ้างต่อชั่วโมงจึงเท่ากับ 25 บาท

(5) ใช้อัตราดอกเบี้ย 12 % ต่อปี ซึ่งเป็นอัตราดอกเบี้ยที่ธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์ใช้กับเกษตรกร และธุรกิจเกษตร

4.3.1 การคำนวณต้นทุนการผลิตหมากแว่นอบแห้งกรณีใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว

การคำนวณต้นทุนการผลิตหมากแว่นอบแห้งกรณีใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ได้จากผลรวมของต้นทุนการใช้เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดกับผลรวมของค่าใช้จ่ายในการดำเนินการซึ่งมีการคำนวณ ดังนี้

4.3.1.1 ต้นทุนการใช้เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด

ต้นทุนการใช้เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดเป็นผลรวมของค่าเสื่อมราคากับค่าเสียโอกาสเงินทุนค่าเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด ซึ่งมีการคำนวณ ดังนี้

(1) ค่าเสื่อมราคา

เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดมีราคา 140,000 บาท มีอายุการใช้งาน 5 ปี หลังจากนั้นขายเป็นราคาซากได้ในราคา 5 % ของราคาซื้อ ซึ่งเท่ากับ 7,000 บาท ค่าเสื่อมราคาของเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดตลอดอายุใช้งานเท่ากับ 140,000 - 7,000 = 133,000 บาท ค่าใช้เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดต่อปีเท่ากับ

$$\text{ค่าใช้เครื่องต้นแบบต่อปี} = \frac{(140{,}000 - 7{,}000)}{5}$$

$$= 26{,}600 \text{ บาท/ปี}$$

หมากจะให้ผลผลิตเกือบตลอดทั้งปี ราคาผลผลิตแปรผันไปตามปริมาณผลผลิตในตลาด ช่วงเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนตุลาคม จะมีผลผลิตออกสู่ตลาดเป็นจำนวนมาก จึงเป็นช่วงที่สามารถทำการอบแห้งได้ในช่วงระยะเวลาประมาณ 6 เดือนนี้ ภายใต้ข้อกำหนดนี้การอบแห้งเต็มความสามารถของเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดแบบเป็นการค้า จะอบติดต่อกันเป็นเวลา 6 เดือน โดยการอบจะอบติดต่อกัน 3 ล็อตเพื่อประหยัดพลังงาน การอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 100 ◦C ความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที ใช้เวลาอบแห้ง 3.5 ชั่วโมงในล็อตที่ 1 (ตาราง ฌ-1) และใช้เวลาอบ 3 ชั่วโมงในล็อตที่ 2 (ตาราง ฌ-2) และล็อตที่ 3 รวมทั้งใช้เวลาในการล้างทำความสะอาดและเตรียมเนื้อหมากแว่นสดใส่ในตู้อบก่อนทำการอบแห้งอีก 0.5 ชั่วโมง ดังนั้นในการอบแห้ง 1 ครั้งใช้เวลาทั้งหมด 10 ชั่วโมง หาจำนวนครั้งที่สามารถอบแห้งหมากได้ใน 6 เดือน ดังนี้

$$\text{จำนวนครั้งที่อบได้ใน 6 เดือน} = \frac{\text{เดือน} \times \text{วัน} \times \text{ชั่วโมง}}{\text{เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง 1 ครั้ง}}$$

$$= \frac{(6 \times 30 \times 24)}{10}$$

$$= 432 \text{ ครั้ง}$$

ในเวลา 6 เดือนจะสามารถอบแห้งหมากได้ประมาณ 432 ครั้ง ซึ่งเท่ากับปริมาณหมากสด $76.5 \times 432 = 33,048$ กิโลกรัม จากตาราง 2-1 พบว่าทั้ง 10 จังหวัดที่เพาะปลูกหมากมีผลผลิตเพียงพอกับความต้องการของงานวิจัยนี้

ในแต่ละครั้งสามารถอบได้หมากแว่นอบแห้งครั้งละประมาณ 20 กิโลกรัม ดังนั้นใน 1 ปี จะได้หมากแว่นอบแห้ง

$$W_D = 432 \times 20$$

$$= 8,640 \text{ กิโลกรัมหมากแห้ง}$$

ค่าใช้เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดหาได้จากสมการ 2-25 ดังนั้น

$$A = \frac{(\frac{140,000 - 7,000}{5})}{8,640}$$

$$= 3.08 \text{ บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง}$$

(2) ค่าเสียโอกาสเงินทุนค่าเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด

ค่าเสียโอกาสเงินทุนค่าเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดหาได้จากสมการ 2-26 ดังนั้น

$$P_d = \frac{\frac{(140,000 + 7,000)}{2} \times 0.12 \times \frac{180 \text{ วัน}}{365 \text{ วัน}}}{8,640}$$

$$= 0.50 \text{ บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง}$$

(3) รวมต้นทุนค่าใช้เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด เป็นดังนี้

รวมต้นทุนค่าใช้เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดหาได้จากสมการ 2-27 ดังนั้น

$$I = 3.08 + 0.50$$
$$= 3.58 \text{ บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง}$$

4.3.1.2 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเป็นผลรวมของค่าวัตถุดิบ ค่าไฟฟ้าและค่าแรงในการผลิตหมากแว่นอบแห้ง 1 กิโลกรัม มีการคำนวณ ดังนี้

(1) วัตถุดิบ

ในการอบแห้งให้ได้หมากแว่นอบแห้งแต่ละครั้ง ต้องใช้เนื้อหมากแว่นสดเฉลี่ย 76.5 กิโลกรัม ราคากิโลกรัมละ 2 บาท และเมื่ออบเสร็จเรียบร้อยแล้วจะได้หมากแว่นอบแห้งประมาณ 20 กิโลกรัม ในการคิดราคาวัตถุดิบจะใช้น้ำหนักของเนื้อหมากแว่นสด (76.5 กิโลกรัม) ในการคำนวณ จากสมการ 2-28 ดังนั้น

$$P_m = \frac{(76.5 \times 2)}{20}$$
$$= 7.65 \text{ บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง}$$

(2) ค่าไฟฟ้า

การผลิตหมากแว่นอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 100 °C ความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที สมมุติให้การอบแห้งในล็อตที่ 2 ใช้จำนวนยูนิตไฟฟ้าเท่ากับการอบแห้งในล็อตที่ 3 ดังนั้น ในการอบแห้ง 1 ครั้งใช้ยูนิตไฟฟ้าครั้งละ 67.69 หน่วย (ตาราง ฌ-1 และ ฌ-2) ค่ากระแสไฟฟ้าหน่วยละ 2.46 บาท จากสมการ 2-29 ดังนั้น

$$P_e = \frac{(67.69 \times 2.46)}{20}$$
$$= 8.33 \text{ บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง}$$

(3) ค่าแรงงาน

ค่าแรงงานในการอบแห้งของคนงาน 1 คน ประกอบด้วยค่าล้าง บรรจุเนื้อหมากแว่นสดลงในถาด นำเข้าตู้อบ ซึ่งใช้เวลาโดยเฉลี่ยประมาณ 0.5 ชั่วโมง และค่าจ้างในการดูแลระหว่างการอบแห้ง โดยจะต้องคอยปิดลิ้นระบายความชื้นเมื่อความชื้นเริ่มลดลงซึ่งต้องใช้เวลาประมาณ 5 นาทีต่อการอบ 1 ล็อต สำหรับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 °C ความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที ในการอบ 1 ครั้งจะทำการอบ 3 ล็อต ดังนั้นต้องล้าง บรรจุเนื้อหมากลงในถาดและต้องคอยปิดเปิดลิ้นระบายความชื้นทั้ง 3 ครั้ง คิดเป็นเวลาทำงานจริง 1 ชั่วโมง 45 นาที จากสมการ 2-30 ดังนั้น

$$P_L = \frac{(1.75 \times 25)}{20}$$

$$= 2.19 \text{ บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง}$$

(4) รวมค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

รวมค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเท่ากับผลรวมของค่าวัตถุดิบ ค่าไฟฟ้าและค่าแรงงานในการอบแห้ง จากสมการ 2-31 ดังนั้น

$$O = 7.65 + 8.33 + 2.19$$

$$= 18.17 \text{ บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง}$$

4.3.1.3 **ต้นทุนการผลิตหมากแว่นอบแห้งรวม**

ต้นทุนการผลิตหมากแว่นอบแห้งรวมหาได้จากผลรวมของต้นทุนการใช้เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดกับผลรวมของค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ จากสมการ 2-32 ดังนั้น

$$C = 3.58 + 18.17$$

$$= 21.75 \text{ บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง}$$

4.3.1.4 **การวิเคราะห์ต้นทุนผลตอบแทน**

กำไรสุทธิหาได้จากการหักต้นทุนการผลิตออกจากรายรับ ซึ่งในที่นี้คือราคาขายหมากแว่นอบแห้ง 1 กิโลกรัมซึ่งจากการสำรวจตามท้องตลาดหมากแว่นอบแห้ง 1 กิโลกรัม มีราคา 45 บาท จากสมการ 2-33 ดังนั้น

$$\text{กำไรสุทธิ } (\pi) = 45 - 21.75$$
$$= 23.25 \text{ บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง}$$

ดังนั้นใน 1 ปี จะได้กำไรสุทธิจากการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวเท่ากับ

$$\text{กำไรสุทธิใน 1 ปี} = 8{,}640 \times 23.25$$
$$= 200{,}880 \text{ บาท}$$

4.3.1.5 **ระยะเวลาคืนทุน**

ระยะเวลาคืนทุนหาได้จากการนำจำนวนเงินลงทุนสุทธิมาหารด้วยกระแสเงินสดไหลเข้ารายปีหรือกำไรสุทธิใน 1 ปี จากสมการ 2-34 ดังนั้น

$$\text{งวดเวลาคืนทุน} = \frac{140{,}000}{200{,}880}$$
$$= 0.70 \text{ ปี หรือ } 8.40 \text{ เดือน}$$

4.3.2 **การคำนวณต้นทุนการผลิตหมากแว่นอบแห้งกรณีใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อนจากระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อ**

การคำนวณต้นทุนการผลิตหมากแว่นอบแห้งกรณีใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อนจากระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อ ได้จากผลรวมของต้นทุนการใช้

เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดกับผลรวมของค่าใช้จ่ายในการดำเนินการซึ่งมีการคำนวณ ดังนี้

4.3.2.1 ต้นทุนการใช้เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด

ต้นทุนการใช้เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดเป็นผลรวมของค่าเสื่อมราคากับค่าเสียโอกาสเงินทุนค่าเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด ซึ่งมีการคำนวณ ดังนี้

(1) ค่าเสื่อมราคา

ค่าใช้เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดต่อปีจะเท่ากับกรณีการอบแห้งโดยใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวคือ 26,600 บาท/ปี กรณีใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อนจากระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อ จะเป็นการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 100 ◦C ความเร็วลม 0.44 เมตร/วินาที ซึ่งจะทำการอบแห้งติดต่อกัน 3 ล็อตเช่นเดียวกันเพื่อประหยัดพลังงาน ใช้เวลาในการอบแห้ง 4 ชั่วโมงในล็อตที่ 1 (ตาราง ฉ-16) และสมมุติให้ใช้เวลาในการอบแห้ง 3.5 ชั่วโมงในล็อตที่ 2 และล็อตที่ 3 รวมทั้งใช้เวลาในการล้างทำความสะอาดและเตรียมเนื้อหมากแว่นสดใส่ในตู้อบก่อนทำการอบแห้งอีก 0.5 ชั่วโมง ดังนั้นในการอบแห้ง 1 ครั้งใช้เวลาทั้งหมด 11.5 ชั่วโมง หาจำนวนครั้งที่สามารถอบแห้งหมากได้ใน 6 เดือน ดังนี้

$$\text{จำนวนครั้งที่อบได้ใน 6 เดือน} = \frac{\text{เดือน} \times \text{วัน} \times \text{ชั่วโมง}}{\text{เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง 1 ครั้ง}}$$

$$= \frac{(6 \times 30 \times 24)}{11.5}$$

$$= 375.65 \text{ ครั้ง หรือประมาณ } 375 \text{ ครั้ง}$$

ในเวลา 6 เดือนจะสามารถอบแห้งหมากได้ประมาณ 375 ครั้ง ซึ่งเท่ากับปริมาณหมากสด 76.5 × 375 = 28,687.5 กิโลกรัม จากตาราง 2-1 พบว่าทั้ง 10 จังหวัดที่เพาะปลูกหมากมีผลผลิตเพียงพอกับความต้องการของงานวิจัยนี้

ในแต่ละครั้งสามารถอบได้หมากแว่นอบแห้งครั้งละประมาณ 20 กิโลกรัม ดังนั้นใน 1 ปี จะได้หมากแว่นอบแห้ง

$$W_D = 375 \times 20$$
$$= 7,500 \text{ กิโลกรัมหมากแห้ง}$$

ค่าใช้เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดหาได้จากสมการ 2-25 ดังนั้น

$$A = \frac{(\frac{140,000 - 7,000}{5})}{7,500}$$
$$= 3.55 \text{ บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง}$$

(2) ค่าเสียโอกาสเงินทุนค่าเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด

ค่าเสียโอกาสเงินทุนค่าเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดหาได้จากสมการ 2-26 ดังนั้น

$$P_d = \frac{\frac{(140,000 + 7,000)}{2} \times 0.12 \times \frac{180 \text{ วัน}}{365 \text{ วัน}}}{7,500}$$
$$= 0.58 \text{ บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง}$$

(3) รวมต้นทุนค่าใช้เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด เป็นดังนี้

รวมต้นทุนค่าใช้เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดหาได้จากสมการ 2-27 ดังนั้น

$$I = 3.55 + 0.58$$
$$= 4.13 \text{ บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง}$$

4.3.2.2 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเป็นผลรวมของค่าวัตถุดิบ ค่าไฟฟ้าและค่าแรงในการผลิตหมากแว่นอบแห้ง 1 กิโลกรัม มีการคำนวณ ดังนี้

(1) วัตถุดิบ

ในการอบแห้งให้ได้หมากแว่นอบแห้งแต่ละครั้ง ต้องใช้เนื้อหมากแว่นสดเฉลี่ย 76.5 กิโลกรัม และเมื่ออบเสร็จเรียบร้อยแล้วจะได้หมากแว่นอบแห้งประมาณ 20 กิโลกรัม ในการคิดราคาวัตถุดิบจะใช้น้ำหนักของเนื้อหมากแว่นสด (76.5 กิโลกรัม) ในการคำนวณจากสมการ 2-28 ดังนั้น

$$P_m = \frac{(76.5 \times 2)}{20}$$
$$= 7.65 \text{ บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง}$$

(2) ค่าไฟฟ้า

การผลิตหมากแว่นโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อนจากระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อจะใช้จำนวนยูนิตไฟฟ้าประมาณ 0.8 หน่วย/ชั่วโมง (ตาราง ช-8) ในการอบแห้ง 1 ครั้งใช้เวลา 11 ชั่วโมง ใช้จำนวนยูนิตไฟฟ้าประมาณ 8.8 หน่วย ค่ากระแสไฟฟ้าหน่วยละ 2.46 บาท จากสมการ 2-29 ดังนั้น

$$P_e = \frac{(8.8 \times 2.46)}{20}$$
$$= 1.08 \text{ บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง}$$

(3) ค่าแรงงาน

ค่าแรงงานในการอบแห้งของคนงาน 1 คน ประกอบด้วยค่าล้าง บรรจุเนื้อหมากแว่นสดลงในถาด นำเข้าตู้อบ ซึ่งใช้เวลาโดยเฉลี่ยประมาณ 30 นาทีในการอบ 1 ล็อต ถ้าอบแห้ง 1 ครั้งจะใช้เวลาทั้งหมด 1 ชั่วโมง 30 นาที และค่าจ้างในการดูแลระหว่างการอบแห้ง โดยจะต้องคอยปิดลิ้นระบายความชื้นเมื่อความชื้นเริ่มลดลง ซึ่งต้องใช้เวลาประมาณ 5 นาทีต่อการอบ 1 ล็อต ดังนั้นในการอบ 1 ครั้งใช้เวลาในการปิดเปิดลิ้น 15 นาที สำหรับการอบแห้งโดยใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อนจากระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อจะต้องเติมเปลือกหมากทุกๆ 20 นาที ซึ่งใน 1 ชั่วโมงต้องเติม 3 ครั้ง ครั้งละประมาณ 5 นาที ในการอบแห้ง 1 ครั้ง จะใช้เวลาประมาณ 11 ชั่วโมง ดังนั้นใช้เวลาในการเติมเปลือกหมาก 2 ชั่วโมง 45 นาที รวมเป็นเวลาในการทำงานทั้งหมด 4 ชั่วโมง 30 นาที จากสมการ 2-30 ดังนั้น

$$P_L = \frac{(4.5 \times 25)}{20}$$

= 5.63 บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง

(4) รวมค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

รวมค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเท่ากับผลรวมของค่าวัตถุดิบ ค่าไฟฟ้าและค่าแรงงานในการอบแห้ง จากสมการ 2-31 ดังนั้น

O = 7.65 + 1.08 + 5.63

= 14.36 บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง

4.3.2.3 **ต้นทุนการผลิตหมากแว่นอบแห้งรวม**

ต้นทุนการผลิตหมากแว่นอบแห้งรวมหาได้จากผลรวมของต้นทุนการใช้เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดกับผลรวมของค่าใช้จ่ายในการดำเนินการจากสมการ 2-32 ดังนั้น

C = 4.13 + 14.36

= 18.49 บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง

4.3.2.4 **การวิเคราะห์ต้นทุนผลตอบแทน**

กำไรสุทธิหาได้จากการหักต้นทุนการผลิตออกจากรายรับ ซึ่งในที่นี้คือราคาขายหมากแว่นอบแห้ง 1 กิโลกรัมซึ่งจากการสำรวจตามท้องตลาดหมากแว่นอบแห้ง 1 กิโลกรัม มีราคา 45 บาท จากสมการ 2-33 ดังนั้น

กำไรสุทธิ (π) = 45 – 18.49

= 26.51 บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง

ดังนั้นใน 1 ปี จะได้กำไรสุทธิจากการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อนจากระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อ เท่ากับ

$$\text{กำไรสุทธิใน 1 ปี} = 7{,}500 \times 26.51$$
$$= 198{,}825 \text{ บาท}$$

4.3.2.5 **ระยะเวลาคืนทุน**

ระยะเวลาคืนทุนหาได้จากการนำจำนวนเงินลงทุนสุทธิมาหารด้วยกระแสเงินสดไหลเข้ารายปีหรือกำไรสุทธิใน 1 ปี จากสมการ 2-34 ดังนั้น

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{140{,}000}{198{,}825}$$
$$= 0.70 \text{ ปี หรือ เท่ากับ } 8.40 \text{ เดือน}$$

จากตาราง 4-4 พบว่ากรณีใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวให้กำไรสุทธิใน 1 ปี มากกว่ากรณีใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับระบบแลกเปลี่ยนความร้อน แต่มีระยะเวลาคืนทุนเท่ากัน คือ 8.40 เดือน ส่วนกำไรสุทธิต่อกิโลกรัมหมากแห้ง พบว่ากรณีใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับระบบแลกเปลี่ยนความร้อนมีกำไร 26.51 บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง และกรณีใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวมีกำไร 23.25 บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง ซึ่งมากกว่ากรณีของเตาย่างหมากที่อำเภอร่อนพิบูลย์ในหัวข้อ 3.1 ซึ่งมีกำไร 10 บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง

ตารางที่ 4-4 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด
และกำไรสุทธิจากการใช้เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด

ค่าใช้จ่ายในการสร้าง เครื่องต้นแบบ	กรณีใช้พลังงานไฟฟ้า เพียงอย่างเดียว	กรณีใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับ ระบบแลกเปลี่ยนความร้อน
1. ต้นทุนการใช้เครื่องต้นแบบ		
1.1 ค่าเสื่อมราคา (บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง)	3.08	3.55
1.2 ค่าเสียโอกาสเงินทุน (บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง)	0.50	0.58
1.3 รวมต้นทุนค่าใช้เครื่องต้นแบบ (บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง)	3.58	4.13
2. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ		
2.1 ค่าวัตถุดิบ (บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง)	7.65	7.65
2.2 ค่าไฟฟ้า (บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง)	8.33	1.08
2.3 ค่าแรงงาน (บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง)	2.19	5.63
2.4 รวมค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง)	18.17	14.36
3. ต้นทุนการผลิตหมากแว่นอบแห้งรวม (บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง)	21.75	18.49
4. กำไรสุทธิ (บาท/กิโลกรัมหมากแห้ง)	23.25	26.51
5. กำไรสุทธิใน 1 ปี (บาท)	200,880	198,825
6. ระยะเวลาคืนทุน (เดือน)	8.40	8.40

บทที่ 5
สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดมีระบบให้ความร้อน 2 ระบบ คือ จากขดลวดความร้อนจำนวน 3 ตัว ตัวละ 2,500 วัตต์ ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้า และจากระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อ โดยจะใช้เหล็กคาร์บอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.04 เมตร จำนวนทั้งหมด 12 ท่อแต่ละท่อจะม้วนเป็นรูปตัวยูจนมีจำนวนท่อ 24 ท่อ โดยจัดเรียงท่อเป็น 8 แถว แถวละ 3 ท่อ แต่ละท่อจะยาวเฉลี่ยท่อละ 1.18 เมตร ซึ่งใช้พลังงานความร้อนจากการเผาเปลือกหมากแห้ง

ส่วนประกอบหลักของเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) ตู้อบแห้ง 2) ระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อ ภายในตู้อบแห้งสามารถบรรจุถาดได้ทั้งหมด 15 ถาดซึ่งวางซ้อนกัน โดยใช้แกนหมุนถาดร่วมกัน มีอัตราการหมุน 3 รอบ/นาที ในส่วนของระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อ จะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ห้องเผาไหม้และกลุ่มท่อ

กำลังการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดในแต่ละล็อตนั้นสามารถอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดได้ล็อตละ 25.5 กิโลกรัม และได้ผลิตภัณฑ์เป็นหมากแว่นอบแห้งประมาณ 6.7 กิโลกรัม โดยในล็อตที่ 1 ของแต่ละครั้งในการอบแห้งจะใช้เวลาในการอบแห้ง 3 ชั่วโมง 30 นาที ส่วนในล็อตที่ 2 และล็อตต่อๆมาจะใช้เวลาในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดประมาณ 3 ชั่วโมง

เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดมีค่าใช้จ่ายในการสร้าง 140,000 บาท ใช้แรงงานในการปฏิบัติงาน 1 คน กรณีใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวในการอบแห้ง 1 ครั้งใช้เวลาทั้งหมด 10 ชั่วโมง ปีละ 180 วัน มีต้นทุนการผลิตกิโลกรัมละ 21.75 บาท เมื่อขายหมากแว่นอบแห้งในราคากิโลกรัมละ 45 บาทจะได้กำไรกิโลกรัมละ 23.25 บาท คิดเป็นกำไรสุทธิใน 1 ปีเท่ากับ 200,880 บาท กรณีใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อในการอบแห้ง 1 ครั้งใช้เวลาทั้งหมด 11.5 ชั่วโมง ปีละ 180 วัน มีต้นทุนการผลิตกิโลกรัมละ 18.49 บาท เมื่อขายหมากแว่นอบแห้งในราคากิโลกรัมละ 45 บาทจะได้กำไรกิโลกรัมละ 26.51 บาท คิดเป็นกำไรสุทธิใน 1 ปีเท่ากับ 198,825 บาท โดยทั้งสองกรณีมีจุดคุ้มทุนเท่ากันคือ 8.40 เดือน

เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดมีกำลังการผลิตหมากแว่นอบแห้งอยู่ที่ประมาณ 40 กิโลกรัม/วัน ซึ่งมีกำลังการผลิตมากกว่าเตาย่างหมากของเกษตรกร ซึ่งมีกำลังการผลิตหมากแว่นอบแห้งอยู่ที่ 13 กิโลกรัม/วัน และการใช้งานของเครื่องต้นแบบระบบอบแห้ง

เนื้อหมากแว่นสดยังสะดวกกว่าเตาย่างหมากของเกษตรกร ซึ่งต้องมีคนเกลี่ยหมากทุกๆ 15 นาที และใช้ไม้ฟืนซึ่งเป็นไม้ยางพารามาเผา โดยมีราคาค่อนข้างแพง ทำให้มีกำไรต่อกิโลกรัมหมากแห้งน้อยกว่าเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด

ข้อเสนอแนะ

การบรรจุเนื้อหมากแว่นสดใส่ในถาดนั้น บริเวณกลางถาดไม่ควรให้เนื้อหมากแว่นสดซ้อนกันมากเกินไป เพราะบริเวณกลางถาดเป็นบริเวณที่ได้รับลมค่อนข้างน้อย ซึ่งจะทำให้เนื้อหมากแว่นสดยังคงมีความชื้นอยู่ แต่ถ้าเป็นบริเวณด้านข้างๆ ของถาดนั้น ถ้าเนื้อหมากแว่นสดซ้อนกันจะไม่มีปัญหาเรื่องเนื้อหมากแห้งไม่ทั่วถึง เพราะถาดสามารถหมุนได้ ทำให้เนื้อหมากแว่นสดบริเวณข้างๆ ของถาดได้รับลมอย่างทั่วถึง

ขณะทำการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดที่ระดับความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที นั้นถือว่าเป็นระดับความเร็วลมที่เร็วที่สุดที่เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดสามารถทำได้ อาจมีเนื้อหมากแว่นที่เริ่มแห้งแล้ว ซึ่งจะมีน้ำหนักเบากว่าเนื้อหมากแว่นสด โดนแรงลมแล้วหล่นจากถาดไปติดที่ล้อรถเข็น จนล้อรถเข็นไม่หมุน อาจเป็นสาเหตุให้เกิดมอเตอร์เผาได้ จึงควรสร้างตะแกรงไว้รองรับหมากแว่นอบแห้งที่อาจหล่นมาติดล้อรถเข็นได้

การทำหมากแห้งจะทำกันมากในช่วงเดือนพฤษภาคม – ตุลาคม ดังนั้นนอกช่วงเวลาดังกล่าว ยังสามารถใช้เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรที่มีลักษณะเป็นชิ้น เช่น ลำไย พริก สับปะรด หอมหัวใหญ่ เป็นต้น เพื่อจะได้ใช้เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ในการสร้างเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดได้ใช้ลวดอลูมิเนียมมาซ้อนกันเป็นถาดเพื่อป้องกันเนื้อหมากแว่นสดหล่น เพราะมีงบประมาณในการสร้างจำกัด จึงแนะนำว่าถ้ามีการปรับปรุงเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดควรจะใช้สแตนเลสในการทำถาดเพื่อให้เกิดความปลอดภัยกับผู้บริโภค

เนื่องจากการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรบางประเภท อาจทำโดยการรมควัน เพื่อให้ผลผลิตมีกลิ่นดี น่ารับประทาน แต่การรมควันไม่มีผลกับกลิ่นของหมากแว่นอบแห้ง ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องใช้ควันในการรมเพื่อผลิตหมากแว่นอบแห้ง

ในงานวิจัยนี้ การทดสอบเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด เป็นเพียงการทดสอบเบื้องต้น ในอนาคตผู้ทำการทดสอบจึงควรทดสอบการทำงาน ทั้งการใช้พลังงานไฟฟ้า

เพียงอย่างเดียว และการใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อ ให้มีความชัดเจนมากขึ้น

อ้างอิง

การถ่ายเทความร้อน. (ออนไลน์) สืบค้นจาก : http://www.sut.ac.th/e-texts/Eng/thermo/index4-1.html. วันที่สืบค้น 2 / 04 / 52.

ข้อมูลสถิติการปลูกหมาก. 2545. ฝ่ายประมวลผล กองแผนงาน กรมส่งเสริมการเกษตร.

เจียมจิต คู่เทียม. 2527. การทำกระเทียมผงโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาด. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการสอนเคมี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 64 หน้า.

เฉลิมชัย คำบุญลือ และอดุลย์ ลิ้มเจริญ. 2531. การศึกษาและพัฒนาเครื่องอบลำไยแบบไต้หวัน. โครงการปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 78 หน้า.

ณัฐวุฒิ ดุษฎี. 2534. การพัฒนาระบบอบแห้งผลไม้โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเสริม. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 107 หน้า.

พฤษภะ ณ อยุธยา. 2542. สวนหมาก. บริษัท แสงปัญญาเลิศ จำกัด, กรุงเทพฯ. 88 หน้า.

พิสมัย พึ่งวิกรัย และ พิมพ์ใจ พัฒนศิริพงศ์. 2543. เอกสารวิชาการ เรื่อง การปลูกหมากเพื่อการค้า. กลุ่มไม้ยืนต้นอุตสาหกรรม กองส่งเสริมพืชสวน กรมส่งเสริมการเกษตร. 54 หน้า.

รติกร เนรมิตรังสี, อดิศร ประสิทธิ์ศักดิ์ และ อรรถวุฒิ ลีวุฒินันท์. 2540. การพัฒนาเครื่องอบแห้งลำไยแบบไต้หวัน. โครงการปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 123 หน้า.

วนิดา รัตนมณี และ สมชาย ชูโฉม. 2550. รายงานการวิจัยเรื่องการออกแบบและสร้างเครื่องหั่นหมากต้นแบบ. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 81 หน้า.

วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน. 2541. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม1. กรุงเทพฯ ซีเอ็ดยูเคชัน. หน้า 228-249.

วัฒนพงษ์ รักษ์วิเชียร. 2534. รายงานการวิจัยเรื่องการพัฒนาเครื่องอบแห้งผลไม้ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดอุตสาหกรรม. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. 303 หน้า.

วิชัย หฤทัยธนาสันต์. 2530. แนวโน้มการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้. การประชุมสัมมนาทางวิชาการ เรื่องแนวทางการลงทุนอุตสาหกรรมการแปรรูปผักและผลไม้ในภาคเหนือ ณ โรงแรมรอยัลปาร์ค จังหวัดเชียงใหม่ วันที่ 15-19 สิงหาคม 2530. หน้า 98-121.

วิวัฒน์ คล่องพานิช และชลทิศ ศรีสัตบุตร. 2533. รายงานการวิจัยเรื่องการศึกษาการอบลำไยแห้งโดยใช้ก๊าซหุงต้ม. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 36 หน้า.

วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล. 2529. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการอบแห้ง.ในอุปกรณ์อบแห้งในอุตสาหกรรม. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). หน้า 1-19.

ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์, ชูศักดิ์ ชวประดิษฐ์, สิริชัย ส่งเสริมพงษ์ และ บาลทิตย์ ทองแดง. 2535. งานวิจัยและพัฒนาการทำแห้งผักด้วยการปรับสภาพบรรยากาศ. เอกสารเผยแพร่. กลุ่มงานวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว, กองเกษตรวิศวกรรม, ปทุมธานี. 11 หน้า.

ศุภลักษณ์ เจนถนอมม้า. 2529. วารสารโลกเกษตร ปีที่ 6 ฉบับที่ 30 สิงหาคม-ธันวาคม 2529.

สมชาติ โสภณรณฤทธ์. 2535. การอบแห้งเมล็ดธัญญพืช. คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. พิมพ์ครั้งที่ 5. 378 หน้า.

สมชาติ โสภณรณฤทธ์. 2540.การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ. 338 หน้า.

สมบัติ ของทวีวัฒนา. 2529. กรรมวิธีการอบแห้ง. ภาควิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตร. กรุงเทพมหานคร. 287 หน้า.

สมยศ จรรยา. 2530. ตู้อบแบบลดความชื้น. วารสารอาหาร. 17 (2) : 103-106.

สมศักดิ์ เพียบพร้อม. 2530. หลักและวิธีการจัดการธุรกิจฟาร์ม. ภาควิชาเศรษฐศาสตร์เกษตร คณะเศรษฐศาสตร์และบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 240 หน้า.

สมศรี จงรุ่งเรือง. 2542. ระเบียบวิธีวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 34-51.

สิงหนาท พวงจันทน์แดง สุจิตรา เลิศพฤกษ์ และธเนศ แก้วกำเนิด. 2534. การศึกษาการอบแห้งผักกาดหางหงส์ ผักกะหล่ำปลี และผักกาดแม้ว. ภาควิชาอุตสาหกรรมการเกษตร คณะธุรกิจการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่. 35 หน้า.

สุทธิศักดิ์ ภัทรสถาพรกุล. 2543. การพัฒนาเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

เสริมศักดิ์ รักธรรม. 2536. หมาก เอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการ เรื่องการพัฒนาการปลูกไม้ผลและเครื่องเทศสมุนไพรภาคใต้. สมาคมนักโรคพืชแห่งประเทศไทย.

หาญพงศ์ สุวรรณโณ และอยุทธ์ อังศกีรติรัตน์. 2552. การออกแบบและพัฒนาเครื่องหั่นหมากขนาดเล็กสำหรับเกษตรกร. โครงงานนักศึกษา. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา. 88 หน้า

Borgstrom, G. 1968. Princple of Food, London, Collier Macmillan Limited. pp : 24-30.

Brennan, J.G., Butters, J.R., Cowell, N.D. and Lilly, A.E.V. 1986. Food Engineering Operations, London, Applied Science Publishera. pp : 12-16

Grimison, A.D., 1960. Heat and Mass Transfer, Pergamon Press, London, pp. 489.

Hield, J.L., and Josly, M.A., 1967. Fundamentals of Food Processing Operations, New York, The AVL Publishing. pp : 45-52.

Incropera, F.P., and Dewitt, D.P., 1965. Introduction to Heat Transfer, John Wiley & Sons, Inc.

Jackob, M. and Hawkins, G.A., 1957. Elements of Heat Transfer, John Wiley & Sons, Inc.

Lewicki, P.P., Witrowa-Rajchert, D. and Nowak, D. 1998. Effect of Drying Mode on Drying Kinetics of Onion, Drying Technology. 16 (1/2) : 59-81.

Nonhebel, G. and Moss, A.A.H., 1971. Drying of Solid in the Chemical Industry, London, Butterwort. pp : 48-57.

Ozisik, M.N., 1977. Basic Heat Transfer, McGraw-Hill, Kogakusha, Ltd.

Rapusas, R. S. and Driscoll, R. H., 1995. The Thin-Layer Drying Characteristics of White Onion Slices, Drying Technology. 13 (8/9) : 1905-1931.

Rattanamanee, W. and Chuchom, S. 2006. Design and Development of a Slitting Machine Prototype for Betel Nuts, the 11th Annual International Conference on Industrial Engineering Theory, Applications & Practice, Nagoya, Japan.

Schenck, H. 1967. Heat Transfer Engineering, Prentice-Hall, Inc, Englewood, N.J.

Singh, K.K., 1994. Development of a Small Capacity Dryer for Vegetables, Journal of Food Engineering. 21 (1) : 19-30.

Somogyin, L.P. and Lun, B.S., 1986. Dehydration of Food, in Commercial Processing, Edited by Wood Roof, J.G. and Lun, B.S., New York, The AVL Publishing. pp : 38-45.

Williams, A.G., 1976. Industrial Drying London, Billing and Sons Ltd. pp : 23-29.

ภาคผนวก ก
แสดงข้อมูลการวัดความเร็วลม

ตาราง ก-1 การกระจายลมภายในตู้อบแห้ง เมื่อยังไม่มีวัตถุดิบของความเร็วลม 0.24 เมตร/วินาที กรณีลมมีทิศทางขึ้น

ความเร็วลมด้านลมเข้า (เมตร/วินาที)					ความเร็วลมด้านลมออก (เมตร/วินาที)					เฉลี่ยรวม (เมตร/วินาที)
ถาด	นอก	กลาง	ใน	เฉลี่ย	ถาด	นอก	กลาง	ใน	เฉลี่ย	
1	0	0	0	0.00	1	0	0.1	0	0.03	0.02
2	0	0	0	0.00	2	0.4	0.6	0.3	0.43	0.22
3	0	0.4	0	0.13	3	0.4	0.7	0.4	0.50	0.32
4	0	1.2	0.1	0.43	4	0	0.4	0.3	0.23	0.33
5	0	3	0.3	1.10	5	0	0.2	0.4	0.20	0.65
6	0.1	2.9	0.3	1.10	6	0	0	0	0.00	0.55
7	0	2.2	0.5	0.90	7	0	0	0	0.00	0.45
8	0	2.3	0.4	0.90	8	0	0	0	0.00	0.45
9	0	2.6	1.2	1.27	9	0	0	0	0.00	0.63
10	0	1	0.5	0.50	10	0	0	0	0.00	0.25
11	0	0	0	0.00	11	0	0	0	0.00	0.00
12	0	0	0	0.00	12	0	0	0	0.00	0.00
13	0	0	0	0.00	13	0	0	0	0.00	0.00
14	0	0	0	0.00	14	0	0	0	0.00	0.00
15	0	0	0	0.00	15	0	0	0	0.00	0.00
เฉลี่ย	0.01	1.04	0.22	0.42	เฉลี่ย	0.05	0.13	0.09	0.09	0.26

ตาราง ก-2 การกระจายลมภายในตู้อบแห้ง เมื่อยังไม่มีวัตถุดิบของความเร็วลม 0.24 เมตร/วินาที กรณีลมมีทิศทางขนานกับพื้น

ความเร็วลมด้านลมเข้า (เมตร/วินาที)					ความเร็วลมด้านลมออก (เมตร/วินาที)					เฉลี่ยรวม (เมตร/วินาที)
ถาด	นอก	กลาง	ใน	เฉลี่ย	ถาด	นอก	กลาง	ใน	เฉลี่ย	
1	0	0	0	0.00	1	0	0	0	0.00	0.00
2	0	0	0	0.00	2	0	0	0	0.00	0.00
3	0	0	0	0.00	3	0	0	0	0.00	0.00
4	0	0	0	0.00	4	0	0.1	0	0.03	0.02
5	0.1	0.5	0	0.20	5	0	0.5	0.1	0.20	0.20
6	0.1	2.5	0	0.87	6	0	0.6	0.3	0.30	0.58
7	0.1	3	0.1	1.07	7	0.3	0.9	0.4	0.53	0.80
8	0.1	2.6	0.2	0.97	8	0.3	0.7	0.5	0.50	0.73
9	0.2	2.6	0.3	1.03	9	0	0.6	0.6	0.40	0.72
10	0.1	3.1	0.6	1.27	10	0	0.3	0.8	0.37	0.82
11	0	3	0.9	1.30	11	0	0.1	0.8	0.30	0.80
12	0	1.7	1.1	0.93	12	0	0.1	0.6	0.23	0.58
13	0	0.5	0.5	0.33	13	0	0.1	0.4	0.17	0.25
14	0	0	0	0.00	14	0	0	0	0.00	0.00
15	0	0	0	0.00	15	0	0	0	0.00	0.00
เฉลี่ย	0.05	1.30	0.25	0.53	เฉลี่ย	0.04	0.27	0.30	0.20	0.37

ตาราง ก-3 การกระจายลมภายในตู้อบแห้ง เมื่อยังไม่มีวัตถุดิบของความเร็วลม 0.24 เมตร/วินาที กรณีลมมีทิศทางลง

ความเร็วลมด้านลมเข้า (เมตร/วินาที)					ความเร็วลมด้านลมออก (เมตร/วินาที)					เฉลี่ยรวม (เมตร/วินาที)
ถาด	นอก	กลาง	ใน	เฉลี่ย	ถาด	นอก	กลาง	ใน	เฉลี่ย	
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0.00
2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0.00
3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0.00
4	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0.00
5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0.00
6	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0.00
7	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0.00
8	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0.00
9	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0.00
10	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0.00
11	0	0.1	0.1	0.07	11	0	0	0	0	0.03
12	0	0.3	0.3	0.20	12	0	0	0	0	0.10
13	0	0.9	0.5	0.47	13	0	0	0	0	0.23
14	0	1.2	0.8	0.67	14	0	0	0	0	0.33
15	0.2	1.6	1.1	0.97	15	0	0	0	0	0.48
เฉลี่ย	0.01	0.27	0.19	0.16	เฉลี่ย	0	0	0	0	0.08

เฉลี่ยเท่ากับ (0.26 + 0.37 + 0.08)/3 = 0.24 เมตร/วินาที

ตาราง ก-4 การกระจายลมภายในตู้อบแห้ง เมื่อยังไม่มีวัตถุดิบของความเร็วลม 0.44 เมตร/วินาที กรณีลมมีทิศทางขึ้น

ความเร็วลมด้านลมเข้า (เมตร/วินาที)					ความเร็วลมด้านลมออก (เมตร/วินาที)					เฉลี่ยรวม (เมตร/วินาที)
ถาด	นอก	กลาง	ใน	เฉลี่ย	ถาด	นอก	กลาง	ใน	เฉลี่ย	
1	0.4	0.4	0	0.27	1	0	0.1	0.1	0.07	0.17
2	0.3	0.1	0	0.13	2	0.4	0.7	0.4	0.50	0.32
3	0.3	0.3	0	0.20	3	0.7	1.2	0.9	0.93	0.57
4	0.1	1.9	0	0.67	4	0.9	1.5	1.2	1.20	0.93
5	0.1	3.7	0.7	1.50	5	1	1.7	1.3	1.33	1.42
6	0	5.2	1.1	2.10	6	0.7	1	1	0.90	1.50
7	0	4	1.1	1.70	7	0.3	0.5	0.5	0.43	1.07
8	0	2.8	0.3	1.03	8	0.1	0.2	1	0.43	0.73
9	0	1.5	0	0.50	9	0	0	0	0.00	0.25
10	0	1.1	0	0.37	10	0	0	0	0.00	0.18
11	0	0	0	0.00	11	0	0	0	0.00	0.00
12	0	0	0	0.00	12	0	0	0	0.00	0.00
13	0	0	0	0.00	13	0	0	0	0.00	0.00
14	0	0	0	0.00	14	0	0	0	0.00	0.00
15	0	0	0	0.00	15	0	0	0	0.00	0.00
เฉลี่ย	0.08	1.40	0.21	0.56	เฉลี่ย	0.27	0.46	0.43	0.39	0.48

ตาราง ก-5 การกระจายลมภายในตู้อบแห้ง เมื่อยังไม่มีวัตถุดิบของความเร็วลม 0.44 เมตร/วินาที กรณีลมมีทิศทางขนานกับพื้น

ความเร็วลมด้านลมเข้า (เมตร/วินาที)					ความเร็วลมด้านลมออก (เมตร/วินาที)					เฉลี่ยรวม (เมตร/วินาที)
ถาด	นอก	กลาง	ใน	เฉลี่ย	ถาด	นอก	กลาง	ใน	เฉลี่ย	
1	0.2	0	0.1	0.10	1	0	0	0	0.00	0.05
2	0.2	0	0.1	0.10	2	0	0	0	0.00	0.05
3	0.1	0	0.1	0.07	3	0	0	0	0.00	0.03
4	0.1	0.1	0.1	0.10	4	0	0.1	0	0.03	0.07
5	0.1	0.2	0.1	0.13	5	0	0.4	0.5	0.30	0.22
6	0.1	2.2	0.1	0.80	6	0	1.5	1.3	0.93	0.87
7	0.1	5.1	0.5	1.90	7	0.8	2.3	1.8	1.63	1.77
8	0.2	5.2	1	2.13	8	1.3	2.5	2.1	1.97	2.05
9	0.2	4.6	0.7	1.83	9	0.8	1.4	1.4	1.20	1.52
10	0.1	3.7	0.3	1.37	10	0.4	1.2	1.3	0.97	1.17
11	0	1.7	0	0.57	11	0.2	0.7	1	0.63	0.60
12	0.3	0.5	0	0.27	12	0.2	0.1	0.3	0.20	0.23
13	0.8	0	0	0.27	13	0.2	0	0	0.07	0.17
14	0.6	0	0	0.20	14	0.1	0	0	0.03	0.12
15	0	0.1	0	0.03	15	0	0	0	0.00	0.02
เฉลี่ย	0.21	1.56	0.21	0.66	เฉลี่ย	0.27	0.68	0.65	0.53	0.59

ตาราง ก-6 การกระจายลมภายในตู้อบแห้ง เมื่อยังไม่มีวัตถุดิบของความเร็วลม 0.44 เมตร/วินาที กรณีลมมีทิศทางลง

ความเร็วลมด้านลมเข้า (เมตร/วินาที)					ความเร็วลมด้านลมออก (เมตร/วินาที)					เฉลี่ยรวม (เมตร/วินาที)
ถาด	นอก	กลาง	ใน	เฉลี่ย	ถาด	นอก	กลาง	ใน	เฉลี่ย	
1	0	0	0	0.00	1	0	0	0	0.00	0.00
2	0	0	0	0.00	2	0	0	0	0.00	0.00
3	0	0	0	0.00	3	0	0	0	0.00	0.00
4	0	0	0	0.00	4	0	0	0	0.00	0.00
5	0	0	0	0.00	5	0	0	0	0.00	0.00
6	0	0	0	0.00	6	0	0	0	0.00	0.00
7	0.1	0.1	0	0.07	7	0	0	0	0.00	0.03
8	0.1	0.1	0	0.07	8	0	0	0	0.00	0.03
9	0.2	0.1	0	0.10	9	0	0	0	0.00	0.05
10	0.3	0.3	0	0.20	10	0	0	0	0.00	0.10
11	0.3	2.9	0.8	1.33	11	0	0	0	0.00	0.67
12	0.6	3.2	1.5	1.77	12	0	0	0	0.00	0.88
13	1.2	2.7	1.3	1.73	13	0	0	0	0.00	0.87
14	1.2	1.8	0.3	1.10	14	0.1	0	0	0.03	0.57
15	0.7	0.5	0	0.40	15	0.5	0.4	0.4	0.43	0.42
เฉลี่ย	0.31	0.78	0.26	0.45	เฉลี่ย	0.04	0.03	0.03	0.03	0.24

เฉลี่ยเท่ากับ (0.48 + 0.59 + 0.24)/3 = 0.44 เมตร/วินาที

ตาราง ก-7 การกระจายลมภายในตู้อบแห้ง เมื่อยังไม่มีวัตถุดิบของความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที กรณีลมมีทิศทางขึ้น

ความเร็วลมด้านลมเข้า (เมตร/วินาที)					ความเร็วลมด้านลมออก (เมตร/วินาที)					เฉลี่ยรวม (เมตร/วินาที)
ถาด	นอก	กลาง	ใน	เฉลี่ย	ถาด	นอก	กลาง	ใน	เฉลี่ย	
1	0.3	0.3	0.1	0.23	1	1.1	0.6	0.4	0.70	0.47
2	0.2	0.2	0.2	0.20	2	1.8	1.9	1.6	1.77	0.98
3	0.1	1.5	0.4	0.67	3	1.6	1.8	1.4	1.60	1.13
4	0.7	3.4	1.2	1.77	4	0.9	1.3	1.2	1.13	1.45
5	0.7	5.2	1.4	2.43	5	0.4	1	1.3	0.90	1.67
6	0.2	5.3	1.5	2.33	6	0.3	0.5	1	0.60	1.47
7	0.1	4.9	1.7	2.23	7	0	0	0.7	0.23	1.23
8	0.1	4.1	2.3	2.17	8	0	0	0.6	0.20	1.18
9	0	4.8	2.8	2.53	9	0	0	0.6	0.20	1.37
10	0	1.4	0.6	0.67	10	0	0	0.4	0.13	0.40
11	0	0.4	0.3	0.23	11	0	0	0.2	0.07	0.15
12	0	0.2	0.1	0.10	12	0	0	0	0.00	0.05
13	0	0.1	0	0.03	13	0.2	0	0	0.07	0.05
14	0	0.1	0.1	0.07	14	0.4	0	0	0.13	0.10
15	0	0	0	0.00	15	0.4	0	0	0.13	0.07
เฉลี่ย	0.16	2.13	0.85	1.04	เฉลี่ย	0.47	0.47	0.63	0.52	0.78

ตาราง ก-8 การกระจายลมภายในตู้อบแห้ง เมื่อยังไม่มีวัตถุดิบของความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที กรณีลมมีทิศทางขนานกับพื้น

ความเร็วลมด้านลมเข้า (เมตร/วินาที)					ความเร็วลมด้านลมออก (เมตร/วินาที)					เฉลี่ยรวม (เมตร/วินาที)
ถาด	นอก	กลาง	ใน	เฉลี่ย	ถาด	นอก	กลาง	ใน	เฉลี่ย	
1	0.3	0	0	0.10	1	0.4	0.3	0	0.23	0.17
2	0.1	0	0	0.03	2	0.3	0	0	0.10	0.07
3	0.2	0	0	0.07	3	0.2	0	0	0.07	0.07
4	0.2	0.2	0	0.13	4	0.1	0	0	0.03	0.08
5	0.2	0.4	0.1	0.23	5	0.1	0.2	0.4	0.23	0.23
6	0.3	3.3	0.4	1.33	6	0.5	1.2	0.9	0.87	1.10
7	0.3	6.7	0.8	2.60	7	1	2.3	1.3	1.53	2.07
8	0.2	7.7	1	2.97	8	1.5	2.8	1.7	2.00	2.48
9	0.2	7.7	1.5	3.13	9	1.3	2.5	1.6	1.80	2.47
10	0.3	6.1	2.5	2.97	10	1.1	2	1.8	1.63	2.30
11	0.2	5.2	1.9	2.43	11	0.5	1.2	1.8	1.17	1.80
12	0.2	2.8	1.2	1.40	12	0	0.7	1.6	0.77	1.08
13	0.1	0.2	0.1	0.13	13	0	0.2	1.4	0.53	0.33
14	0	0	0	0.00	14	0	0.1	1	0.37	0.18
15	0	0	0	0.00	15	0	0.1	0.6	0.23	0.12
เฉลี่ย	0.19	2.69	0.63	1.17	เฉลี่ย	0.47	0.91	0.94	0.77	0.97

ตาราง ก-9 การกระจายลมภายในตู้อบแห้ง เมื่อยังไม่มีวัตถุดิบของความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที กรณีลมมีทิศทางลง

ความเร็วลมด้านลมเข้า (เมตร/วินาที)					ความเร็วลมด้านลมออก (เมตร/วินาที)					เฉลี่ยรวม (เมตร/วินาที)
ถาด	นอก	กลาง	ใน	เฉลี่ย	ถาด	นอก	กลาง	ใน	เฉลี่ย	
1	0	0	0	0.00	1	0	0	0	0.00	0.00
2	0	0	0	0.00	2	0	0	0	0.00	0.00
3	0	0	0	0.00	3	0	0	0	0.00	0.00
4	0	0	0	0.00	4	0	0	0	0.00	0.00
5	0	0	0	0.00	5	0	0	0	0.00	0.00
6	0	0	0	0.00	6	0	0	0	0.00	0.00
7	0	0	0	0.00	7	0	0	0	0.00	0.00
8	0.1	0.1	0.1	0.10	8	0	0	0	0.00	0.05
9	0.1	0.1	0.1	0.10	9	0	0	0	0.00	0.05
10	0.1	1.5	0.6	0.73	10	0	0	0	0.00	0.37
11	0.1	3	1.1	1.40	11	0	0	0	0.00	0.70
12	0.3	3.3	2.2	1.93	12	0	0	0	0.00	0.97
13	1.2	4	1.9	2.37	13	0.3	0	0.3	0.20	1.28
14	1.6	4	1.8	2.47	14	0.2	0.4	0.5	0.37	1.42
15	1.5	3.3	1.7	2.17	15	0.4	0.8	0.4	0.53	1.35
เฉลี่ย	0.33	1.29	0.63	0.75	เฉลี่ย	0.06	0.08	0.08	0.07	0.41

เฉลี่ยเท่ากับ (0.78 + 0.97 + 0.41)/3 = 0.72 เมตร/วินาที

ภาคผนวก ข
แสดงข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกและ
ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของเนื้อหมากแว่นสดก่อนทำการอบแห้ง

ตาราง ข-1 ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกและค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของเนื้อหมากแว่นสดก่อนทำการอบแห้ง

ตัวอย่างที่	ความชื้นมาตรฐานเปียกของเนื้อหมากแว่นสด (%, w.b.)	ความชื้นมาตรฐานแห้งของเนื้อหมากแว่นสด (%, d.b.)
1	81.89	452.18
2	83.47	504.96
3	85.12	572.04
4	84.18	532.11
5	80.15	403.78
6	83.86	519.58
7	82.55	473.07
8	84.53	546.41
9	81.47	439.67
10	83.32	499.52
เฉลี่ย	83.05	490.11

ภาคผนวก ค

แสดงข้อมูลลักษณะทางกายภาพและสีของเนื้อหมากแว่น จากการทดลองอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดด้วยเตาอบยี่ห้อ Imarflex ที่อุณหภูมิต่างๆ ด้วยความเร็วลม 0.8 เมตร/วินาที

ตาราง ค-1 การทดลองอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดด้วยเตาอบยี่ห้อ Imarflex ที่อุณหภูมิ 80 °C ความเร็วลม 0.8 เมตร/วินาที

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก (%, w.b.)	ลักษณะทางกายภาพ	สี
0.5	> 44	- ผิวหมากเปียกชุ่ม - เนื้อหมากนุ่ม	- สีน้ำตาลอ่อน
1	> 44	- ผิวหมากแห้งมากขึ้น - เนื้อหมากนุ่ม	- สีน้ำตาลอ่อน
1.5	> 44	- ผิวหมากแห้งมากขึ้น - เนื้อหมากนุ่ม	- สีน้ำตาลอ่อน
2	> 44	- ผิวหมากแห้งมากขึ้น - เนื้อเริ่มแข็งขึ้น	- สีน้ำตาลอ่อน
2.5	30 - 40	- ผิวหมากแห้งมากขึ้น - เนื้อเริ่มแข็งขึ้น	- สีน้ำตาลเข้มขึ้น
3	20 - 30	- ผิวหมากแห้งมากขึ้น - เนื้อเริ่มแข็งขึ้น	- สีน้ำตาลเข้มขึ้น
3.5	20 - 25	- ผิวหมากแห้งมากขึ้น - เนื้อเริ่มแข็ง	- สีน้ำตาลเข้มขึ้น
4	15 - 20	- ผิวหมากแห้งมากขึ้น - เนื้อเริ่มแข็งและเปราะ	- สีน้ำตาลเข้ม
4.5	10 - 15	- ผิวหมากแห้งเกือบสนิท - เนื้อแข็ง	- สีน้ำตาลเข้ม
5	< 10	- ผิวหมากแห้งสนิท - เนื้อแข็ง	- สีน้ำตาลเข้ม

ตาราง ค-2 การทดลองอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดด้วยเตาอบยี่ห้อ Imarflex ที่อุณหภูมิ 100 °C ความเร็วลม 0.8 เมตร/วินาที

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก (%, w.b.)	ลักษณะทางกายภาพ	สี
0.5	> 44	- ผิวหมากเปียกชุ่ม - เนื้อหมากนุ่ม	- สีน้ำตาลอ่อน
1	> 44	- ผิวหมากแห้งมากขึ้น - เนื้อหมากนุ่ม	- สีน้ำตาลอ่อน
1.5	> 44	- ผิวหมากแห้งมากขึ้น - เนื้อหมากนุ่ม	- สีน้ำตาลเข้มขึ้น
2	30 - 40	- ผิวหมากแห้งมากขึ้น - เนื้อเริ่มแข็งขึ้น	- สีน้ำตาลเข้มขึ้น
2.5	20 - 30	- ผิวหมากแห้งมากขึ้น - เนื้อเริ่มแข็งขึ้น	- สีน้ำตาลเข้มขึ้น
3	10 - 15	- ผิวหมากแห้งเกือบสนิท - เนื้อแข็ง	- สีน้ำตาลเข้ม
3.5	< 10	- ผิวหมากแห้งสนิท - เนื้อแข็ง	- สีน้ำตาลเข้ม

ตาราง ค-3 การทดลองอบแห้งเนื้อหมากแว่นสดด้วยเตาอบยี่ห้อ Imarflex ที่อุณหภูมิ 120 °C ความเร็วลม 0.8 เมตร/วินาที

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก (%, w.b.)	ลักษณะทางกายภาพ	สี
0.5	> 44	- ผิวหมากเปียกชุ่ม - เนื้อหมากนุ่ม	- สีน้ำตาลอ่อน
1	> 44	- ผิวหมากแห้งและเริ่มมีรอยไหม้ที่ขอบ - เนื้อหมากนุ่ม	- สีน้ำตาลเข้มขึ้น
1.5	> 44	- ผิวหมากแห้งมากขึ้นและมีรอยไหม้ที่ขอบ - เนื้อเริ่มแข็งขึ้น	- สีน้ำตาลเข้มขึ้น
2	30 - 35	- ผิวหมากแห้งมากขึ้นและมีรอยไหม้มากขึ้น - เนื้อเริ่มแข็งขึ้น	- สีน้ำตาลเข้มขึ้น
2.5	20 - 25	- ผิวหมากแห้งสนิทและมีรอยไหม้มากขึ้น - เนื้อเริ่มแข็งขึ้น	- สีน้ำตาลเข้ม
3	10 - 15	- ผิวหมากแห้งสนิทและมีรอยไหม้เกือบทั้งแว่น - เนื้อแข็ง	- สีน้ำตาลเข้มเกือบดำ
3.5	< 10	- ผิวหมากแห้งสนิทและมีรอยไหม้เกือบทั้งแว่น - เนื้อแข็ง	- สีน้ำตาลเข้มขึ้นเกือบดำ

ภาคผนวก ง

แสดงข้อมูลปริมาณและมูลค่าการส่งออกหมากสดและหมากแห้งของประเทศไทย

ตาราง ง-1 ปริมาณการส่งออกหมากสด

ประเทศ	ปี 2544		ปี 2545		ปี 2546	
	ปริมาณ (กก.)	มูลค่า (บาท)	ปริมาณ (กก.)	มูลค่า (บาท)	ปริมาณ (กก.)	มูลค่า (บาท)
ออสเตรเลีย	833	62,982	554	39,554	157	11,000
บังกลาเทศ	146,570	1,609,857	163,485	2,883,831	0	0
สวิตเซอร์แลนด์	0	15	0	0	0	0
จีน	10,625	454,166	130	5,606	3,576	286,080
สหราชอาณาจักร	36,000	1,972,689	0	0	0	0
ฮ่องกง	44,877	1,455,870	35,469	1,310,357	18,058	928,204
กัมพูชา	116	4,245	0	0	0	0
เนปาล	54,500	1,116,785	74,000	1,297,356	0	0
สหรัฐอเมริกา	34,618	1,648,283	19,994	1,244,813	32,768	1,896,217
เวียดนาม	888	38,872	0	0	0	0
แคนาดา	0	0	190	10,349	0	0
นิวซีแลนด์	0	0	65	7,817	363	24,617
ซาอุดิอาระเบีย	0	0	18,000	126,395	0	0
สิงคโปร์	0	0	90	9,000	0	0
ไต้หวัน	0	0	931,327	29,682,845	1,452,118	86,737,764
อเมริกาใต้	0	0	3	307	0	0
รวมทั้งสิ้น	329,027	8,363,764	1,243,307	36,618,230	1,507,040	89,883,882

(ที่มา : ฝ่ายประมวลผล กองแผนงาน กรมส่งเสริมการเกษตร, 2545)

ตาราง ง-2 ปริมาณการส่งออกหมากแห้ง

ประเทศ	ปี 2544		ปี 2545		ปี 2546	
	ปริมาณ (กก.)	มูลค่า (บาท)	ปริมาณ (กก.)	มูลค่า (บาท)	ปริมาณ (กก.)	มูลค่า (บาท)
U.A.E.	108,000	2,518,206	234,150	4,635,634	1,374,755	44,301,212
ออสเตรเลีย	194	38,085	579	87,362	36,000	1,774,015
บังกลาเทศ	915,589	13,435,447	7,102,562	99,046,289	249	40,642
แคนาดา	335	56,563	285	52,107	4,616,075	76,213,493
ฝรั่งเศส	535	63,979	507	60,313	114	36,040
อังกฤษ	245,611	6,582,631	255,765	6,807,938	10	1,590
ฮ่องกง	2,970	114,140	70	1,105	555	70,446
อินโดนีเซีย	144,000	1,088,497	36,000	636,191	285,080	10,109,533
อินเดีย	7,576,961	150,937,059	5,888,350	102,333,906	14,350	84,990
เกาหลี	9,189,049	185,451,341	20,040	235,395	742,891	16,749,466
มาเลเซีย	3,139	85,576	146,640	700,484	377,880	1,893,161
เนปาล	1,391,720	29,344,872	8,045,145	137,656,482	2,460,320	42,979,965
นิวซีแลนด์	611,500	13,067,924	158	18,604	114	17,094
ปากีสถาน	2	40	2,643,816	43,936,639	8,326,712	166,357,147
ซาอุฯ	482,400	6,067,476	1,080,200	18,903,729	915,000	18,069,672
สวีเดน	1,019	307,764	22	2,805	0	0
สิงคโปร์	18,000	65,339	862,200	12,386,832	666,000	19,510,678
ตูนิเซีย	0	0	36,000	509,473	0	0
อเมริกา	0	0	5,244	798,109	1,082	133,845
เยเมน	0	0	43,200	724,469	39,300	623,179
อื่นๆ	18,000	232,524	0	0	0	0
รวมทั้งสิ้น	21,061,374	410,999,276	26,403,933	429,598,486	24,184,566	478,891,147

(ที่มา : ฝ่ายประมวลผล กองแผนงาน กรมส่งเสริมการเกษตร, 2545)

ตาราง ง-3 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกหมากสดและหมากแห้งไปต่างประเทศ

ปี	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)
2540	9,034	160
2541	12,075	328
2542	3,114	313
2543	23,963	709
2544	21,390	419
2545	27,647	466
2546	25,692	569

(ที่มา : ฝ่ายประมวลผล กองแผนงาน กรมส่งเสริมการเกษตร, 2545)

ภาคผนวก จ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

(หมากแห้ง)

มผช.๑๐๖๐/๒๕๔๘

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน
หมากแห้ง

๑. ขอบข่าย

๑.๑ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมหมากที่ทำให้แห้ง อยู่ในลักษณะเป็นชิ้น บรรจุในภาชนะบรรจุ

๒. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ มีดังต่อไปนี้

๒.๑ หมากแห้ง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำผลหมากที่สดและอยู่ในสภาพดีมาแกะเปลือกออก นำส่วนที่เป็นเนื้อมาหั่นเป็นชิ้นตามขนาดที่ต้องการ ทำให้แห้งโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์หรือแหล่งพลังงานอื่น

๓. คุณลักษณะที่ต้องการ

๓.๑ ลักษณะทั่วไป

ต้องเป็นชิ้นแห้ง อาจมีชิ้นหักปนอยู่ได้บ้างเล็กน้อย

๓.๒ สี

ต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติของหมากแห้ง

๓.๓ กลิ่นรส

ต้องมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของหมากแห้ง ปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์

เมื่อตรวจสอบโดยวิธีให้คะแนนตามข้อ ๘.๑ แล้ว ต้องได้คะแนนเฉลี่ยของแต่ละลักษณะจากผู้ตรวจสอบทุกคนไม่น้อยกว่า ๓ คะแนน และไม่มีลักษณะใดได้ ๑ คะแนนจากผู้ตรวจสอบคนใดคนหนึ่ง

๓.๔ สิ่งแปลกปลอม

ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ดิน ทราย กรวด ชิ้นส่วนหรือสิ่งปฏิกูลจากสัตว์

๓.๕ ความชื้น

ต้องไม่เกินร้อยละ ๑๒ โดยน้ำหนัก

๓.๖ จุลินทรีย์

๓.๖.๑ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน ๑×๑๐^{๕} โคโลนีต่อตัวอย่าง ๑ กรัม

๓.๖.๒ ยีสต์และรา ต้องไม่เกิน ๑๐๐ โคโลนีต่อตัวอย่าง ๑ กรัม

๔. สุขลักษณะ

๔.๑ สุขลักษณะในการทำหมากแห้ง ให้เป็นไปตามคำแนะนำตามภาคผนวก ก.

๕. การบรรจุ

๕.๑ ให้บรรจุหมากแห้งในภาชนะบรรจุที่สะอาด ปิดได้สนิท และสามารถป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกภายนอกได้

๕.๒ น้ำหนักสุทธิของหมากแห้งในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

๖. เครื่องหมายและฉลาก

๖.๑ ที่ภาชนะบรรจุหมากแห้งทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(๑) ชื่อเรียกผลิตภัณฑ์ เช่น หมากแห้ง หมาก

(๒) น้ำหนักสุทธิ

(๓) วัน เดือน ปีที่ทำ และวัน เดือน ปีที่หมดอายุ หรือข้อความ “ควรบริโภคก่อน (วัน เดือน ปี)”

(๔) ข้อแนะนำในการบริโภคและการเก็บรักษา

(๕) ชื่อผู้ทำหรือสถานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียนในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

๗. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

๗.๑ รุ่น ในที่นี้ หมายถึง หมากแห้งที่ทำในระยะเวลาเดียวกัน

๗.๒ การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้

๗.๒.๑ การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบสิ่งแปลกปลอม การบรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน ๓ หน่วยภาชนะบรรจุ เมื่อตรวจสอบแล้วทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ ๓.๔ ข้อ ๕. และข้อ ๖. จึงจะถือว่าหมากแห้งรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

๗.๒.๒ การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบลักษณะทั่วไป สี และกลิ่นรส ให้ใช้ตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบตามข้อ ๗.๒.๑ แล้ว จำนวน ๓ หน่วยภาชนะบรรจุ เมื่อตรวจสอบแล้วทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ ๓.๑ ถึงข้อ ๓.๓ จึงจะถือว่าหมากแห้งรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

๗.๒.๓ การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบความชื้น ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันจำนวน ๓ หน่วยภาชนะบรรจุ เพื่อทำเป็นตัวอย่างรวม โดยมีน้ำหนักรวมไม่น้อยกว่า ๑๐๐ กรัมกรณีตัวอย่างไม่พอให้ชักตัวอย่างเพิ่มโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันให้ได้ตัวอย่างที่มีน้ำหนักรวมตามที่กำหนด เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ ๓.๕ จึงจะถือว่าหมากแห้งรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

๗.๒.๔ การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบจุลินทรีย์ ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันจำนวน ๓ หน่วยภาชนะบรรจุ เพื่อทำเป็นตัวอย่างรวม โดยมีน้ำหนักรวมไม่น้อยกว่า ๒๐๐ กรัม กรณีตัวอย่างไม่พอให้ชักตัวอย่างเพิ่มโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันให้ได้ตัวอย่างที่มีน้ำหนักรวมตามที่กำหนด เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ ๓.๖ จึงจะถือว่าหมากแห้งรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

๗.๓ เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างหมากแห้งต้องเป็นไปตามข้อ ๗.๒.๑ ข้อ ๗.๒.๒ ข้อ ๗.๒.๓ และข้อ ๗.๒.๔ ทุกข้อ จึงจะถือว่าหมากแห้งรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้

๘. การทดสอบ

๘.๑ การทดสอบลักษณะทั่วไป สี และกลิ่นรส

๘.๑.๑ ให้แต่งตั้งคณะผู้ตรวจสอบ ประกอบด้วยผู้ที่มีความชำนาญในการตรวจสอบหมากแห้งอย่างน้อย ๕ คน แต่ละคนจะแยกกันตรวจและให้คะแนนโดยอิสระ

๘.๑.๒ เทตัวอย่างหมากแห้งลงในจานกระเบื้องสีขาว ตรวจสอบโดยการตรวจพินิจและชิม

๘.๑.๓ หลักเกณฑ์การให้คะแนน ให้เป็นไปตามตารางที่ ๑

ตารางที่ ๑ หลักเกณฑ์การให้คะแนน

(ข้อ ๘.๑.๓)

ลักษณะที่ตรวจสอบ	เกณฑ์ที่กำหนด	ระดับการตัดสิน (คะแนน)			
		ดีมาก	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง
ลักษณะทั่วไป	ต้องเป็นชิ้นแห้ง อาจมีชิ้นหักปนอยู่ได้บ้างเล็กน้อย	๔	๓	๒	๑
สี	ต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติของหมากแห้ง	๔	๓	๒	๑
กลิ่นรส	ต้องมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของหมากแห้ง ปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์	๔	๓	๒	๑

๘.๒ การทดสอบสิ่งแปลกปลอม ภาชนะบรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก

ให้ตรวจพินิจ

๘.๓ การทดสอบความชื้น

ให้ใช้วิธีทดสอบตาม AOAC หรือวิธีทดสอบอื่นที่เป็นที่ยอมรับ

๘.๔ การทดสอบจุลินทรีย์

ให้ใช้วิธีทดสอบตาม AOAC หรือ BAM หรือวิธีทดสอบอื่นที่เป็นที่ยอมรับ

๘.๕ การทดสอบน้ำหนักสุทธิ

ให้ใช้เครื่องชั่งที่เหมาะสม

ภาคผนวก ฉ
แสดงข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกและค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของเนื้อหมากแว่นสด ในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด 5.1 กิโลกรัม ด้วยลมร้อนในแต่ละช่วงเวลา ณ สภาวะต่างๆ

ตาราง ฉ-1 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของเนื้อหมากแว่นเมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C ความเร็วลม 0.24 เมตร/วินาที (ทำการอบแห้งโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว)

เวลา (ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของถาดที่ 1 (%, d.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของถาดที่ 8 (%, d.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของถาดที่ 15 (%, d.b.)
0	480.20	468.56	468.56
0.5	408.87	371.24	397.32
1	344.03	291.97	333.11
1.5	284.98	222.07	273.24
2	230.03	175.92	214.05
2.5	175.43	131.44	161.87
3	127.99	99.67	120.07
3.5	97.27	72.91	84.62
4	70.99	54.52	64.88
4.5	51.88	44.48	46.15
5	35.15	35.45	32.78
5.5	23.89	27.42	24.41
6	17.75	20.07	17.73
6.5	12.97	14.05	13.04
7	9.90	9.70	10.70

ตาราง ฉ-2 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของเนื้อหมากแว่นเมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C ความเร็วลม 0.24 เมตร/วินาที (ทำการอบแห้งโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว)

เวลา (ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของถาดที่ 1 (%, w.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของถาดที่ 8 (%, w.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของถาดที่ 15 (%, w.b.)
0	82.76	82.41	82.41
0.5	80.35	78.78	79.89
1	77.48	74.49	76.91
1.5	74.02	68.95	73.21
2	69.70	63.76	68.16
2.5	63.69	56.79	61.81
3	56.14	49.92	54.56
3.5	49.31	42.17	45.83
4	41.52	35.28	39.35
4.5	34.16	30.79	31.58
5	26.01	26.17	24.69
5.5	19.28	21.52	19.62
6	15.07	16.71	15.06
6.5	11.48	12.32	11.54
7	9.01	8.84	9.67

ตาราง ฉ-3 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของเนื้อหมากแว่นเมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C ความเร็วลม 0.44 เมตร/วินาที (ทำการอบแห้งโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อนจากระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของถาดที่ 1 (%, d.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของถาดที่ 8 (%, d.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของถาดที่ 15 (%, d.b.)
0	486.21	525.00	527.31
0.5	398.97	388.60	403.69
1	324.83	300.00	312.18
1.5	262.76	231.99	246.13
2	211.03	177.57	192.62
2.5	162.41	135.66	152.03
3	117.93	101.10	111.81
3.5	87.59	73.16	80.07
4	62.76	51.47	53.14
4.5	41.72	36.40	29.89
5	23.10	22.06	17.34
5.5	13.10	13.60	12.18
6	9.66	10.66	9.96

ตาราง ฉ-4 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของเนื้อหมากแว่นเมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C ความเร็วลม 0.44 เมตร/วินาที (ทำการอบแห้งโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อนจากระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของถาดที่ 1 (%, w.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของถาดที่ 8 (%, w.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของถาดที่ 15 (%, w.b.)
0	82.94	84.00	84.06
0.5	79.96	79.53	80.15
1	76.46	75.00	75.74
1.5	72.43	69.88	71.11
2	67.85	63.97	65.83
2.5	61.89	57.57	60.32
3	54.11	50.27	52.79
3.5	46.69	42.25	44.47
4	38.56	33.98	34.70
4.5	29.44	26.68	23.01
5	18.77	18.07	14.78
5.5	11.59	11.97	10.86
6	8.81	9.63	9.06

ตาราง ฉ-5 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของเนื้อหมากแว่นเมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C ความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที (ทำการอบแห้งโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว)

เวลา (ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของถาดที่ 1 (%, d.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของถาดที่ 8 (%, d.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของถาดที่ 15 (%, d.b.)
0	527.31	520.44	513.72
0.5	400.00	346.35	375.81
1	302.58	220.80	275.45
1.5	223.99	145.62	187.73
2	162.73	94.53	121.66
2.5	109.59	56.20	75.09
3	67.90	37.96	47.29
3.5	46.86	28.83	35.74
4	24.72	21.17	24.55
4.5	16.97	14.60	13.72
5	9.59	8.76	9.39

ตาราง ฉ-6 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของเนื้อหมากแว่นเมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C ความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที (ทำการอบแห้งโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว)

เวลา (ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของถาดที่ 1 (%, w.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของถาดที่ 8 (%, w.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของถาดที่ 15 (%, w.b.)
0	84.06	83.88	83.71
0.5	80.00	77.60	78.98
1	75.16	68.83	73.37
1.5	69.13	59.29	65.24
2	61.94	48.59	54.89
2.5	52.29	35.98	42.89
3	40.44	27.51	32.11
3.5	31.91	22.38	26.33
4	19.82	17.47	19.71
4.5	14.51	12.74	12.06
5	8.75	8.05	8.58

ตาราง ฉ-7 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของเนื้อหมากแว่นเมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C ความเร็วลม 0.24 เมตร/วินาที (ทำการอบแห้งโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว)

เวลา (ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของถาดที่ 1 (%, d.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของถาดที่ 8 (%, d.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของถาดที่ 15 (%, d.b.)
0	492.33	488.24	529.63
0.5	385.37	350.17	412.96
1	291.29	240.48	308.15
1.5	211.15	157.79	220.00
2	150.52	104.50	150.74
2.5	102.79	65.40	98.89
3	67.60	45.33	67.41
3.5	41.11	26.30	41.85
4	19.86	18.69	20.00
4.5	12.54	13.84	11.85
5	9.76	10.38	8.89

ตาราง ฉ-8 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของเนื้อหมากแว่นเมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C ความเร็วลม 0.24 เมตร/วินาที (ทำการอบแห้งโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว)

เวลา (ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของถาดที่ 1 (%, w.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของถาดที่ 8 (%, w.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของถาดที่ 15 (%, w.b.)
0	83.12	83.00	84.12
0.5	79.40	77.79	80.51
1	74.44	70.63	75.50
1.5	67.86	61.21	68.75
2	60.08	51.10	60.12
2.5	50.69	39.54	49.72
3	40.33	31.19	40.27
3.5	29.14	20.82	29.50
4	16.57	15.74	16.67
4.5	11.15	12.16	10.60
5	8.89	9.40	8.16

ตาราง ฉ-9 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของเนื้อหมากแว่นเมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C ความเร็วลม 0.44 เมตร/วินาที (ทำการอบแห้งโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อนจากระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของถาดที่ 1 (%, d.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของถาดที่ 8 (%, d.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของถาดที่ 15 (%, d.b.)
0	520.44	531.97	509.32
0.5	385.77	350.56	362.01
1	284.67	231.60	265.95
1.5	208.39	160.59	191.04
2	138.32	104.83	130.47
2.5	86.50	75.09	83.51
3	53.65	49.07	43.73
3.5	31.75	33.46	25.81
4	18.25	19.33	17.92
4.5	12.41	13.01	12.54
5	9.85	9.67	10.75

ตาราง ฉ-10 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของเนื้อหมากแว่นเมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C ความเร็วลม 0.44 เมตร/วินาที (ทำการอบแห้งโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อนจากระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของถาดที่ 1 (%, w.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของถาดที่ 8 (%, w.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของถาดที่ 15 (%, w.b.)
0	83.88	84.18	83.59
0.5	79.41	77.81	78.36
1	74.00	69.84	72.67
1.5	67.57	61.63	65.64
2	58.04	51.18	56.61
2.5	46.38	42.89	45.51
3	34.92	32.92	30.42
3.5	24.10	25.07	20.51
4	15.43	16.20	15.20
4.5	11.04	11.51	11.15
5	8.97	8.81	9.71

ตาราง ฉ-11 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของเนื้อหมากแว่นเมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C ความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที (ทำการอบแห้งโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว)

เวลา (ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของถาดที่ 1 (%, d.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของถาดที่ 8 (%, d.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของถาดที่ 15 (%, d.b.)
0	531.97	566.67	574.60
0.5	336.80	302.75	365.48
1	229.74	194.90	230.95
1.5	139.03	116.08	126.59
2	82.53	63.14	62.30
2.5	49.07	42.75	36.51
3	27.51	22.35	23.81
3.5	20.45	16.86	17.86
4	14.13	12.55	12.70
4.5	10.41	9.80	10.71

ตาราง ฉ-12 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของเนื้อหมากแว่นเมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C ความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที (ทำการอบแห้งโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว)

เวลา (ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของถาดที่ 1 (%, w.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของถาดที่ 8 (%, w.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของถาดที่ 15 (%, w.b.)
0	84.18	85.00	85.18
0.5	77.11	75.17	78.52
1	69.67	66.09	69.78
1.5	58.16	53.72	55.87
2	45.21	38.70	38.39
2.5	32.92	29.95	26.74
3	21.57	18.27	19.23
3.5	16.98	14.43	15.15
4	12.38	11.15	11.27
4.5	9.43	8.93	9.68

ตาราง ฉ-13 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของเนื้อหมากแว่นเมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C ความเร็วลม 0.24 เมตร/วินาที (ทำการอบแห้งโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว)

เวลา (ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของถาดที่ 1 (%, d.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของถาดที่ 8 (%, d.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของถาดที่ 15 (%, d.b.)
0	529.63	496.49	488.24
0.5	401.85	325.61	333.91
1	297.78	217.54	224.57
1.5	201.11	122.81	139.45
2	128.52	74.74	75.43
2.5	78.89	46.67	50.52
3	46.30	18.95	27.34
3.5	17.78	11.93	18.34
4	8.89	10.18	10.38

ตาราง ฉ-14 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของเนื้อหมากแว่นเมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C ความเร็วลม 0.24 เมตร/วินาที (ทำการอบแห้งโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว)

เวลา (ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของถาดที่ 1 (%, w.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของถาดที่ 8 (%, w.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของถาดที่ 15 (%, w.b.)
0	84.12	83.24	83.00
0.5	80.07	76.50	76.95
1	74.86	68.51	69.19
1.5	66.79	55.12	58.24
2	56.24	42.77	43.00
2.5	44.10	31.82	33.56
3	31.65	15.93	21.47
3.5	15.09	10.66	15.50
4	8.16	9.24	9.40

ตาราง ฉ-15 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของเนื้อหมากแว่นเมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C ความเร็วลม 0.44 เมตร/วินาที (ทำการอบแห้งโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อนจากระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของถาดที่ 1 (%, d.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของถาดที่ 8 (%, d.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของถาดที่ 15 (%, d.b.)
0	468.56	511.51	484.19
0.5	327.42	313.31	307.22
1	240.47	211.15	215.12
1.5	168.90	147.84	154.98
2	119.73	101.08	99.66
2.5	80.94	56.83	62.89
3	44.15	26.26	30.24
3.5	19.40	13.67	15.12
4	10.03	10.43	9.62

ตาราง ฉ-16 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของเนื้อหมากแว่นเมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C ความเร็วลม 0.44 เมตร/วินาที (ทำการอบแห้งโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อนจากระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของถาดที่ 1 (%, w.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของถาดที่ 8 (%, w.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของถาดที่ 15 (%, w.b.)
0	82.41	83.65	82.88
0.5	76.60	75.81	75.44
1	70.63	67.86	68.27
1.5	62.81	59.65	60.78
2	54.49	50.27	49.91
2.5	44.73	36.24	38.61
3	30.63	20.80	23.22
3.5	16.25	12.03	13.13
4	9.12	9.45	8.78

ตาราง ฉ-17 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของเนื้อหมากแว่นเมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C ความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที (ทำการอบแห้งโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว)

เวลา (ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของถาดที่ 1 (%, d.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของถาดที่ 8 (%, d.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของถาดที่ 15 (%, d.b.)
0	470.47	486.21	492.33
0.5	293.29	273.10	281.18
1	173.15	155.52	162.37
1.5	105.37	88.28	86.41
2	62.75	45.52	50.87
2.5	25.17	25.17	22.65
3	12.08	12.76	16.03
3.5	10.74	10.34	10.80

ตาราง ฉ-18 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของเนื้อหมากแว่นเมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C ความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที (ทำการอบแห้งโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว)

เวลา (ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของถาดที่ 1 (%, w.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของถาดที่ 8 (%, w.b.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของถาดที่ 15 (%, w.b.)
0	82.47	82.94	83.12
0.5	74.57	73.20	73.77
1	63.39	60.86	61.89
1.5	51.31	46.89	46.36
2	38.56	31.28	33.72
2.5	20.11	20.11	18.47
3	10.78	11.31	13.81
3.5	9.70	9.38	9.75

ภาคผนวก ช

แสดงข้อมูลค่ายูนิตไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด 5.1 กิโลกรัม ด้วยลมร้อนในแต่ละช่วงเวลา ณ สภาวะต่างๆ

ตาราง ช-1 ข้อมูลค่ายูนิตไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด 5.1 กิโลกรัม เมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C ความเร็วลม 0.24 เมตร/วินาที (ทำการอบแห้งโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว)

เวลา (ชั่วโมง)	ค่ายูนิตไฟฟ้าแต่ละช่วงเวลา (หน่วย)	ค่ายูนิตไฟฟ้ารวม (หน่วย)
อุ่น-0	0.70	0.70
0-0.5	2.14	2.84
0.5-1	1.71	4.55
1-1.5	1.79	6.34
1.5-2	1.69	8.03
2-2.5	1.63	9.66
2.5-3	1.61	11.27
3-3.5	1.51	12.78
3.5-4	1.55	14.33
4-4.5	1.53	15.86
4.5-5	1.41	17.27
5-5.5	1.43	18.7
5.5-6	1.38	20.08
6-6.5	1.38	21.46
6.5-7	1.44	22.9
ค่าไฟไม่รวมตอนอุ่นเครื่อง(หน่วย)		22.2

ตาราง ช-2 ข้อมูลค่ายูนิตไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด 5.1 กิโลกรัม เมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C ความเร็วลม 0.44 เมตร/วินาที (ทำการอบแห้งโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อนจากระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	ค่ายูนิตไฟฟ้าแต่ละช่วงเวลา (หน่วย)	ค่ายูนิตไฟฟ้ารวม (หน่วย)
อุ่น-0	0.14	0.14
0-0.5	0.40	0.54
0.5-1	0.40	0.94
1-1.5	0.39	1.33
1.5-2	0.40	1.73
2-2.5	0.40	2.13
2.5-3	0.40	2.53
3-3.5	0.40	2.93
3.5-4	0.41	3.34
4-4.5	0.40	3.74
4.5-5	0.41	4.15
5-5.5	0.40	4.55
5.5-6	0.39	4.94
ค่าไฟไม่รวมตอนอุ่นเครื่อง(หน่วย)		4.80

ตาราง ช-3 ข้อมูลค่ายูนิตไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด 5.1 กิโลกรัม เมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C ความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที (ทำการอบแห้งโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว)

เวลา (ชั่วโมง)	ค่ายูนิตไฟฟ้าแต่ละช่วงเวลา (หน่วย)	ค่ายูนิตไฟฟ้ารวม (หน่วย)
อุ่น-0	0.61	0.61
0-0.5	2.32	2.93
0.5-1	2.07	5.00
1-1.5	1.88	6.88
1.5-2	1.75	8.63
2-2.5	1.67	10.3
2.5-3	1.55	11.85
3-3.5	1.51	13.36
3.5-4	1.39	14.75
4-4.5	1.38	16.13
4.5-5	1.35	17.48
ค่าไฟไม่รวมตอนอุ่นเครื่อง(หน่วย)		16.87

ตาราง ช-4 ข้อมูลค่ายูนิตไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด 5.1 กิโลกรัม เมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C ความเร็วลม 0.24 เมตร/วินาที (ทำการอบแห้งโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว)

เวลา (ชั่วโมง)	ค่ายูนิตไฟฟ้าแต่ละช่วงเวลา (หน่วย)	ค่ายูนิตไฟฟ้ารวม (หน่วย)
อุ่น-0	1.28	1.28
0-0.5	2.83	4.11
0.5-1	2.55	6.66
1-1.5	2.41	9.07
1.5-2	2.30	11.37
2-2.5	2.41	13.78
2.5-3	2.11	15.89
3-3.5	2.14	18.03
3.5-4	2.05	20.08
4-4.5	2.14	22.22
4.5-5	1.99	24.21
ค่าไฟไม่รวมตอนอุ่นเครื่อง(หน่วย)		22.93

ตาราง ช-5 ข้อมูลค่ายูนิตไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด 5.1 กิโลกรัม เมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C ความเร็วลม 0.44 เมตร/วินาที (ทำการอบแห้งโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อนจากระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	ค่ายูนิตไฟฟ้าแต่ละช่วงเวลา (หน่วย)	ค่ายูนิตไฟฟ้ารวม (หน่วย)
อุ่น-0	0.24	0.24
0-0.5	0.41	0.65
0.5-1	0.40	1.05
1-1.5	0.41	1.46
1.5-2	0.40	1.86
2-2.5	0.40	2.26
2.5-3	0.39	2.65
3-3.5	0.40	3.05
3.5-4	0.40	3.45
4-4.5	0.40	3.85
4.5-5	0.39	4.24
ค่าไฟไม่รวมตอนอุ่นเครื่อง(หน่วย)		4.00

ตาราง ช-6 ข้อมูลค่ายูนิตไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด 5.1 กิโลกรัม เมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C ความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที (ทำการอบแห้งโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว)

เวลา (ชั่วโมง)	ค่ายูนิตไฟฟ้าแต่ละช่วงเวลา (หน่วย)	ค่ายูนิตไฟฟ้ารวม (หน่วย)
อุ่น-0	1.19	1.19
0-0.5	3.05	4.24
0.5-1	2.69	6.93
1-1.5	2.55	9.48
1.5-2	2.48	11.96
2-2.5	2.55	14.51
2.5-3	2.30	16.81
3-3.5	2.18	18.99
3.5-4	2.22	21.21
4-4.5	2.17	23.38
ค่าไฟไม่รวมตอนอุ่นเครื่อง(หน่วย)		22.19

ตาราง ช-7 ข้อมูลค่ายูนิตไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด 5.1 กิโลกรัม เมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C ความเร็วลม 0.24 เมตร/วินาที (ทำการอบแห้งโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว)

เวลา (ชั่วโมง)	ค่ายูนิตไฟฟ้าแต่ละช่วงเวลา (หน่วย)	ค่ายูนิตไฟฟ้ารวม (หน่วย)
อุ่น-0	2.54	2.54
0-0.5	2.88	5.42
0.5-1	2.64	8.06
1-1.5	2.79	10.85
1.5-2	2.69	13.54
2-2.5	2.86	16.40
2.5-3	2.60	19.00
3-3.5	2.68	21.68
3.5-4	2.64	24.32
ค่าไฟไม่รวมตอนอุ่นเครื่อง(หน่วย)		21.78

ตาราง ช-8 ข้อมูลค่ายูนิตไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด 5.1 กิโลกรัม เมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C ความเร็วลม 0.44 เมตร/วินาที (ทำการอบแห้งโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อนจากระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลผ่านกลุ่มท่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	ค่ายูนิตไฟฟ้าแต่ละช่วงเวลา (หน่วย)	ค่ายูนิตไฟฟ้ารวม (หน่วย)
อุ่น-0	0.60	0.60
0-0.5	0.40	1.00
0.5-1	0.41	1.41
1-1.5	0.40	1.81
1.5-2	0.40	2.21
2-2.5	0.39	2.60
2.5-3	0.40	3.00
3-3.5	0.40	3.40
3.5-4	0.40	3.80
ค่าไฟไม่รวมตอนอุ่นเครื่อง(หน่วย)		3.20

ตาราง ช-9 ข้อมูลค่ายูนิตไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด 5.1 กิโลกรัม เมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C ความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที (ทำการอบแห้งโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว)

เวลา (ชั่วโมง)	ค่ายูนิตไฟฟ้าแต่ละช่วงเวลา (หน่วย)	ค่ายูนิตไฟฟ้ารวม (หน่วย)
อุ่น-0	2.42	2.42
0-0.5	3.11	5.53
0.5-1	2.88	8.41
1-1.5	2.87	11.28
1.5-2	2.85	14.13
2-2.5	2.91	17.04
2.5-3	2.81	19.85
3-3.5	2.84	22.69
ค่าไฟไม่รวมตอนอุ่นเครื่อง(หน่วย)		20.27

ภาคผนวก ซ

แสดงข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกและ
ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของเนื้อหมากแว่นก่อนอบแห้งและหลังอบแห้ง
ในการอบเนื้อหมากแว่นสด 25.5 กิโลกรัม ด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C
ความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที

ตาราง ซ-1 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกและค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของเนื้อหมากแว่นก่อนอบแห้งและหลังอบแห้งในล็อตที่ 1 ด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C ความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที

ถาดที่	ความชื้นมาตรฐานเปียกก่อนอบ (%, w.b.)	ความชื้นมาตรฐานแห้งก่อนอบ (%, d.b.)	ความชื้นมาตรฐานเปียกหลังอบ (%, w.b.)	ความชื้นมาตรฐานแห้งหลังอบ (%, d.b.)
1	83	488.24	9.97	11.07
2	82.29	464.78	9.34	10.3
3	84	525	9.03	9.93
4	84.41	541.51	8.3	9.06
5	83.06	490.28	9.43	10.42
6	82.65	476.27	9.79	10.85
7	82.29	464.78	9.61	10.63
8	82.76	480.2	8.72	9.56
9	84.18	531.97	9.43	10.41
10	84.53	546.39	8.68	9.51
11	84.41	541.51	9.56	10.57
12	83.35	500.71	10.16	11.31
13	82.76	480.2	10.4	11.6
14	83.41	502.84	9.32	10.28
15	82.88	484.19	10.19	11.34
เฉลี่ย	83.33	501.26	9.46	10.45

ตาราง ซ-2 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกและค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของเนื้อหมากแว่นก่อนอบแห้งและหลังอบแห้งในล็อตที่ 2 ด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C ความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที

ถาดที่	ความชื้นมาตรฐานเปียกก่อนอบ (%, w.b.)	ความชื้นมาตรฐานแห้งก่อนอบ (%, d.b.)	ความชื้นมาตรฐานเปียกหลังอบ (%, w.b.)	ความชื้นมาตรฐานแห้งหลังอบ (%, d.b.)
1	84.71	553.85	8.77	9.62
2	85.00	566.67	9.25	10.20
3	84.00	525.00	9.03	9.93
4	83.41	502.84	9.62	10.64
5	82.94	486.21	9.94	11.03
6	83.82	518.18	8.03	8.73
7	83.41	502.84	10.19	11.35
8	84.29	536.70	9.49	10.49
9	82.53	472.39	10.27	11.45
10	82.88	484.19	10.19	11.34
11	83.35	500.71	9.00	9.89
12	82.65	476.27	9.79	10.85
13	82.88	484.19	10.19	11.34
14	82.47	470.47	9.97	11.07
15	82.71	478.23	9.54	10.54
เฉลี่ย	83.40	503.92	9.55	10.56

ภาคผนวก ฌ

แสดงข้อมูลของอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และค่ายูนิตไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง
เนื้อหมากแว่นสด 25.5 กิโลกรัม ด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C
ความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที

ตาราง ฌ-1 ข้อมูลของอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆและค่ายูนิตไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด 25.5 กิโลกรัม ในล็อตที่ 1 ด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 ◦C ความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (◦C)							ค่ายูนิตไฟฟ้าที่ใช้ (หน่วย)
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	เฉลี่ย	
0	31	29	29	30	30	28	29.5	0
0.5	49	51	54	49	52	48	50.5	4.12
1	59	60	64	59	63	58	60.5	8.27
1 ชั่วโมง 17 นาที (เริ่มปิดลิ้น)	65	65	68	63	68	63	65.33	10.33
1.5	76	77	80	75	81	75	77.33	12.41
2	102	98	107	99	107	100	102.17	16.55
2.5	103	100	108	99	106	101	102.83	19.37
3	102	101	107	100	105	100	102.5	22.21
3.5	103	102	106	101	104	101	102.83	25.03

ตาราง ฌ-2 ข้อมูลของอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆและค่ายูนิตไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด 25.5 กิโลกรัม ในล็อตที่ 2 ด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 ◦C ความเร็วลม 0.72 เมตร/วินาที

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (◦C)							ค่ายูนิตไฟฟ้าที่ใช้ (หน่วย)
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	เฉลี่ย	
0	85	81	92	82	89	80	84.83	0
10 นาที (เริ่มเปิดลิ้น)	67	65	68	64	67	65	66	1.37
0.5	52	51	55	52	56	51	52.83	4.18
55 นาที (เริ่มปิดลิ้น)	65	64	67	64	67	64	65.17	7.61
1	68	67	72	68	72	67	69	8.32
1.5	98	97	102	99	103	97	99.33	12.48
2	104	102	108	104	109	101	104.67	16.02
2.5	105	103	109	103	108	100	104.67	18.91
3	104	104	108	102	108	101	104.5	21.33

ภาคผนวก ญ
แสดงภาพประกอบของวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ
เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด

ภาพประกอบ ญ-1 เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด

ภาพประกอบ ญ-2 เนื้อหมากแว่นสดที่หั่นแล้วมีความหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร

ภาพประกอบ ญ-3 เปลือกหมากแห้ง

ภาพประกอบ ญ-4 เครื่องชั่งน้ำหนักขนาด 7 กิโลกรัม

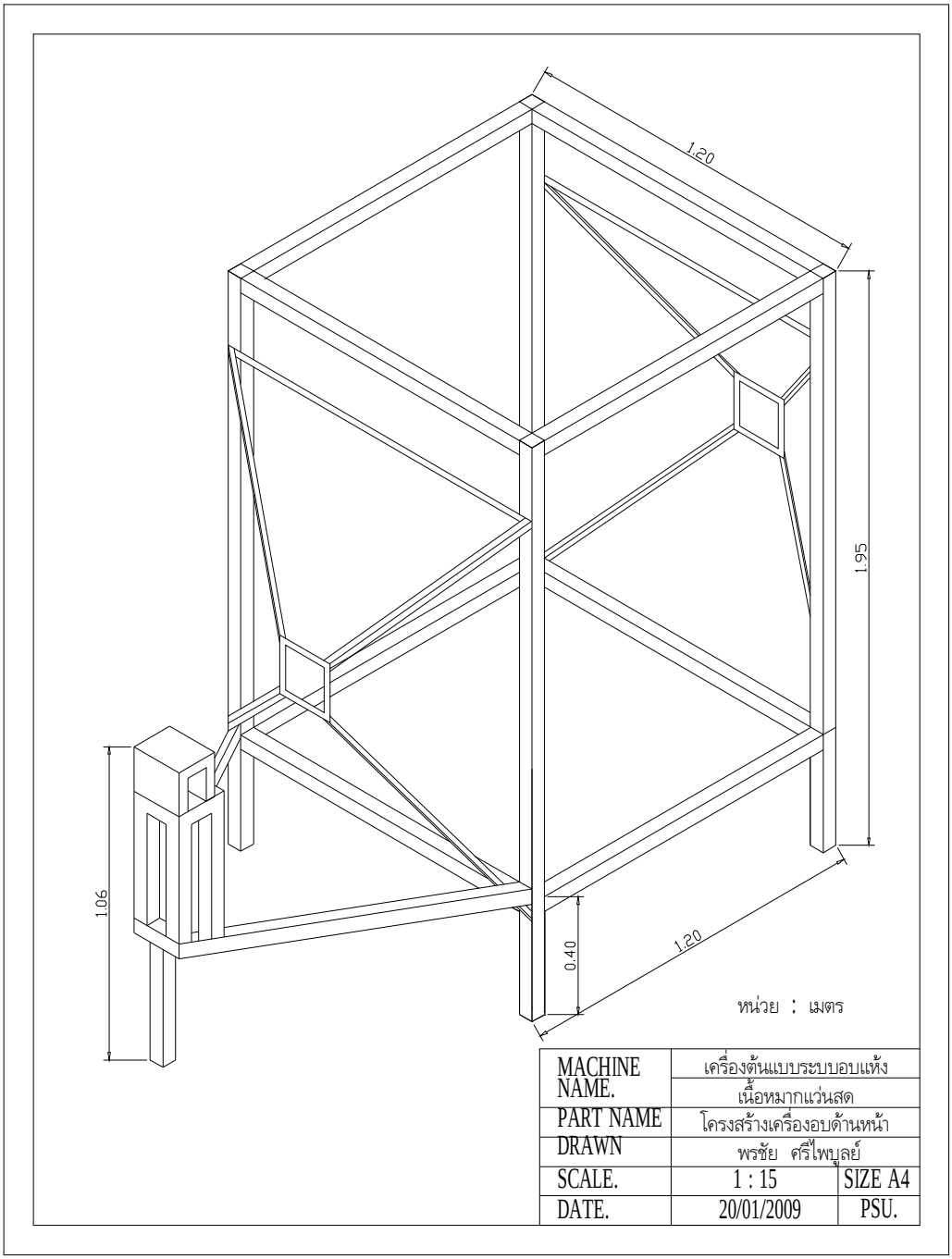
ภาพประกอบ ญ-5 เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 3 ตำแหน่ง

ภาพประกอบ ญ-6 เครื่องวัดความเร็วลมแบบใบพัด (Vane Anemometer)

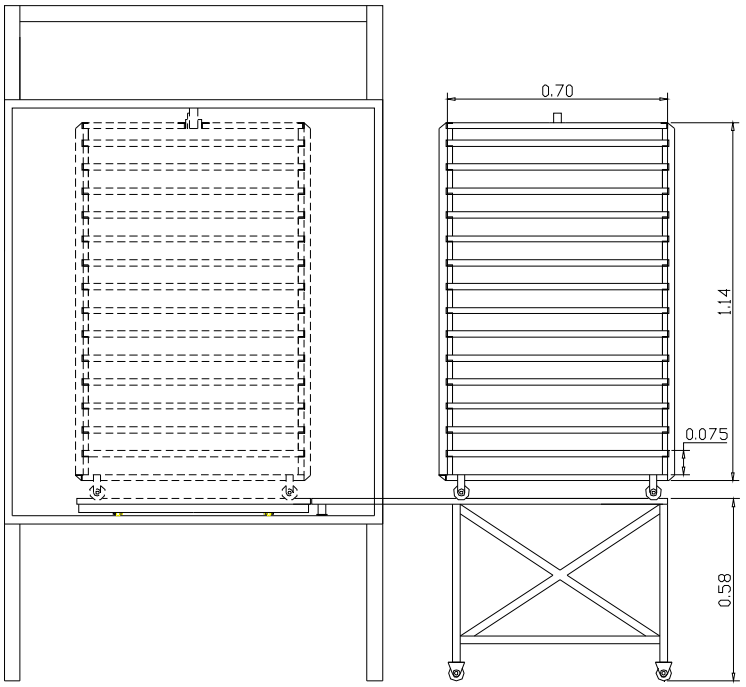
ภาพประกอบ ญ-7 ตู้อบไฟฟ้า (Hot Air Oven)

ภาพประกอบ ญ-8 เตาอบลมร้อนยี่ห้อ Imarflex

ภาคผนวก ฎ
แสดงโครงสร้างและขนาดของเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด



ภาคผนวก ฎ-1 โครงสร้างเครื่องอบด้านหน้า

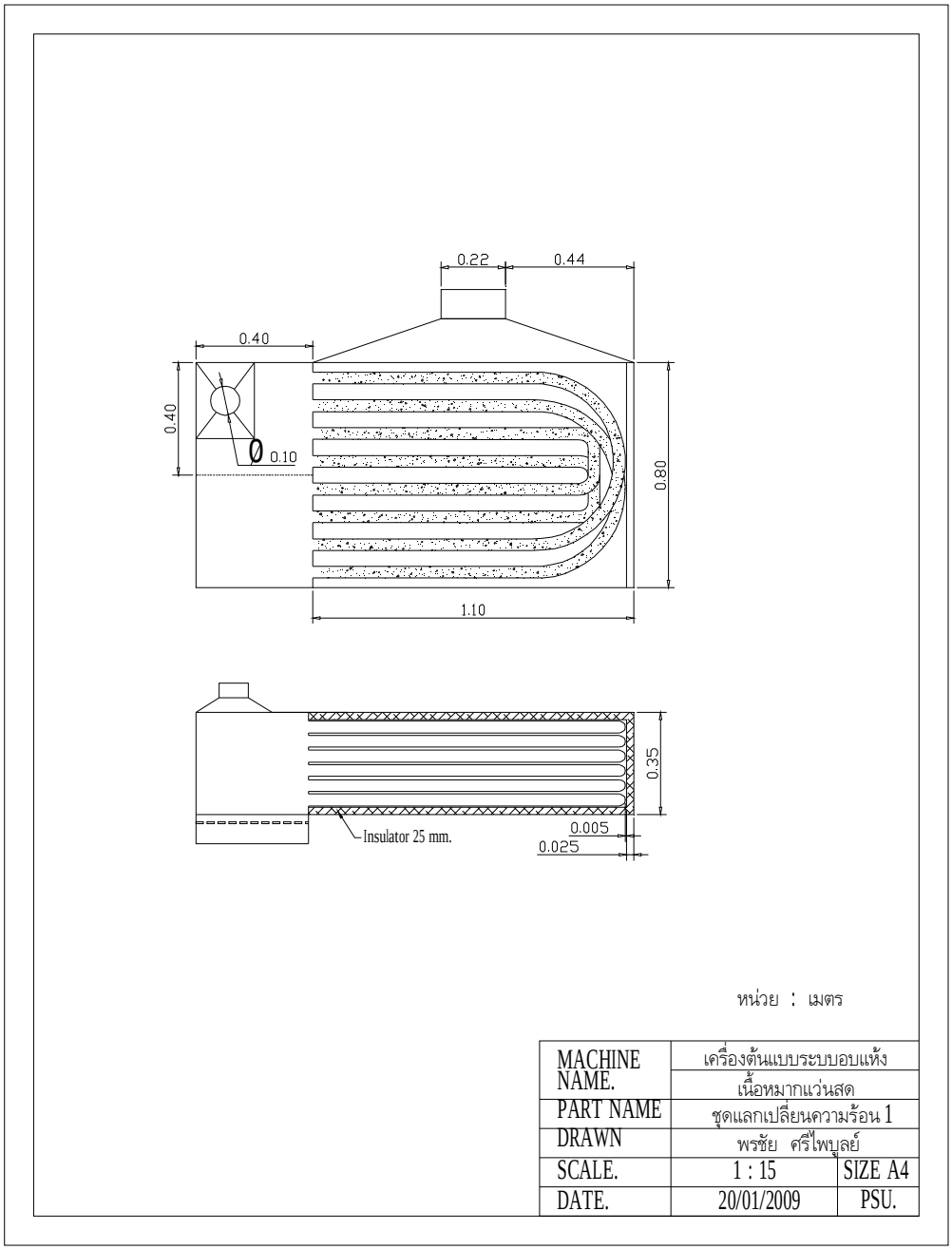


ชุดส่งถาดหมุนเข้าตู้อบ

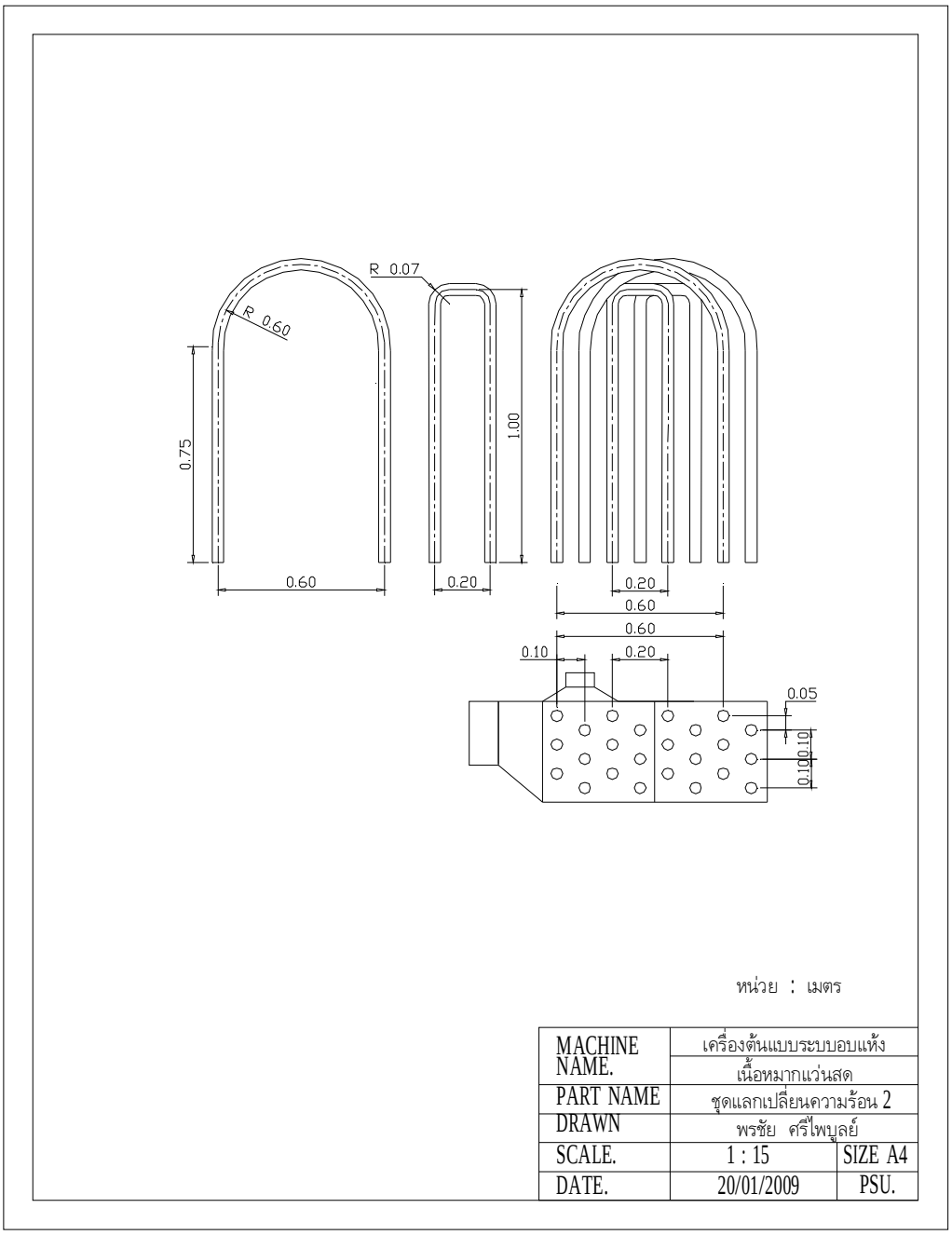
หน่วย : เมตร

MACHINE NAME.	เครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด	
PART NAME	ชุดถาดหมุน	
DRAWN	พรชัย ครีไพบูลย์	
SCALE.	1 : 15	SIZE A4
DATE.	20/01/2009	PSU.

ภาคผนวก ฎ-2 โครงสร้างชุดถาดหมุน



ภาคผนวก ฎ-3 โครงสร้างชุดแลกเปลี่ยนความร้อน 1



ภาคผนวก ฎ-4 โครงสร้างชุดแลกเปลี่ยนความร้อน 2

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายปรรณกิต เลิศพยับ

รหัสประจำตัวนักศึกษา 4910120021

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์เคมี)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2549

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

ปรรณกิต เลิศพยับ, สมชาย ชูโฉม, วนิดา รัตนมณี และ รามแย้มแสงสังข์ 2552. การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแว่นสด. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ. ขอนแก่น, ประเทศไทย, 21 - 22 ต.ค. 2552. หน้า 1,521 - 1,526.