รหัสโครงการ SUT7-703-55-12-22

รายงานการวิจัย

การศึกษาการใช้เตาอบไมโครเวฟสำหรับงานวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว

(Study of utilizations of microwave oven for post-harvest engineering applications)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ **SUT7-703-55-12-22**

รายงานการวิจัย

การศึกษาการใช้เตาอบไมโครเวฟสำหรับงานวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว

(Study of utilizations of microwave oven for post-harvest engineering applications)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีรชัย อาจหาญ

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

พรรษา	ลิบลับ	สาวิตรี	คำหอม	ทิพย์สุภินทร์	หินซุย
นัยวัฒน์	สุขทั่ง	ณัฐพงษ์	ประภาการ	วิเชียร	ดวงสีเสน
สุภัทร	หนูแย้ม	กิตติยาภรณ์	รองเมือง	ธนธัช	มุขขันธ์
ปภัส	ชนะโรค	กงจักร	ลมวิชัย	ศรัลย์	ปานศรีพงษ์
ธราวุธ	บุญน้อม	ปัญญา	หันตุลา	เฉลิมขวัญ	อริยะวงศ์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2555

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

ตุลาคม 2556

กิตติกรรมประกาศ
(Acknowledgement)

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2555 ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ คณะกรรมการผู้ตรวจสอบทางวิชาการ ที่ได้คำแนะนำข้อเสนอแนะต่อคณะผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรชัย อาจหาญ
หัวหน้าโครงการวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ พัฒนาต้นแบบเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน และประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว โดยมีขั้นตอนการศึกษาคือ 1) พัฒนาต้นแบบเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน 2) ทดลองอบแห้งมันเส้นด้วยเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน และ 3) ทดลองนึ่งปาล์มน้ำมันด้วยเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

การพัฒนาต้นแบบเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ประกอบไปด้วยส่วนที่สำคัญต่างๆ ได้แก่ ระบบควบคุม ระบบควบคุมระบบพัดลมระบายความชื้น ระบบกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ พัดลมระบายความร้อนแมกนีตรอน ผนังห้องอบ ทางเข้า-ออกวัตถุดิบ ระบบสายพาน ระบบกำเนิดลมร้อน และฐาน มีประสิทธิภาพ 20.75 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาการอบแห้งมันเส้น พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับอบแห้งมันเส้น 65 องศาเซลเซียส ใช้เวลาการอบแห้ง 7-8 ชั่วโมง พลังงานที่ใช้ 21-34 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำ มีต้นทุนพลังงาน 14-19 บาทต่อกิโลกรัมมันแห้ง ตามลำดับ มันเส้นที่ผ่านการอบแห้งมันเส้นด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน มีลักษณะผิวของมันเส้นแห้งมีสีขาว ไม่สุก สัมผัสลื่นคล้ายแป้ง ไม่หดตัว และเปลือกมีสีน้ำตาล

ผลการศึกษาการนึ่งปาล์มน้ำมัน พบว่า เวลาการนึ่งผลปาล์มน้ำมัน 25 นาที สามารถทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงจาก 23.23 % เหลือ 13.12 และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลเปสได้ พลังงานจำเพาะที่ใช้นึ่งผลปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมีค่า 1.44 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมผลปาล์มน้ำมันสด มีต้นทุนพลังงาน 0.82 บาทต่อกิโลกรัมผลปาล์มน้ำมันสด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Abstract

In this study, the objective was to develop a prototype of combined microwave and hot air dryer for postharvest engineering applications. The study procedures included: 1) development of a combined microwave and hot air dryer; 2) test of developed prototype for cassava chip drying; and 3) test of the developed prototype for oil palm fruit sterilization.

The prototype of combined microwave and hot air dryer consisted of various components including control system, ventilation system, microwave generation system, magnetron cooling system, dryer wall, material inlet and outlet, conveyer, air heating system and dryer base. It was found that the efficiency of the system was 20.75%.

The study on cassava chip drying showed that the most suitable temperature was 65 ºC corresponding to drying time of 7-8 hours. The energy consumption ranged from 21 and 34 MJ/kg_{water} with the total cost of 14-19 Baht/$kg_{dried\ chip}$. The cassava chips dried using the combined microwave and hot air dryer were white, uncooked with non-shrink and powdery surface, brown peel.

The test on oil palm fruit sterilization using the combined microwave and hot air dryer found that the appropriate time was 25 minutes, resulting in a reduction of free fatty acid from 13.12% to 23.23% and could inhibit lipase activity. The specific power consumption was 1.44 MJ/$kg_{fresh\ fruit}$ which corresponded to the energy cost of 0.82 Baht/$kg_{fresh\ fruit}$.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ฉ
สารบัญรูปภาพ ..... ช
บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 ปริทัศวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2.1 เตาอบไมโครเวฟ 3
2.2 หลักการทำงานของเตาอบไมโครเวฟ 3
2.3 หลักการเกิดความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟของวัสดุ 4
2.4 อันตรกิริยาระหว่างคลื่นไมโครเวฟกับวัสดุ 5
2.5 องค์ประกอบของเตาอบไมโครเวฟ 6
2.6 ข้อดีของการนึ่งหรืออบแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟ 8
2.7 ปาล์มน้ำมัน 8
2.8 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม 14
2.9 การอบแห้งวัสดุเกษตร 17
2.10 ชนิดของเครื่องอบแห้ง 20
2.11 มันสำปะหลัง 21
2.12 การแปรรูปมันสำปะหลัง 22
2.13 การผลิตมันเส้น 24
2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 26

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 บทนำ 29
3.2 ตัวอย่าง 29
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด 30
3.4 การศึกษาสมบัติของผลิตผลทางการเกษตร 32
3.5 การออกแบบและสร้างเตาอบไมโครเวฟเพื่อใช้ในงานวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว 33
3.6 การทดสอบหาสภาวะการทำงานของเตาอบไมโครเวฟในการอบแห้งมันเส้น 39
3.7 การทดสอบหาสภาวะการทำงานของเตาอบไมโครเวฟในการนึ่งปาล์มน้ำมัน 39

บทที่ 4 ผลการศึกษา

4.1 บทนำ 40
4.2 การปรับปรุงต้นแบบเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนร่วมกับลมร้อน 40
4.3 ผลการทดสอบการทำงานของเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน
ที่ปรับปรุงขึ้นเบื้องต้น 62
4.4 ผลการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งมันเส้น 70
4.5 ผลการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งปาล์มน้ำมัน 85
4.6 แนวทางการพัฒนาสู่เชิงพาณิชย์ 95

บทที่ 5 สรุป ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป 98
5.2 ข้อเสนอแนะ 101

เอกสารอ้างอิง

ประวัติผู้วิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานการเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมัน 12
ตารางที่ 2.2 มาตรฐานคุณภาพทะลายปาล์มน้ำมัน 12
ตารางที่ 2.3 การแบ่งประเภทของเครื่องอบแห้ง 21
ตารางที่ 3.1 เครื่องมือวัด และพารามิเตอร์ที่ศึกษา 30
ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา 30
ตารางที่ 3.3 ข้อมูลจดบันทึกและสัญลักษณ์ของการทดสอบประสิทธิภาพ 38
ตารางที่ 3.4 สัญลักษณ์และหน่วย 38
ตารางที่ 4.1 แสดงหลักการออกแบบห้องอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน 44
ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนร่วมกับลมร้อน 67
ตารางที่ 4.3 น้ำหนักของผลปาล์มน้ำมันหลังนึ่ง 88
ตารางที่ 4.4 ปริมาณกรดไขมันอิสระ 89
ตารางที่ 4.5 ปริมาณความชื้น 90
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการนึ่ง 93
ตารางที่ 4.7 แสดงผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานสำหรับนึ่งผลปาล์มน้ำมัน 94
ตารางที่ 4.8 ต้นทุนเครื่องเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนร่วมกับลมร้อนระดับพาณิชย์ 69

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แมกนีตรอน 6
รูปที่ 2.2 ขั้วแอโนดของแมกนีตรอน 6
รูปที่ 2.3 อุปกรณ์สร้างแรงดันไฟฟ้าสูง 7
รูปที่ 2.4 การใช้ประโยชน์จากปาล์มน้ำมัน 9
รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของทะลายปาล์มน้ำมัน 10
รูปที่ 2.6 สัดส่วนของส่วนประกอบของทะลายปาล์มน้ำมัน (พันธุ์เทเนอรา)..... 11
รูปที่ 2.7 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม 15
รูปที่ 2.8 Schematic of the food drying phenomenon 18
รูปที่ 2.9 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง 19
รูปที่ 3.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง 29
รูปที่ 3.2 เครื่องมือวัดและอุปกรณ์..... 31
รูปที่ 3.3 ลักษณะการวางภาชนะที่บรรจุน้ำเพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของคลื่น 34
รูปที่ 3.4 การทดสอบประสิทธิภาพและการวัดอุณหภูมิเพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของคลื่น..... 36
รูปที่ 3.5 การทดสอบประสิทธิภาพ 50
รูปที่ 4.1 แบบ 3 มิติเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนร่วมกับลมร้อน..... 41
รูปที่ 4.2 ส่วนประกอบเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนร่วมกับลมร้อนด้านหน้า – หลัง..... 42
รูปที่ 4.3 ส่วนประกอบเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนร่วมกับลมร้อนด้านข้าง 43
รูปที่ 4.4 การทดลองหาระยะการกระจายตัวของคลื่นจากแมกนีตรอน 1 ตัว 45
รูปที่ 4.5 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟ..... 46
รูปที่ 4.6 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟ (5 นาที)..... 47
รูปที่ 4.7 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟ (6 นาที) 47
รูปที่ 4.8 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟ (7 นาที)..... 48
รูปที่ 4.9 ทิศทางการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟ ภายในห้องอบ..... 49
รูปที่ 4.10 แสดงการออกแบบการวางแมกนีตรอน (ก) และ
ลักษณะการติดตั้งท่อนำคลื่นบนผนังห้องอบ (ข)..... 50
รูปที่ 4.11 การติดตั้งพัดลมระบายความร้อนแมกนีตรอน 51
รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะทางเข้า-ออก วัตถุดิบ..... 53

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.13 ลักษณะระบบระบายความชื้น 54
รูปที่ 4.14 ลักษณะทางเข้า-ออก ลมร้อน 55
รูปที่ 4.15 ชนิดและวัสดุที่ใช้สร้างห้องอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน 56
รูปที่ 4.16 แสดงส่วนประกอบของชุดสายพาน 57
รูปที่ 4.17 แสดงส่วนประกอบของระบบลมร้อน 58
รูปที่ 4.18 วงจรการควบคุมระบบและลักษณะอุปกรณ์ของระบบควบคุม 60
รูปที่ 4.19 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟ (3 นาที) 63
รูปที่ 4.20 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟ (4 นาที) 64
รูปที่ 4.21 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟ (5 นาที) 65
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงค่าพลังงานของระบบ 68
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของระบบ 68
รูปที่ 4.24 การทดสอบการรั่วไหลของคลื่น 69
รูปที่ 4.25 อัตราการอบแห้งมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 70
รูปที่ 4.26 อัตราการอบแห้งมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 71
รูปที่ 4.27 อัตราการอบแห้งมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 71
รูปที่ 4.28 อัตราการอบแห้งมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส 72
รูปที่ 4.29 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิต่างๆ
ความหนาชิ้นมัน 5 มิลลิเมตร 72
รูปที่ 4.30 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิต่างๆ
ความหนาชิ้นมัน 10 มิลลิเมตร 73
รูปที่ 4.31 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิต่างๆ
ความหนามาตรฐานโรงงาน 73
รูปที่ 4.32 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส 74
รูปที่ 4.33 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 74
รูปที่ 4.34 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส 75
รูปที่ 4.35 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 76
รูปที่ 4.36 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส 76
รูปที่ 4.37 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 76

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.38 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 77
รูปที่ 4.39 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส 76
รูปที่ 4.40 อัตราการอบแห้งมันเส้น โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ 78
รูปที่ 4.41 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ 79
รูปที่ 4.42 การทดลองอบแห้งมันเส้นด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน 80
รูปที่ 4.43 อัตราการอบแห้งมันเส้น โดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน 82
รูปที่ 4.44 ต้นทุนพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งมันเส้น โดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน 82
รูปที่ 4.45 พลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำเพื่ออบแห้งมันเส้น โดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน..... 83
รูปที่ 4.46 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน
ความหนาชิ้นมันมาตรฐานโรงงาน..... 83
รูปที่ 4.47 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน
ความหนาชิ้นมัน 10 มิลลิเมตร..... 84
รูปที่ 4.48 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน
ความหนาชิ้นมัน 5 มิลลิเมตร 84
รูปที่ 4.49 การนึ่งปาล์มน้ำมันด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน..... 86
รูปที่ 4.50 ลักษณะการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน 86
รูปที่ 4.51 น้ำหนักของผลปาล์มน้ำมันที่หายไปหลังนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน..... 87
รูปที่ 4.52 การทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งปาล์มน้ำมัน..... 87
รูปที่ 4.53 การหีบปาล์มน้ำมัน 91
รูปที่ 4.54 น้ำมันดิบ 92

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เทคโนโลยีไมโครเวฟเป็นเทคโนโลยีใหม่ ที่นำมาประยุกต์ใช้กับงานด้านต่างๆอย่างแพร่หลาย เช่น งานด้านการสื่อสารคมนาคม ด้านอุตสาหกรรม และในครัวเรือน โดยในแต่ละด้านมีการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป อาทิเช่น การสื่อสารคมนาคมจะใช้งานในส่วนของการส่งสัญญาณคลื่นไมโครเวฟไปยังเครื่องรับในระบบต่างๆ ที่ความถี่ต่างกัน เช่น สัญญาณวิทยุ สัญญาณโทรทัศน์ สัญญาณโทรศัพท์ เป็นต้น ส่วนในด้านอุตสาหกรรมใช้ในระบบการผลิต จะใช้คลื่นไมโครเวฟในการผลิตความร้อนใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆ เช่น การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร เช่น ธัญพืช ผลไม้ ไม้ดอกไม้ประดับ สมุนไพร การอบแห้งเซรามิก การอบแห้งกระดาษ การอบแห้งพลาสติก ฯลฯ เป็นต้น เช่นเดียวกันกับงานในครัวเรือน คือการผลิตความร้อน ใช้เป็นอุปกรณ์ประกอบอาหารเหมือนเตาแก๊สและเตาไฟฟ้าในการอุ่น อบ หรือนึ่ง

อย่างไรก็ดีการนำเตาอบไมโครเวฟมาใช้ในการผลิตเป็นความร้อน สำหรับงานอุตสาหกรรมในประเทศไทยยังไม่แพร่หลาย เนื่องจากของราคาของเตาอบไมโครเวฟอุตสาหกรรม ซึ่งใช้แมกนีรอน (Magnetron) หรือแหล่งกำเนิดคลื่นที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรม จะต้องมีกำลังวัตต์สูง มีความทนทานต่อความร้อน เพื่อจะสามารถทำงานได้ต่อเนื่องมีราคาแพงสูงมาก อยู่ในช่วง 50,000-100,000 บาท/กิโลวัตต์ และไม่มีจำหน่ายในประเทศไทย แตกต่างกับเตาอบไมโครเวฟขนาดเล็กที่ใช้ในครัวเรือนนั้นมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในประเทศไทย และยกระดับการผลิตเป็น Mass Production ทำให้ราคาต่ำมาก อยู่ในช่วง 1,500-2,500 บาท/กิโลวัตต์

ในงานวิจัยนี้ จะให้ความสนใจ ในการพัฒนาเตาอบไมโครเวฟ สำหรับใช้งานในระดับอุตสาหกรรม โดยการประยุกต์ใช้ใช้แมกนีตรอน (Magnetron) ที่ใช้กับเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน ซึ่งมีราคาถูก และผลิตได้ในประเทศไทย ซึ่งจากการพัฒนาเบื้องต้นของ ทางคณะวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พบว่า แมกนีตรอน (Magnetron) ที่ใช้กับเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนสามารถนำมาพัฒนาให้ใช้ได้อย่างต่อเนื่องในงานอุตสาหกรรมได้

เทคโนโลยีการใช้ไมโครเวฟในการผลิตความร้อนจัดได้เป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูง รวดเร็ว รวมถึงไม่มีของเสียออกจากกระบวนการที่ใช้เทคโนโลยีนี้ หลักการของเทคโนโลยีนี้สามารถอธิบายเพื่อความเข้าใจอย่างง่ายคือ เครื่องกำเนิดคลื่นไมโครเวฟจะให้ความร้อนกับวัสดุโดยการแผ่คลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟ (2450 MHz) ผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุ โมเลกุลของน้ำที่อยู่ในวัสดุจะดูดซับพลังงานของคลื่นที่ผ่านเข้าไป ซึ่งโมเลกุลของน้ำเป็นโมเลกุลที่มีขั้วไฟฟ้า คือมีประจุบวกและประจุลบที่ตรงกันข้าม เมื่อคลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเข้าไปโมเลกุลเหล่านี้ก็จะถูกเหนี่ยวนำและหมุน

ขั้วเพื่อปรับเรียงตัวตาม สนามแม่เหล็กไฟฟ้าของคลื่น เป็นสนามที่เปลี่ยนแปลงสลับไปมาจึงส่งผลให้โมเลกุลเหล่านี้หมุนกลับไปกลับมาทำให้เกิดเป็นความร้อนขึ้น น้ำจึงกลายเป็นไอน้ำออกจากวัสดุซึ่งเวลาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมินั้นแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุแต่ละชนิดที่มีปัจจัยแตกต่างกัน เช่น ความชื้นในชิ้นวัสดุ ความหนาแน่น และองค์ประกอบอื่น ในการกลายเป็นไอน้ำนั้นจะลอยตัวสู่ด้านบนหากต้องการให้วัสดุแห้งจะต้องดูดไอน้ำนี้ออก แต่หากไม่ดูดออกวัสดุจะถูกนึ่งหรือต้มด้วยน้ำภายในชิ้นวัสดุเอง จึงทำให้เตาอบไมโครเวฟ สามารถนำใช้งานในครัวเรือนได้อย่างแพร่หลาย

อย่างไรก็ดี การนำเตาอบไมโครเวฟมาใช้งานทางด้านวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว นอกเหนือจากการพัฒนาเตาอบไมโครเวฟ ที่เหมาะสมกับลักษณะงานแล้ว องค์ความรู้ที่ชัดเจนเกี่ยวกับพฤติกรรมทางวิศวกรรมของกระบวนการที่ต้องการประยุกต์ใช้ ขอบเขตและสภาวะการใช้งาน และ คุณภาพของผลผลิตที่ได้รับ ยังไม่มีการศึกษาวิจัยออกมาอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จะมุ่งเน้นที่จะทำการพัฒนาต้นแบบเตาอบไมโครเวฟต่อยอดจากการวิจัยเดิม โดยมีแนวคิดที่จะพัฒนาเตาอบไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียง และนำมาทดสอบหาสภาวะต่างๆ กับงานด้านวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว งานด้านการการอบแห้ง และการนึ่ง อันเป็นนวัตกรรมที่จะนำไปสู่การใช้งานจริงในเชิงพาณิชย์

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อพัฒนาต้นแบบเตาอบไมโครเวฟเพื่อประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว
2) เพื่อศึกษาหาสภาวะการทำงานของเตาอบไมโครเวฟในงานวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว อันประกอบด้วย การอบแห้ง และการนึ่ง
3) เพื่อทำการศึกษาต้นทุน – ผลตอบแทน ในการนำเตาอบไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ❑ เป็นองค์ความรู้ในการวิจัยต่อไป
  กลุ่มเป้าหมาย กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กรมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยต่างๆ
- ❑ บริการความรู้แก่ประชาชน
  กลุ่มเป้าหมาย เกษตรกร องค์กรบริหารส่วนท้องถิ่น อบต. อบจ. เทศบาล
- ❑ บริการความรู้แก่ภาคธุรกิจ
  กลุ่มเป้าหมาย ธุรกิจและอุตสาหกรรมหลังการเก็บเกี่ยว
- ❑ นำไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์
  กลุ่มเป้าหมาย เกษตรกร ธุรกิจและอุตสาหกรรมหลังการเก็บเกี่ยว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทัศวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เตาอบไมโครเวฟ

เทคโนโลยีไมโครเวฟเป็นเทคโนโลยีใหม่ ที่นำมาประยุกต์ใช้กับงานด้านต่างๆอย่างแพร่หลาย เช่น งานด้านการสื่อสารคมนาคม ด้านอุตสาหกรรม และในครัวเรือน โดยในแต่ละด้านมีการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป อาทิเช่น การสื่อสารคมนาคมจะใช้งานในส่วนของการส่งสัญญาณคลื่นไมโครเวฟไปยังเครื่องรับในระบบต่างๆ ที่ความถี่ต่างกัน เช่น สัญญาณวิทยุ สัญญาณโทรทัศน์ สัญญาณโทรศัพท์ เป็นต้น ส่วนในด้านอุตสาหกรรมใช้ในระบบการผลิต จะใช้คลื่นไมโครเวฟในการผลิตความร้อนใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆ เช่น การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร เช่น ธัญพืช ผลไม้ ไม้ดอกไม้ประดับ สมุนไพร การอบแห้งเซรามิก การอบแห้งกระดาษ การอบแห้งพลาสติก ฯลฯ เป็นต้น เช่นเดียวกันกับงานในครัวเรือน คือการผลิตความร้อน ใช้เป็นอุปกรณ์ประกอบอาหารเหมือนเตาแก๊สและเตาไฟฟ้าในการอุ่น อบ หรือนึ่ง

อย่างไรก็ดีการนำเตาอบไมโครเวฟมาใช้ในการผลิตเป็นความร้อน สำหรับงานอุตสาหกรรมในประเทศไทยยังไม่แพร่หลาย เนื่องจากราคาของเตาอบไมโครเวฟอุตสาหกรรม ซึ่งใช้แมกนีรอน (Magnetron) หรือแหล่งกำเนิดคลื่นที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรม จะต้องมีกำลังวัตต์สูง มีความทนทานต่อความร้อน เพื่อจะสามารถทำงานได้ต่อเนื่องมีราคาสูง และไม่มีจำหน่ายในประเทศไทย แตกต่างกับเตาอบไมโครเวฟขนาดเล็กที่ใช้ในครัวเรือนนั้น มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในประเทศไทย และยกระดับการผลิตเป็น Mass Production ทำให้ราคาต่ำมาก อยู่ในช่วง 1,500-2,500 บาท/กิโลวัตต์ ซึ่งจากการศึกษาเบื้องต้น พบว่า แมกนีตรอน (Magnetron) ที่ใช้กับเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนสามารถนำมาพัฒนาให้ใช้ได้อย่างต่อเนื่องในงานอุตสาหกรรมได้

2.2 หลักการทำงานของเตาอบไมโครเวฟ

หลักการของเทคโนโลยีนี้สามารถอธิบายเพื่อความเข้าใจอย่างง่ายคือ เครื่องกำเนิดคลื่นไมโครเวฟจะให้ความร้อนกับวัสดุโดยการแผ่คลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟ (2450 MHz) ผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุ โมเลกุลของน้ำที่อยู่ในวัสดุจะดูดซับพลังงานของคลื่นที่ผ่านเข้าไป ซึ่งโมเลกุลของน้ำเป็นโมเลกุลที่มีขั้วไฟฟ้า คือมีประจุบวกและประจุลบที่ตรงกันข้าม เมื่อคลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเข้าไปโมเลกุลเหล่านี้ก็จะถูกเหนี่ยวนำและหมุนขั้วเพื่อปรับเรียงตัวตาม สนามแม่เหล็กไฟฟ้าของคลื่นเป็นสนามที่เปลี่ยนแปลงสลับไปมาจึงส่งผลให้โมเลกุลเหล่านี้หมุนกลับไปกลับมาทำให้เกิดเป็นความร้อนขึ้น น้ำจึงกลายเป็นไอน้ำออกจากวัสดุซึ่งเวลาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมินั้นแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุแต่ละชนิดที่มีปัจจัยแตกต่างกัน เช่น ความชื้นในชิ้นวัสดุ ความหนาแน่น และองค์ประกอบอื่น ในการกลายเป็นไอน้ำนั้นจะลอยตัวสู่ด้านบนหากต้องการให้วัสดุแห้งจะต้องดูดไอน้ำนี้ออก แต่หากไม่ดูดออก

วัสดุจะถูกนึ่งหรือต้มด้วยน้ำภายในชิ้นวัสดุเอง จึงทำให้เตาอบไมโครเวฟ สามารถนำใช้งานในครัวเรือนได้อย่างแพร่หลาย

2.3 หลักการเกิดความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟของวัสดุ

จากการศึกษาหลักการเกิดความร้อนด้วยไมโครเวฟของวัสดุในที่นี้จะอ้างถึง “พื้นฐานการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ” ของ ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2551) ที่อธิบายถึงกลไกการเกิดความร้อน (Heating Mechanism) ไว้ว่า ในกระบวนการทำความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟนั้นจะต้องอาศัยกลไกการเปลี่ยนแปลงพลังงาน 2 กลไก คือ การเหนี่ยวนำเชิงไอออน (Ionic conduction) และกลไกการหมุนทั้งสองขั้ว (Dipole Rotation entire) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) กลไกชนิดการเหนี่ยวนำเชิงไอออน (Ionic conduction)

กลไกนี้เริ่มขึ้นเมื่อประจุไอออนซึ่งเกิดการแตกตัวในสารละลายถูกเร่งด้วยแรงของสนามไฟฟ้าที่กระทำ ยกตัวอย่างเช่น สารละลายเกลือในน้ำซึ่งในสารละลายจะประกอบไปด้วยไอออนของโซเดียม (Na^+)คลอไรด์ (Cl^-) ไฮโดรเนียมไอออน (H^3O+,H^+) และไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) ซึ่งเคลื่อนที่โดยสนามไฟฟ้าในทิศทางตรงข้ามกับประจุที่มีอยู่แต่ละไอออน ซึ่งจากการเคลื่อนที่ดังกล่าวทำให้ไอออนชนกับโมเลกุลของน้ำที่ยังไม่เกิดการแตกตัวเป็นไอออนอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้พลังงานจลน์เพิ่มขึ้น และเป็นเหตุให้ไอออนเกิดความเร่ง และส่งผลเป็นลูกโซ่ต่อการชนของโมเลกุลอื่นๆ คล้ายกับการชนของลูกบิลเลียด และเมื่อค่าประจุเปลี่ยนแปลงไอออนจึงมีความเร่งเพิ่มขึ้นในทิศทางตรงกันข้าม โดยเหตุการณ์ดังกล่าว จะเกิดด้วยอัตราความถี่สูงนับล้านครั้งต่อวินาที ทำให้มีการชน และถ่ายเทพลังงานเกิดขึ้นในระดับโมเลกุลอย่างมหาศาล ดังนั้นจึงมีขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงของพลังงาน 2 ขั้นตอนคือ พลังงานของสนามไฟฟ้าถูกเปลี่ยนแปลงไปตามพลังงานจลน์ โดยการเหนี่ยวนำแบบบังคับทิศทาง (Ordered kinetic energy) ซึ่งถูกเปลี่ยนกลับมาเป็นพลังงานจลน์ โดยการเหนี่ยวนำแบบไร้ทิศทาง (Disordered kinetic energy) ณ จุดซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานความร้อน และพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นด้วยกลไกนี้ก็จะไม่ขึ้นอยู่กับระดับของอุณหภูมิ หรือความถี่

2) กลไกชนิดการหมุนของทั้งสองขั้ว (Dipolar rotation)

สำหรับโมเลกุลหลายๆ ชนิด เช่น โมเลกุลน้ำซึ่งมีคุณสมบัติเป็นคุณสมบัติเป็นสองขั้ว (Dipole) โดยธรรมชาติซึ่งหมายถึง โมเลกุลมีสมบัติของการกระจายความจุที่ไม่สมมาตร เมื่อเทียบกับจุดศูนย์กลางส่วนโมเลกุลของสสารชนิดอื่นก็จะเกิดความไม่สมมาตร ได้หากเกิดการเหนี่ยวนำโดยสนามไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป ทั้งนี้เพราะสนามไฟฟ้าทำให้เกิดหน่วยแรงเค้นภายในโมเลกุล โดยขั้วทั้งสองจะได้รับอิทธิ จากกลไกดังกล่าว ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงขั้วอย่างรวดเร็วตามสนามไฟฟ้าที่มากระทำ ยกตัวอย่าง เช่น คลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 เมกะเฮิตซ์ สามารถทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของขั้วประจุถึง 4900 ล้านครั้งต่อหนึ่งรอบคลื่น แม้ว่าในตอนที่เริ่มประจุในโมเลกุลจะมีการกระจายตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ หรืออย่างสุ่มก็จะได้รับผลให้มีการจัดเรียงประจุตามทิศทางหรือขั้วของสนามไฟฟ้าที่มา

กระทำ อย่างไรก็ตามเมื่อสนามที่มากระทำมีค่าลดลงจนมีค่าเป็นศูนย์ทำให้ขั้วที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามไฟฟ้าดังกล่าวเปลี่ยนกลับมามีการกระจายตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ เช่นเดิม ซึ่งก็คือ การคลายสนาม (Pelaxes) และเช่นกันเมื่อสนามไฟฟ้ามากระทำในทิศทางตรงกันข้าม ดังนั้น การสร้างหรือการจัดเรียง (Alignment) และการคลายสนามที่ความถี่หนึ่งจะเกิดขึ้นนับล้านครั้งในหนึ่งวินาที ซึ่งเป็นการแปลงพลังงานสนามไฟฟ้าเป็นศักย์ เก็บไว้ในวัสดุแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ หรือพลังงานความร้อนนั้นเอง นอกจากนั้นขนาดของโมเลกุลที่เกิด ขึ้นอยู่กับเวลา และอุณหภูมิในขณะที่มีการสร้างหรือการจัดเรียง (Alignment) และการคลายสนามไฟฟ้านั้นจะถูกนิยามเป็นความถี่ของการคลายสนาม (Relaxation Frequency) โดยโมเลกุลที่มีขนาดเล็ก เช่น น้ำ และโมโนเมอร์จะมีค่าความถี่ของการคลายสนามมากกว่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ และมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จึงเป็นเหตุให้การเปลี่ยนพลังงานไปเป็นความร้อนได้ช้าลง ในทางตรงกันข้ามกับโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ เช่น โพลิเมอร์จะมีค่าความถี่ของงการคลายสนามน้อยกว่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟมีผลทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นได้ในบางสภาวะซึ่งนั้นก็คือมีการแปลงพลังงานไปเป็นความร้อนได้สูง และนำไปสู่การเกิดปรากฏการณ์เทอร์มอลรันอะเวย์ (Thermal runaway) ในวัสดุได้ง่ายมีข้อสนับสนุน ถึงความจริงอย่างหนึ่งที่ว่าของเหลว เช่น น้ำ และโมโนเมอร์จะเป็นตัวดูดซับพลังงานไมโครเวฟ ได้ดีกว่าโพลิเมอร์ ด้วยเหตุนี้จึงสามารถนำไมโครเวฟไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการอบแห้ง หรือการบ่มวัสดุที่มีองค์ประกอบเป็นของเหลว และโมโนเมอร์

2.4 อันตรกิริยาระหว่างคลื่นไมโครเวฟกับวัสดุ

จากการศึกษาอันตรกิริยาระหว่างคลื่นไมโครเวฟกับวัสดุ ในที่นี้จะอ้างถึง “พื้นฐานการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ” ของ ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2551) ได้แบ่งประเภทของวัสดุที่มีอันตรกิริยากับวัสดุที่มีอันตรกิริยากับคลื่นไมโครเวฟได้ 4 ชนิด คือ

1) วัสดุตัวนำไฟฟ้า (Conductors) คือวัสดุที่มีอิเล็กตรอนอิสระ (Free Electrons) เช่น โลหะ ซึ่งสามารถสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคล้ายกับแสซึ่งสะท้อนเมื่อกระทบกับกระจก โดยปกติวัสดุเหล่านี้ถูกใช้ออกแบบเป็นบริเวณกักเก็บคลื่นเพื่อควบคุมทิศทางการแพร่กระจายของคลื่น หรือเป็นผนังท่อนำคลื่น หรือแอพพลิเคเตอร์ หรือ คาวิตี้ (Cavity)

2) วัสดุฉนวนไฟฟ้า (Insulators) คือวัสดุประเภทไม่มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้า เช่น เซรามิก และ อากาศ โดยฉนวนนี้จะสามารถสะท้อน และดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ไปจนถึงส่งผ่านคลื่นได้ โดยปกติจะถูกใช้เป็นวัสดุห่อหุ้ม หรือบรรจุวัสดุที่ต้องการทำความร้อนด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ฐานรองรับจาน และวัสดุอื่นๆ

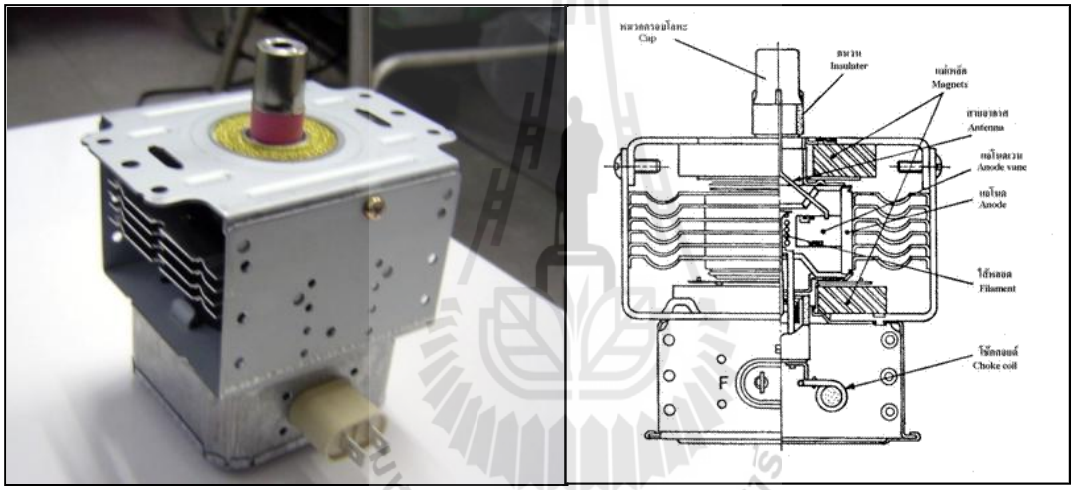
3) วัสดุไดอิเล็กตริก (Dielectric) คือวัสดุที่สามารถดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและแปลงเป็นพลังงานความร้อนได้ เช่น น้ำ น้ำมัน ไม้ และอาหารที่มีความชื้น เป็นต้น

4) วัสดุที่มีองค์ประกอบของแม่เหล็ก (Magnetic Compounds) วัสดุประเภทนี้ เช่น แร่เหล็ก ซึ่งจะมีอันตรกิริยากับองค์ประกอบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กล่าวคือ สนามแม่เหล็กแปลงสภาพจนเกิดเป็นความร้อนอย่างรวดเร็ว เช่น วัสดุจำพวกซิลิคอนคาร์ไบด์ เป็นต้น

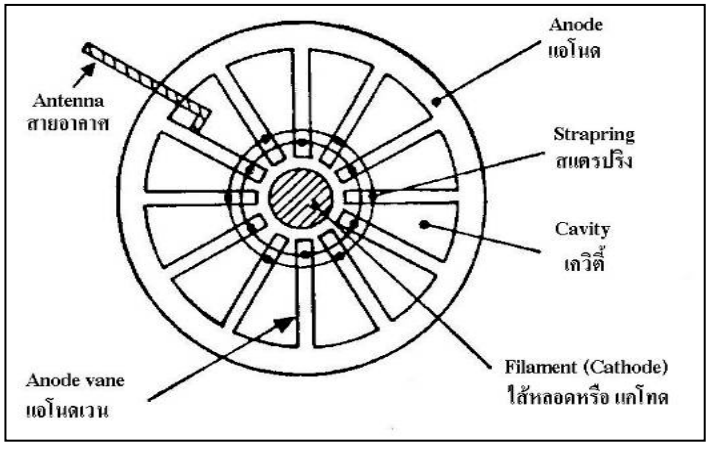
2.5 องค์ประกอบของเตาอบไมโครเวฟ

1) แหล่งกำเนิดคลื่น

แมกนีตรอน (Magnetron) เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นมีค่าพลังงาน OUTPUT 700 W ความถี่ 2450 MHz ลักษณะภายนอกของแมกนีตรอน ดังแสดงใน **รูปที่ 2.1** ส่วนโครงสร้างภายในของแมกนีตรอนประกอบไปด้วยแอโนด (Anode) สายอากาศ (Antenna) ไส้หลอด (Filament or heater) ซึ่งทำหน้าที่เป็นแคโทด (Cathode) และอื่นๆ ดังแสดงใน **รูปที่ 2.2**



รูปที่ 2.1 แมกนีตรอน



รูปที่ 2.2 ขั้วแอโนดของแมกนีตรอน

รูปที่ 2.2 แสดงขั้วแอโนด ซึ่งทำเป็นครีบโลหะต่อกับวงแอโนดด้านนอกพุ่งเข้าไปหาแคโทดภายในตรงกลาง ซึ่งครีบนี้เรียกว่าแอโนดเวน (Anode vane) ปกติมักจะมีจำนวนครีบเป็นเลขคู่ โดยมีช่องว่างระหว่างครีบเรียกว่า เคาวิตี้ (Cavity) ภายในหลอดแมกนีตรอนนี้เป็นสุญญากาศ ตัวสายอากาศถูกต่ออยู่ที่ครีบและออกสู่ภายนอกโดยผ่านยอดกลม (Dome) ซึ่งทำเป็นฉนวนกัน สายอากาศข้อตกับขั้วแอโนด ฉนวนนี้มักทำด้วยเซรามิค ต่อจากปลายของสายอากาศเหนือฉนวนขึ้นไปจะทำเป็นหมวกทรงกระบอกกลม (Cap) มาครอบอีกครั้งหนึ่ง

2) วงจรสร้างความดันไฟฟ้าสูง

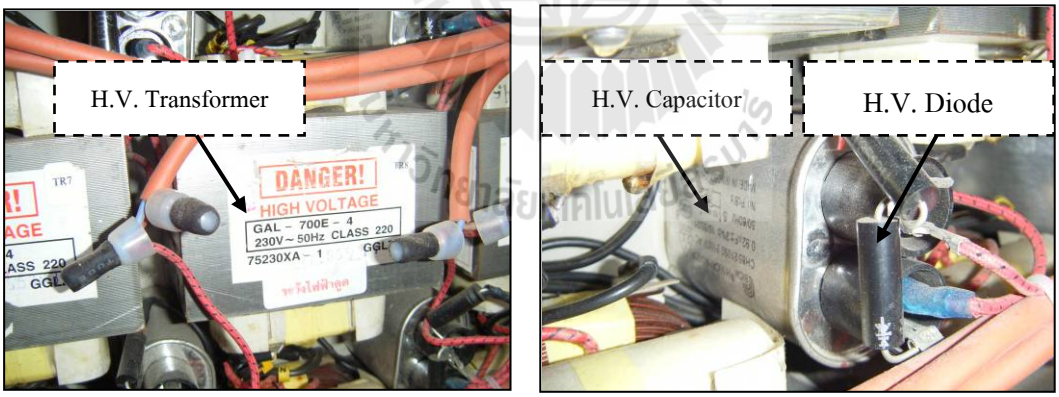
ในส่วนนี้ของวงจรสร้างแรงดันไฟฟ้าสูงประกอบด้วย High Voltage Transformer, High Voltage Diode และ High Voltage Capacitor เพื่อสร้างความต่างศักย์ของแรงดันระหว่างขั้วแอโนดและแคโทด ลักษณะของอุปกรณ์วงจรสร้างความดันไฟฟ้าสูง แสดงใน**รูปที่ 2.3**

3) ท่อนำคลื่น (Wave guide)

โดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นท่อกลม หรือท่อเหลี่ยม ทำมาจากทองแดงหรืออะลูมิเนียม ทำหน้าที่นำคลื่นจากแหล่งกำเนิดคลื่นหรือแมกนีตรอนไปสู่ห้องอบ

4) ห้องอบ (Cavity)

ห้องอบประกอบด้วย ทางเข้า-ออกวัสดุ ช่องระบาย ทางออกของคลื่น และอุปกรณ์กวนคลื่นสำหรับสร้างความสม่ำเสมอของการกระจายคลื่น โดยห้องอบจะถูกออกแบบให้ป้องกันการรั่วไหลของคลื่นสู่ภายนอก



รูปที่ 2.3 อุปกรณ์สร้างแรงดันไฟฟ้าสูง

5) ระบบระบายความร้อนของแมกนีตรอน

การทำงานของแมกนีตรอนจะมีความร้อนเกิดขึ้นบริเวณโดยรอบ จึงจำเป็นต้องมีการระบายความร้อนออก โดยทั่วไปใช้พัดลมเป่าผ่านแมกนีตรอนสำหรับเตาไมโครเวฟแบบครัวเรือน สำหรับในเตาอบไมโครเวฟที่ใช้ในระบบอุสาหกรรมระบบระบายความร้อนของแมกนีตรอนจะขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ เช่น การใช้น้ำเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อน เป็นต้น

6) ระบบควบคุม

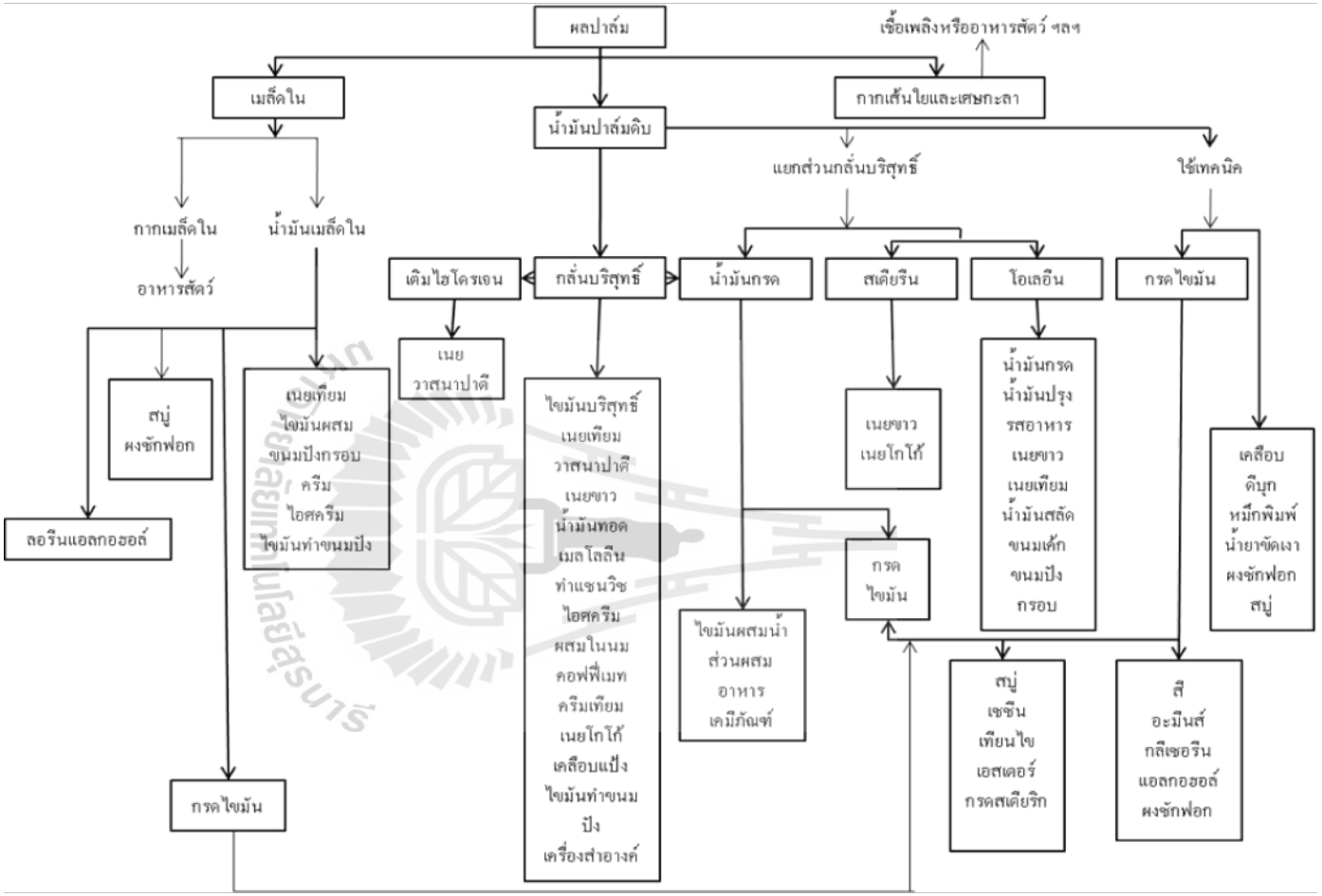
เตาอบไมโครเวฟจะมีระบบควบคุมการทำงานของส่วนประกอบของเครื่อง เช่น การทำงานของแมกนีตรอน การทำงานของพัดลม หรืออุปกรณ์อื่นๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ

2.6 ข้อดีของการนึ่งหรืออบแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟ

เทคโนโลยีการใช้เตาอบไมโครเวฟในการนึ่งหรืออบแห้งจัดได้เป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูง รวดเร็ว ไม่มีของเสียออกจากกระบวนการที่ใช้เทคโนโลยีนี้ หลักการของเทคโนโลยีนี้สามารถทำความเข้าใจได้ง่าย รวมถึงใช้งานได้สะดวก จึงทำให้เตาอบไมโครเวฟ สามารถนำไปใช้งานในครัวเรือนได้อย่างแพร่หลาย

2.6 ปาล์มน้ำมัน

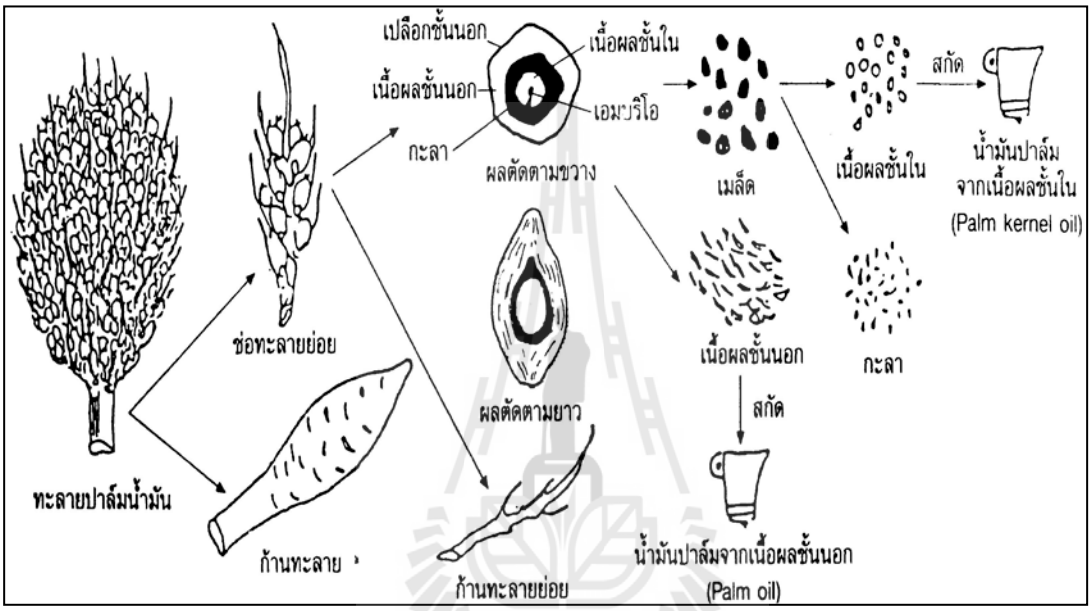
ปาล์มน้ำมัน (Elaeis guineensis Jacq.) เป็นพืชน้ำมันสำหรับใช้ในการบริโภคและอุปโภคที่สำคัญและสามารถให้ปริมาณน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่สูงมาก เมื่อเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ มีแหล่งปลูกที่สำคัญอยู่ที่ทวีปแอฟริกา ทวีปอเมริกากลาง และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยประเทศไทยมีการปลูกปาล์มน้ำมันเชิงพาณิชย์เป็นครั้งแรก เมื่อ พ.ศ.2511 จากการศึกษาการใช้ประโยชน์จากปาล์มน้ำมัน พบว่า ในภาคอุตสาหกรรมนำปาล์มน้ำมันไปใช้กันหลากหลาย โดยสามารถสรุปเป็นภาพรวมของการนำไปใช้งาน ดังแสดงไว้ใน **รูปที่ 2.4** นอกจากนี้ยังพบว่ามีการนำน้ำมันปาล์มดิบมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป และได้รับการสนับสนุนจากรัฐบาลอย่างจริงจัง โดยในส่วนของปาล์มน้ำมันที่นำมาใช้ผลิตเป็นน้ำมันปาล์มดิบ คือ ผล ซึ่งจะสกัดน้ำมันได้จาก 2 ส่วน คือ ส่วนแรกจากเปลือกผลชั้นนอกและเนื้อผลชั้นนอก เรียกว่าน้ำมันปาล์ม (palm oil) และส่วนที่สองจากเนื้อผลชั้นในและเอมบริโอ เรียกว่าน้ำมันเมล็ดในปาล์ม (palm kernel oil) น้ำมันทั้ง 2 ชนิดจะมีองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน น้ำมันปาล์มนิยมนำมาใช้บริโภค ส่วนน้ำมันเมล็ดในปาล์มจะมีองค์ประกอบและคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันมะพร้าว จะนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอุปโภค (นคร, 2545) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.4 การใช้ประโยชน์จากปาล์มน้ำมัน (ที่มา: ธีระและคณะ, 2546)

1) ลักษณะทั่วไปของทะลายปาล์มน้ำมัน

ทะลายปาล์มน้ำมัน คือ ช่อดอกตัวเมียที่ได้รับการผสมแล้ว ประกอบด้วยก้านทะลาย ช่อทะลายย่อย และผล ในแต่ละทะลายจะมีปริมาณผล 55-65% โดยน้ำหนัก โดยทั่วไปปาล์มจะสามารถผลิตทะลายปาล์มได้ไม่ต่ำกว่า 12 ทะลายต่อต้นต่อปี แต่ละทะลายจะมีน้ำหนัก 10-25 กิโลกรัม น้ำหนักทะลายจะแปรผันตามอายุของปาล์มแต่จะแปรผกผันกับจำนวนทะลายต่อต้น คือ ปาล์มที่มีอายุน้อยจะมีจำนวนทะลายต่อต้นมากแต่ทะลายมีขนาดเล็ก และเมื่อปาล์มมีอายุมากจะมีจำนวนทะลายต่อต้นน้อยแต่ขนาดทะลายจะใหญ่ ดังแสดงใน **รูปที่ 2.5**

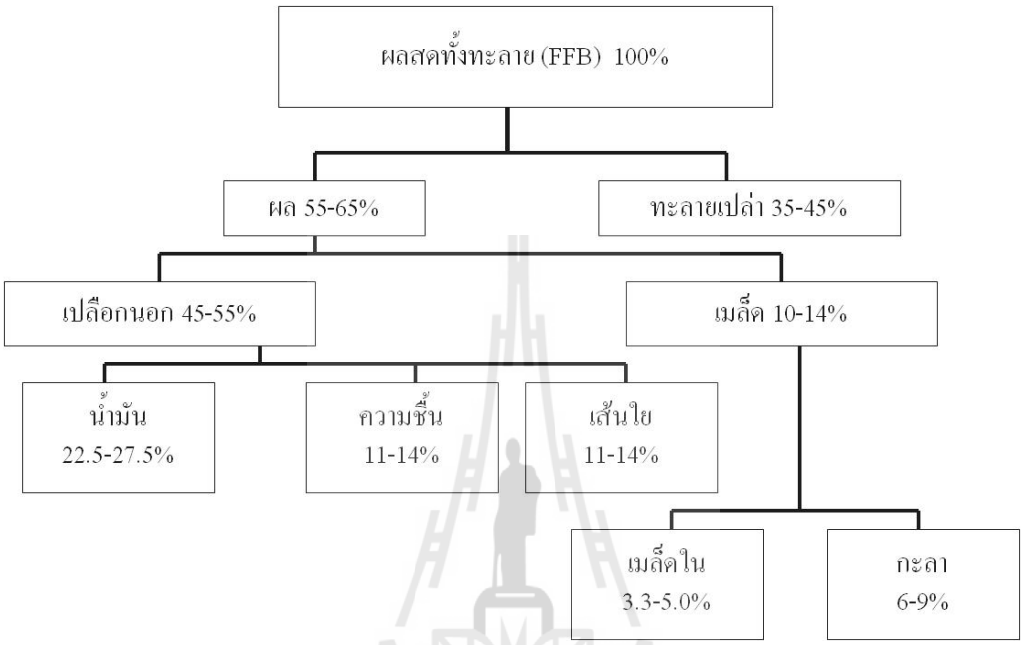


รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของทะลายปาล์มน้ำมัน (ที่มา: นคร, 2545)

2) ผลปาล์มน้ำมัน

ผลปาล์มน้ำมัน ประกอบด้วยเปลือกผลชั้นนอก เนื้อผลชั้นนอก กะลา เนื้อผลชั้นใน และเอมบริโอ ดังแสดงใน **รูปที่ 2.5** ซึ่งหากนำมาพิจารณาแยกส่วนประกอบโดยนำทะลายปาล์ม (พันธุ์เทเนอรา) 100% มาแยกผลออก ได้ผลปาล์มประมาณ 55-65% ที่เหลือ 35-45% เป็นทะลายเปล่า แล้วทำการย่อยผลปาล์ม ได้เปลือกนอก 45-55% และเมล็ด 10-14 % ในส่วนของเปลือกนอกมีน้ำมัน 22.5-27.5% ความชื้น 11-14% และเส้นใย 11-14% ส่วนเมล็ดนำไปกะเทาะกะลาออกและนำเนื้อเมล็ดในไปสกัดน้ำมัน ได้กะลา 6-9% และเมล็ดในปาล์ม 3.3-5.0% ดังแสดงใน **รูปที่ 2.6** ผลปาล์มน้ำมันสุกมีสีแดงซึ่งเป็นรงควัตถุจำพวกแคโรทีนอยด์ ทำให้น้ำมันปาล์มที่สกัดได้มีสีแดงส้มเนื่องจากแคโรทีนอยด์ผสมกับน้ำมันออกมาด้วย ผลที่สุกแล้วหลุดร่วงจากทะลายปาล์มน้ำมันได้ง่าย การเก็บเกี่ยวจะเก็บเกี่ยวในระยะที่ผลปาล์มเริ่มร่วง ซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาณน้ำมันสะสมอยู่ในผลปาล์มสูงที่สุด ซึ่งหลังจากนั้นหากยังไม่ทำการเก็บเกี่ยว น้ำมันในชั้นเปลือกจะมีการสังเคราะห์เพิ่มขึ้นอีกไม่มาก เมื่อผล

หลุดจากทะลายหรือเมื่อทะลายถูกตัดออกจากต้นการสร้างน้ำมันจะหยุดลง ในส่วนของผลปาล์มน้ำมันที่หลุดจากทะลายเรียกว่า ผลร่วง คือ ผลที่ร่วงอยู่บนพื้นดินรอบๆ บริเวณโคนต้นปาล์มน้ำมัน ทะลายปาล์มที่มีจำนวนผล ร่วงสูง จะให้อัตราการสกัดน้ำมันสูง(นคร, 2545) แต่ปริมาณกรดไขมันอิสระมีค่าสูงเช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.6 สัดส่วนของส่วนประกอบของทะลายปาล์มน้ำมัน (พันธุ์เทเนอรา)
(ที่มา: อิบรอเฮม, 2551)

ในส่วนของการรับซื้อปาล์มน้ำมันของโรงงานจะรับซื้อทั้งทะลาย (โรงงานบางแห่งมีการรับซื้อผลปาล์มน้ำมันร่วงแยก) แต่ต้องมีมาตรฐานการเก็บเกี่ยว ดังแสดงไว้ใน **ตารางที่ 2.1** และส่งโรงงานตามข้อตกลงของโรงงาน ข้อสำคัญของการส่งทะลายสดปาล์มน้ำมัน คือ ต้องรีบส่งเร็วที่สุดภายหลังการเก็บเกี่ยวลงจากต้น เพราะจะเกิดกระบวนการที่เอ็นไซม์ทำให้น้ำมันปาล์มมีกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) ซึ่งถือเป็นกรดในน้ำมันปาล์มที่ไม่มีคุณภาพ การส่งทะลายปาล์มน้ำมันเข้าโรงงานจะส่งทั้งผลผลิตปาล์มน้ำมันทั้งทะลายผสมกับส่วนของผลร่วงที่เก็บมารวบรวมกันในรถบรรทุกส่งโรงงาน เมื่อผลผลิตถูกส่งถึงโรงงาน สิ่งแรกที่ทำคือการชั่งน้ำหนัก โดยกำหนดราคาตามกลไกลตลาดในวันนั้น การรับซื้อจะซื้อตามขนาดของทะลาย ซึ่งขนาดของทะลายปาล์มขึ้นอยู่กับอายุของต้นปาล์มน้ำมัน โดยเฉลี่ยแล้วต้นใหญ่ทะลายปาล์มน้ำมันจะใหญ่ และน้ำมันมากกว่าต้นเล็ก ดังนั้น การตั้งราคาทะลายสดปาล์มน้ำมันโดยทั่วไปทะลายใหญ่ได้ราคาสูงกว่าทะลายขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังอาจมีการกำหนดราคาหน้าโรงงานที่จะแปรปรวนตามคุณภาพของทะลาย ดังแสดงไว้ใน **ตารางที่ 2.2** ความสุกแก่ของผลปาล์มน้ำมัน รวมทั้งการเก็บเกี่ยว และการขนส่งเข้าโรงงานการซื้อขายในราคาต่างๆ ยังอาจขึ้นอยู่กับ

สวนที่นำส่งด้วย โดยที่โรงงานจะมีข้อมูลเก่าของสวนที่ส่งเป็นประจำ ผลปาล์มน้ำมันในลักษณะของทะลายสด และผลร่วงจะถูกเทรวมลงในตู้ที่มีรางเลื่อนเข้าสู่ขั้นตอนตามลำดับของโรงงานต่อไป (อาภาพงศ์ ,2549)

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานการเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมัน

ลักษณะของทะลาย	สภาพแวดล้อมของการพัฒนาทะลาย	
	สภาพปกติทั่วไป	สภาพฤดูฝน
1. ทะลายยังไม่สุก	เปลือกแข็งและดำ ไม่มีผลร่วง	เปลือกแข็งและดำไม่มีผลร่วง
2. ทะลายที่ใกล้สุก	เปลือกสีส้มปนดำผลร่วงน้อยกว่า 10 ผล	เปลือกสีส้มปนดำ ผลร่วงน้อยกว่า 10 ผล
3. ทะลายที่สุกพอดี	เปลือกสีส้มสด ผลร่วง 10 ผล	เปลือกสีส้มเข้มผลร่วงมากกว่า 10 ผล
4. ทะลายที่สุกมากเกินไป	เปลือกสีส้มสด ผลร่วงมากกว่า 50 ผล	เปลือกสีส้มสด ผลร่วงมากกว่า 50 ผล
5. ทะลายเน่า	ผลร่วง 1 ใน 3 ของทะลาย	ผลร่วง 1 ใน 3 ของทะลาย
6. ทะลายเปล่า	ไม่มีผลในทะลาย	ไม่มีผลในทะลาย

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานคุณภาพทะลายปาล์มน้ำมัน

ลักษณะทะลาย	คุณภาพทะลายปาล์มน้ำมัน
1.ความสด	เป็นผลปาล์มที่ตัดแล้วส่งถึงโรงงานภายใน 24 ชั่วโมง
2.ความสุก	ลูกปาล์มชั้นนอกสุดของทะลายหลุดร่วงจากทะลาย
3.ความสมบูรณ์	ลูกปาล์มเต็มทะลายและเห็นได้ชัดว่าได้รับการดูแลรักษาอย่างดี
4.ความชอกช้ำ	ไม่มีทะลายที่ชอกช้ำและเสียหายอย่างรุนแรง
5.โรค	ไม่มีทะลายเป็นโรคใด ๆ หรือเน่าเสีย
6.ทะลายสัตว์กิน	ไม่มีทะลายสัตว์กินหรือทำความเสียหายแก่ผลปาล์ม
7.ความสกปรก	ไม่มีสิ่งสกปรกเจือปน เช่น ดิน หิน ทราย ไม้กาบหุ้มทะลายเป็นต้น
8.ทะลายเปล่า	ไม่มีทะลายเจือปน
9.ก้านทะลาย	ความยาวไว้เก็บ 2 นิ้ว

3) การเกิดกรดไขมันอิสระในผลปาล์มน้ำมัน

กรดไขมันอิสระเป็นสิ่งไม่ต้องการในน้ำมันปาล์ม กรดไขมันอิสระในผลปาล์มน้ำมันจะเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และจากการปฏิบัติของชาวสวน การเกิดกรดไขมันอิสระเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ไลเปส ซึ่งเป็นการเกิดขึ้นหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตทะลายปาล์มออกจากต้นหรือเกิดจากการที่ปาล์มน้ำมันถูกกระแทก ถูกทำให้เกิดแผล หรือรบกวนจากโรคและแมลงซึ่งเป็นการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ชนิดที่มีอยู่ในผลปาล์มน้ำมัน ในทางปฏิบัตินั้นภายหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตทลายปาล์มน้ำมันจะต้องรีบนำส่งโรงงานสกัดน้ำมันให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ตามหลักแล้วควรส่งภายใน 24 ชั่วโมง หลังเก็บเกี่ยวจากต้น การเก็บเกี่ยวจะต้องลดการทำให้ผลปาล์มน้ำมันกระทบกระเทือน พยามไม่ทำให้ผลปาล์มน้ำมันเป็นแผลอันเกิดจากกระบวนการเก็บเกี่ยว จากการศึกษาพบว่าผลปาล์ม

น้ำมันที่ทำให้เกิดแผลจะเร่งการทำงานของเอนไซม์ ที่ทำให้เกิดกรดไขมันจาก 1% เป็น 5% ภายในระยะเวลา 20 นาที กระบวนการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระนี้จะเกิดได้ดีอีกกรณีหนึ่ง นั้นคือจะเกิดขึ้นรวดเร็วภายใต้อุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส โดยที่ถ้าหากอุณหภูมิสูงๆ การทำงานของเอนไซม์จะหยุดทันทีเหตุนี้จึงต้องรีบนำผลผลิตปาล์มน้ำมันส่งโรงงาน และอบไอน้ำความดันผลผลิตทะลายสดปาล์มน้ำมันหลังถูกเก็บเกี่ยวออกจากต้องแล้วยังไม่ส่งโรงงานถ้าเก็บไว้ในสภาพแวดล้อมปกติหรือการปล่อยให้ผลปาล์มสุกมากเกินไป (Over-ripe) บนต้นจะมีการเน่าที่เกิดจากเชื้อราชนิดต่างๆ เชื้อราเหล่านี้จะจะเริ่มเข้าทำลายที่ส่วนของผิว (exocarp) ของผล (fruit) ชนิดของเชื้อราที่ปรากฏ คือ Rhizopus spp. และPhoma spp. การเกิดการเข้าทำลายของเชื้อรานี้มีแนวโน้มจะทำให้เกิดการาร่า หรือเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ไลเปส ที่ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระในผลน้ำมันปาล์ม อย่างไรก็ตามการเกิดกรดไขมันอิสระในผลปาล์มน้ำมันปาล์มก่อนเข้าส่งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มนี้ยังเกิดการจากการมีเชื้อพวก Marasmius spp., Plammivo ro spp., Sclerotium spp., Diplodia spp. และ Glomerella spp. ซึ่งปรากฏบนผลปาล์มน้ำมันตั้งแต่อยู่บนต้น และยังปรากฏว่ามีการเข้าทำลายเชื้อแบคทีเรีย และไส้เดือนฝอย ก็เป็นสาเหตุของการเกิดกรดไขมันอิสระในผลปาล์มน้ำมันด้วย โดยสรุปแล้วต้องมีการปฏิบัติในส่วนการขนส่ง และการส่งโรงงานที่ถูกต้องจึงทำให้มีปริมาณเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระในผลปาล์มน้ำมันมีน้อย ได้แก่

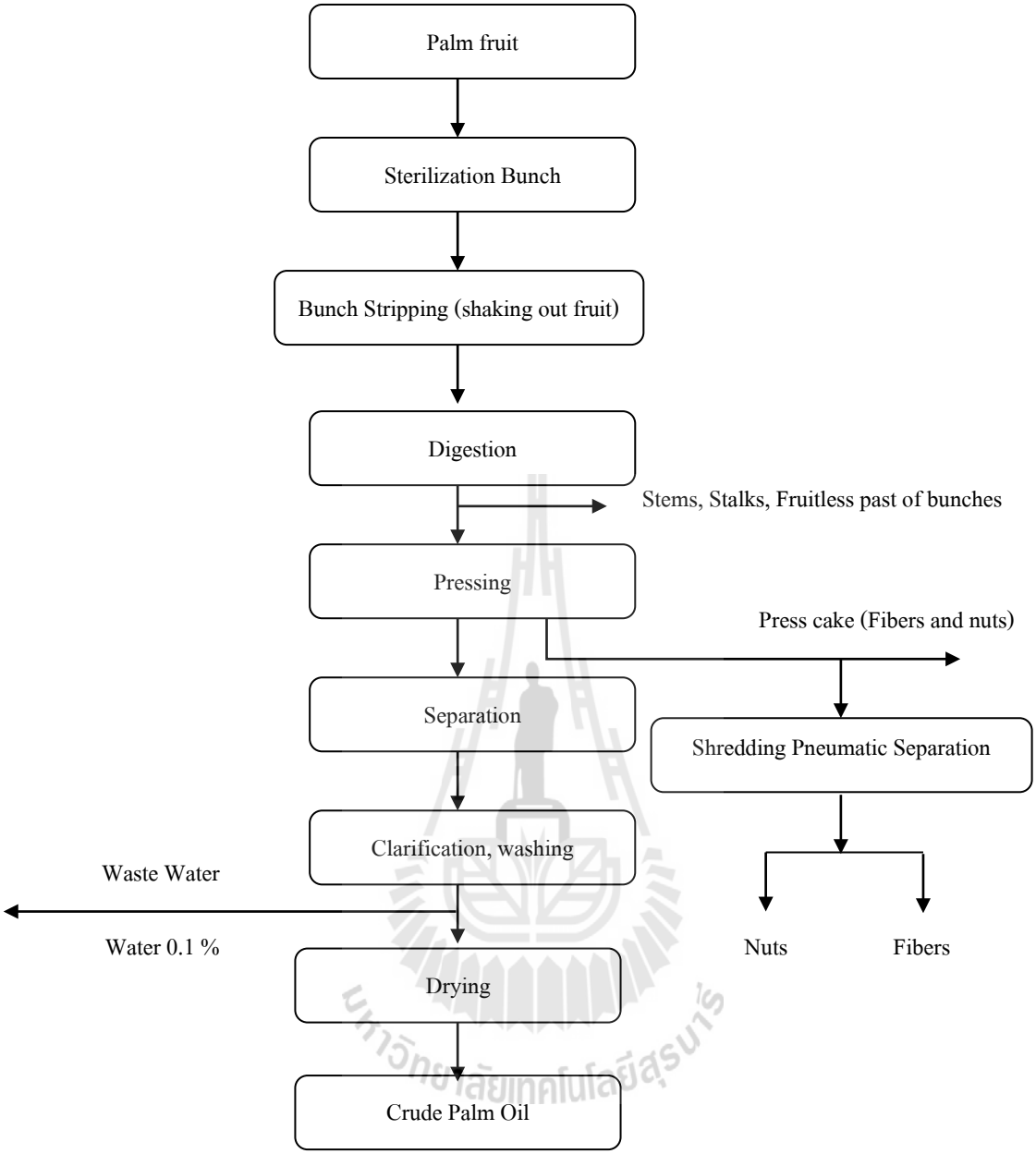
- การทำให้เกิดแผล หรือผลกระทบกับผลปาล์มน้ำมันในกระบวนการเก็บเกี่ยวน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้
- การลดการกระแทก หรือเกิดแผลในการย้ายในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม
- ลดระยะเวลาให้สั้นที่สุดระหว่างการเก็บเกี่ยวออกจากต้นจนถึงอบไอน้ำความดันในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม
- กระบวนการสกัดน้ำมันในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มควรมีวิธีการต่างๆที่ไม่ทำให้อุณหภูมิต่ำเนื่องจากเอนไซม์จะทำงานที่อุณหภูมิต่ำ
- วัสดุที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันจะต้องไม่เป็นตัวที่ทำให้เกิดการทำงานของเอนไซม์ไลเปส

ดังนั้นหลังจากทะลายปาล์มตัดหรือแทงออกจากต้นปาล์มน้ำมันแล้วต้องรีบนำผลผลิตปาล์มน้ำมันส่งโรงงาน และเข้าสู่กระบวนการสกัดหรือหีบน้ำมันออกมาใช้ประโยชน์ต่อไป กระบวนการสกัดน้ำมันเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก เพราะเป็นการเอาน้ำมันออกจากผลปาล์มน้ำมัน และเป็นการทำให้น้ำมันดิบดีมีคุณภาพสูงสุดเพื่อใช้ในการแปรรูปต่อไป ซึ่งมีรายละเอียดดังหัวข้อถัดไป

2.8 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม (Mill Processing)

หลังการเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมัน จะมีการขนส่งผลผลิตเข้าสู่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งมีกระบวนการสกัดน้ำมันมี 2 แบบ คือ แบบมาตรฐาน (หีบน้ำมันแยก) และแบบหีบน้ำมันผสม โดยโรงงานแบบมาตรฐานคือ โรงงานจะสกัดน้ำมันจากส่วนเปลือกระยะเดียวและส่งเนื้อใน (Kernel) ให้โรงงานต่อไปสกัดน้ำมันต่อ โรงงานแบบมาตรฐานนี้จะมีกำลังการผลิตสูง ประมาณ 30-80 ตัน/ชั่วโมง และน้ำมันที่ได้จัดเป็นน้ำมันเกรดเอ เนื่องจากมีการแยกชนิดของน้ำมันปาล์ม สำหรับโรงงานแบบหีบน้ำมันผสมคือ การที่เกษตรกรนำทะลายปาล์มน้ำมันออกจากต้นแล้วนำมาบ่มและเฉาะ (ลูก) ผลปาล์มน้ำมันแยกออกจากทะลายแล้วส่งเฉพาะผลสู่โรงงานที่สกัดน้ำมันปาล์ม และน้ำมันจากเนื้อในพร้อมกัน โรงงานแบบหีบน้ำมันผสมจะมีกำลังการผลิตค่อนข้างต่ำ และน้ำมันที่สกัดได้เป็นน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ดังนั้นในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการสกัดน้ำมันแบบที่นิยมใช้โดยทั่วไปมาตรฐาน แสดงใน **รูปที่ 2.7** และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.7 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม
(ที่มา: ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, 2551)

1) การอบไอน้ำความดัน (Sterilization Bunch)

เป็นกระบวนการที่นำทะลายสดปาล์มน้ำมันเข้าไปอบด้วยความร้อน และความดัน ซึ่งจะใช้อุณหภูมิประมาณ 130-135 องศาเซลเซียส ความดันไอน้ำ 2.5–3.0 บาร์ ในเวลา 50–70 นาที การอบไอน้ำความดันทะลายสดปาล์มน้ำมันนี้ หากใช้เวลานานเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันปาล์มได้ โดยทั่วไปแล้วการอบความดัน และความร้อนตามเวลาที่กำหนดมาตรฐานก็จะมีโอกาสสูญเสียน้ำมันประมาณ 3 % ในขณะเดียวกันการอบความร้อน และความดันในระยะที่สั้นไปก็จะทำให้ผลปาล์ม

น้ำมันจำนวนหนึ่งไม่สามารถหลุดจากทะลายในขั้นตอนแยกผลปาล์มน้ำมัน (อาภาพงศ์ ,2549) ส่วนในด้านการใช้พลังงานกรณีที่โรงงานสามารถควบคุมประสิทธิภาพของการใช้ไอน้ำในการผลิตได้ดี จะมีอัตราการใช้ไอน้ำ (Specific Steam Consumption) อยู่ที่ 0.50 ตันไอน้ำ/ตันผลปาล์มสด สำหรับไอน้ำที่เหลือส่วนมากภายหลังจากการผลิตจะไม่ค่อยมีไอน้ำเหลือทิ้ง เนื่องจากภายหลังการนึ่งปาล์มไอน้ำจะควบแน่นและกลายเป็นน้ำเสีย เข้าสู่การบำบัดต่อไป หม้อไอน้ำที่ใช้ในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจะใช้กากใยปาล์มและกะลาปาล์มเป็นเชื้อเพลิง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน,2551)

2) การแยกผลปาล์มออกจากทะลาย (Bunch Stripping)

กระบวนการนี้จะถูกเข้าเครื่องนวด (Stripping) ซึ่งเครื่องจะทำหน้าที่แยกผลปาล์มน้ำมันออกจากทะลาย หมดขั้นตอนนี้ก็จะได้ผลปาล์มน้ำมัน และทะลายเปล่าแยกจากกัน โดยสัดส่วนของผลปาล์มน้ำมันกับทะลายปาล์มเปล่าอยู่ที่ 55-65% และ 35-45% ตามลำดับ

3) การย่อยผลปาล์มน้ำมัน (Digestion)

เป็นการย่อยของผลปาล์มน้ำมัน (Digestion) เพื่อย่อยเปลือกออกจากเมล็ด เมื่อเสร็จขั้นตอนนี้จะได้ส่วนของเปลือก (Mesocarp) 44-55% และส่วนของเมล็ด (Seed) 10-14% กระบวนการย่อยผลปาล์มน้ำมันจะต้องใช้ความร้อนประมาณ 95 องศาเซลเซียส โดยต้องควบคุมอุณหภูมิอยู่ในระดับนี้ตลอดไม่ให้สูง เพราะจะทำให้น้ำเดือด การย่อยนี้จะต้องให้มีความสม่ำเสมอทั่วถึง (อาภาพงศ์, 2549)

4) การหีบน้ำมันปาล์ม (Pressing)

เป็นกระบวนการต่อจากกระบวนการย่อยผลปาล์มน้ำมัน โดยที่จะเป็นเส้นทางของการทำน้ำมันปาล์ม ซึ่งเป็นน้ำมันที่สกัดจากชั้นเปลือกเท่านั้น เครื่องหีบน้ำมันเป็นแบบเกลียวอัด แบบเครื่องปั่น หรือแบบอัดไฮดรอลิก การใช้เครื่องหีบแบบเกลียวอัด (Screw press) ใช้ความเร็วรอบ 10 รอบ/นาที ขนาดของเครื่องอาจมีขนาดเล็กที่สามารถหีบน้ำมันปาล์ม 3 ตัน/ชั่วโมง ถ้าขนาดเครื่องใหญ่ 13 ตัน/ชั่วโมง ส่วนเครื่องปั่น (Centrifuge) ใช้ความเร็วรอบ 950–1250 รอบต่อนาที กำลังการผลิต 1-2 ตัน/ชั่วโมง ใช้เวลาการปั่นประมาณ 10 นาที การหีบน้ำมันโดยเครื่องปั่นนี้มีข้อดี จะได้น้ำมันที่ไม่มีเศษกาก ส่วนเครื่องอัดนั้นจะสามารถผลิตได้ประมาณ 5 ตันผลสดปาล์มน้ำมัน/ชั่วโมง น้ำมันที่ได้จากการหีบด้วยเครื่องปั่นจะมีน้ำ 40–50 % และมีสิ่งเจือปนเล็กน้อย ส่วนน้ำมันดิบที่ได้จากการอัด จะมีน้ำ 55% โดยที่น้ำมันดิบจากเครื่องอัดเกลียวจะมีน้ำ 60% และสิ่งเจือปนมาก การหีบน้ำมันปาล์มจะได้ผลผลิตออกมาเป็นน้ำมันปาล์มที่ยังคงมีสิ่งเจือปน และความชื้นอยู่จึงต้องผ่านขั้นตอนต่อไป(อาภาพงศ์ ,2549)

5) การกรองน้ำมัน (Separation)

กระบวนการกรองน้ำมันต่อจากน้ำมันดิบที่ได้จากการหีบเพื่อแยกการกากออกจากน้ำมัน เครื่องกรองน้ำมันจะเป็นแบบมีแผ่นกรองหลายชั้น เมื่อเสร็จสิ้นการกรองจะได้น้ำมันที่สะอาดปราศจากกากโดยเครื่องจะแยกกากออกไป (อาภาพงศ์ , 2549)

6) การแยกน้ำและสิ่งเจือปน (Clarification, washing)

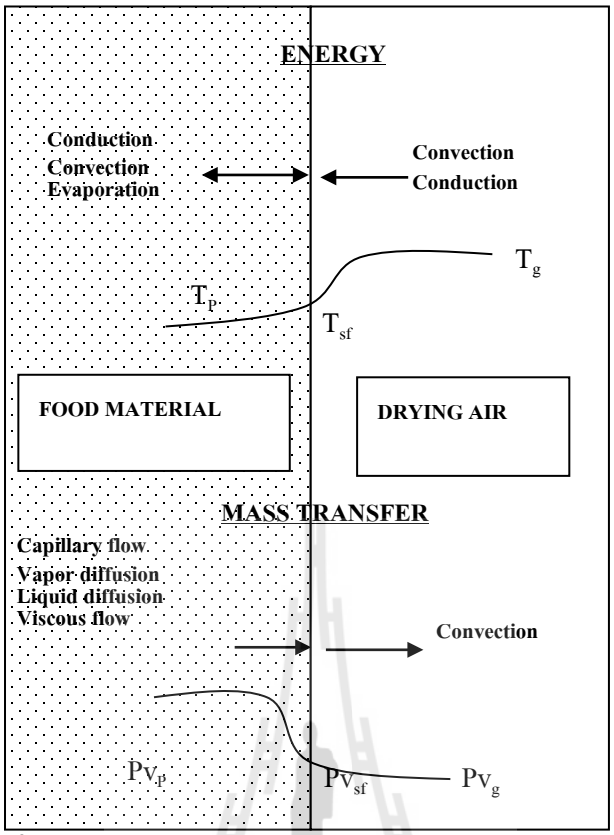
เป็นการใช้เครื่องเหวี่ยงความเร็วสูง กระบวนการทำงานของเครื่องคือการแยกน้ำ และส่งเจือปนออกจากน้ำมันดิบ ซึ่งน้ำมันดิบที่ได้จากการกรองจะยังมีน้ำและสิ่งเจือปนอยู่ (มีน้ำปนอยู่ประมาณ 40–60 %) การเหวี่ยงความเร็วสูง และความร้อนเข้าช่วย ก็สามารถแยกเอาสิ่งเจือปนออกจากน้ำมันดิบได้ อุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 85–95 องศาเซลเซียส น้ำมันจะอยู่ส่วนบน (ความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าน้ำ) ส่วนน้ำก็ถูกแยกออกมาตามท่อ (อาภาพงศ์, 2549)

7) การสกัดความชื้น (Drying)

น้ำมันดิบที่เข้าเครื่องเหวี่ยงเรียบร้อยแล้ว จะยังคงมีความชื้นอยู่จึงต้องสกัดความชื้นออกก่อนนำไปบรรจุในถังเพื่อส่งต่อไปยังโรงงานแปรรูปต่อไป น้ำมันดิบที่ได้จะต้องมีมาตรฐานความชื้นตามที่กำหนด เมื่อสิ้นสุดกระบวนการสกัดความชื้นจะได้น้ำมันดิบ ซึ่งน้ำมันปาล์มที่ดีมีคุณภาพตามกำหนด คือ กรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) ไม่เกิน 5% ความชื้นไม่เกิน 0.5% และสิ่งเจือปนไม่เกิน 0.05% (อาภาพงศ์, 2549)

2.9 การอบแห้งวัสดุเกษตร

การอบแห้งเป็นการดึงความชื้นซึ่งก็คือปริมาณน้ำออกจากเนื้อวัสดุโดยมีจุดประสงค์เพื่อความเหมาะสมต่อการเก็บรักษาคือสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานโดยไม่เสียหายเนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และประหยัดเนื้อที่เนื่องจากการอบแห้งทำให้มีปริมาตรและน้ำหนักที่ลดลงการอบแห้งเป็นขั้นตอนหนึ่งในการจัดการวัตถุดิบทางการเกษตร การอบแห้งเป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลสาร โดยทั่วไปจะอาศัยความร้อนจากภายนอก ถ่ายเทความร้อนเข้าสู่วัสดุที่ต้องการ ความร้อนที่ถ่ายเทเข้าไปจะทำให้ความชื้นของวัสดุ ที่อยู่ที่ผิวและเนื้อวัสดุระเหยออกมาทั้งนี้พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งจะถูกกำหนดโดยระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (Drying time) จากความชื้นเริ่มต้นไปสู่ความชื้นที่ต้องการระหว่างการอบแห้งมีกระบวนการถ่ายเทเกิดขึ้นคือ การถ่ายเทความร้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอกไปยังผิวหน้าของวัสดุอาหาร และ การถ่ายเทมวลจากข้างในไปยังผิวของวัสดุอาหารเนื่องมาจากการถ่ายเทความชื้นสู่สิ่งแวดล้อมดังแสดงใน **รูปที่ 2.8**



รูปที่ 2.8 Schematic of the food drying phenomenon

ที่มา : (Guillermo et al., 1997)

พลังงานถ่ายเทสู่วัสดุอบแห้งโดย

1.การพาความร้อน เกิดขึ้นเมื่อพลังงานสำหรับการระเหยได้รับจากกระแสอากาศร้อนที่ไหลผ่านวัสดุ ดังเช่น การอบแห้งแบบถาด, belt-conveyor, flash, fluid-bed และ spray drying

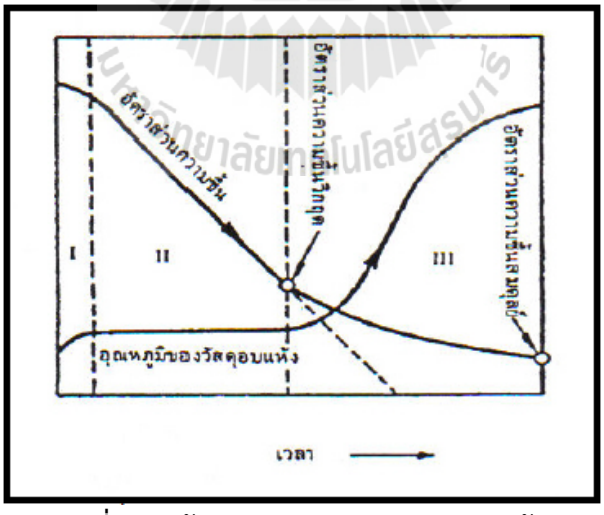
2.การนำความร้อน เกิดขึ้นเมื่อวัสดุสัมผัสกับผิวร้อนดังในกรณีของ เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหรือ rotary dryer

ความชื้นเริ่มต้น (Moisture content) สามารถระบุได้ทั้งเป็นความชื้นเปียก (wet basis, %wb) และ ความชื้นแห้ง (dry basis, %db) ซึ่งใช้ฐานในการเปรียบเทียบแตกต่างกัน wet basis หมายถึงการเทียบปริมาณความชื้นกับน้ำหนักรวมของวัสดุ ส่วน dry basis เป็นการเทียบปริมาณความชื้นกับน้ำหนักแห้งของวัสดุเท่านั้นในการใช้คำนวณและออกแบบการอบแห้งนิยมใช้ dry basis เป็นมาตรฐาน

การหาปริมาณความชื้นสามารถแบ่งออกเป็นสองวิธีหลัก คือ วิธีโดยตรง (direct method) และวิธีโดยอ้อม (indirect method) วิธีโดยตรงจะเป็นการนำความชื้นออกจากวัสดุและทำการวัดปริมาณความชื้นนั้นวิธีที่เป็นพื้นฐานในการหาค่าความชื้นคือ 1) Oven method 2) Infra-red lamp method 3) Brown Duvel method ส่วนวิธีโดยอ้อมนั้นจะเป็นการใช้คุณสมบัติอื่นของวัสดุมา

ที่มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้น เช่น ความต้านทานไฟฟ้าหรือคุณสมบัติทางไดอิเลคตริก (dielectric) วิธีการนี้เป็นวิธีที่รวดเร็วแต่ค่าที่ได้มีความถูกต้องต่ำเนื่องจากคุณสมบัติเหล่านี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิดังนั้นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความชื้นจะต้องมีการตรวจสอบกับค่าวิธีพื้นฐาน ตัวอย่างของการหาความชื้นโดยอ้อมคือ 1) Resistance method 2) Capacitance method 3) Chemical method 4) Relative Humidity method

ช่วงของการอบแห้งวัสดุการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนในการลดความชื้นวัสดุนั้นสามารถแบ่งออกเป็นช่วงได้ 3 ช่วงคือ ช่วงที่แรกเป็นการเพิ่มอุณหภูมิให้กับวัสดุโดยความร้อนจากอากาศอบแห้งจะถ่ายเทเข้าสู่ผิววัสดุ ซึ่งความร้อนที่ให้กับวัสดุนี้จะอยู่ในรูปของความร้อนสัมผัส อุณหภูมิของวัสดุจะสูงขึ้นจนถึงประมาณอุณหภูมิกระเปาะเปียก ช่วงที่สองของการอบแห้งเป็นช่วงที่อัตราการอบแห้งมีค่าคงที่ การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลจะเกิดขึ้นกับปริมาณความชื้นอิสระที่อยู่รอบๆ ผิวของวัสดุ อัตราการถ่ายเทมวลมีความสมดุลกับอัตราการถ่ายเทความร้อน จึงทำให้อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุอบแห้งคงที่ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศอบแห้ง ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการอบแห้งในช่วงนี้คือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และอัตราการไหลของอากาศช่วงที่สามเป็นช่วงของการอบแห้งลดลง เนื่องจากปริมาณความชื้นอิสระถูกระเหยออกจากผิวของวัสดุทำให้การระเหยความชื้นขึ้นอยู่กับการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในวัสดุออกมาสู่ผิววัสดุ ซึ่งเมื่อชั้นวัสดุด้านนอกเริ่มแห้งจะทำให้การเคลื่อนที่ของความชื้นภายในออกสู่ผิวด้านนอกช้ากว่าอัตราการระเหยจึงทำให้เกิดอัตราการอบแห้งลดลง การอบแห้งในช่วงที่สามนี้อัตราการไหลของอากาศไม่ค่อยส่งผลต่ออัตราการอบแห้งมากนัก **รูปที่ 2.9**



รูปที่ 2.9 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง
ที่มา: (วิวัฒน์, 2529)

ตัวแปรสำคัญ ที่มีผลต่อพลังงานที่ใช้การอบแห้ง คือ สมบัติและประเภทของความชื้นของวัสดุ โดยปกติความชื้นที่อยู่ในวัสดุจะประกอบไปด้วย ความชื้นรอบผิว (Boundary moisture)

และ ความชื้นในเนื้อวัสดุ (Absorbed moisture) ซึ่งความชื้นรอบผิวจะเป็นความชื้นที่ถูกดึงออกไปได้ง่าย นอกจากนี้ ยังมีความชื้นของบรรยากาศ (Relative Humidity) ซึ่งมีผลทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้นอีกด้วย โดยปกติในการอบแห้งวัสดุใดๆ ความชื้นสุดท้ายของวัสดุที่ยังคงเหลืออยู่ในเนื้อวัสดุจะสมดุลกับความชื้นอากาศที่ใช้อบ โดยที่ความชื้นในวัสดุดังกล่าวจะไม่ลดต่ำกว่านี้อีกแม้ว่าจะใช้เวลานานเท่าใดก็ตามเราเรียกความชื้น ณ จุดนี้ว่า ค่าความชื้นสมดุล(Equilibrium Moisture Content, $\overline{X}'_E$)

อัตราการอบ (Drying Rate) เป็นตัวแปรอีกตัวหนึ่ง ที่สามารถบอกให้เราทราบถึงระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึง ค่าความชื้นที่ระเหยออกไปได้ต่อหน่วยเวลา หน่วยอาจเป็นปอนด์น้ำต่อชั่วโมงหรือกิโลกรัมน้ำต่อชั่วโมงโดยปกติ ในการอบแห้งวัสดุหนึ่งๆ จะมีอัตราการอบแห้ง 2 ช่วง คือ

ก) Constant Rate Drying (R_c) คือ การอบแห้งในช่วงที่มีอัตราการระเหยน้ำ เป็นการอบแห้งในช่วงที่วัสดุมีความชื้นเหลือเฟือความชื้นจึงเดินทางมาสู่ผิวหน้าได้ทันเวลากับความร้อนที่จ่ายจากลมร้อนมาที่ผิว ส่วนใหญ่จะเป็นความชื้นรอบผิว (Boundary moisture) หรือ ความชื้นอิสระ (Unbound moisture)

ข) Falling Rate Drying (R_f) คือการอบในช่วงที่ปริมาณน้ำที่ผิววัสดุแห้งลงเมื่อน้ำระเหยมาที่ผิวไม่ทันอัตราการระเหยต่อหน่วยพื้นที่และเวลาก็จะลดในช่วงนี้อุณหภูมิที่ผิวอาจค่อยๆ เพิ่มขึ้นและค่า R_f อาจจะแปรผันตรงกับค่าความชื้นที่เหลืออยู่บางประเภทอาจมีแต่ falling rate ตลอดการอบเลยก็ได้ ทั้งนี้การอบแห้งจะสิ้นสุดลงเมื่อความชื้นของวัสดุลดลงถึงจุดความชื้นสมดุล, $\overline{X}'_E$

2.10 ชนิดของเครื่องอบแห้ง

องค์ประกอบการอบแห้งจะประกอบไปด้วย 1) แหล่งพลังงานความร้อน 2) พัดลมในการพาความร้อน และ 3) ถังอบวัสดุ ซึ่งในส่วนของการเลือกใช้หรือการออกแบบเครื่องอบแห้ง จะต้องพิจารณาถึงวัสดุที่ต้องการนำมาอบแห้ง ซึ่งทฤษฎีนั้นมีจำนวนมากเนื่องจากเครื่องลดความชื้นนั้นมีหลาย รูปแบบซึ่งในหัวข้อนี้จะกล่าวแนวทางการพิจารณาการเลือกและออกแบบเครื่องลดความชื้นการเลือกใช้ชนิดของเครื่องอบแห้งนั้นจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายๆ ประการเช่น ลักษณะทางกายของผลิตภัณฑ์ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้ง การประหยัดพลังงาน ต้นทุนและการคืนทุน (Ryozo et al., 1994) เครื่องอบแห้งที่นิยมใช้มีอยู่หลายประเภทจำแนกตามลักษณะของเครื่องอบแห้งออกเป็นกลุ่มหลักตามลักษณะการถ่ายเทความร้อนดังแสดงใน **ตารางที่ 2.3**

ตารางที่ 2.3 การแบ่งประเภทของเครื่องอบแห้ง

Mode of Heat Transfer	Dryers	
	Batch operation	Continuous operation
Convection	Kiln dryer	Tunnel dryer
	Cabinet dryer	Conveyor dryer
	Heat pump dryer	Spray dryer
		Fluidized bed dryer
		Heat pump dryer
Conduction	Heat-shelf dryer	Drum dryer
	Agitated pan dryer	
Radiation	Infrared dryer	
Internal generation of heat	Microwave oven	Dielectric continuous dryer
		Microwave tunnel
Mixed	Shelf dryer	Rotary dryer

ที่มา : (สมบัติ, 2529)

2.11 มันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีศักยภาพด้านการตลาด เนื่องจากสามารถนำไปแปรรูป เป็นผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในรูปต่าง ๆ เพื่อใช้ประโยชน์ได้นานาประการ ทั้งในรูปอาหารและมิใช่อาหาร เช่น มันเส้น มันอัดเม็ด ใช้เป็นส่วนประกอบอาหารสัตว์ และผลิตภัณฑ์แอลกอฮอล์ สำหรับแป้งมันสำปะหลังใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง ได้แก่ อุตสาหกรรมอาหาร สารความหวาน ผงชูรส สิ่งทอ กระดาษ เป็นต้น รวมทั้งเอทานอลและภาชนะบรรจุย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ซึ่งในอนาคตจะมีการใช้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมากยิ่งขึ้น เพราะช่วยลดปัญหามลภาวะและสิ่งแวดล้อม ที่เกิดจากการใช้พลาสติกและ โฟม ส่วนการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไปยังต่างประเทศ คาดว่าจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน เนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการเปิดการค้าเสรีในรูปของทวิภาคีมากขึ้นโดยเฉพาะในตลาดนำเข้าที่สำคัญของไทย

ผลผลิตที่ได้จากต้นมันสำปะหลังล้วนแต่มีประโยชน์ทั้งโดยตรงต่อมนุษย์ในรูปของการบริโภคจากหัวมัน (หลังจากต้มหรือนึ่ง) หรือการใช้ประโยชน์ในรูปของอาหารสัตว์ในฟาร์มซึ่งจะใช้มันตากแห้งหรือใบ การผลิตอาหารสัตว์เพื่อการค้า การผลิตแป้งหรือผลิตภัณฑ์จากแป้ง ในประเทศไทยมันสำปะหลังจะไม่นิยมบริโภคโดยตรงจากการต้ม แต่ส่วนใหญ่จะนำมาบริโภคในรูปของแป้ง เช่น ผงชูรส (monosodium glutamate: MSG) หรือ อาหารที่ต้องผ่านกระบวนการอื่น

2.12 การแปรรูปมันสำปะหลัง

หัวมันสำปะหลังสดโดยทั่วไปจะถูกส่งไปโรงงานมันเส้นหรือโรงงานแป้งในวันเดียวกับที่ทำการเก็บเกี่ยว ช่วงเวลาในการเก็บรักษาของหัวมันจะขึ้นอยู่กับขนาดของโรงงานและจำนวนหัวมันที่ได้รับเข้ามา หัวมันจะเข้ากระบวนการแปรรูปภายใน 2-5 วัน การสับและการลดความชื้น หรือ กระบวนการผลิตแป้งควรที่จะทำให้เสร็จภายใน 4 วันหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากปริมาณแป้งจะลดลงจาก 24% เมื่อเริ่มเก็บเกี่ยว เหลือ 20% เมื่อเวลาผ่านไป 4 วัน และ จะลดลงเหลือ 11% ถ้าเก็บไว้นาน 6 วัน คุณภาพของแป้งก็จะลดลงถ้ากระบวนการแปรรูปล่าช้า

1) อุตสาหกรรมมันเส้น

โดยทั่วไป ผู้ประกอบการมันเส้นจะเป็นเกษตรกรเองซึ่งจะมีโรงงานใกล้กับพื้นที่ที่ปลูกมันสำปะหลัง เครื่องมือในโรงงานจะประกอบไปด้วย เครื่องสับ รถตัก และ ลานตาก หัวมันสดจะถูกลำเลียงเข้าลานตัดโดยใช้แทรกเตอร์ขนาดเล็ก เมื่อได้มันเส้นสดก็จะถูกนำไปลดความชื้นโดยการตากในลานคอนกรีต ซึ่งมีขนาดประมาณ 5 ไร่ จนถึง 100 ไร่ ซึ่งกระจายรอบบริเวณที่ปลูกมัน มันเส้นซึ่งตากในอยู่ในลานจะถูกกลับโดยใช้คราดซึ่งติดตั้งกับรถแทรกเตอร์ เมื่อมันเส้นแห้ง (ความชื้นประมาณ 14-15%) ก็จะถูกรวมเป็นกองโดยใช้แทรกเตอร์ที่ติดใบกวาด

มันเส้นบางส่วนจะถูกใช้เป็นอาหารสัตว์รวมถึงเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตกรดมะนาว (Citric acid) แนวโน้มความต้องการมันเส้นภายในประเทศได้สูงขึ้นอย่างมากเนื่องจากนโยบายการผลิตเอทานอล สำหรับเชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังพบว่าในการส่งออกมันเส้นพบว่า ส่งออกไปประเทศแถบยุโรปน้อยลงเนื่องจากตลาดมีความต้องการมันอัดเม็ด เนื่องจากมีปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นน้อย ทำให้ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระหว่างการขนถ่าย อย่างไรก็ดี ในต่างประเทศมีแผนการผลิตเอทานอลเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะประเทศจีนทำให้การส่งออกมันเส้น มีอัตราการเติบโตค่อนข้างมาก

2) อุตสาหกรรมมันอัดเม็ด

อุตสาหกรรมมันอัดเม็ดเริ่มครั้งแรก สองถึงสามปีหลังจากเริ่มมีการส่งออกมันไปสู่ยุโรป เนื่องจากมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ได้ขนาดและรูปร่างตามที่ผู้ซื้อหรือผู้ใช้ต้องการ มันอัดเม็ดผลิตได้โดยการอัดมันเส้นผ่านหัวอัด (die) ขนาดใหญ่ ใช้ความชื้นและความร้อนเป็นตัวที่ช่วยในการขึ้นรูปซึ่งจะทำให้ได้มันอัดเม็ดที่เรียกว่า soft pellet ต่อมาได้มีการพัฒนาโดยจะบดมันเส้นก่อนแล้วตามด้วยการอัดโดยใช้ไอน้ำช่วย (stream extrusion) กระบวนการนี้จะทำให้มันอัดเม็ดที่แข็งกว่าซึ่งจะเรียกว่า hart pellet การส่งออกมันอัดเม็ดแบบ hard pellet ครั้งแรกเกิดขึ้นในปี 1981 และในปี 1989 มันที่ส่งออกสู่ยุโรปทั้งหมดเป็นมันอัดเม็ดแบบ hard pellet

วัตถุดิบที่ใช้ทำมันอัดเม็ดจะใช้มันเส้น โดยราคาซื้อก็ถูกกำหนดโดยราคาส่งออกในกรุงเทพฯ ขึ้นอยู่กับคุณภาพของมันเส้นก็เป็นตัวแปรที่สำคัญโดยคุณภาพมันเส้นที่เป็นมาตรฐานคือ

ความชื้น = ไม่เกิน 16%

ปริมาณทราย = ไม่เกิน 4%

(ผลรวมของตัวแปรสองตัวนี้ต้องไม่เกิน 20%)

ถ้าความชื้นสูงกว่า 16% จะทำให้ถูกตัดราคา แต่ถ้าความชื้นต่ำกว่า 16% จะไม่มีการเพิ่มราคาให้ ในประเทศไทยมีโรงงานมันอัดเม็ดประมาณ 200 โรงงานซึ่งมีกำลังในการผลิตประมาณ 10 ล้านตัน/ปี อย่างไรก็ตามโควตาในการรับซื้อมันอัดเม็ดในยุโรปมีเพียง 5 ล้านตัน/ปี ดังนั้น โรงงานเหล่านี้ผลิตมันอัดเม็ดเพียง 50% ของกำลังการผลิตทั้งหมด

3) อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

ตั้งแต่เริ่มมีการนำมันสำปะหลังเข้ามาปลูกในประเทศไทยทางภาคใต้ (1786-1840) อุตสาหกรรมขนาดเล็กของการแปรรูปอาหารประเภทมันสำปะหลังก็ได้รับเทคโนโลยีจากประเทศเพื่อนบ้าน (มาเลเซีย และ สิงคโปร์) โดยหัวมันจะถูกบดและผสมกับน้ำแล้วตามด้วยการตกตะกอนและลดความชื้นด้วยการตากทำให้ได้แป้งที่เรียกว่า cassava flour แต่ปัจจุบันเรียกว่า cassava starch ซึ่งจะถูกนำไปผลิตเป็นสาคู ซึ่งเป็นขนมหวานพื้นบ้านทางภาคใต้ของประเทศไทย

ความต้องการแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและทำให้มีการพัฒนากระบวนการผลิตแป้งที่ทันสมัยในปี 1970 จากการสำรวจทำให้เห็นว่ามีโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังที่ทันสมัย 41โรงงาน ในปี 1996 ที่ได้ลงทะเบียนเข้ากับสมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย (Thai Tapioca Flour Industries Trade Association) โรงงานเหล่านี้จะใช้เทคโนโลยีการแยกและการอบแห้งสมัยใหม่ เวลาในการผลิตทั้งหมดประมาณ 30 นาที ปัจจุบัน โรงงานแป้งในประเทศไทยยังไม่มีการใช้กระบวนการตกตะกอนแป้ง

ประมาณ 4.75 ตันของหัวมันสดสามารถผลิตแป้งแห้งได้ 1 ตัน และประมาณ 40% ของแป้งที่ผลิตได้ จะใช้ภายในประเทศ และ อีก 60% ที่เหลือจะใช้สำหรับส่งออกต่างประเทศ การกระจายสู่ตลาดของแป้งมันสำปะหลังที่ผลิตได้จะแบ่งออกเป็น 3 ทาง ได้แก่ 1) ขายโดยตรงเพื่อการบริโภคและโรงงานในพื้นที่ 2) ขายไปสู่พ่อค้าคนกลางเพื่อขายปลีกในประเทศและส่งออกต่างประเทศ 3) ส่งออกต่างประเทศโดยตรง

4) อุตสาหกรรมเอทานอล

หัวมันสดและมันเส้นสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล มีการคาดการณ์ว่าปริมาณการใช้เอทานอลในรถจะเพิ่มขึ้นจาก 0.3 ล้านลิตร/วันในปี 2005 มาเป็น 1.0 ล้านลิตร/วันในปี 2007 และ เป็น 3 ล้านลิตร/วันในปี 2011 ในช่วงปลายปี 2005 มีโรงงานที่ผลิตเอทานอลจาก molasses มีอยู่ 3 โรงงานด้วยกันโรงงานที่ผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังอย่างเดียวมีอยู่ 1 โรงงานซึ่งมีกำลังการผลิต 0.17 ล้านลิตร/วัน และสุดท้ายโรงงานที่ผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังและอ้อยอีก 1 โรงงาน

ซึ่งมีกำลังการผลิต 0.675 ล้านลิตร/วัน ในปี 2008 คาดว่าจะมีโรงงานผลิตเอทานอล 8 โรงงานและมีกำลังการผลิตทั้งหมด 1.95 ล้านลิตร/วัน ปริมาณหัวมันสดที่ต้องการประมาณ 4.2 ล้านตัน/ต่อปี

2.13 การผลิตมันเส้น

ขั้นตอนการแปรรูปมันสำปะหลังให้ได้มันเส้นคุณภาพดี ประกอบด้วย การทำความสะอาด การสับ และการทำแห้ง

1) การทำความสะอาดมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังที่เก็บเกี่ยวมักมีสิ่งเจือปนอยู่มาก วิธีการทำความสะอาดแบบแห้ง เช่น การร่อนผ่านตะแกรง (screening) และการขัดสี (abrasion cleaning) เป็นต้น เป็นกระบวนการที่เป็นที่ได้รับความนิยมในการจำกัดสิ่งเจือปนให้เหลือน้อยที่สุด สุกัญญา จัตตุรพรพงษ์ และคณะ (2547) ได้ออกแบบเครื่องทำความสะอาดและขูดผิวหัวมันสำปะหลัง โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียวขนาด 10 - 13 แรงม้า เป็นต้นกำลัง จากการทดสอบ พบว่าเครื่องทำความสะอาดหัวมันสามารถร่อนทำความสะอาดหัวมันสำปะหลังได้ชั่วโมงละ 18-20 ตัน โดยสามารถสะกิดผิวนอกเปลือกหุ้มหัวมันสำปะหลังได้ประมาณ 50-80 เปอร์เซ็นต์และสามารถร่อนแยกดินทรายออกได้ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ของทั้งหมด มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 0.095 ลิตรต่อตันหัวมันสด มันเส้นที่ทำจากหัวมันสำปะหลังที่ผ่านเครื่องทำความสะอาด แล้วพบว่ามีทรายปนเปื้อนเพียงประมาณ 0.50 เปอร์เซ็นต์

2) การสับมันสำปะหลัง

การสับมันสำปะหลังเป็นขั้นตอนสำคัญในการผลิตมันเส้นคุณภาพดี รูปแบบการสับมี 2 แบบ คือ การสับตามขวาง และการสับตามยาว ข้อดีของการสับตามขวาง คือ กระทำได้ง่ายกว่า ชิ้นมันที่ได้จะตากแห้งเร็วและบดได้ง่ายกว่า แต่มีข้อเสีย คือ มีการสูญเสียมากกว่าการสับตามยาว

Visvanathan et al., (1996) ได้แนะนำว่าการสับมันสำปะหลังด้วยความเร็วประมาณ 2.5 เมตรต่อวินาที มุมตัด (shear angle) 60–75 องศา และมุมใบมีด (knife bevel angle) 30–45 องศา จะใช้พลังงานการตัดจำเพาะ (specific cutting energy) น้อยที่สุด

วิรัตน์ (2547) ทำการศึกษาเครื่องสับมันสำปะหลังแบบใบมีดโยกสำหรับผลิตชิ้นมันเส้นที่เป็นส่วนผสมของอาหารโคนม เครื่องสับประกอบด้วย ชุดทำความสะอาดและชุดใบมีด ชุดทำความสะอาดใช้หลักการขัดสีโดยใช้ตะแกรงหมุนสัมผัสกับผิวมันสำปะหลัง ชุดใบมีดมีมุมตัด 70 องศา ตัดหัวมันแบบตามขวาง ผลการทดสอบพบว่า มีเปอร์เซ็นต์เปลือกติดค้างหลังจากการทำความสะอาด 19.2 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการตัดชิ้นมันเท่ากับ 85.35 เปอร์เซ็นต์

ศุภศันส์ (2548) ทำการศึกษาอิทธิพลของจำนวนชุดใบมีด ความเร็วรอบใบมีด และความเร็วขับป้อน ที่มีผลต่อการสับชิ้นมันสำปะหลังเพื่อการผลิตแป้งดิบ พบว่า ที่ความเร็วรอบใบมีด 1,000 รอบต่อนาที และความเร็วขับป้อน 68 รอบต่อนาที มีพลังงานการตัดจำเพาะต่ำที่สุด

3) การทำแห้ง

สำหรับการทำมันเส้นหัวมันสดจะถูกนำมาสับให้เป็นชิ้นๆ จากนั้นนำไปตากลานเพื่อให้ได้มันเส้นแห้ง จากการศึกษาของ ชยะ (2530) ในการทำมันเส้นของพื้นที่ 6 จังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งประกอบด้วย จังหวัดนครราชสีมา ขอนแก่น อุดรธานี กาฬสินธุ์ มหาสารคาม และชัยภูมิ รวมจำนวน 104 โรงงาน พบว่ามันเส้นที่ได้จากการตากลานอัตราการเปลี่ยนหัวมันสดให้เป็นมันเส้นอยู่ที่ 2.13:1 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำแห้งมันเส้นที่ตากลานประกอบด้วย ความเข้มแสงแดด ความเร็วลม ความชื้นของอากาศ ลักษณะเฉพาะของชิ้นมัน เช่น ความหนาของชิ้น ความสม่ำเสมอของขนาดชิ้น และความหนาของชั้นที่ตาก นอกจากปัจจัยที่กล่าวข้างต้นแล้ว Thanh *et al.* (1979) ได้ศึกษาเปรียบเทียบพื้นผิวของลานตาก 2 แบบคือ แบบพื้นผิวคอนกรีตเรียบ (Plain Cement Floor) และแบบพื้นผิวที่มีสีดำ (Black-topped Floor) พบว่าพื้นผิวที่มีสีดำจะลดระยะเวลาการตากแห้งชิ้นมันได้มากกว่าพื้นที่ผิวคอนกรีตเรียบ นอกจากนี้ยังพบว่าชิ้นมันสำปะหลังที่ผ่านการสับแบบมีรูปร่างไม่แน่นอน (Irregular Chip) จะใช้เวลาในการตากแห้งนานกว่าชิ้นมันสำปะหลังที่มีการสับแบบแผ่นบาง (Thin Slice Chip) และยังพบว่าเวลาที่ใช้ในการตากแห้งชิ้นมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณชิ้นมันสำปะหลังต่อพื้นที่ตาก Olufayo and Ogunkunle (1996) ได้ศึกษาการตากมันสำปะหลังโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบต่างๆ ในบริเวณโซนอากาศชื้นของประเทศไนจีเรียดังนี้ คือ แบบตากบนถาดในที่โล่ง (OT) แบบตากบนถาดซึ่งวางไว้ในที่ร่ม (TS) ตากบนคอนกรีตริมถนนโดยไม่มีการเก็บในตอนกลางคืน (CS) และการใช้เครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ (SD) ซึ่งผลจากการทดลองพบว่าอัตราการแห้งของชิ้นมันไม่ได้ขึ้นอยู่กับรูปแบบของการตากอีกทั้งชิ้นมันจะมีค่าความชื้นสมดุลคือ 16% ที่ความชื้นอากาศ 76% เมื่อทำการตากผ่านไป 9 วัน นอกจากนี้ยังพบว่าชิ้นมันที่ตากมีการเกิดขึ้นของเชื้อรา โดยเกิดขึ้นกับชิ้นมันในเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์มากที่สุดและชิ้นมันที่ตากบนคอนกรีตริมถนนนั้นมีการเกิดขึ้นของเชื้อราน้อยที่สุด ซึ่งจากผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าในพื้นที่ที่มีความชื้นอากาศสูงการตากแดดไม่สามารถช่วยให้ชิ้นมันแห้งได้ตามต้องการ จากปัญหาเรื่องสภาวะอากาศที่ส่งผลต่อการทำชิ้นมันเส้นแห้งนี้ เครื่องอบแห้งจึงเป็นแนวทางที่ดีในการผลิตมันเส้น ถ้าหากมองกลับไปในอดีตราคามันเส้นค่อนข้างต่ำและมีความผันผวนมาก แต่ในปัจจุบันความต้องการมันเส้นมีสูงขึ้นประกอบกับผลผลิตที่มีในประเทศลดต่ำลงทำให้ราคามันเส้นมีแนวโน้มสูงขึ้น การลงทุนเครื่องอบแห้งจะช่วยลดข้อจำกัดของการทำแห้งมันด้วยลานตากได้ จากรายงานผลการวิจัยของ Kajuna et al. (2001) เกี่ยวกับการทำแห้งมันสำปะหลังด้วยลมร้อนแบบชั้นบางเปรียบเทียบกับการตากลาน พบว่าที่อุณหภูมิการอบแห้งด้วยลมร้อน 55 °C และ 65 °C สามารถทำแห้งชิ้นมันสำปะหลังได้ภายในเวลา 150 และ 125 นาทีตามลำดับ ซึ่งหากเปรียบเทียบกับการตากลานแบบชั้นบาง จะใช้เวลาในการตากนาน 2 -3 วัน และพบว่าส่วนบริเวณด้านล่างของชิ้นมันที่สัมผัสกับลานตากเกิดการเปลี่ยนสี นอกจากนี้ยังพบว่าความหนาของชั้นมันที่ทำการอบแห้งมีผลต่ออัตราการอบแห้งเมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิการอบแห้งเดียวกัน

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาพบว่าที่ผ่านมามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำเตาอบไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้เพื่อลดการเกิดกรดไขมันอิสระ ยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์ไลเปสในวัสดุต่างๆ และนึ่งปาล์มน้ำมัน ซึ่งมีรายละเอียดสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

จากการศึกษาของ Chow MC, Ma AN (2007) พบว่า ไมโครเวฟสามารถทำให้ผลปาล์มน้ำมันอ่อนนุ่มหีบน้ำมันง่าย และหยุดปฏิกิริยา Lypolysis ส่วนน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในที่สกัดออกมามีคุณภาพดี กรดไขมันอิสระน้อย ซึ่งเทคโนโลยีนี้อาจจะมีความเป็นไปได้ในกระบวนการแบบต่อเนื่อง และเทคโนโลยีนี้เป็นเทคโนโลยีที่สะอาด

ปราการ และธีระพงค์ (2544) ได้ศึกษาการใช้ไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 850 วัตต์เพื่ออบผลปาล์ม โดยใช้เวลาในการอบ 14 นาที พบว่าผลปาล์มจะเหลือความชื้นเพียง 4.07 เปอร์เซ็นต์ (จากเริ่ม 47.07 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งปัจจุบันการยับยั้งเอนไซม์ในอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มที่ได้มาตรฐานใช้วิธีนึ่งด้วยไอน้ำ สำหรับแนวทางการใช้ไมโครเวฟอาจใช้ทดแทนการใช้ฟืนย่างผลปาล์มที่ใช้ผลิตน้ำมันปาล์มชนิดคุณภาพรองลงมา

Jiaxun *et al.* (1993) ได้รายงานถึงการอบรำข้าวด้วยไมโครเวฟ ซึ่งเป็นวิธีการให้ความร้อนอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ไลเพสในรำข้าว โดยการทำให้รำข้าวมีความคงตัวด้วยไมโครเวฟที่มีความถี่ 2450 เมกกะเฮิร์ซ โดยใช้เวลาในการอบ 3 นาที แล้วนำ ไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 สัปดาห์พบว่ามีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นจาก 4.0 เปอร์เซ็นต์เป็น 4.9เปอร์เซ็นต์ในรำข้าวที่ได้จากข้าวเมล็ดยาวที่ผ่านการอบ ในขณะที่รำข้าวที่ไม่ผ่านการอบมีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเป็น 68.3 เปอร์เซ็นต์

Ramezanzadeh *et al.* (1999) ได้ศึกษาการป้องกันการเกิดการหืนของรำข้าว เนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและออกซิเดชัน โดยการอบรำข้าวด้วยไมโครเวฟที่มีกำลังไฟฟ้า 850 วัตต์โดยปรับรำ ข้าวให้มีความชื้น 21 เปอร์เซ็นต์นำ ไปอบ 3 นาทีที่ระดับ high power (100% power)นำ ออกทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำรำข้าวบรรจุแบบสุญญากาศ (vacuum pack, VP)เปรียบเทียบกับการบรรจุในถุงโพลีเอทิลีน (PE) จากนั้นเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25°C) และในตู้เย็น (4-5°C) เป็น เวลา 16 สัปดาห์ ศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ไลเพสทุก 4 สัปดาห์ โดยการหาปริมาณกรดไขมันอิสระ พบว่ารำข้าวที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องมีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นจาก 2.75 เปอร์เซ็นต์เป็น 11.62 และ 10.93 เปอร์เซ็นต์ในรำข้าวที่บรรจุในถุง PE และใน VP สำหรับรำ ข้าวที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิตู้เย็นกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นน้อยกว่าคือ เพิ่มจาก 2.75 เปอร์เซ็นต์เป็น 3.74 และ 3.85 เปอร์เซ็นต์ ในรำข้าวที่บรรจุ VP และใน PE

Klingler (1994) ได้ศึกษาการยับยั้งเอนไซม์โปรตีเนส ไลเพส และเพอร์ออกซิเดสในข้าวสาลีด้วยไมโครเวฟ โดยใช้เวลาในการอบเพียง 70-90 วินาที จากนั้นนำ ข้าวสาลีเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 เดือนพบว่ามีกิจกรรมของเอนไซม์เพอรออกซิเดสหลงเหลืออยู่ 71-43เปอร์เซ็นต์ ถ้านำ ข้าว

สาลีอบอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100-110°C เป็นเวลา 70-90 วินาทีแล้วนำมาอบด้วยไมโครเวฟต่ออีก 70-90 วินาทีสามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสลงเหลือ 13 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลเป็นที่พอใจถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นจะมีสีที่ไม่พึงประสงค์ก็ตามแต่สามารถยับยั้งเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส โปรตีเนสและไลเพสได้

นอกจากที่กล่าวมาข้างต้นยังมีงานวิจัยที่นำเตาอบไมโครเวฟมาใช้งานอีกมากในงานด้านการอบแห้ง ทั้งการใช้เตาอบไมโครเวฟเพียงอย่างเดียวหรือใช้ร่วมกับระบบอื่นๆ เช่น ระบบลมร้อน และระบบสุญญากาศ ได้แก่

Tulasidas et al. (1995) ได้นำเอาไมโครเวฟมาใช้ในการอบแห้งองุ่นเพื่อทำลูกเกดร่วมกับการอบแห้งด้วยลมร้อน โดยทำการศึกษาปัจจัย 3 อย่างคือ อุณหภูมิของอากาศ ความหนาแน่นของพลังงานไมโครเวฟ (microwave power density) และ ความเร็วอากาศ ต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานและคุณภาพของลูกเกดที่ได้นอกจากนี้ยังได้ทำการหาสภาพที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้ง ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลทำให้ได้คุณภาพของลูกเกดที่ดีกว่า ส่วนการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและความหนาแน่นของพลังงานไมโครเวฟจะทำให้คุณภาพของลูกเกดลดลงและเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของลูกเกดที่ได้จากการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อนกับการอบแห้งด้วยอากาศร้อนเพียงอย่างเดียวพบว่าลูกเกดที่ได้มีคุณภาพในด้านความสว่างของสีที่ดีกว่า

Tomas and Thomas (1998) นำเอาไมโครเวฟมาใช้ร่วมกับ hot air drying เพื่อทำการลดความชื้นของแอปเปิ้ลและเห็ดหอม พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพในด้านสีที่ดีใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์สดและสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งได้ครึ่งหนึ่งจากการอบแห้งด้วยอากาศร้อนเพียงอย่างเดียวสำหรับการอบแห้งแอปเปิ้ล และลดระยะเวลาอบแห้งลงได้ 75 เปอร์เซ็นต์สำหรับการอบแห้งเห็ดหอม นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการไหลของอากาศที่ต่ำกว่า 1 m/s จะทำให้เกิดสีน้ำตาลที่ผลิตภัณฑ์ได้

Sharma and Prasad (2001) ทำการเปรียบเทียบการอบแห้งกระเทียมโดยการอบแห้งโดยลมร้อน กับการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ โดยการให้พลังงานไมโครเวฟขนาด 40 W ในลักษณะต่อเนื่อง ทำการอบแห้งเปรียบเทียบที่อุณหภูมิอากาศ 60 และ 70 องศาเซลเซียสที่การไหลของอากาศ 2 m/s ทำการประเมินสมรรถนะโดยใช้ค่า เวลาในการอบแห้ง (drying time) สี และรสชาติ (ใช้การหาปริมาณสารประกอบน้ำมันในตัวอย่าง) พบว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟสามารถลดเวลาในการอบแห้งลงได้ 80-90% เมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างเดียว และให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งที่ดีกว่า

เทวรัตน์ (2551) ได้ทำการอบแห้งสมุนไพรโดยใช้ปั้มความร้อนร่วมกับไมโครเวฟ ซึ่งพบว่าการใช้ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟให้ประสิทธิภาพและลดเวลาการอบแห้งได้ดีกว่าการใช้ลมร้อนอย่างเดียว

Ozkan, Akbudak (2005) ได้ทำการใช้ไมโครเวฟอบแห้งผักขม โดยพบว่าผักขมอบแห้งมีคุณภาพดี และใช้พลังงานในการอบน้อย

Soysal (2004) ได้ทำการใช้ไมโครเวฟอบแห้งผักชีฝรั่ง ซึ่งจะทำให้สีของผักชีฝรั่งแห้งยังคงสีเขียวเหมือนขณะที่ยังสด และสามารถลดเวลาการทำแห้งลง 64 %

จันทรา (2549) ได้ทำการประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟ ในการผลิตดอกไม้แห้ง โดยการการนำดอกไม้ฝังไว้ในซิลิกาเจล แล้วนำเข้าเตาอบไมโครเวฟ น้ำที่ระเหยออกจากดอกไม้จะถูกดูดซับด้วยซิลิกาเจล ทั้งนี้เวลาที่ใช้นั้นแตกต่างกันขึ้นอยู่กับดอกไม้แต่ละชนิด วิธีการนี้ดอกไม้แห้งจะมีคุณภาพสีค่อนข้างดี แต่ดีเท่ากับการทำแห้งด้วยความเย็น (Freeze drying)

ซึ่งโดยสรุป จากตัวอย่างงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นสามารถบอกได้ว่า ข้อดีของเตาอบไมโครเวฟนั้น จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดี สามารถยืดอายุการเก็บรักษา และมีการใช้พลังงานน้อย ไม่มีของเสียออกจากระบบ และเป็นเทคโนโลยีที่สะอาด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินงานวิจัย ที่แบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 4 ส่วน คือ 1) การศึกษาสมบัติของผลิตผลทางการเกษตร กระบวนการทางวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว 2) การออกแบบและสร้างเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานเพื่อใช้ในงานวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว 3) การทดสอบหาสภาวะการทำงานของเตาอบไมโครเวฟในการอบแห้งมันเส้น และ 4) การทดสอบหา สภาวะการทำงานของเตาอบไมโครเวฟในการนึ่งปาล์มน้ำมัน แต่ละขั้นตอนจะอธิบายถึงวิธีการอย่างละเอียดและมีอุปกรณ์และเครื่องมือวัด มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2 ตัวอย่าง

ในการศึกษานี้ใช้มันสำปะหลังและปาล์มน้ำมันร่วง จากแปลงปลูกภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ไม่ระบุสายพันธุ์ ดังแสดง ใน**รูปที่ 3.1**

ก.ปาล์มน้ำมันร่วง ข.มันสำปะหลัง

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

อุปกรณ์ เครื่องมือวัด และพารามิเตอร์ที่ใช้ในงานนี้ แสดงไว้ใน**ตารางที่ 3.1 ถึง 3.2** และ**รูปที่ 3.2**

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือวัด และพารามิเตอร์ที่ศึกษา

ลำดับ	อุปกรณ์และเครื่องมือวัด	ยี่ห้อ/รุ่น	พารามิเตอร์
1	เครื่องวัดอุณหภูมิแบบเรเซอร์	DIGICON/DP 88	อุณหภูมิผิวพริก/น้ำ
2	นาฬิกาจับเวลา	-	เวลา
3	เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า	FLUKE /43	พลังงานไฟฟ้า
4	เทอร์โมคัปเปิล	Type K	อุณหภูมิห้องอบ
5	เครื่องวัดความเร็วลม/อุณหภูมิ/ความชื้นสัมพัทธ์	Windspeed Meter/8918	ความเร็วลม/อุณหภูมิลม/ความชื้นสัมพัทธ์
6	เครื่องวัดการรั่วไหลของคลื่น	Microwave leakage detector/cem DT-2G	การรั่วไหลของคลื่น
7	เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง	Sartorious	น้ำหนัก
8	เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง	Sartorious	น้ำหนัก
9	มิเตอร์ไฟฟ้า	-	พลังงานไฟฟ้า
10	เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์	AH ONE/THI-HP	ความชื้นสัมพัทธ์
11	เตาอบ	Binder	ความชื้น
12	เครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์	KIMO/SL 200 17957	พลังงานแสงอาทิตย์

ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

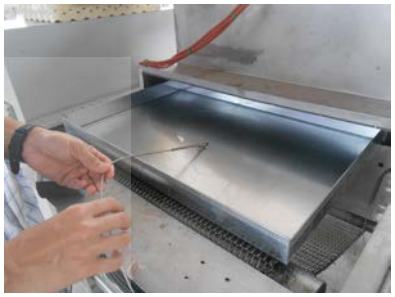
ลำดับ	อุปกรณ์	ยี่ห้อ/รุ่น
1	เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน	MITRON /P70D17L - D5
2	ถ้วยพลาสติก	-
3	ถาดพลาสติก	-
4	บิกเกอร์	-
5	น้ำกลั่น	-
6	กระบอกตวง	-

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เครื่องวัดอุณหภูมิแบบเรเซอร์

นาฬิกาจับเวลา

มิเตอร์ไฟฟ้า



เทอร์โมคัปเปิล

เครื่องวัดความเร็วลม/อุณหภูมิ/ความชื้นสัมพัทธ์

เครื่องวัดการรั่วไหลของคลื่น

เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง

เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

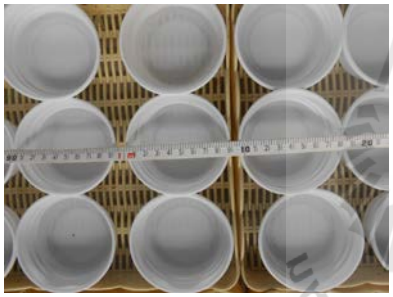
รูปที่ 3.2 เครื่องมือวัดและอุปกรณ์

เครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์

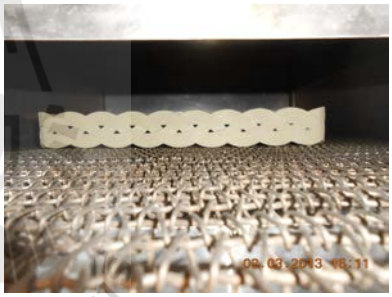
กระบอกตวง

เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์(ภายนอกระบบ)

เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน



ถ้วยพลาสติก



ถาดพลาสติก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 3.2 เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ (ต่อ)

3.4 การศึกษาสมบัติของผลิตผลทางการเกษตร

ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของ มันเส้นและผลปาล์มน้ำมันร่วง ได้แก่ ลักษณะทั่วไป ความชื้น และความหนาแน่น รวมถึงศึกษากระบวนการผลิตมันเส้น และการสกัดน้ำมันปาล์ม เพื่อใช้ในการออกแบบห้องอบ ของเตาอบไมโครเวฟที่สร้างขึ้น โดยผลการศึกษากระบวนการผลิตมันเส้น และการสกัดน้ำมันปาล์ม แสดงไว้ใน**บทที่ 2**

3.5 การออกแบบและสร้างเตาอบไมโครเวฟเพื่อใช้ในงานวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว

3.5.1 การออกแบบและสร้าง

ในงานนี้ทำการพัฒนาปรับปรุงต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนใช้ท่อนำคลื่นแมกนีตรอนจากไมโครเวฟแบบครัวเรือนยี่ห้อ MITRON รุ่น P70D17L-D5 ใช้หัวแมกนีตรอนที่หาซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไป ความถี่ 2450 เมกกะเฮริตซ์ จำนวน 6 หัว มีหัวข้อการออกแบบดังนี้

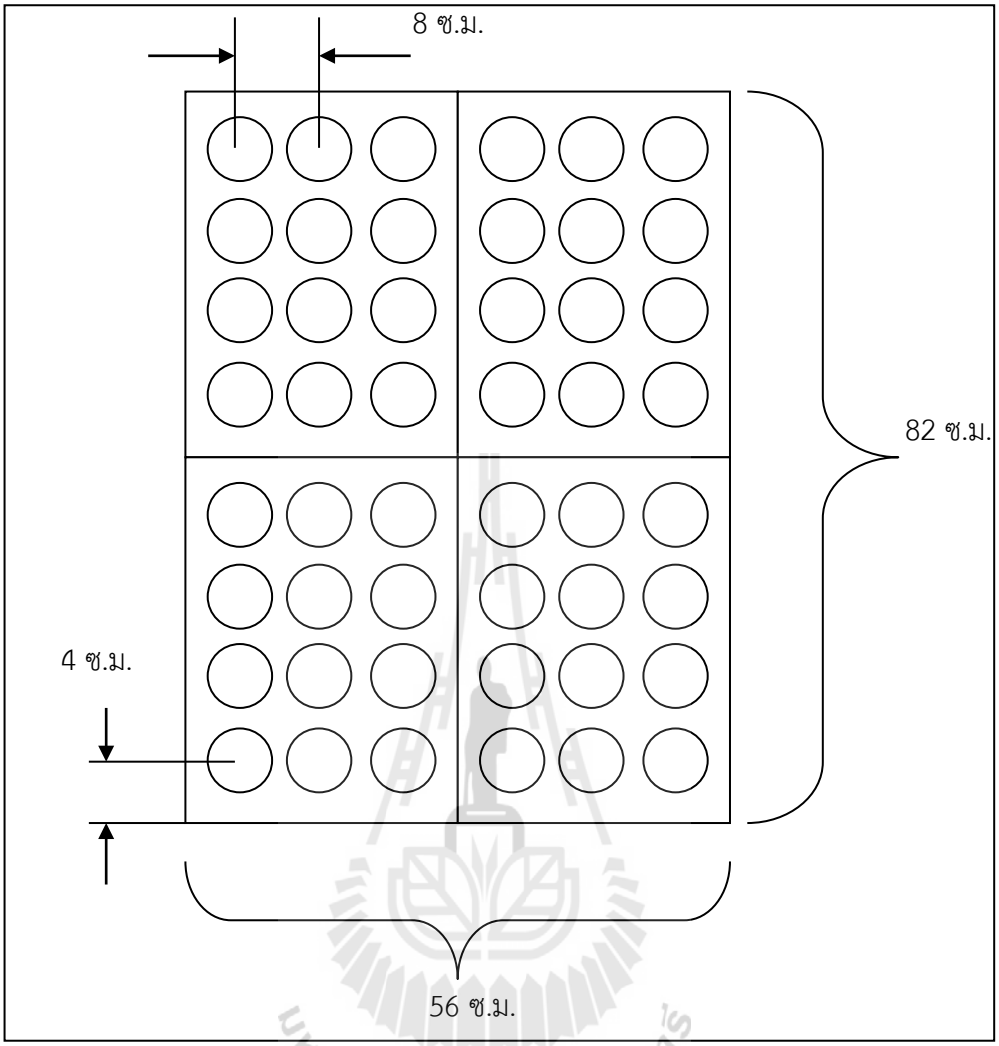
1) การออกแบบห้องอบ
   การออกแบบห้องอบ ประกอบด้วย ลักษณะทางเข้า-ออกวัตถุดิบ ระบบระบายความชื้น ตำแหน่งวางหัวแมกนีตรอน ทางเข้า-ออกลมร้อน ชนิดของวัสดุ และอื่นๆ
2) การออกแบบสายพาน
   การออกแบบสายพาน ประกอบด้วย ชนิดของสายพาน ขนาดมอเตอร์ ความเร็วสายพาน วัสดุที่ใช้ทำสายพาน และอื่นๆ
3) การออกแบบระบบลมร้อน
   การออกแบบระบบลมร้อน ประกอบด้วย ขนาดมอเตอร์ ความเร็วลม อุณหภูมิ และอื่นๆ
4) การออกแบบระบบควบคุม
   การออกแบบระบบควบคุม ประกอบด้วย การวางระบบควบคุมการทำงานของสายพาน พัดลมดูดความชื้น เครื่องกำเนิดลมร้อน พัดลมหมุนวนลมร้อน แมกนีตรอน และอื่นๆ

ข้อมูลการออกแบบแสดงรายละเอียดไว้ใน **บทที่ 4** นำแบบมาสร้างเป็นต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนแล้วทำการทดสอบการทำงานต่อไป

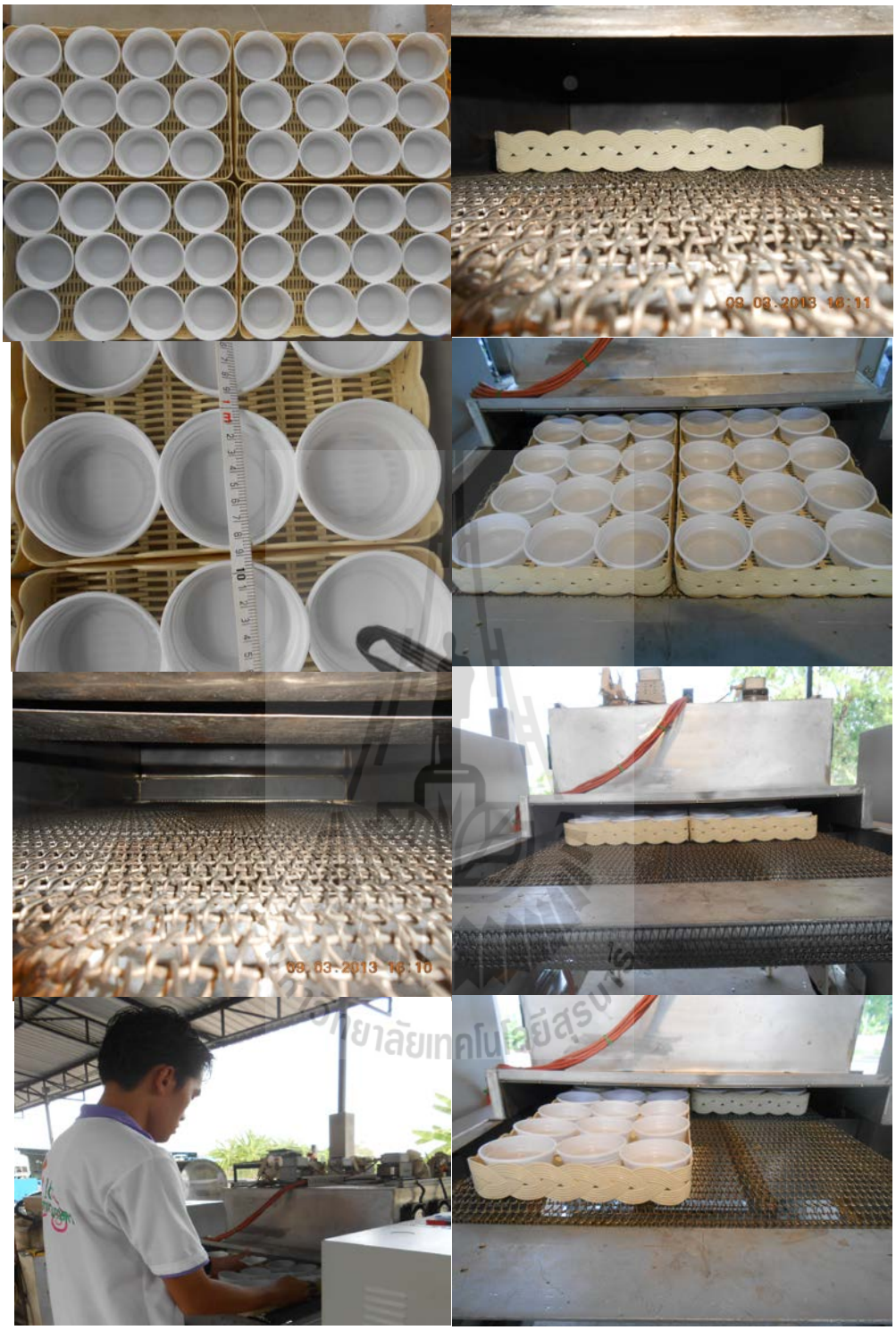
3.5.2 ทดสอบการทำงานของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนที่ปรับปรุงขึ้นเบื้องต้น

1) การทดสอบการกระจายตัวของคลื่น

เมื่อทำการพัฒนาต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนแล้วทำการทดสอบการกระจายตัวของคลื่นโดยการนำน้ำใส่ภาชนะที่ยอมให้คลื่นผ่านและไม่ดูดซับคลื่น(ถ้วยพลาสติก จำนวน 12 ใบ/ถาด แต่ละใบบรรจุน้ำ 50 กรัม) จำนวน 4 ถาด นำไปวางในห้องอบแล้วเปิดให้แมกนีตรอนทำงานอย่างเดียว ตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้นในแต่ละจุดว่ามีความสม่ำเสมอเท่ากันทุกจุดหรือไม่ เพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของคลื่น ดังแสดงใน **รูปที่ 3.3 และ 3.5**



รูปที่ 3.3 ลักษณะการวางภาชนะที่บรรจุน้ำเพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของคลื่น



รูปที่ 3.3 ลักษณะการวางภาชนะที่บรรจุน้ำเพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของคลื่น (ต่อ)

รูปที่ 3.4 การทดสอบประสิทธิภาพและการวัดอุณหภูมิเพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของคลื่น

2) การทดสอบประสิทธิภาพ

ในการทดสอบประสิทธิภาพเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนใช้ถาดสังกะสีขนาดกว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร และสูง 5 เซนติเมตร บรรจุน้ำ จำนวน 2 ถาด ดังแสดงใน รูปที่ 3.5 วางในเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน แล้วทำการทดสอบหาประสิทธิภาพ 3 กรณี ได้แก่ 1) ประสิทธิภาพระบบกรณีเปิดแมกนีตรอนอย่างเดียว 2) ประสิทธิภาพระบบกรณีเปิดลมร้อนอย่างเดียว (ควบคุมลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส) และ 3) ประสิทธิภาพระบบกรณีเปิดแมกนีตรอนร่วมกับลมร้อน (ควบคุมลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส) แล้วบันทึกข้อมูล ดังแสดงใน**ตารางที่** 3.3

รูปที่ 3.5 การทดสอบประสิทธิภาพ

3) การทดสอบการรั่วไหลของคลื่น

ทดสอบทดสอบการรั่วไหลของคลื่นบริเวณรอบๆ ต้นแบบฯ

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลจดบันทึกและสัญลักษณ์ของการทดสอบประสิทธิภาพ

ลำดับ	ข้อมูลจดบันทึก	สัญลักษณ์
1	เวลาเปิดแมกนีตรอน	t_m
2	เวลาเปิดลมร้อน	t_h
3	เวลาเปิดแมกนีตรอนร่วมกับลมร้อน	t_{mh}
4	น้ำหนักน้ำก่อนเปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	m_1
5	น้ำหนักน้ำหลังปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	m_2
6	อุณหภูมิน้ำก่อนเปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	T_1
7	อุณหภูมิน้ำหลังปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	T_2
8	อุณหภูมิภายในห้องอบก่อนเปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	T_{o1}
9	อุณหภูมิภายในห้องอบหลังปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	T_{o2}
10	อุณหภูมิภายนอกห้องอบก่อนเปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	T_{s1}
11	อุณหภูมิภายนอกห้องอบหลังปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	T_{s2}
12	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบก่อนเปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	R_{o1}
13	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบหลังปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	R_{o2}
14	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกห้องอบก่อนเปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	R_{s1}
15	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกห้องอบหลังปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	R_{s2}
16	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด	P

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.4 สัญลักษณ์และหน่วย

ลำดับ	สัญลักษณ์	คำอธิบาย	หน่วย
1	Eff.	ประสิทธิภาพของระบบ	**%**
2	Q_{out}	พลังงานที่ได้รับจากระบบ	kJ
3	Q_{in}	พลังงานที่ให้ระบบ	kJ
4	h	ค่าความร้อนแฝงของการเป็นไอของน้ำเท่ากับ 2,260	kJ/kg
5	Δm or (m_1-m_2)	น้ำหนักของน้ำที่หายไป	g
6	c_p	ค่าความจุความร้อนของน้ำ	kJ/kg C
7	P_w	พลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำ	kJ
8	P_T	พลังงานที่ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น	kJ

นำข้อมูลจากการทดลองมาคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบ ตามสมการความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Eff. = [Q_{out}/ Q_{in}]x100 \quad (3-1)$$

$$Q_{out} = P_w + P_T \quad (3-2)$$

$$P_w = \Delta mh \quad (3-3)$$

$$P_T = m_2 c_p (T_2-T_1) \quad (3-4)$$

$$Q_{in} = P \quad (3-5)$$

3.6 การทดสอบหาสภาวะการทำงานของเตาอบไมโครเวฟในการอบแห้งมันเส้น

- เวลาที่ใช้ในการอบแห้งมันเส้น โดยควบคุมปัจจัยอื่นให้คงตัว เช่น น้ำหนักเริ่มต้น เป็นต้น
- หาอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่เวลาต่างๆ และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งมันเส้น
- หาอัตราการใช้พลังงานในการอบแห้งมันเส้น
- ตรวจสอบคุณภาพ และลักษณะโดยทั่วไป ได้แก่ ความชื้น สี กลิ่น เปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งโดยทั่วไป (ตากแดด)
- วิเคราะห์ต้นทุนการอบแห้ง

3.7 การทดสอบหาสภาวะการทำงานของเตาอบไมโครเวฟในการนึ่งปาล์มน้ำมัน

- เวลาที่ใช้ในการการนึ่งผลปาล์มน้ำมัน (ปาล์มร่วง) โดยควบคุมปัจจัยอื่นให้คงตัว เช่น น้ำหนักเริ่มต้น เป็นต้น
- หาอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่เวลาต่างๆ และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการนึ่งปาล์ม
- หาอัตราการใช้พลังงานในการนึ่งปาล์ม
- ตรวจสอบคุณภาพ และลักษณะโดยทั่วไป ได้แก่ ความชื้น กรดไขมันอิสระ เปอร์เซ็นต์ความสุก เปรียบเทียบกับวิธีการนึ่งโดยทั่วไป (หม้อนึ่งไอน้ำ) โดย

ตรวจสอบปริมาณกรดไขมันอิสระหลังนึ่งทุกๆ 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

- วิเคราะห์ต้นทุนการนึ่งปาล์มน้ำมัน

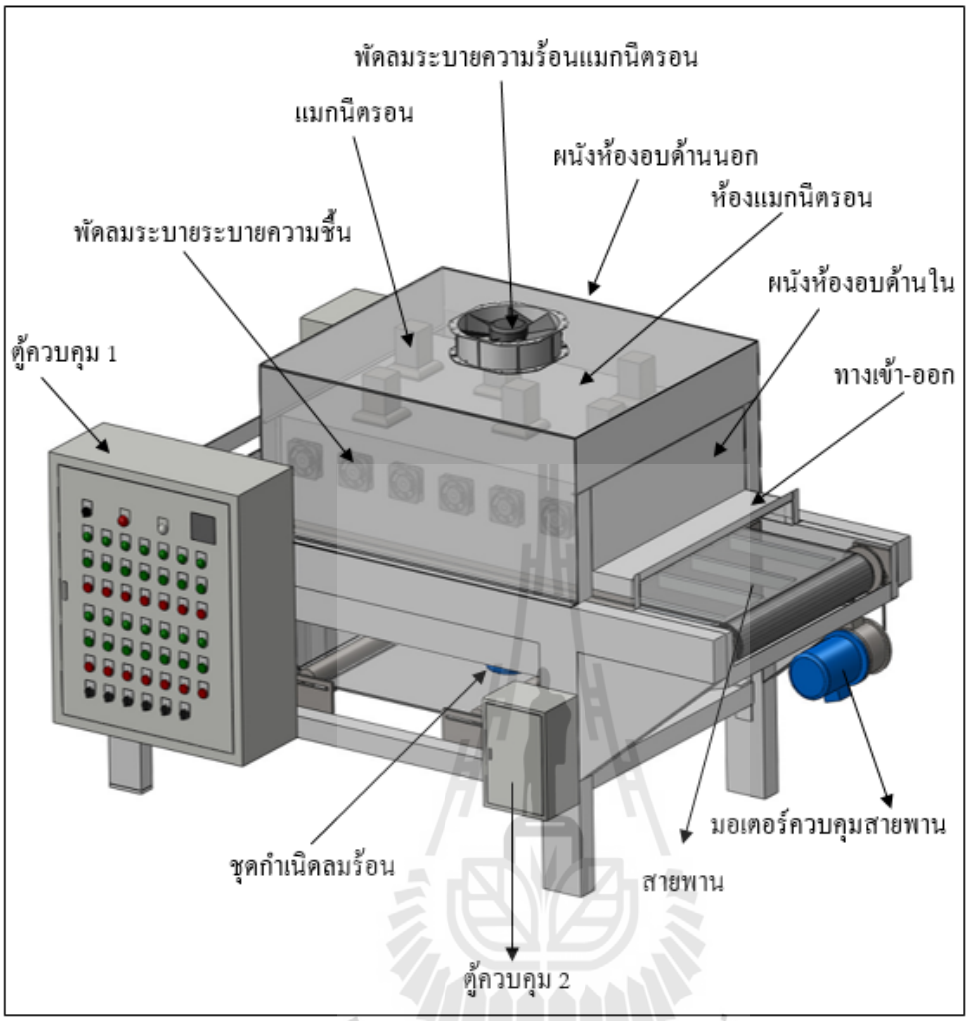
บทที่ 4
ผลการศึกษา

4.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึง รายละเอียดของการปรับปรุงต้นแบบเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนร่วมกับลมร้อน ผลการทดสอบการทำงานของเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ปรับปรุงขึ้น ผลการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งมันเส้นและนึ่งปาล์มโดยใช้เตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ผลการตรวจสอบคุณภาพและลักษณะโดยทั่วไปของมันเส้นและปาล์มน้ำมัน ที่ผ่านการอบแห้งและนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน และผลการศึกษาต้นทุนในกระบวนการผลิตมันเส้นและนึ่งปาล์มโดยใช้เตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนร่วมกับลมร้อน มีรายละเอียดดังนี้

4.2 การปรับปรุงต้นแบบเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนร่วมกับลมร้อน

ในการปรับปรุงต้นแบบเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนร่วมกับลมร้อนของงานวิจัยนี้พัฒนาต่อยอดมาจากงานต้นแบบเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน (สาวิตรี คำหอม, 2549) โดยการเพิ่มระบบลมร้อนและออกแบบห้องอบใหม่ เพื่อเพิ่มการกระจายตัวของคลื่นไมโครเวฟ ต้นแบบนี้ มีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ระบบควบคุม ระบบพัดลมระบายความชื้น ระบบกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ พัดลมระบายความร้อนแมกนีตรอน ผนังห้องอบ ทางเข้า-ออก วัตถุดิบ ระบบสายพาน ระบบกำเนิดลมร้อน และฐาน ดังแสดงใน**รูปที่ 4.1 และ 4.2** (แบบละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก) ส่วนประกอบสำคัญแต่ละส่วนได้ทำการออกแบบ และติดตั้งใหม่โดยมีหลักการออกแบบที่ได้จากทฤษฎีและการทดลอง อาทิเช่น การออกแบบตำแหน่งวางแมกนีตรอนนั้นอาศัยการทดลองหาระยะการกระจายตัวของคลื่นจากแมกนีตรอน 1 ตัว แล้วนำมากำหนดระยะติดตั้งแมกนีตรอนทั้งหมด ในห้องอบ เป็นต้น มีรายละเอียดการออกแบบติดตั้ง หลักการทำงาน และลักษณะดังนี้



รูปที่ 4.1 แบบ 3 มิติเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนร่วมกับลมร้อน

(ก) เตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนร่วมกับลมร้อนด้านหน้า

(ข) เตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนร่วมกับลมร้อนด้านหลัง

รูปที่ 4.2 ส่วนประกอบเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนร่วมกับลมร้อนด้านหน้า – หลัง

(ก) เตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนร่วมกับลมร้อนด้านข้าง 1

(ข) เตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนร่วมกับลมร้อนด้านข้าง 2

รูปที่ 4.3 ส่วนประกอบเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนร่วมกับลมร้อนด้านข้าง

1) การออกแบบห้องอบ

การออกแบบห้องอบ และส่วนที่มีความสัมพันธ์กันภายในห้องอบใช้หลักการ ดังแสดงใน **ตารางที่ 4.1** ห้องอบมีขนาดความจุ 210 ลิตร หรือ ขนาดกว้าง 70 เซนติเมตร ยาว 100เซนติเมตร และ สูง 30 เซนติเมตร ผนังของห้องอบประกอบด้วย ท่อนำคลื่นไมโครเวฟ (ด้านบน) ทางเข้า-ออกวัตถุดิบ (ด้านหน้าและหลัง) ระบบระบายความชื้น (ด้านข้าง 2 ด้าน) และทางเข้า-ออก ลมร้อน (ด้านล่าง) มีรายละเอียดการออกแบบดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงหลักการออกแบบห้องอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

ลำดับ	การออกแบบ	หลักการ
1	ตำแหน่งวางแมกนีตรอน	การทดลอง
2	ทางเข้า-ออกวัตถุดิบ	ทฤษฎีและการทดลอง
3	ระบบระบายความชื้น	ทฤษฎี
4	ทางเข้า-ออกลมร้อน	ทฤษฎี
5	ชนิดของวัสดุ	ทฤษฎี

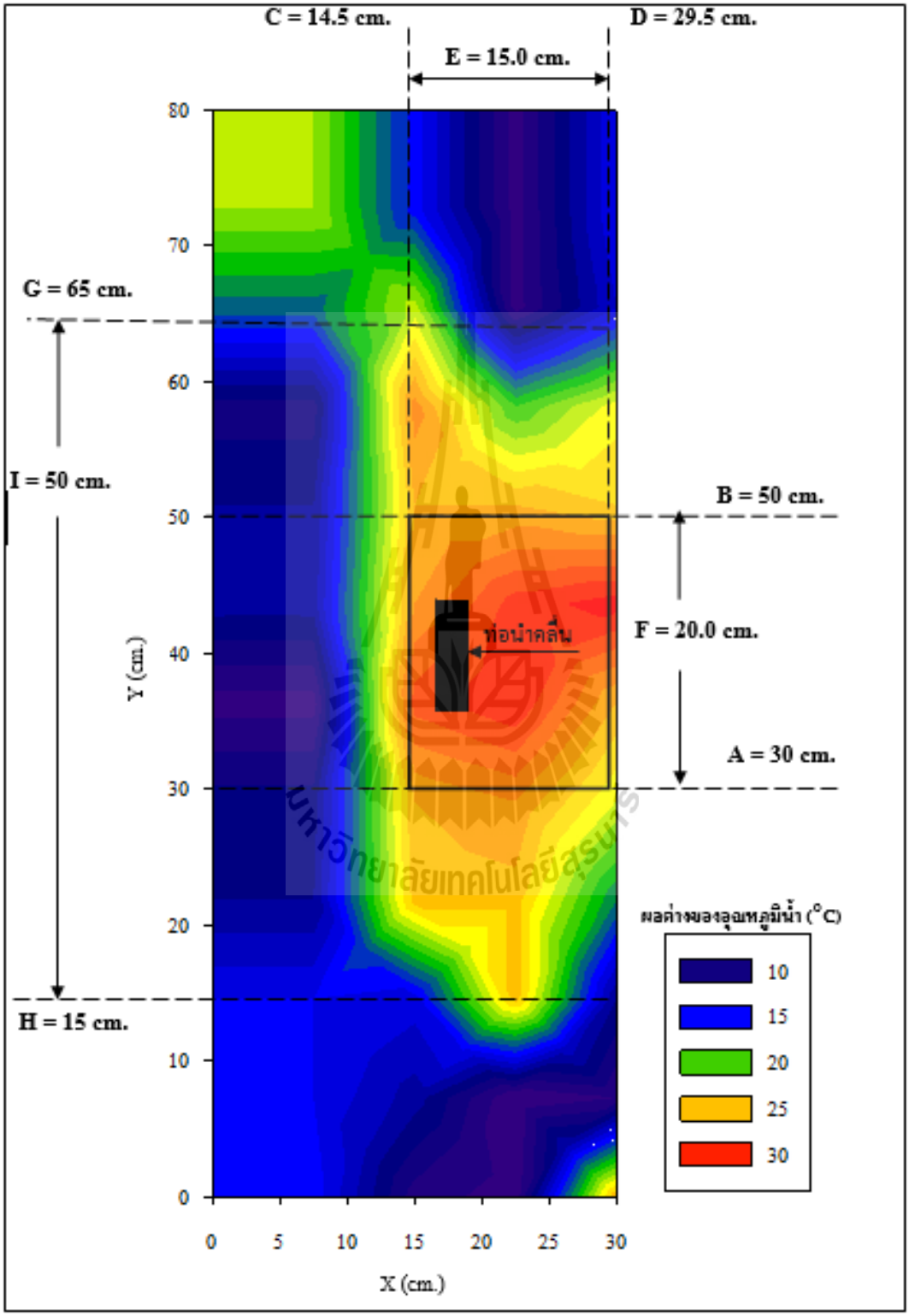
1.1) ตำแหน่งวางแมกนีตรอนและท่อนำคลื่น

การหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการวางแมกนีตรอนและท่อนำคลื่น ในที่นี้จะใช้แมกนีตรอนและท่อนำคลื่น ที่ใช้ในเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน ซึ่งราคาถูกและหาซื้อง่าย แต่จากการศึกษาพบว่า การกระจายตัวของคลื่นแมกนีตรอนจากท่อนำคลื่นและแมกนีตรอนแต่ละตัวนั้นทำนายได้ยาก ซึ่งเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนจะใช้หลักการหมุนอาหารเพื่อให้เกิดการกระจายตัวของคลื่นที่สม่ำเสมอให้อาหารสุกทั่วถึง แต่ในงานด้านการอบแห้งหรืองานในระดับอุตสาหกรรม การให้วัสดุหมุนภายในไมโครเวฟนั้นทำได้ยากและกำลังการผลิตต่ำ ดังนั้นจึงนิยมใช้ระบบสายพานเข้ามาช่วยทำให้วัสดุรับคลื่นได้อย่างสม่ำเสมอ แต่ในงานพัฒนาครั้งนี้ ไม่สามารถเคลื่อนที่สายพานขณะอบวัสดุได้ เนื่องจากสายพานที่ออกแบบสำหรับใช้ในงานนี้มีระยะความยาวภายในห้องอบเพียง 100 เซนติเมตร (ข้อจำกัดด้านต้นทุนการสร้างเครื่อง) ดังนั้นในการศึกษานี้จึงไม่ได้เคลื่อนที่สายพานขณะอบแห้ง แต่อย่างไรก็ตามสายพานที่งานวิจัยนี้ออกแบบไว้สำหรับระดับพาณิชย์นั้นจะเคลื่อนที่พาวัสดุผ่านห้องอบแต่ละห้องภายในระยะเวลาที่กำหนด (ตามระยะเวลาการอบแห้งวัสดุแต่ละชนิด) และวัสดุที่ออกมาจะมีลักษณะแห้งตามความต้องการ รายละเอียดใน **หัวข้อ 4.7** ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาเพื่อเป็นองค์ความรู้ที่จะพัฒนาเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนร่วมกับลมร้อนในระดับพาณิชย์ต่อไป

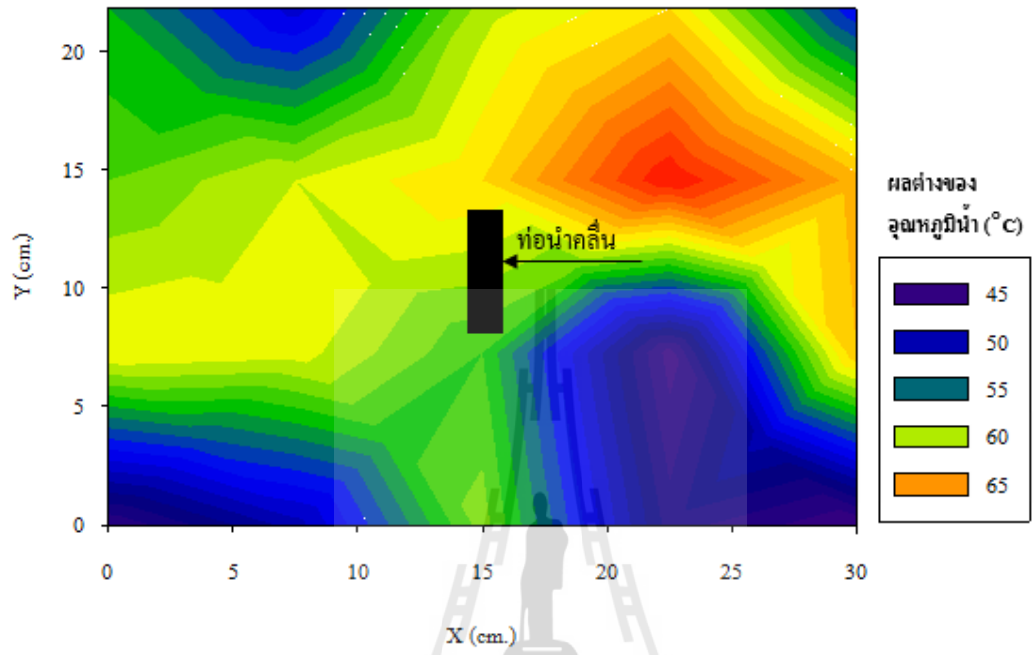
จากปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงทำการสร้างห้องทดสอบการกระจายตัวของคลื่นจากแมกนีตรอน 1 ตัว ขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 80 เซนติเมตร และสูง 30 เซนติเมตร ทำจากเหล็ก ติดตั้งท่อนำคลื่นไว้ด้านบน ไม่มีอุปกรณ์กระจายคลื่น ดังแสดงใน**รูปที่ 4.4** แล้วทำการทดลองกับน้ำ เพื่อศึกษาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำในแต่ละตำแหน่งอันแสดงให้เห็นถึงระยะการกระจายตัวของคลื่น

ผลการศึกษาระยะของคลื่นที่กระจายตัวได้ในระยะเวลาเปิดแมกนีตรอน 10 นาที พบว่าการกระจายตัวของคลื่นมีระยะประมาณ กว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร (ในที่นี้เลือกระยะที่มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำสูงสุด) ดังแสดงใน**รูปที่ 4.5** ทั้งนี้เพื่อเป็นการตรวจ สอบระยะการกระจายตัวของคลื่นในระยะดังกล่าว จึงได้ลดระยะของห้องอบลง จากความยาว 80 เซนติเมตร เป็นความยาว 20 เซนติเมตร ส่วนความสูงและความกว้างเท่าเดิม พบว่า ระยะการกระจายตัวของคลื่นมีความสม่ำเสมอขึ้น และเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเปิดแมกนีตรอน ดังแสดงใน**รูปที่ 4.6 ถึง 4.8** แต่อย่างไรก็ดีจากภาพลักษณะการกระจายตัวของคลื่นในห้องอบยาว 20 เซนติเมตร นั้น แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการแพร่กระจายคลื่นออกไปได้อีกหากไม่มีผนัง ดังนั้นในการเลือกระยะการกระจายตัวของคลื่นจึงพิจารณา จาก**รูปที่ 4.4** โดยเลือกใช้ระยะสำหรับการออกแบบ กว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร

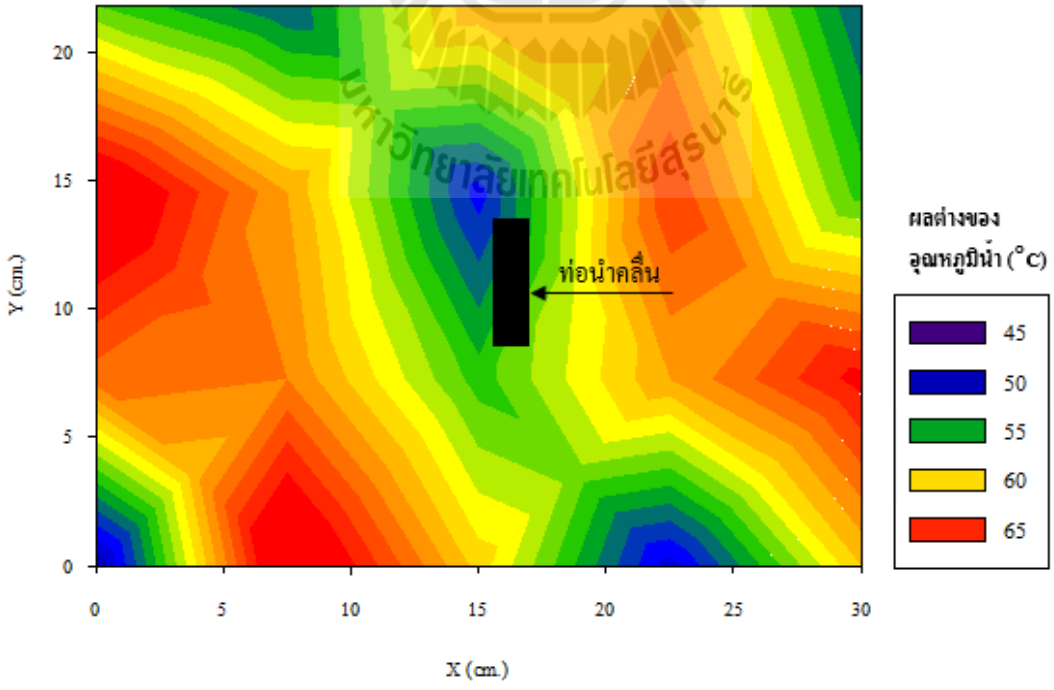
รูปที่ 4.4 การทดลองหาระยะการกระจายตัวของคลื่นจากแมกนีตรอน 1 ตัว



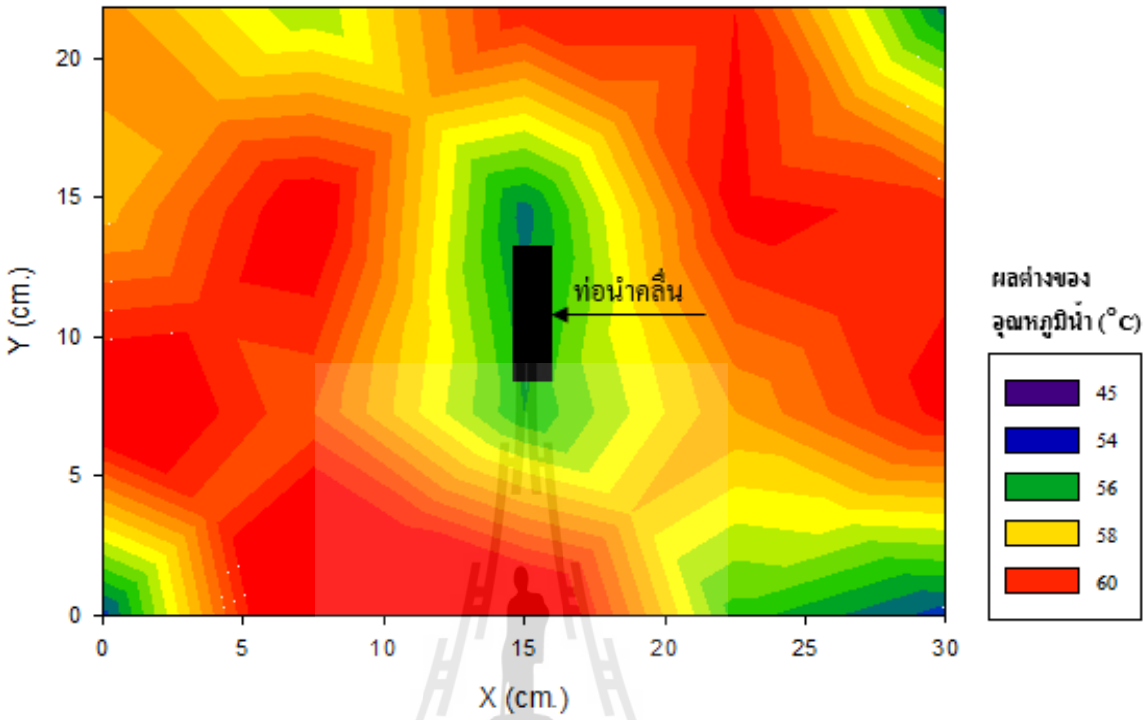
รูปที่ 4.5 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟ



รูปที่ 4.6 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟ (5 นาที)



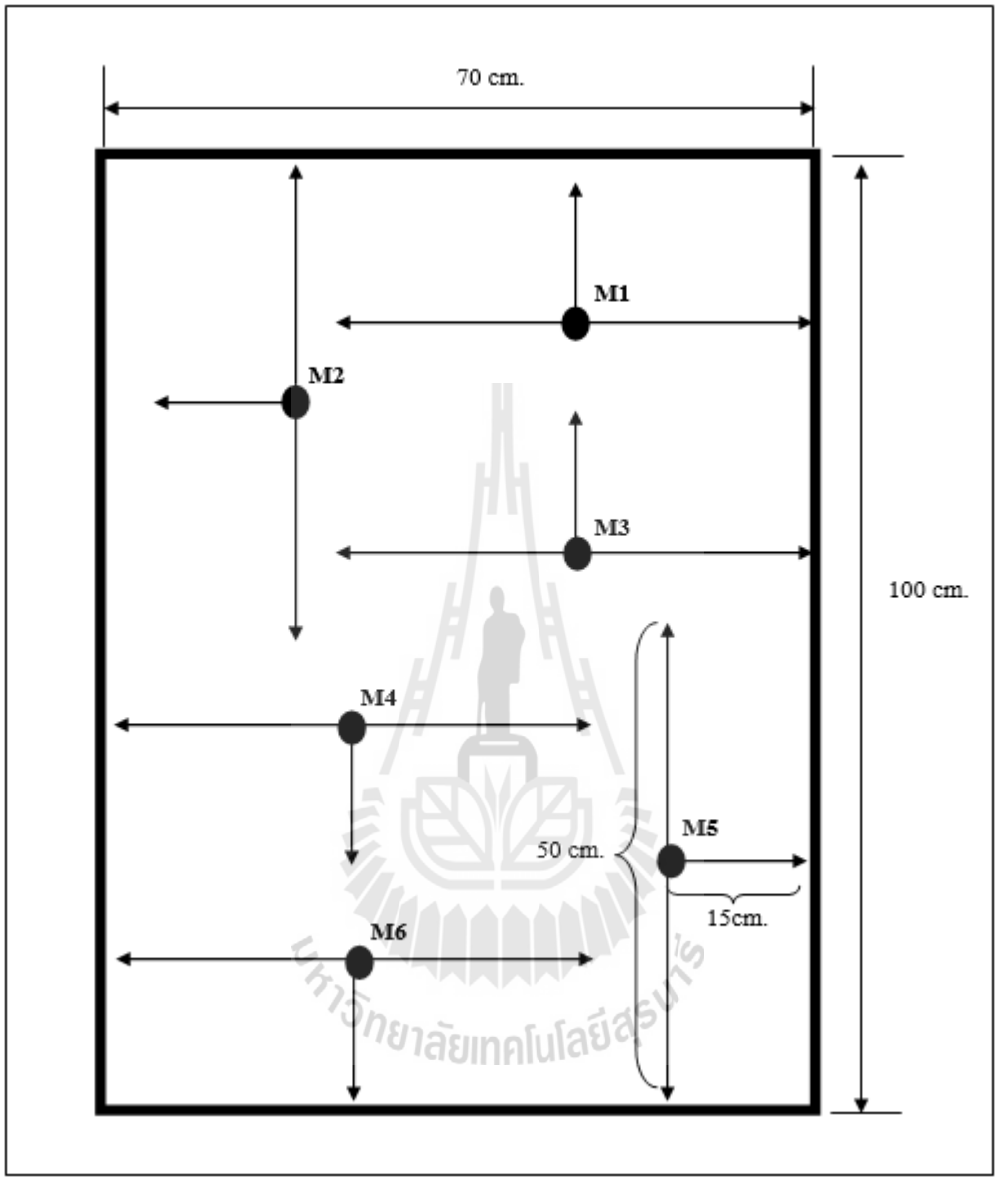
รูปที่ 4.7 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟ (6 นาที)



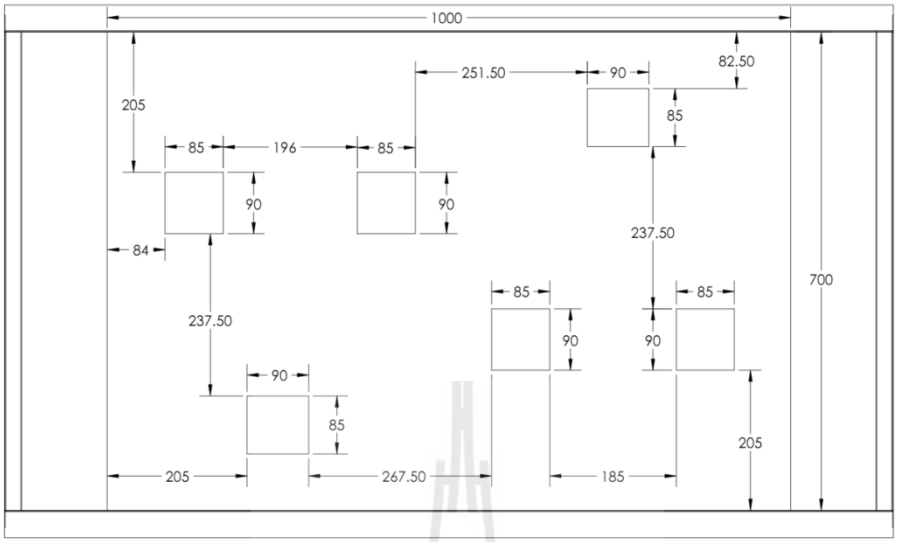
รูปที่ 4.8 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟ (7 นาที)

ออกแบบระยะการติดตั้งแมกนีตรอนและท่อนำคลื่นบนผนังห้องอบ จำนวน 6 ชุด โดยใช้ระยะการกระจายตัวของคลื่นกว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร วางทิศทางการกระจายตัวของคลื่น ดังแสดงใน**รูปที่ 4.9** แบบและลักษณะการติดตั้งแมกนีตรอนและท่อนำคลื่นบนผนังห้องอบ ดังแสดงใน**รูปที่ 4.10** แมกนีตรอน แต่ละตัว แผ่คลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟ 2450 MHz กำลัง 1200 วัตต์

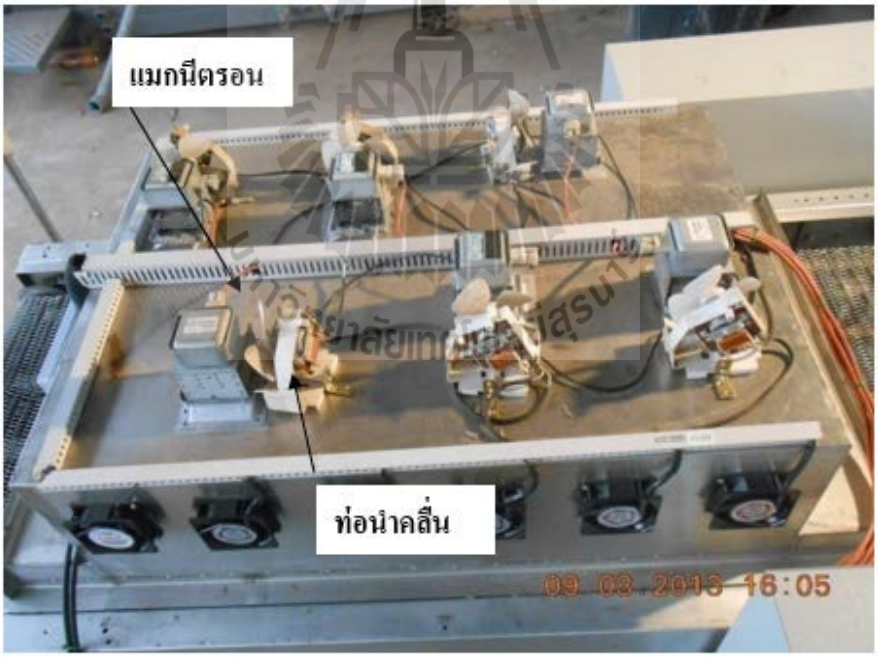
นอกจากนี้การทำงานของแมกนีตรอนยังมีอุปกรณ์ที่สำคัญสำหรับลดอุณหภูมิให้กับแมกนีตรอน คือ พัดลมระบายความร้อน ซึ่งในงานวิจัยนี้ติดตั้งพัดลมลมระบายความร้อน 2 ตำแหน่ง ดังนี้ ตำแหน่งที่ 1 บริเวณด้านบนของผนังห้องอบภายนอก 1 ตัว ความเร็วลม 3.7 เมตรต่อวินาที กำลังไฟฟ้า 60 วัตต์ เป็นพัดดูดอากาศเย็นจากภายนอกแล้วปล่อยเข้าไปในห้องแมกนีตรอน เนื่องจากผนังห้องอบภายนอกทำจากตะแกรงขนาดรูขนาด 2 มิลลิเมตร จึงระบายความร้อนออกผนังห้องอบภายนอก และ ตำแหน่งที่ 2 บริเวณติดกับแมกนีตรอน ทั้ง 6 ตัว ซึ่งพัดลมแต่ละตัว มีความเร็วลม 3.6 เมตรต่อวินาที กำลังไฟฟ้า 1.7 วัตต์ เป็นพัดลมดูดลมอากาศเย็นแล้วปล่อยผ่านครีบระบายความร้อนของแมกนีตรอนแต่ละตัว พัดลมระบายความร้อนทั้ง 2 ตำแหน่งเปิด-ปิด ตามการทำงานของแมกนีตรอน ดังแสดงใน**รูปที่ 4.11**



รูปที่ 4.9 ทิศทางการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟ ภายในห้องอบ

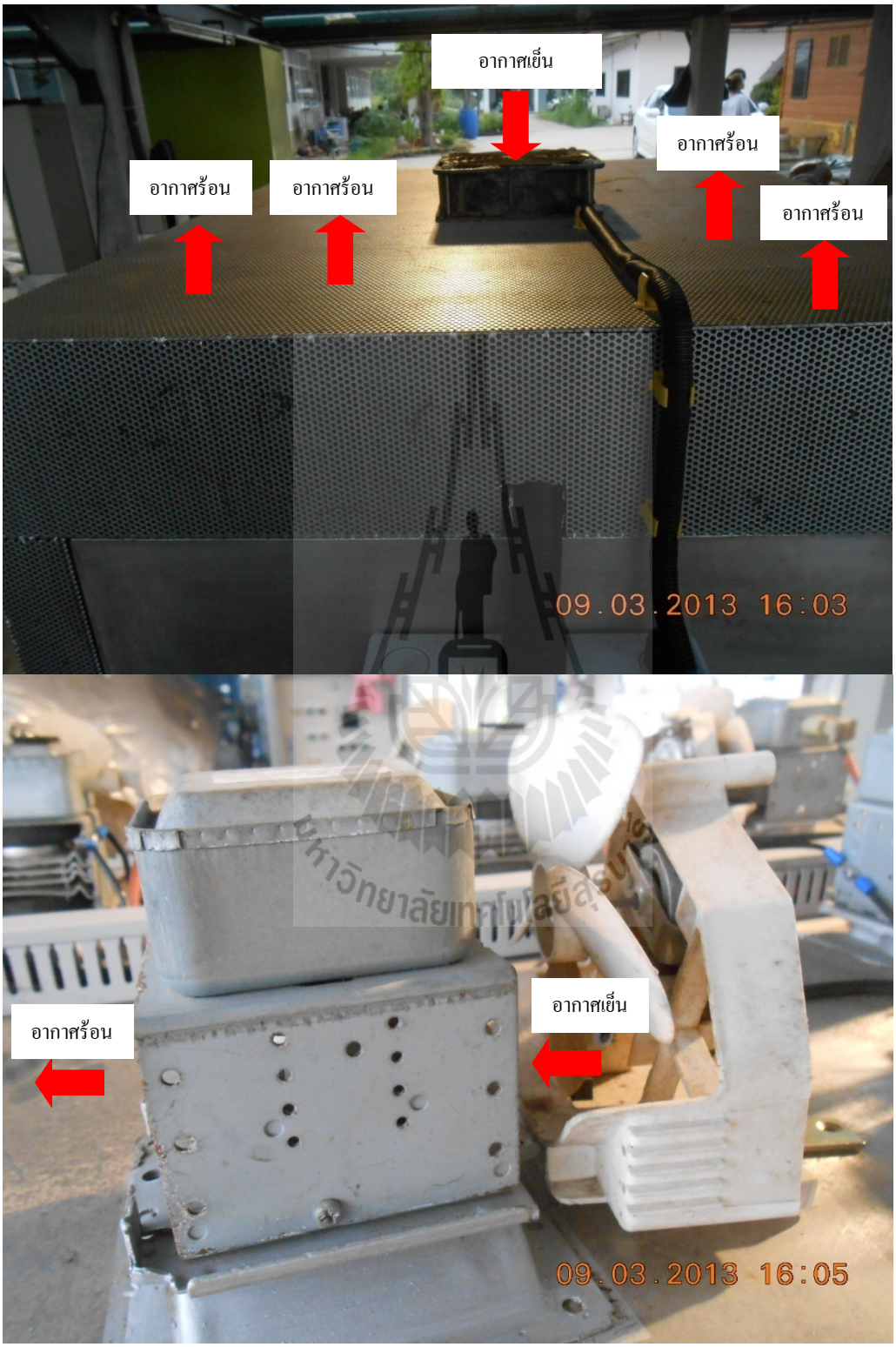


(ก) แสดงการออกแบบการวางแมกนีตรอน



(ข) ลักษณะการติดตั้งท่อนำคลื่นบนผนังห้องอบ

รูปที่ 4.10 แสดงการออกแบบการวางแมกนีตรอน (ก) และ
ลักษณะการติดตั้งท่อนำคลื่นบนผนังห้องอบ (ข)



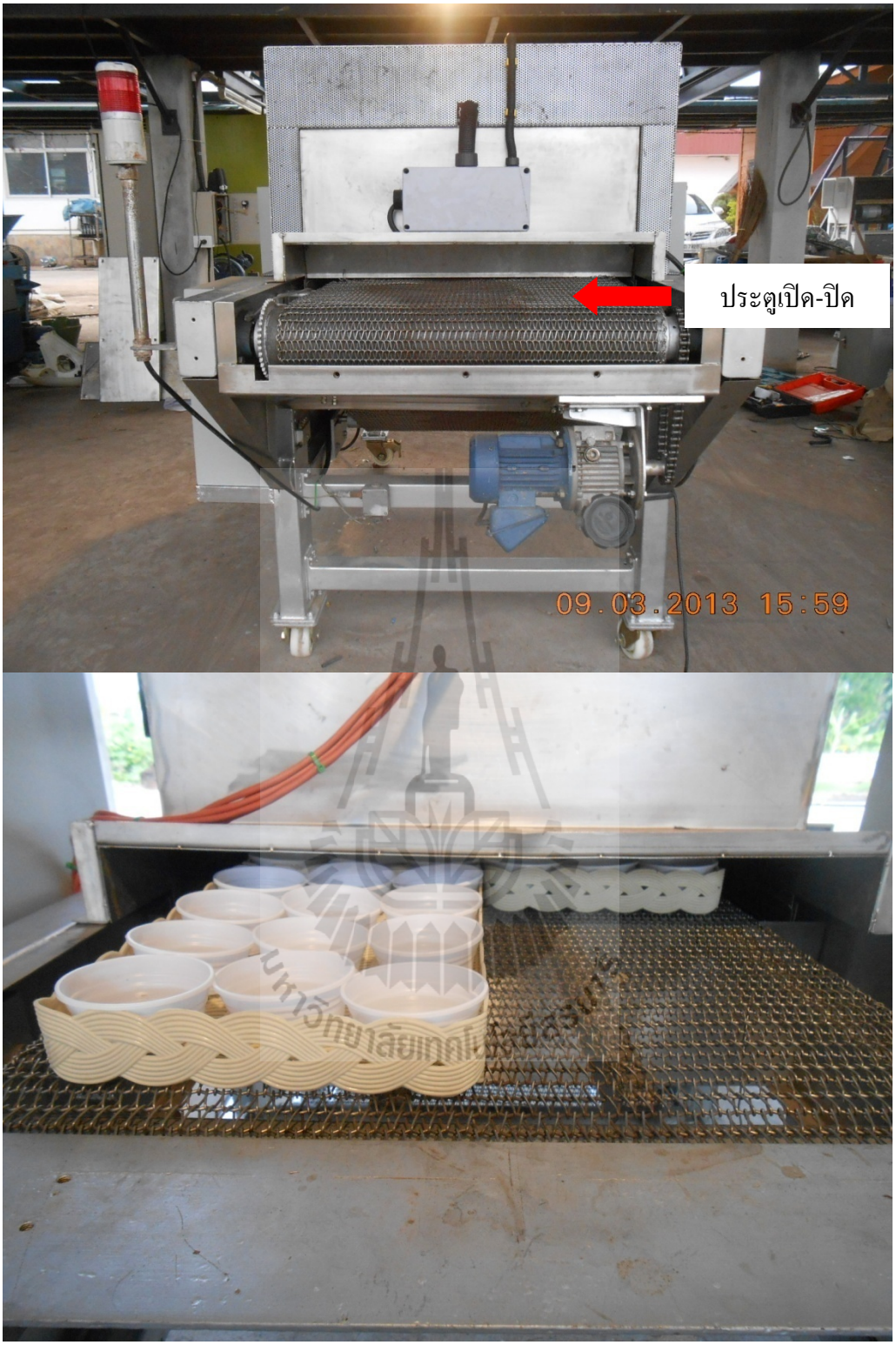
รูปที่ 4.11 การติดตั้งพัดลมระบายความร้อนแมกนีตรอน

1.2) ทางเข้า-ออกวัตถุดิบ

ทางเข้า-ออก วัตถุดิบมีขนาดกว้าง 70 เซนติเมตร สูง 7 เซนติเมตร มีลักษณะเป็นอุโมงค์ลึก 10 เซนติเมตร มีประตูเปิด-ปิด ระหว่างห้องอบกับอุโมงค์ ประตูเปิดได้ 2 ด้าน ทั้งจากด้านในและด้านนอก ด้วยถาดบรรจุวัตถุดิบ การออกแบบนี้ป้องกันการรั่วไหลของคลื่นสู่ภายนอกห้องอบขณะแมกนีตรอนทำงาน ในหลักการทำงานของประตูทั้ง 2 ด้าน คือ ด้านหน้าและด้านหลัง สามารถเป็นได้ทั้งประตูทางเข้าและทางออก ขึ้นอยู่กับทิศทางของสายพานที่ผู้ใช้กำหนด ความสูงของประตู ซึ่งใช้หลักการออกแบบจากการทดลองอบแห้งพริกด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน พบว่าความหนาของชั้นพริกที่เหมาะสมที่ใช้อบแห้งเท่ากับ 5 เซนติเมตร ซึ่งพบว่าถ้าความหนาของชั้นพริกน้อยกว่า 5 เซนติเมตร จะทำให้กำลังการผลิตต่ำ แต่หากชั้นความหนาของพริกมากกว่า 5 เซนติเมตร พริกที่อยู่ชั้นต่ำที่สุดจะได้รับความร้อนน้อยกว่าชั้นที่อยู่ด้านบน ชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการทะลุผ่านผิวพริกของคลื่นไมโครเวฟ เท่ากับ 5 เซนติเมตร นอกจากนี้ความหนาของชั้นพริกที่สูงกว่า 5 เซนติเมตร นั้นยังส่งผลถึงการระบายความชื้นออกสู่ภายนอก เพราะเมื่อพริกได้รับคลื่นไมโครเวฟแล้วจะมีไอน้ำระเหยออกจากผิว ถ้าชั้นของพริกมีความหนาเกินกว่าจะสามารถระบายไอน้ำได้ทัน พริกจะมีลักษณะเป็นพริกต้ม ทำให้สูญเสียโครงสร้าง ลักษณะทางกายภาพจะแตกต่างจากพริกแห้งทั่วไป จึงออกแบบให้ประตูทางเข้า-ออก สูง 7 เซนติเมตร (ระยะความหนาชั้นพริกที่เหมาะสม 5 เซนติเมตร และระยะขอบภาชนะสำหรับอบแห้ง 2 เซนติเมตร) ดังแสดงใน **รูปที่ 4.12**

วัสดุที่นำมาใช้สร้างประตู คือ สแตนเลส มีคุณสมบัติทนทานต่อการเกิดสนิมและเป็นตัวกลางที่คลื่นไมโครเวฟไม่สามารถผ่านได้ ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมที่จะนำมาผลิตเครื่องมือและเครื่องจักรในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลาย การทดสอบการรั่วไหลของคลื่นจะแสดงใน **หัวข้อ 4.2**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะทางเข้า-ออก วัตถุดิบ

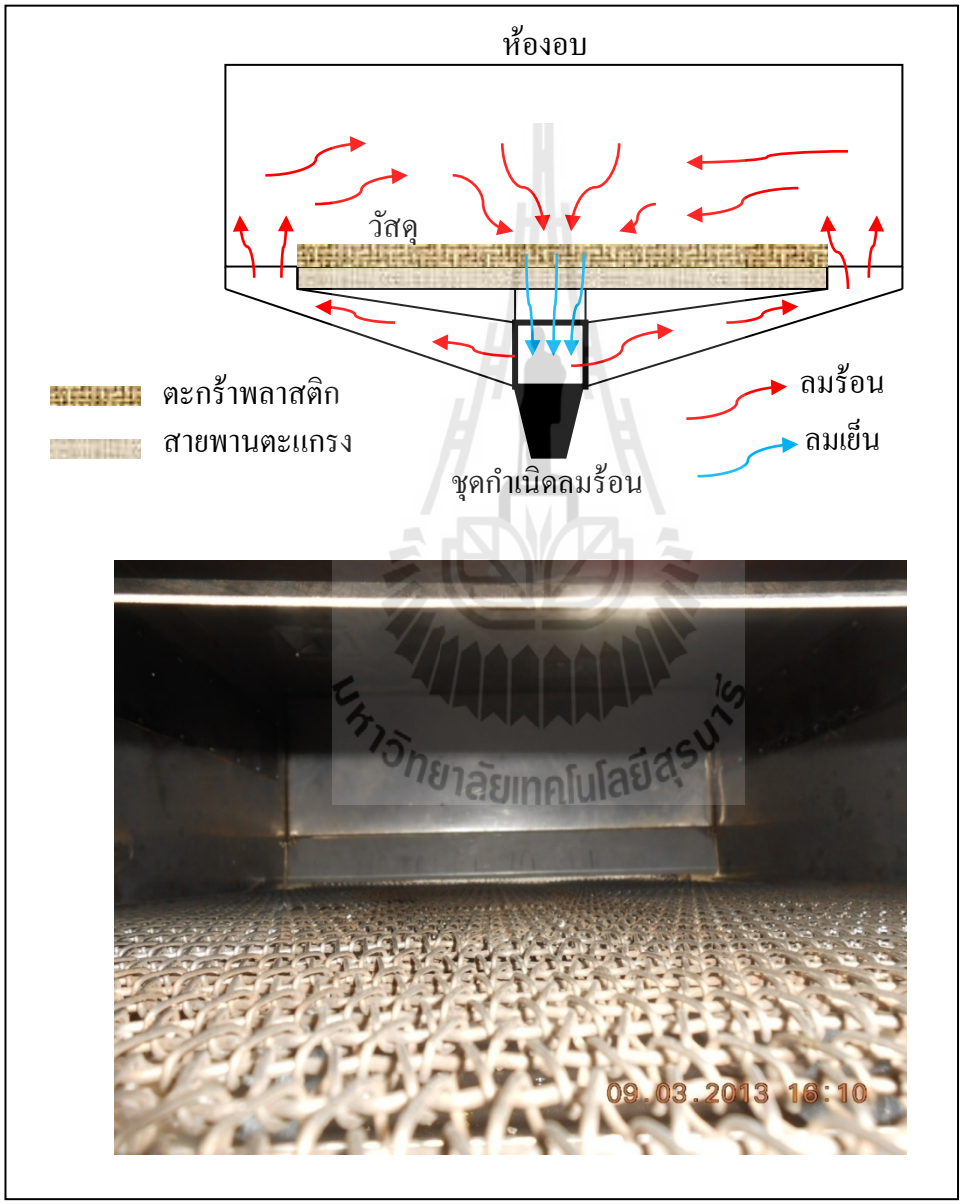
1.3) ระบบระบายความชื้น

ภายในห้องอบนั้นมี ระบบระบายความชื้นด้วยพัดลมดูดความชื้นจำนวน 12 ตัว ติดตั้งไว้ด้านข้าง สูงจากพื้นห้องอบ 16 เซนติเมตร แต่ละตัวมีความเร็วลม 3.1 เมตรต่อวินาที กำลังไฟฟ้า 0.08 วัตต์ ทำหน้าที่ดูดความชื้นจากห้องอบปล่อยสู่ภายนอก โดยกำหนดให้พัดลมดูดความชื้นเปิดระบบทำงานที่ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องอบมีค่ามากกว่าภายนอกห้องอบ

รูปที่ 4.13 ลักษณะระบบระบายความชื้น

1.4) ทางเข้า-ออก ลมร้อน

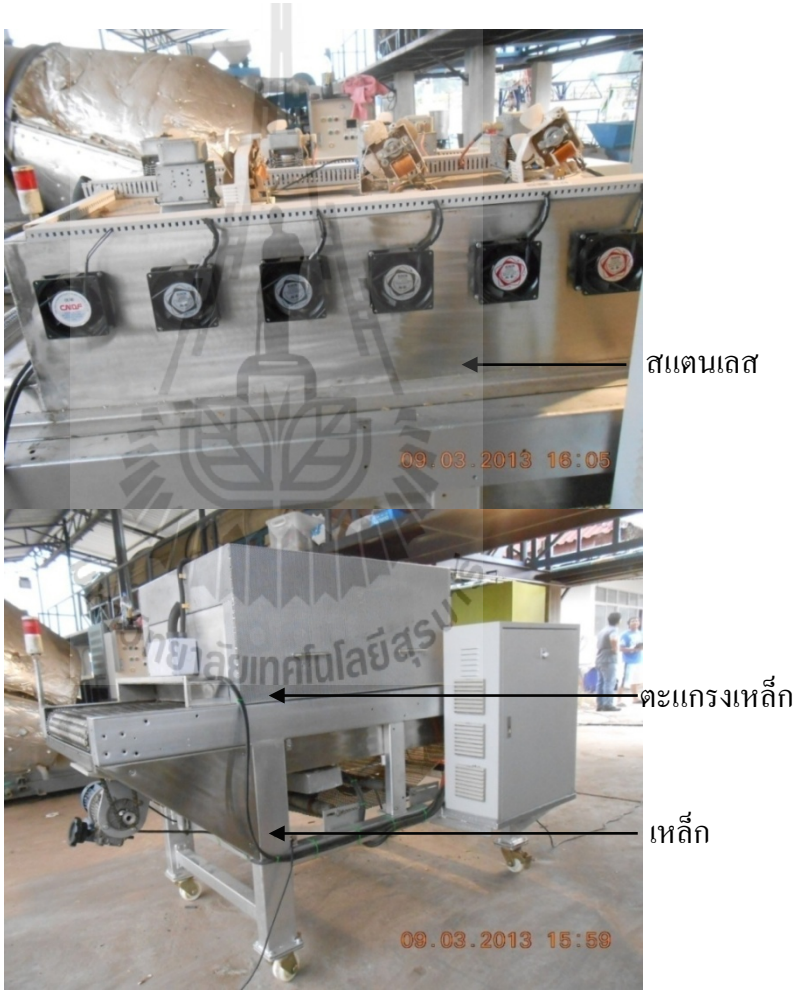
ภายในห้องอบด้านล่างมีทางเข้าของลมร้อนอยู่ด้านข้างมีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง 4 เซนติเมตร ยาว 100 เซนติเมตร และทางออกเป็นวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ระบบลมร้อนหมุนวน โดยดูดลมเย็นจากวัสดุผ่านภาชนะที่มีรูด้านล่าง (งานวิจัยนี้ใช้ตะกร้าพลาสติกพื้นเป็นตะแกรง) หลังจากนั้นลมเย็นจะผ่านสายพานโลหะที่มีลักษณะเป็นตะแกรงเช่นเดียวกันเข้าสู่ห้องผลิตลมร้อน และปล่อยลมร้อนออกมาทางด้านข้างของห้องอบ ดังแสดงใน**รูปที่ 4.14**



รูปที่ 4.14 ลักษณะทางเข้า-ออก ลมร้อน

1.5) ชนิดของวัสดุ

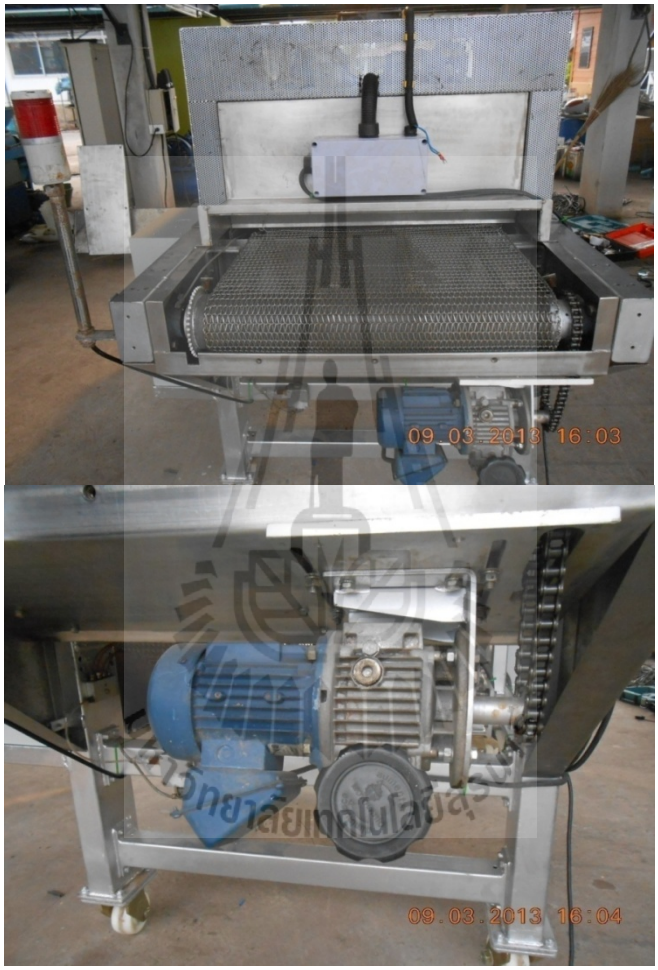
ในงานวิจัยนี้ใช้วัสดุเป็นแสตนเลสสตีล เกรด 304 เป็นผนังของห้องอบภายในที่มีคุณสมบัติไม่เป็นสนิมเมื่อรับความชื้นหรือไอน้ำ และเป็นโลหะที่คลื่นไมโครเวฟไม่สามารถทะลุผ่านได้ ผนังห้องอบด้านนอกใช้วัสดุตะแกรงเหล็ก มีขนาดของรูตะแกรง 2 มิลลิเมตร มีความหนา 3 มิลลิเมตร และฐานใช้เหล็กเป็นโครงสร้าง ทั้งนี้อุปกรณ์ทุกชิ้นส่วนเชื่อมติดกับสายดิน ทั้งหมดเพื่อป้องกันการอาร์คของระบบ ในบริเวณรอยต่อของโลหะเนื่องจากไมโครเวฟเป็นระบบที่ใช้ไฟฟ้าความดันสูง 600 โวลต์ ดังนั้นจึงมีโอกาสที่อิเล็กตรอนจะวิ่งผ่านอากาศ ระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว จากลบไปหาบวก ทำให้เกิดการอาร์ค ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายตามมา ดังแสดงใน**รูปที่ 4.15**



รูปที่ 4.15 ชนิดและวัสดุที่ใช้สร้างห้องอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

2) การออกแบบสายพาน

ในงานวิจัยนี้ใช้ชุดสายพานสำเร็จรูป มีลักษณะเป็นตะแกรงลวด พื้นที่ใช้งานทั้งหมด กว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 180 เซนติเมตร พื้นที่ใช้งานภายในห้องอบ กว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 100 เมตร ขนาดมอเตอร์ 0.21 กิโลวัตต์ ควบคุมความเร็วด้วยเกียร์ ถ่ายทอดกำลังจากมอเตอร์ขับสายพานด้วยโซ่ ดังแสดงใน**รูปที่ 4.16**



รูปที่ 4.16 แสดงส่วนประกอบของชุดสายพาน

3) การออกแบบระบบลมร้อน

ชุดผลิตลมร้อนที่ใช้ในงานนี้เป็นชนิดขดลวด มีขนาด 5,000 วัตต์ อุณหภูมิสูงสุด 180 องศาเซลเซียส เป็นระบบผลิตลมร้อนแบบหมุนวน ควบคุมการเปิดปิดด้วยอุณหภูมิภายในห้องอบ มีหลักการไหลวนลมร้อนและลมเย็น ดังแสดงใน**รูปที่ 4.14** ติดตั้งไว้ใต้ห้องอบ ความเร็วลมร้อนเท่ากับ 1.21 เมตรต่อวินาที ตำแหน่งติดตั้งชุดผลิตลมร้อน แสดงใน**รูปที่ 4.17**

รูปที่ 4.17 แสดงส่วนประกอบของระบบลมร้อน

4) การออกแบบระบบควบคุม

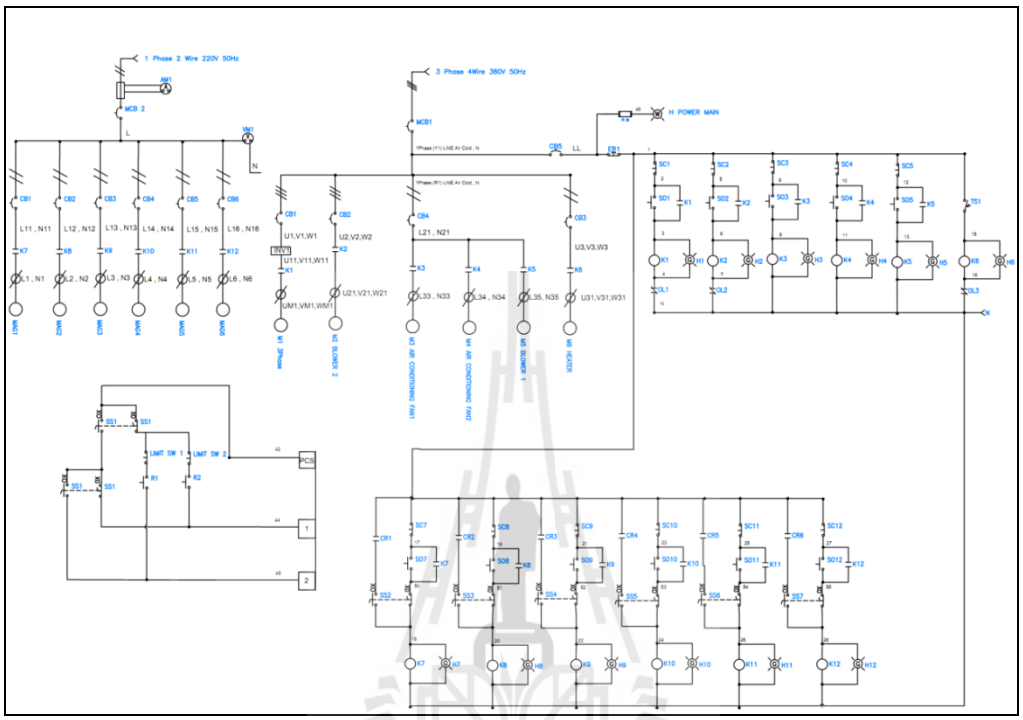
ในการออกแบบระบบควบคุมในงานวิจัยนี้ แบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การควบคุมการทำงานของแมกนีตรอน ส่วนที่ 2 การควบคุมระบบการทำงานของอุปกรณ์อื่น ๆ แบบปรับมือ และส่วนที่ 3 การควบคุมระบบการทำงานของอุปกรณ์อื่นๆ แบบอัตโนมัติ ทั้ง 3 ส่วนที่ได้กล่าวมานี้ จำเป็นที่จะต้องทำงานให้มีความสัมพันธ์กัน มีรายละเอียดดังนี้

ส่วนที่ 1 การควบคุมการทำงานของแมกนีตรอน จำนวน 6 ชุด จาก**รูปที่ 4.18** แสดงให้เห็นลักษณะของวงจร ดังนี้ สวิตช์ SO7 – SO12 เป็นสวิตช์สำหรับการเปิดการทำงานของแมกนีตรอนแต่ละตัว และสวิตช์ SC7 – SC12 เป็นสวิตช์สำหรับการปิดการทำงานของแมกนีตรอนในแต่ละตัว นอกจากนี้แล้วยังมีสวิตช์ SS1 – SS6 สำหรับเลือกการทำงานระหว่างระบบอัตโนมัติและระบบควบคุมด้วยตนเอง เป็นต้น แต่หากใช้ระบบระบบอัตโนมัติ การควบคุมของระบบขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายในห้องอบที่ 60 องศาเซลเซียส (กำหนดอุณหมิ 60 องศาเซลเซียส เนื่องจากในการทดลองอบพริกแบบครัวเรือนอุณหภูมิลมร้อนที่เหมาะสมเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงนำผลของอุณหภูมิดังกล่าวมาทดลองใช้กับเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนร่วมกับลมร้อนที่ปรับปรุงขึ้น ผลการทดสอบพบว่าผิวของพริกมีลักษณะเป็นสีแดงเข้มและมีสีดำปน ดังกล่าวจึงลองปรับลดอุณหภูมิลง จนพบว่าอุณหภูมิที่พริกมีสีสันสดใสเหมือนพริกแห้งทั่วไปตามท้องตลาด เท่ากับ 60 องศาเซลเซียส จึงกำหนดอุณหภูมิภายในห้องอบสำหรับเปิดปิดการทำงานของแมกนีตรอนให้เท่ากับอุณภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้ง เท่ากับ 60 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกันกับอุณหภูมิลมร้อน)

ส่วนที่ 2 การควบคุมระบบการทำงานอุปกรณ์อื่น ๆ แบบปรับมือ ประกอบไปด้วยมอเตอร์สำหรับควบคุมสายพานลำเลียง พัดลมของระบบลมร้อน พัดลมดูดความชื้น พัดลมระบายความร้อนหม้อแปลง พัดลมระบายความร้อนแมกนีตรอน และเครื่องกำเนิดลมร้อน การควบคุมทั้งหมดจะสามารถควบคุมได้จาก SO1 – SO7 สำหรับการเปิดการทำงานของแต่ละตัว SC1 – SC7 สำหรับการปิดการทำงานของแต่ละตัวเช่นกัน

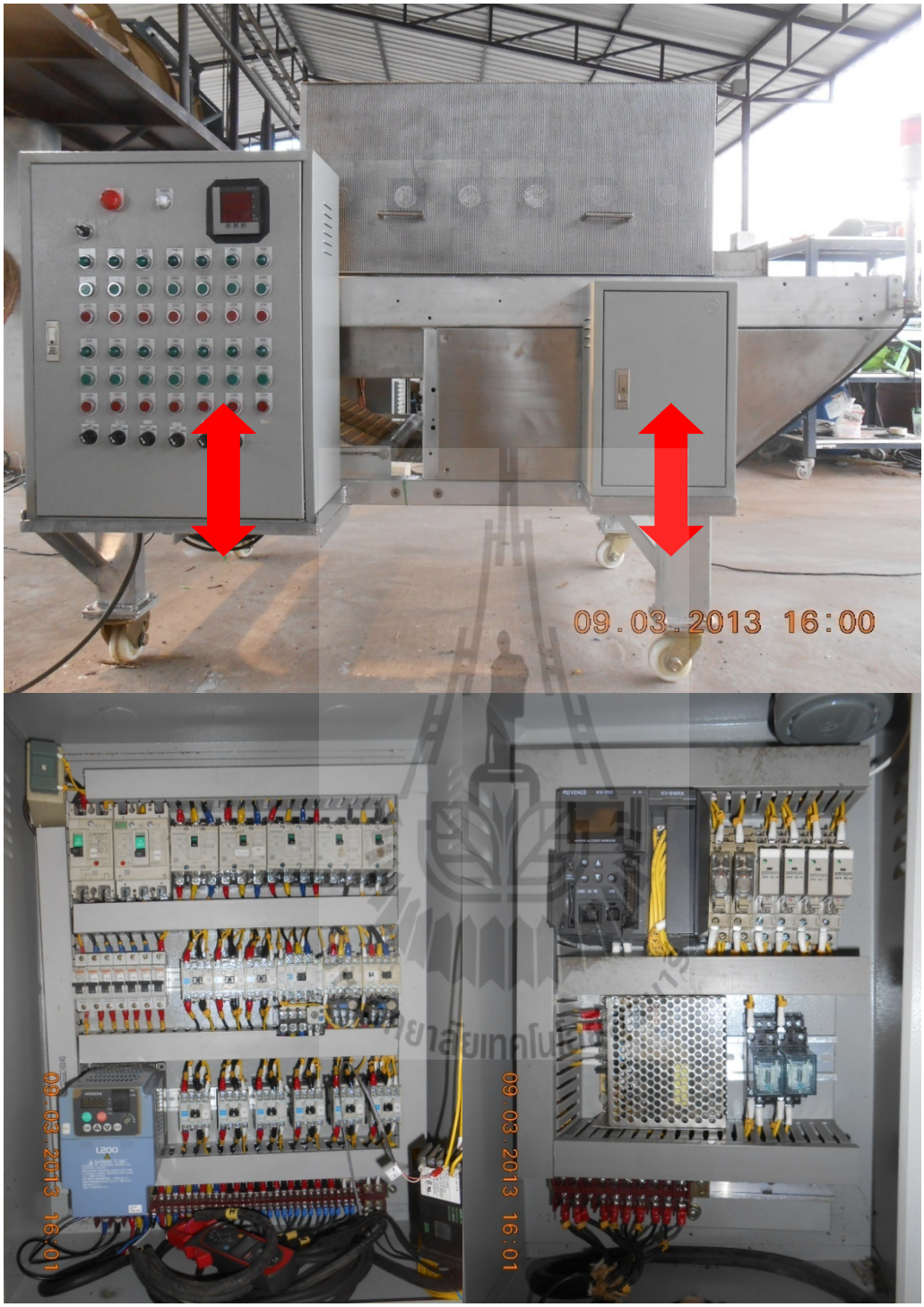
ส่วนที่ 3 การควบคุมระบบการทำงานอุปกรณ์ อื่นๆ แบบอัตโนมัติ จะมีทั้งหมด 7 เอาต์พุต ซึ่งจะประกอบไปด้วย เอาต์พุตสำหรับ รีเลย์ ควบคุมการทำงานของแมกนีตรอนจำนวน 6 ชุด และ รีเลย์ สำหรับควบคุมการทำงานของ Alarm โดย เอาต์พุต 30300 ควบคุมการทำงานของ Alarm และ 30301 – 30306 ควบคุมการทำงานของแมกนีตรอน โดยในระบบควบคุมอัตโนมัตินี้จะสามารถสั่งงานให้เปิด-ปิด แมกนีตรอน และเครื่องกำเนิดลมร้อนที่กำหนดด้วยอุณหภูมิภายในห้องอบ

ลักษณะอุปกรณ์ของระบบควบคุมถูกออกแบบให้ติดตั้งไว้ภายตู้เหล็ก มีสวิตซ์เปิด-ปิดได้จากภายนอก มีระบบปุ่มควบคุมความปลอดภัย สำหรับตัดการจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบต่างๆ ง่ายต่อการควบคุมในระบบปรับมือ และระบบอัตโนมัติ ดังแสดงใน**รูปที่ 4.18(ก)** และ **(ข)**



รูปที่ 4.18(ก) วงจรการควบคุมระบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.18(ข) ลักษณะอุปกรณ์ของระบบควบคุม

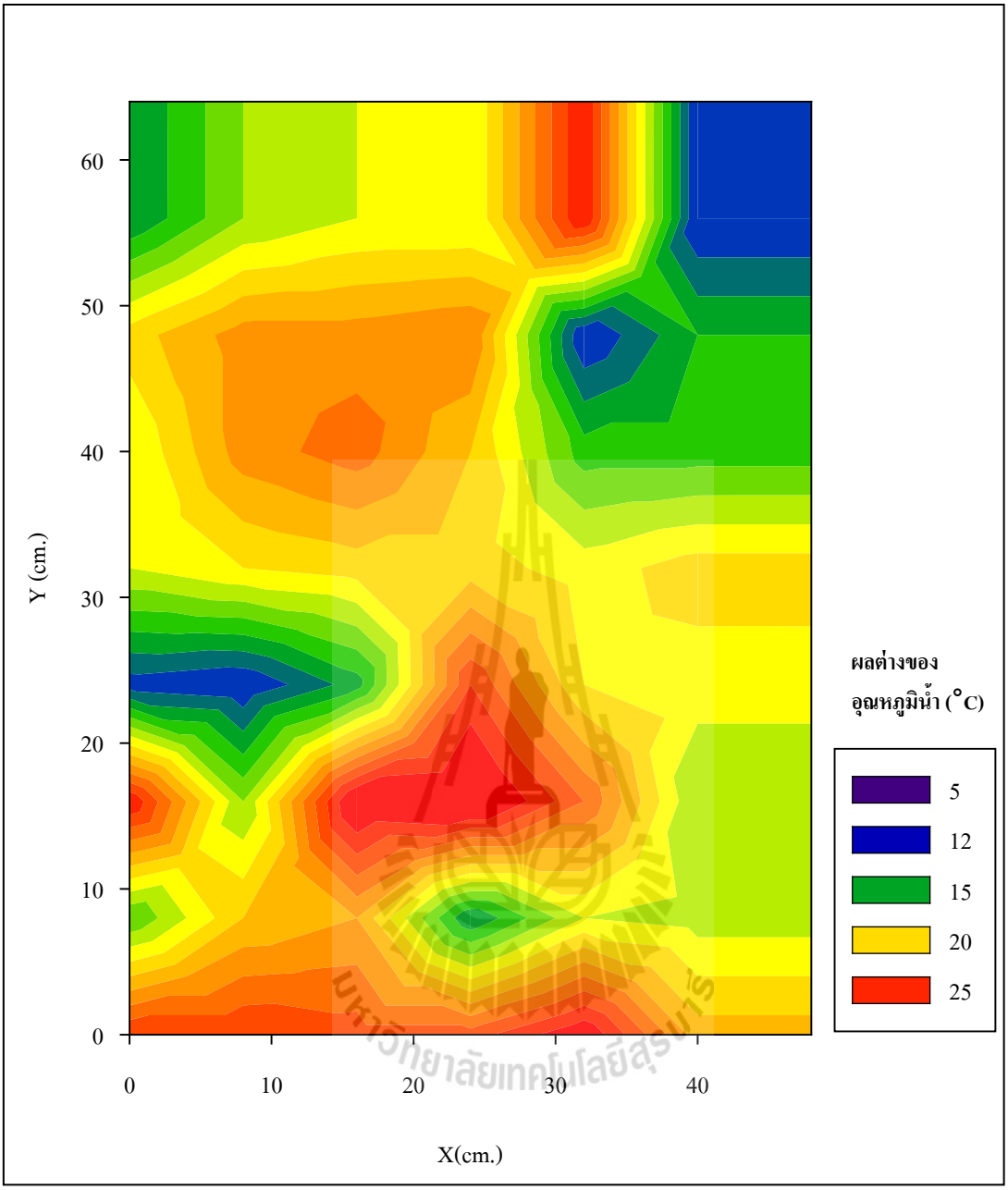
4.3 ผลการทดสอบการทำงานของเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ปรับปรุงขึ้นเบื้องต้น

การทดสอบการทำงานของเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนร่วมกับลมร้อนที่ปรับปรุงขึ้น ได้ทำการทดสอบการกระจายตัวของคลื่น ทดสอบประสิทธิภาพ โดยใช้น้ำเป็นตัวรับพลังงานคลื่น และทดสอบการกระจายตัวของคลื่น มีผลการทดสอบดังนี้

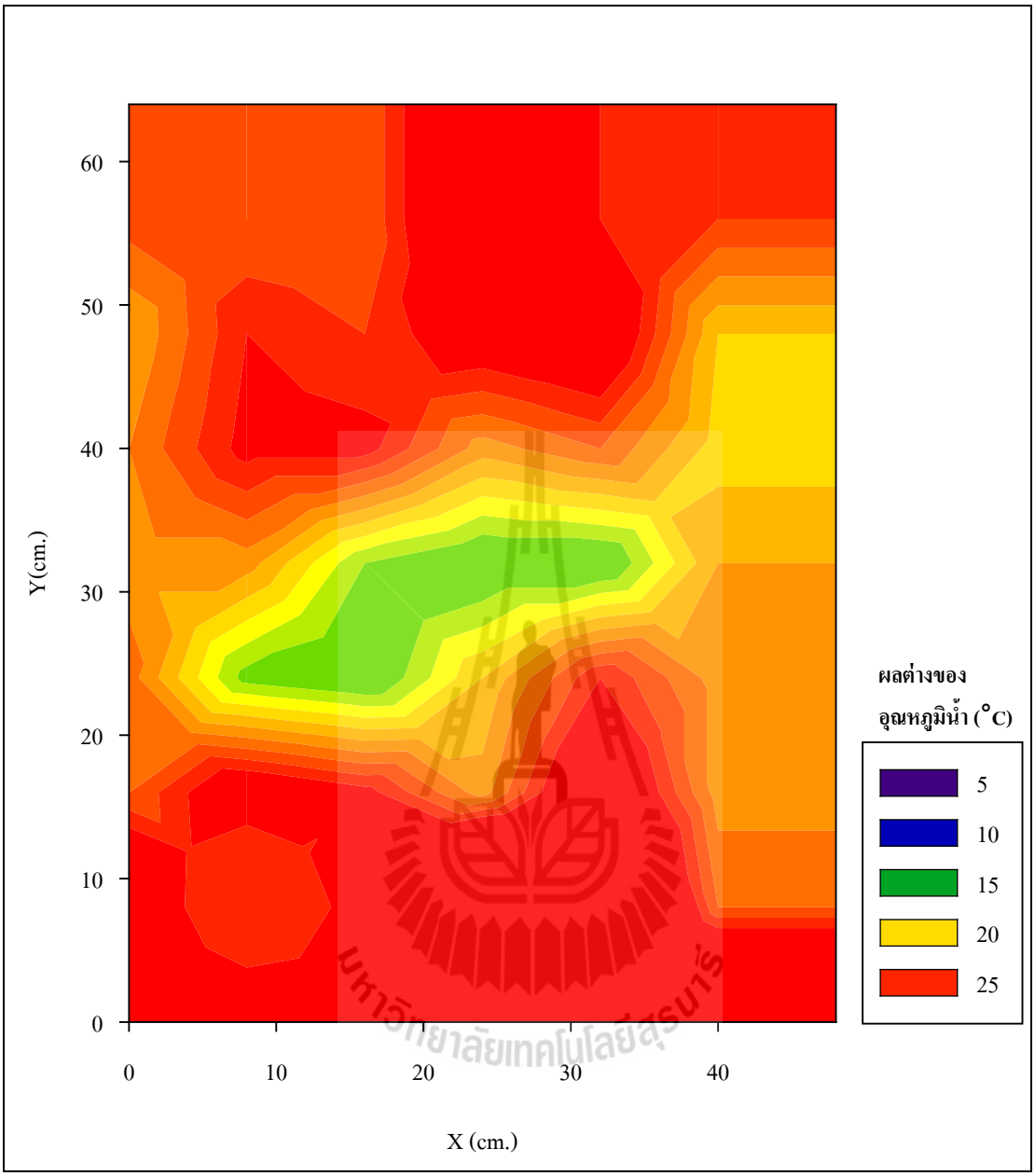
4.3.1 การทดสอบการกระจายตัวของคลื่น

จากการทดสอบการกระจายตัวของคลื่นตามวิธีการใน**บทที่ 3** พบว่า การเปิดแมกนีตรอน ปิดระบบลมร้อน ปิดระบบดูดความชื้น และปิดระบบสายพาน ระยะเวลา 3 4 และ 5 นาที ให้การกระจายตัวของสม่ำเสมอที่ 80 90 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (พิจารณาจากภาพการกระจายตัวของคลื่น) แสดงดัง**รูปที่ 4.19 ถึง 4.21** ซึ่งชี้ให้เห็นประสิทธิผลของการออกแบบตำแหน่งที่ติดตั้งแมกนีตรอน และจากผลการศึกษา พบว่า เวลาของการเปิดแมกนีตรอนมีผลต่อการกระจายตัวของคลื่น เนื่องจากคลื่นมีการตกกระทบกับวัสดุ และผนังห้องอบ ซึ่งคลื่นบางส่วนถูกดูดกลืนพลังงานด้วยวัสดุ(ในที่นี้ คือ น้ำ) คลื่นบางส่วนสะท้อนไปมาภายในห้องอบ เมื่อทำการเปิดแมกนีตรอนและส่งคลื่นไปยังห้องอบเป็นระยะเวลานาน การกระจายตัวของคลื่นก็จะกระจายทั่วทุกพื้นที่ภายในห้องอบ แต่ถ้าวัสดุบริเวณที่ได้รับการตกกระทบของคลื่นซ้ำๆ เป็นระยะเวลานานก็สามารถก่อให้เกิดความเสียหายได้เช่นเดียวกัน ปัจจุบันในระดับอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องจึงนิยมแก้ปัญหา โดยการนำระบบสายพานเข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยให้การขับเคลื่อนชิ้นงานให้รับคลื่นอย่างสม่ำเสมอเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่อวัตถุดิบ

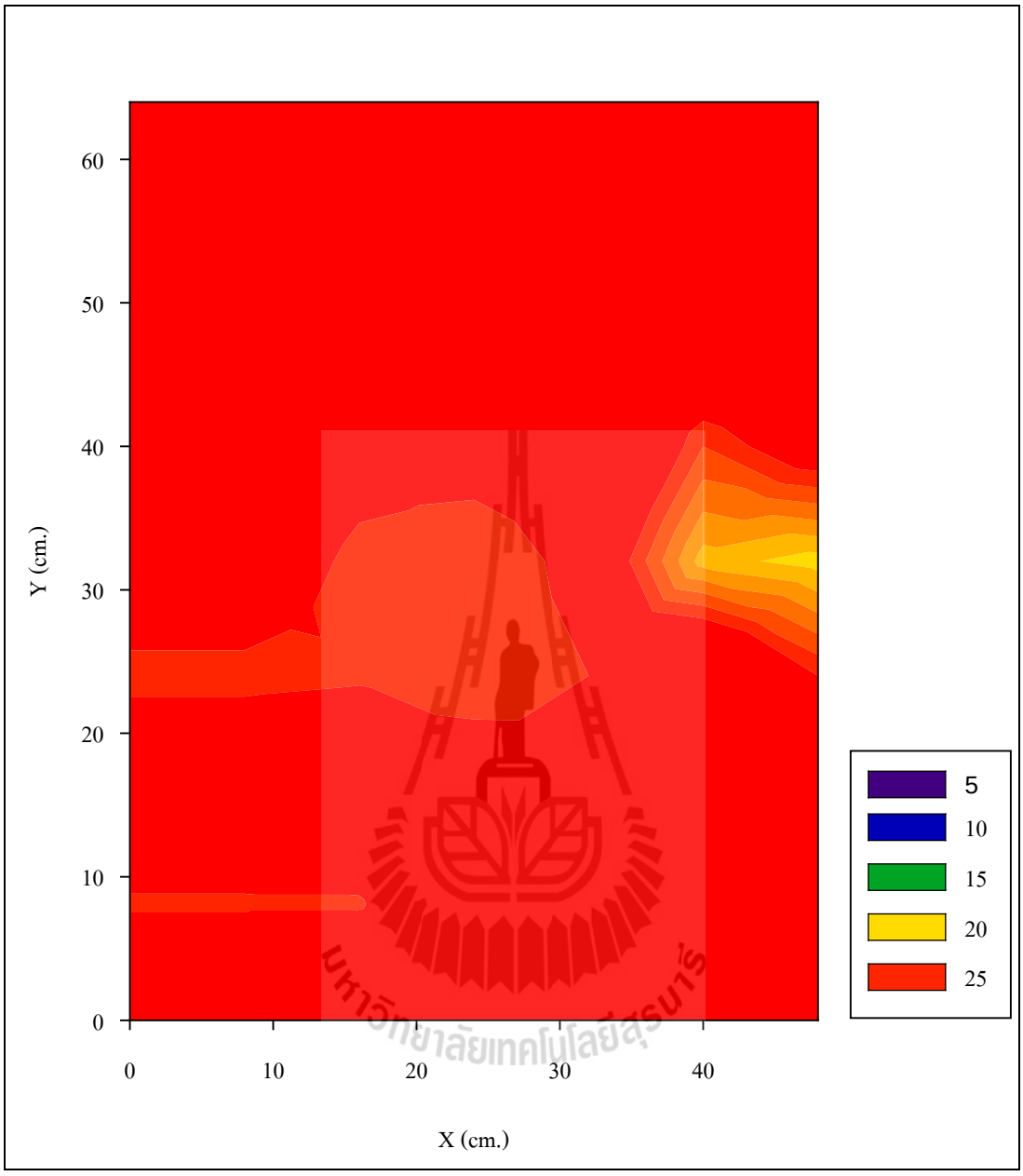
สำหรับในงานวิจัยนี้มีระบบสายพานสำหรับขับเคลื่อนวัตถุดิบแล้ว สำหรับการทดสอบไม่สามารถให้สายพานเคลื่อนที่ได้ตลอดเวลา เนื่องจากข้อจำกัดของระยะห้องอบและราคาของการสร้างเครื่องจักร ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้น อย่างไรก็ดีสายพานและทางเข้า-ออก ของวัตถุดิบที่ปรับปรุงขึ้นนั้น สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง หากสายพานและห้องอบแห้งมีความยาวเพียงพอ ในกรณีของความยาวสายพานและจำนวนห้องอบที่เหมาะสมต้องทำการศึกษาหาเวลาการอบแห้งด้วยต้นแบบฯที่ปรับปรุงขึ้นนี้ก่อน แล้วนำไปออกแบบหาความยาวสายพาน ความเร็วของสายพาน และจำนวนห้องอบให้มีความเหมาะสมเฉพาะวัตถุดิบต่อไป



รูปที่ 4.19 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟ (3 นาที)



รูปที่ 4.20 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟ (4 นาที)



รูปที่ 4.21 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟ (5 นาที)

4.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

ผลการทดสอบประสิทธิภาพเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ปรับปรุงขึ้นทั้ง 3 สภาวะ การทดสอบ พบว่า ในสภาวะการทดสอบประสิทธิภาพ กรณี เปิดระบบไมโครเวฟ และปิดระบบลมร้อน ระบบมีประสิทธิภาพ เท่ากับ 19.76 เปอร์เซ็นต์ สภาวะการทดสอบประสิทธิภาพ กรณีปิดระบบไมโครเวฟ และเปิดระบบลมร้อน ระบบมีประสิทธิภาพ เท่ากับ 20.05 เปอร์เซ็นต์ และสภาวะการทดสอบประสิทธิภาพ กรณีเปิดระบบไมโครเวฟและเปิดระบบลมร้อน ระบบมีประสิทธิภาพ ท่ากับ 20.75 เปอร์เซ็นต์ (ทั้ง 3 สภาวะ ปิดพัดลมระบายความชื้น) ดังแสดงใน**ตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.23**

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพทั้ง 3 กรณี แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพในระบบเพียง 0.7 – 1.0 เปอร์เซ็นต์ หากใช้ระบบไมโครเวฟร่วมกับระบบลมร้อน เนื่องจากในกรณีเปิดระบบไมโครเวฟร่วมกับระบบลมร้อนนั้นให้พลังงานกับวัสดุสูงกว่ากรณีเปิดระบบไมโครเวฟอย่างเดียวและเปิดระบบลมร้อนอย่างเดียว แต่ก็ใช้พลังงานสูงกว่าเช่นเดียวกัน ดังแสดงใน **รูปที่ 4.22** ดังนั้นประสิทธิภาพของระบบจึงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ดี ด้วยคุณสมบัติการให้พลังงานที่สูงขึ้นของระบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนนี้ จะเป็นข้อดีของการใช้งานระบบสำหรับงานด้านการอบแห้งเป็นอย่างยิ่ง เพราะถ้าระบบให้พลังงานกับวัสดุที่ต้องการ การอบแห้งสูงนั้น น้ำภายในวัสดุก็จะระเหยออกมาอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ระยะเวลาการอบแห้งลดลง

อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาพลังงานที่เกิดขึ้นจากทั้ง 3 กรณีการทดสอบ แสดงให้เห็นถึงการนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ ดังนี้ สำหรับงานที่ต้องการให้วัสดุมีความร้อนสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และไม่จำเป็นต้องต้องระบายไอน้ำออก เช่น การนึ่งหรือต้ม ควรใช้ระบบไมโครเวฟอย่างเดียว และสำหรับงานที่ต้องการความร้อนสูงและต้องระบายไอน้ำออกอย่างรวดเร็ว เช่น การอบแห้ง ควรใช้ระบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ส่วนระบบลมร้อนนั้นใช้พลังงานและให้พลังงานน้อย หากนำไปใช้ในระบบการอบแห้งต้องใช้ระยะเวลานาน

ดังนั้น การใช้ระบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้แต่จะสามารถช่วยในด้านประหยัดระยะเวลา ซึ่งจะกล่าวต่อไป

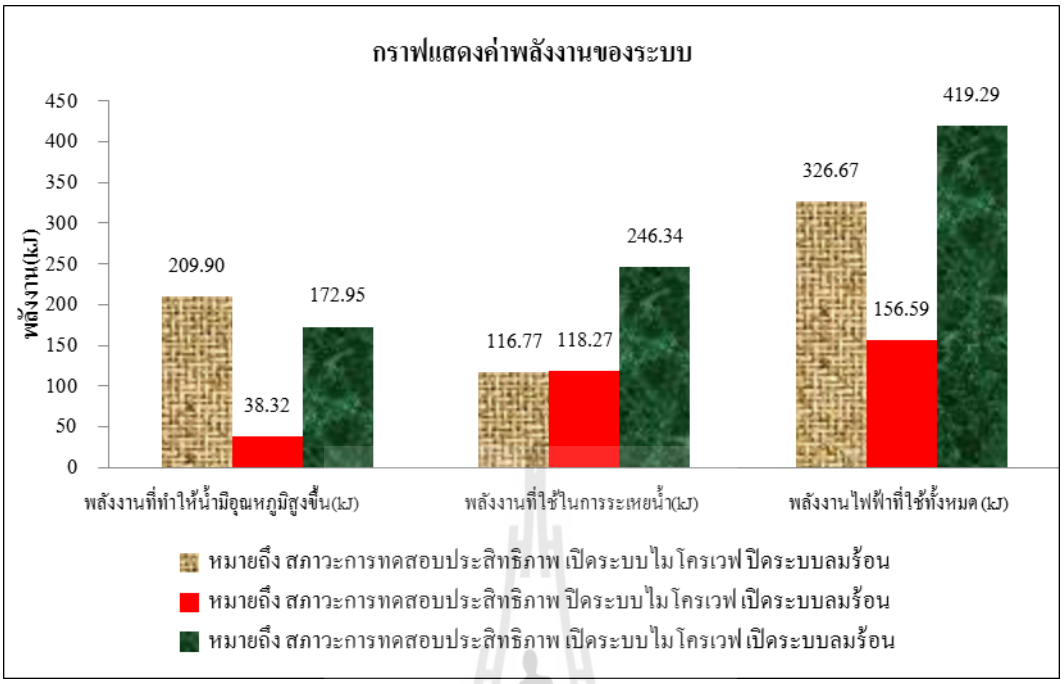
ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนร่วมกับลมร้อน

ซ้ำที่	สภาวะ	Q_{out}			Q_{in}	Eff.
		P_T (kJ)	P_w (kJ)	Total (kJ)	P (kJ)	(%)
1	M	210.57	133.34	343.91	1,560.00	22.05
2	M	208.53	106.22	314.75	1,644.00	19.15
3	M	210.60	110.74	321.34	1,776.00	18.09
เฉลี่ย						19.76
1	H	46.70	119.78	166.48	768.00	21.68
2	H	27.16	106.22	133.38	720.00	18.53
3	H	41.10	128.82	169.92	852.00	19.94
เฉลี่ย						20.05
1	MH	168.85	241.82	410.67	1,992.00	20.62
2	MH	166.50	237.30	403.80	2,016.00	20.03
3	MH	183.51	259.90	443.41	2,052.00	21.61
เฉลี่ย						20.75

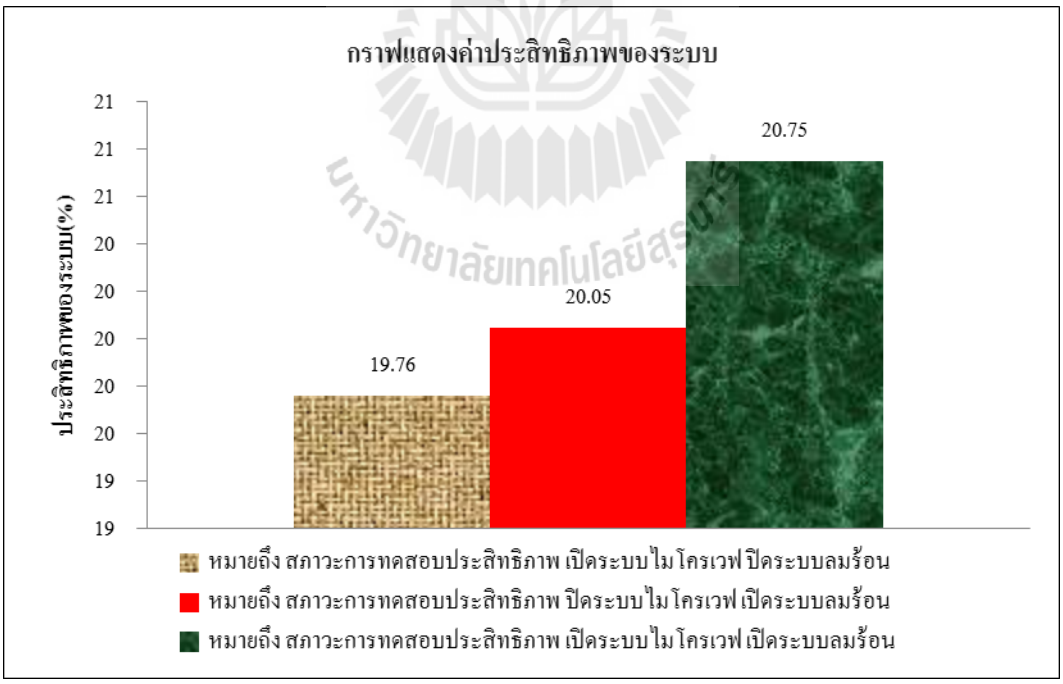
หมายเหตุ M หมายถึง สภาวะการทดสอบประสิทธิภาพ เปิดระบบไมโครเวฟ ปิดระบบลมร้อน

H หมายถึง สภาวะการทดสอบประสิทธิภาพ ปิดระบบไมโครเวฟ เปิดระบบลมร้อน

HM หมายถึง สภาวะการทดสอบประสิทธิภาพ เปิดระบบไมโครเวฟ เปิดระบบลมร้อน



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงค่าพลังงานของระบบ



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของระบบ

3) การทดสอบการรั่วไหลของคลื่น

ผลการทดสอบการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟสู่นอกห้องอบพบว่ามีการรั่วไหล เท่ากับ 5 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ที่ระยะ 4 เมตร ที่บริเวณทางเข้า-ออกของวัสดุ ส่วนบริเวณด้านข้างทั้ง 2 ด้าน มีการรั่วไหล เท่ากับ 5 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ที่ระยะ 2 เมตร ดังแสดงใน**รูปที่ 4.24** ซึ่งจากค่าการรั่วไหลดังกล่าวมีค่ามากกว่ามาตรฐานเตาอบไมโครเวฟขององค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (Microwave oven standard 21 CFR1030.10 USFDA) ซึ่งกำหนดระดับความเข้มของคลื่นไมโครเวฟรั่วจากผนังเตาที่ระยะห่าง 5 เซนติเมตร ต้องไม่เกิน 5 มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร ต้องมีการพัฒนาแก้ไขปรับปรุงต่อไป

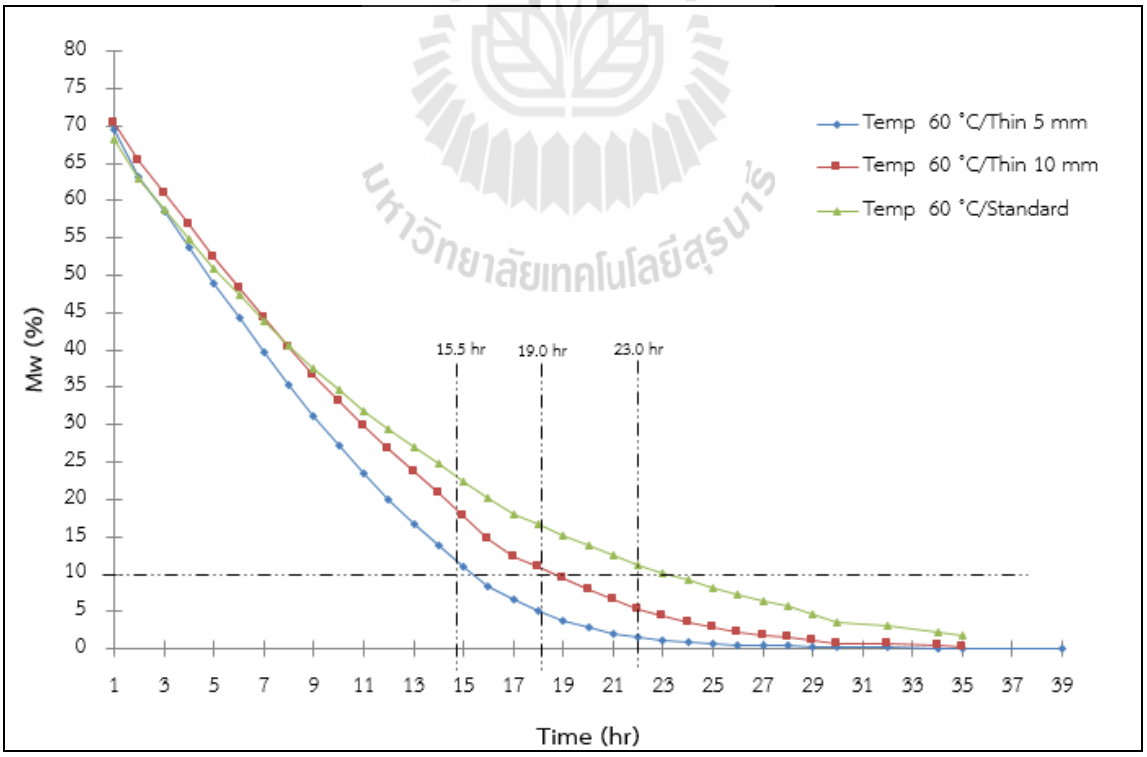
รูปที่ 4.24 การทดสอบการรั่วไหลของคลื่น

4.4 ผลการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งมันเส้น

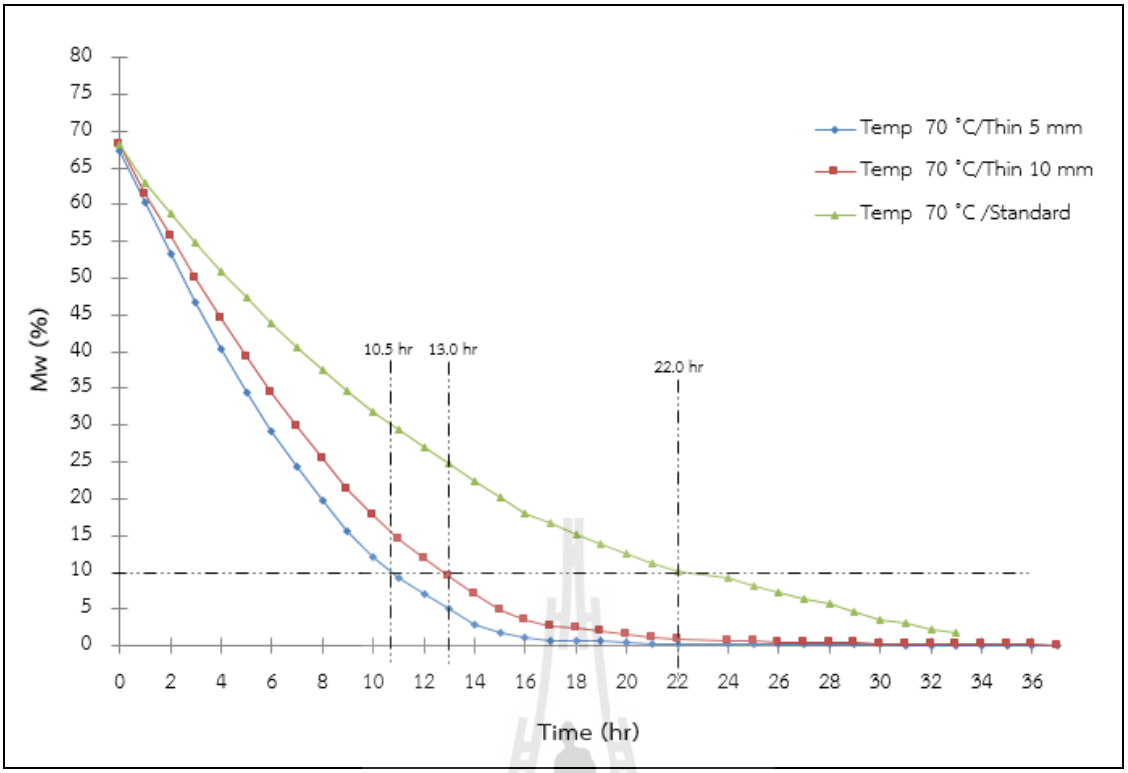
1) การอบแห้งมันเส้นด้วยตู้อบลมร้อน

จากการทดลองอบแห้งมันเส้น ที่ความหนาชิ้นมัน 5,10 มิลลิเมตร และมาตรฐานโรงงาน ที่อุณหภูมิ 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส ด้วยตู้อบลมร้อน พบว่า อัตราการอบแห้งมันเส้นที่ความหนาชิ้น 5 ,10 มิลลิเมตร และมาตรฐานโรงงาน โดยไม่วางชิ้นมันซ้อนทับกัน จะแปรผกผันกับอุณหภูมิ ดังแสดงใน**รูปที่ 4.25 ถึง 4.28** ดังนั้นถ้าอุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้นจะส่งผลให้การอบแห้งใช้เวลาน้อยลง แต่อย่างไรก็ดี อุณหภูมิที่สูงขึ้นนั้นยังส่งผลต่อคุณลักษณะทั่วไปของมันเส้นแห้ง ในกรณีนี้หากใช้อุณหภูมิเกิน 65 องศาเซลเซียส ลักษณะของมันเส้นแห้งจะเปลี่ยนแปลง ดังนี้ เนื้อมีสีขาวปนน้ำตาล สุก หดตัว และสัมผัสด้วยมือไม่ลื่น ซึ่งลักษณะดังกล่าวบ่งชี้ให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือเสียรูปของมันเส้น ดังแสดงใน**รูปที่ 4.29 ถึง 4.39**

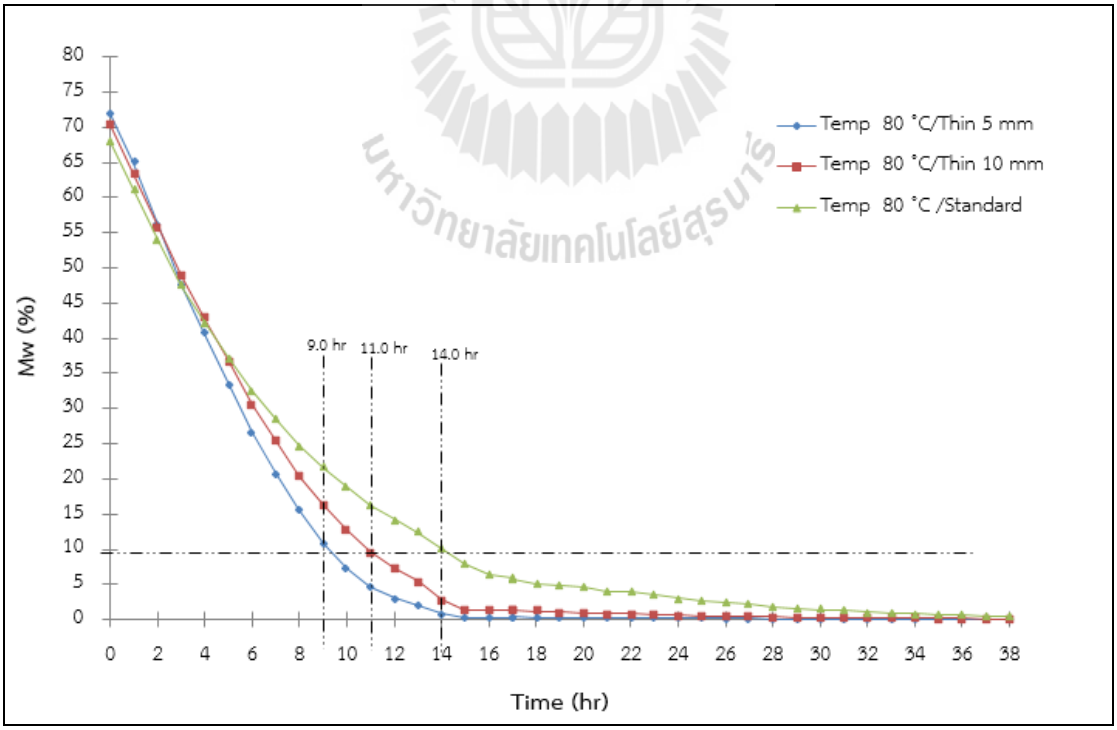
การอบแห้งมันเส้นด้วยตู้อบลมร้อน ที่ความหนาชิ้นมัน 5,10 มิลลิเมตร และมาตรฐานโรงงาน อุณหภูมิที่เหมาะสม เท่ากับ 65 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมินี้จึงนำไปใช้ในการกำหนดค่าอุณหภูมิสำหรับเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน โดยในกรณีนี้ ที่ความหนาชิ้นมัน 5 มิลลิเมตร ใช้เวลาอบแห้ง 10.5 - 15.5 ชั่วโมง ที่ความหนาชิ้นมัน 10 มิลลิเมตร ใช้เวลาอบแห้ง 13.0 - 19.0 ชั่วโมง และที่ความหนามาตรฐานโรงงานใช้เวลาอบแห้ง 22.0 - 23.0 ชั่วโมง



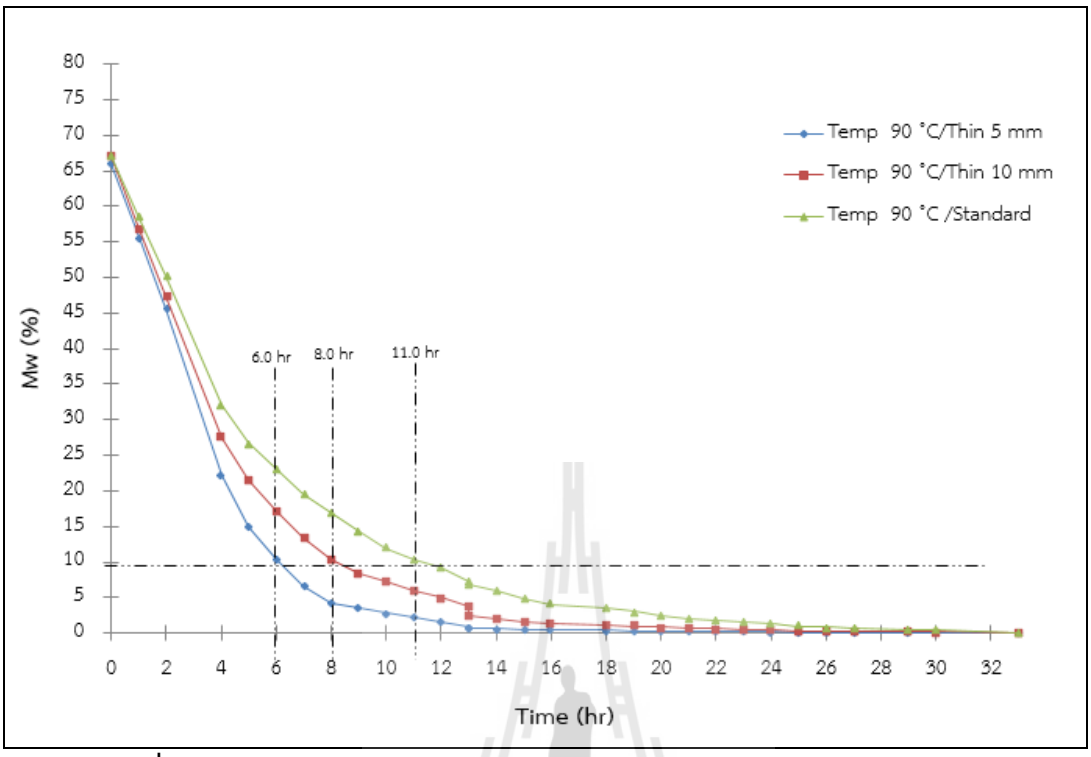
รูปที่ 4.25 อัตราการอบแห้งมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



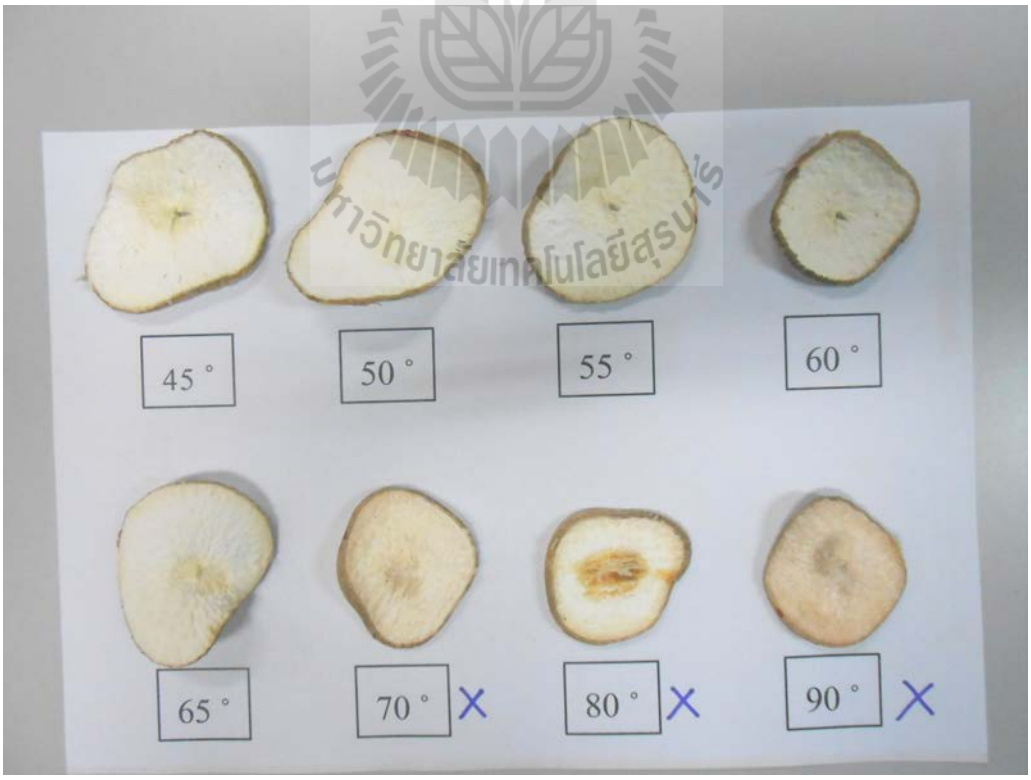
รูปที่ 4.26 อัตราการอบแห้งมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



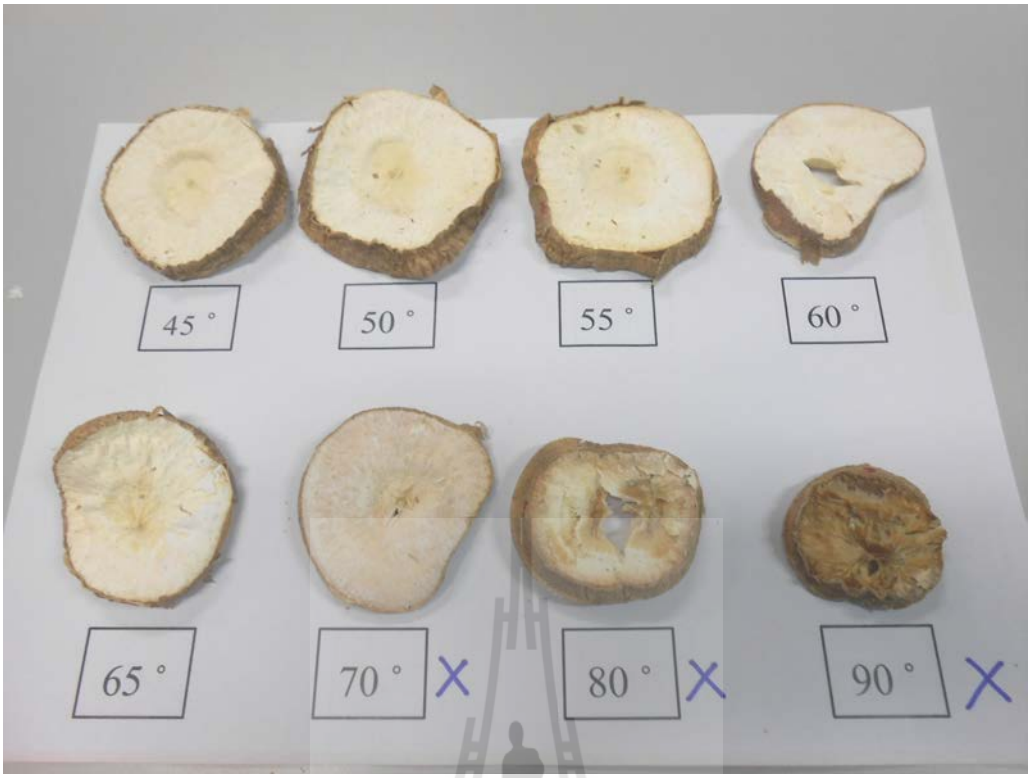
รูปที่ 4.27 อัตราการอบแห้งมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.28 อัตราการอบแห้งมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

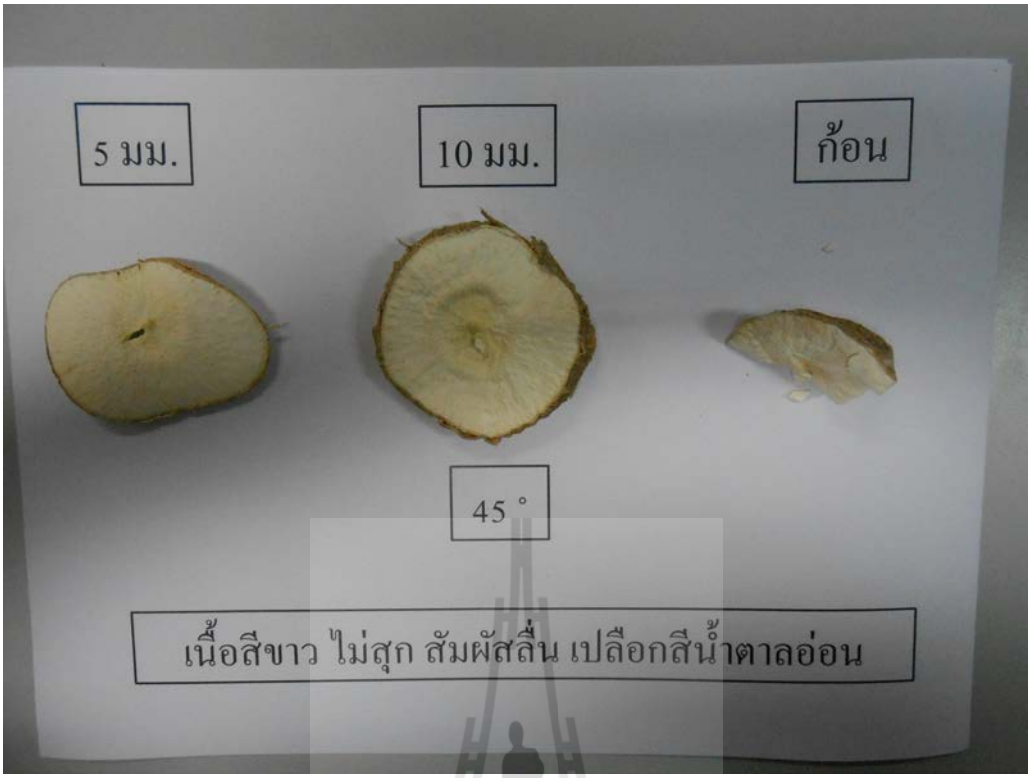


รูปที่ 4.29 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิต่างๆ ความหนาชิ้นมัน 5 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.30 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิต่างๆ ความหนาชิ้นมัน 10 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.31 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิต่างๆ ความหนามาตรฐานโรงงาน

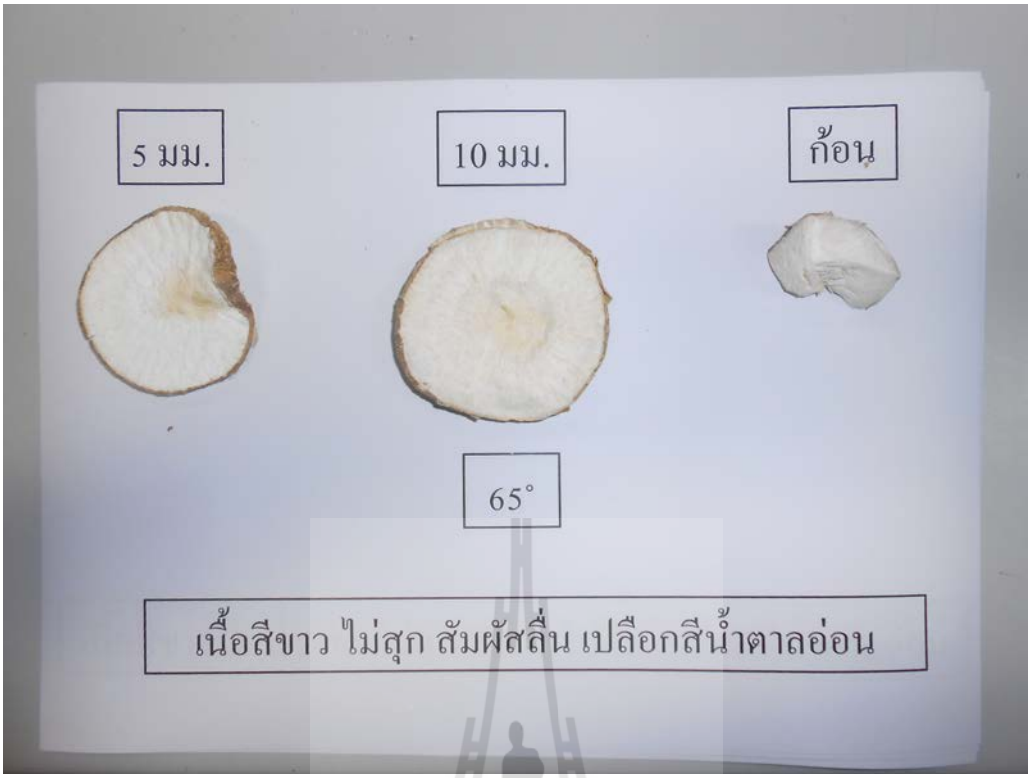


รูปที่ 4.32 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.33 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.34 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.35 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.36 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.37 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

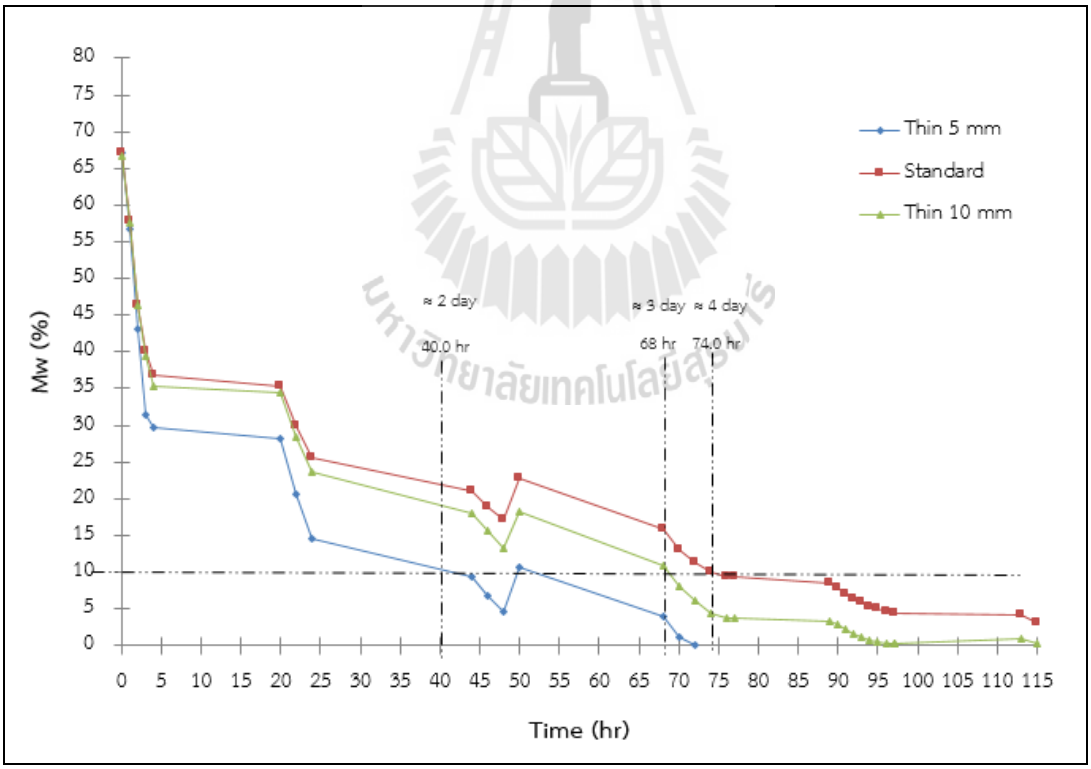
รูปที่ 4.38 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.39 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

2) การอบแห้งมันเส้นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

จากการทดลองตากมันเส้นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ความหนาชิ้นมัน 5,10 มิลลิเมตร และมาตรฐานโรงงาน ดังแสดงใน**รูปที่ 4.40** พบว่า ที่ความหนาชิ้นมัน 5 มิลลิเมตร ใช้เวลาในการลดความชื้น เริ่มต้น 67.1 เปอร์เซ็นต์ ให้ลดลงเหลือ 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาประมาณ 40 ชั่วโมง หรือประมาณ 2 วัน ส่วนที่ความหนา 10 มิลลิเมตร ใช้เวลาในการลดความชื้น เริ่มต้น 66.6 เปอร์เซ็นต์ ให้ลดลงเหลือ 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาประมาณ 68 ชั่วโมง หรือประมาณ 3 วัน และความหนาชิ้นมันมาตรฐานโรงงาน ใช้เวลาในการลดความชื้น เริ่มต้น 67.0 เปอร์เซ็นต์ ให้ลดลงเหลือ 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาประมาณ 74 ชั่วโมง หรือประมาณ 4 วัน ที่อุณภูมิเฉลี่ย 37.3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 38.6 เปอร์เซ็นต์ และค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย 744 วัตต์ต่อตารางเมตร

จากการสังเกตลักษณะทั่วไปของมันเส้นที่ผ่านการทำแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตาเปล่า พบว่า ผิวมีสีขาว ไม่สุก สัมผัสลื่นคลายแป้ง เปลือกเป็นสีน้ำตาล และไม่หด ดังแสดงใน**รูปที่ 4.41**



รูปที่ 4.40 อัตราการอบแห้งมันเส้น โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

รูปที่ 4.41 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3) การอบแห้งมันเส้นด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

การทดลองอบแห้งมันเส้นด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ที่อุณหภูมิห้องอบ 65 องศาเซลเซียส พบว่า ที่มันเส้นความหนาชิ้นมัน 5 มิลลิเมตร ความหนาชั้นอบแห้ง 2.5 เซนติเมตร ดังแสดงใน**รูปที่ 4.42** มีผลการทดลองดังนี้

รูปที่ 4.42 การทดลองอบแห้งมันเส้นด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

3.1) อัตราการอบแห้ง

จากการทดลองอบแห้งมันเส้นด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ที่อุณหภูมิห้องอบ 65 องศาเซลเซียส พบว่า ที่มันเส้นความหนาชิ้นมัน 5 มิลลิเมตร ความหนาชั้นอบแห้ง 2.5 เซนติเมตร ความชื้นเริ่มต้น 62.2 เปอร์เซ็นต์ ลดลงเหลือ 10 เปอร์เซ็นต์ ใช้ระยะเวลา 7.8 ชั่วโมง ที่มันเส้นความหนาชิ้นมัน 10 มิลลิเมตร ความหนาชั้นอบแห้ง 2.5 เซนติเมตร ความชื้นเริ่มต้น 64.7 เปอร์เซ็นต์ ลดลงเหลือ 10 เปอร์เซ็นต์ ใช้ระยะเวลา 7.6 ชั่วโมง และที่มันเส้นความหนามาตรฐานโรงงาน ความหนาชั้นอบแห้ง 2.5 เซนติเมตร ความชื้นเริ่มต้น 63.1 เปอร์เซ็นต์ ลดลงเหลือ 10 เปอร์เซ็นต์ ใช้ระยะเวลา 7.3 ชั่วโมง ดังแสดงใน**รูปที่ 4.43** มันเส้น

ความหนามาตรฐานโรงงานใช้เวลาการอบแห้งต่ำกรณีอื่นๆ เนื่องจากมีช่องวางในการถ่ายเทความร้อนมากกว่าที่ความหนาอื่นๆ การระบายน้ำออกจากชิ้นมันสำปะหลังจึงทำได้รวดเร็ว

3.2) พลังงานที่ใช้สำหรับระเหยน้ำในมันเส้นด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

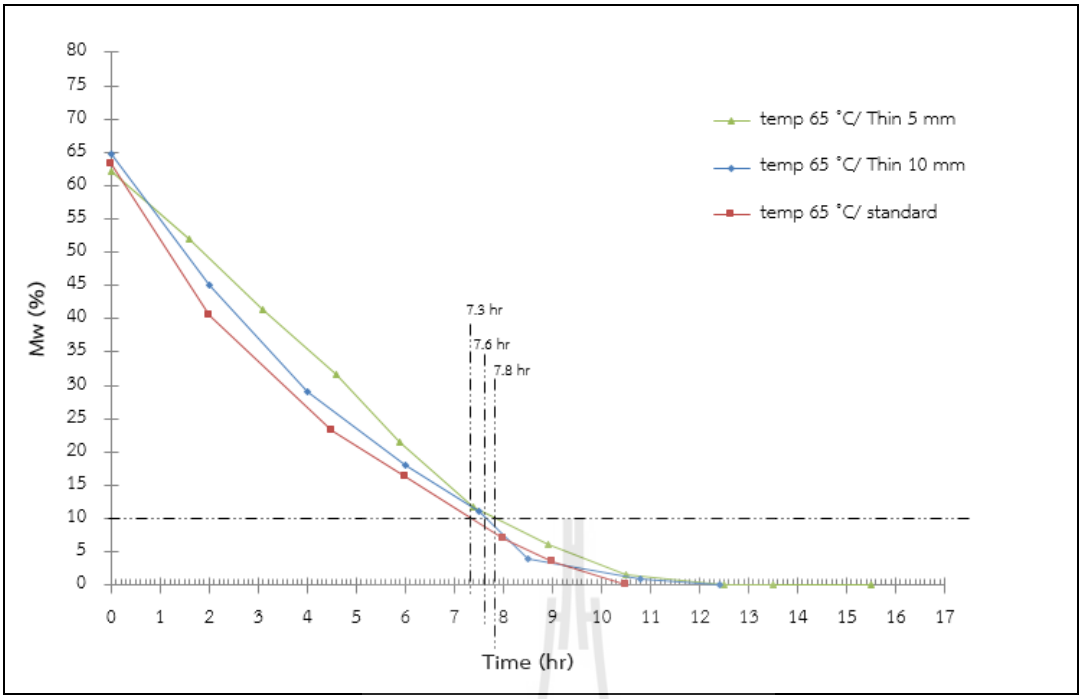
พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งมันเส้นด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ที่อุณหภูมิห้องอบ 65 องศาเซลเซียส พบว่า พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งมันเส้น โดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน กรณีที่มันเส้นความหนาชิ้นมัน 5 มิลลิเมตร ความหนาชั้นอบแห้ง 2.5 เซนติเมตร ความชื้นเริ่มต้น 62.2 เปอร์เซ็นต์ ลดลงเหลือ 10 เปอร์เซ็นต์ ใช้พลังงาน 21.1 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำ ที่มันเส้นความหนาชิ้นมัน 10 มิลลิเมตร ความหนาชั้นอบแห้ง 2.5 เซนติเมตร ความชื้นเริ่มต้น 64.7 เปอร์เซ็นต์ ลดลงเหลือ 10 เปอร์เซ็นต์ ใช้พลังงาน 33.5 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำ และที่มันเส้นความหนามาตรฐานโรงงาน ความหนาชั้นอบแห้ง 2.5 เซนติเมตร ความชื้นเริ่มต้น 63.1 เปอร์เซ็นต์ ลดลงเหลือ 10 เปอร์เซ็นต์ ใช้พลังงาน 32.8 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำ ดังแสดงใน**รูปที่ 4.44**

3.3) ต้นทุนพลังงานของมันเส้นอบเส้นด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

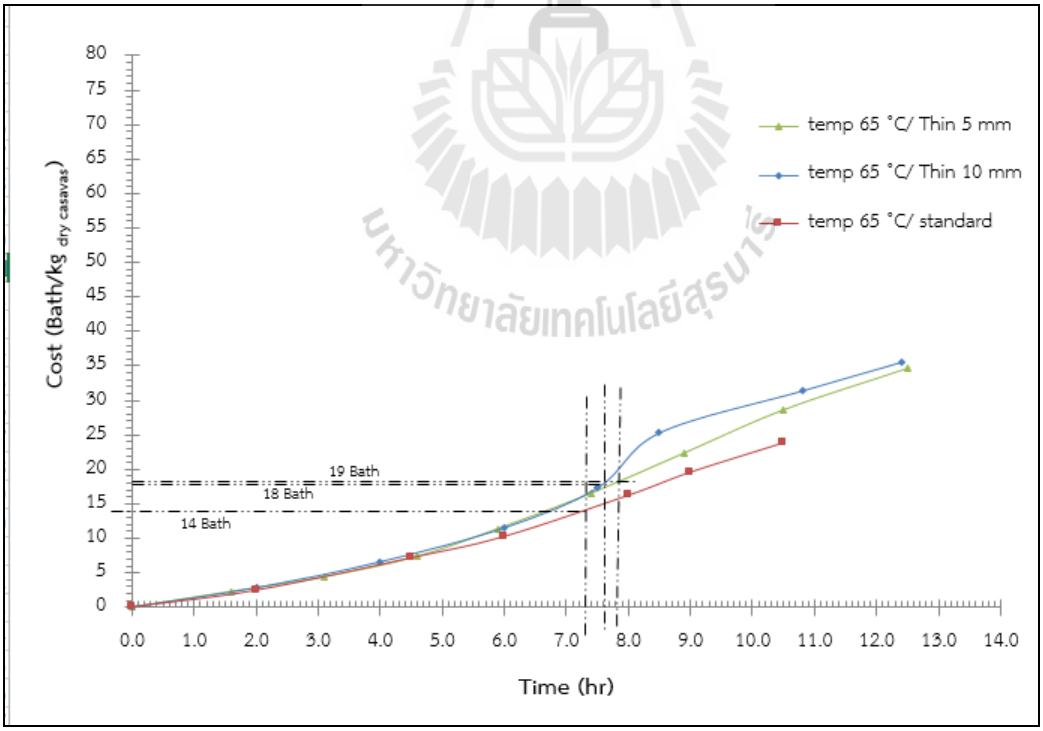
ต้นทุนการอบแห้งมันเส้นด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ที่อุณหภูมิห้องอบ 65 องศาเซลเซียส พบว่า ต้นทุนพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งมันเส้น โดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน กรณีที่มันเส้นความหนาชิ้นมัน 5 มิลลิเมตร ความหนาชั้นอบแห้ง 2.5 เซนติเมตร ความชื้นเริ่มต้น 62.2 เปอร์เซ็นต์ ลดลงเหลือ 10 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนพลังงาน 19 บาทต่อกิโลกรัมมันแห้ง ที่มันเส้นความหนาชิ้นมัน 10 มิลลิเมตร ความหนาชั้นอบแห้ง 2.5 เซนติเมตร ความชื้นเริ่มต้น 64.7 เปอร์เซ็นต์ ลดลงเหลือ 10 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนพลังงาน 18 บาทต่อกิโลกรัมมันแห้ง และที่มันเส้นความหนามาตรฐานโรงงาน ความหนาชั้นอบแห้ง 2.5 เซนติเมตร ความชื้นเริ่มต้น 63.1 เปอร์เซ็นต์ ลดลงเหลือ 10 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนพลังงาน 14 บาทต่อกิโลกรัมมันแห้ง ดังแสดงใน**รูปที่ 4.45**

3.4) คุณลักษณะทั่วไปของมันเส้นอบเส้นด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

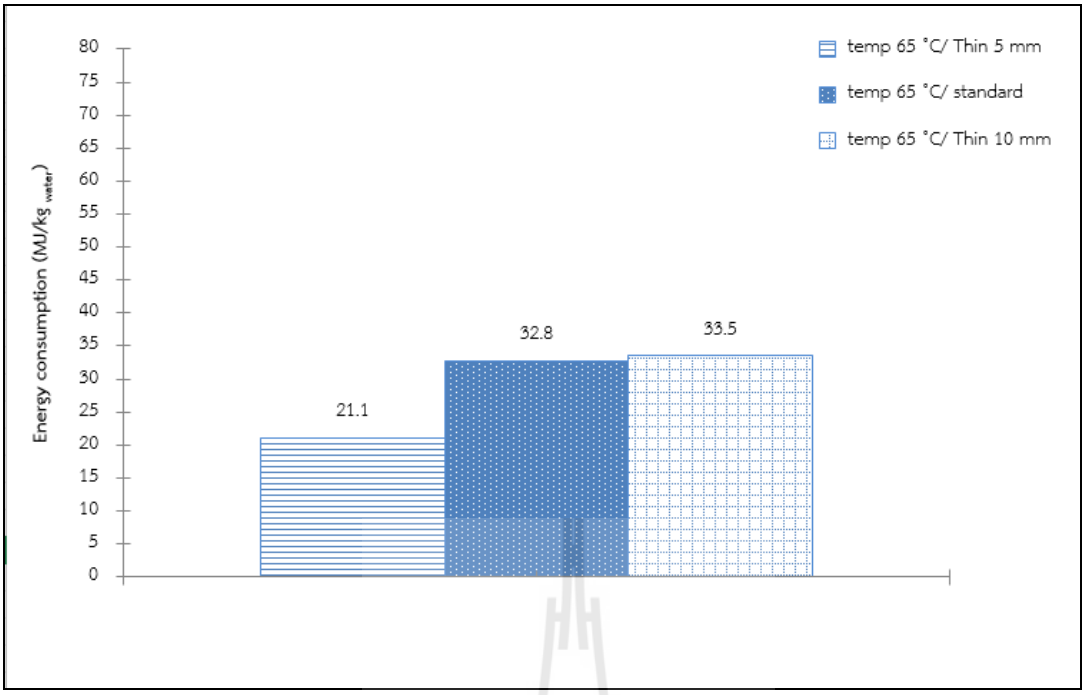
จากสังเกตมันเส้นที่ผ่านการอบแห้งมันเส้นด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ที่อุณหภูมิห้องอบ 65 องศาเซลเซียส ที่ความหนาชิ้นมัน 5,10 มิลลิเมตร และมาตรฐานโรงงาน และความหนาชั้นอบแห้ง 2.5 เซนติเมตร ด้วยตาเปล่า พบว่า ทั้ง 3 ความหนา ผิวของมันเส้นแห้งมีสีขาว ไม่สุก สัมผัสลื่นคลายแป้ง เปลือกมีสีน้ำตาล และไม่หดตัว ดังแสดงใน**รูปที่ 4.46 ถึง 4.48**



รูปที่ 4.43 อัตราการอบแห้งมันเส้น โดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน



รูปที่ 4.44 ต้นทุนพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งมันเส้น โดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน



รูปที่ 4.45 พลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำเพื่ออบแห้งมันเส้น โดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

รูปที่ 4.46 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ความหนาชิ้นมันมาตรฐานโรงงาน

รูปที่ 4.47 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ความหนาชิ้นมัน 10 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.48 ลักษณะทั่วไปของมันเส้น โดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ความหนาชิ้นมัน 5 มิลลิเมตร

4.5 ผลการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งปาล์มน้ำมัน

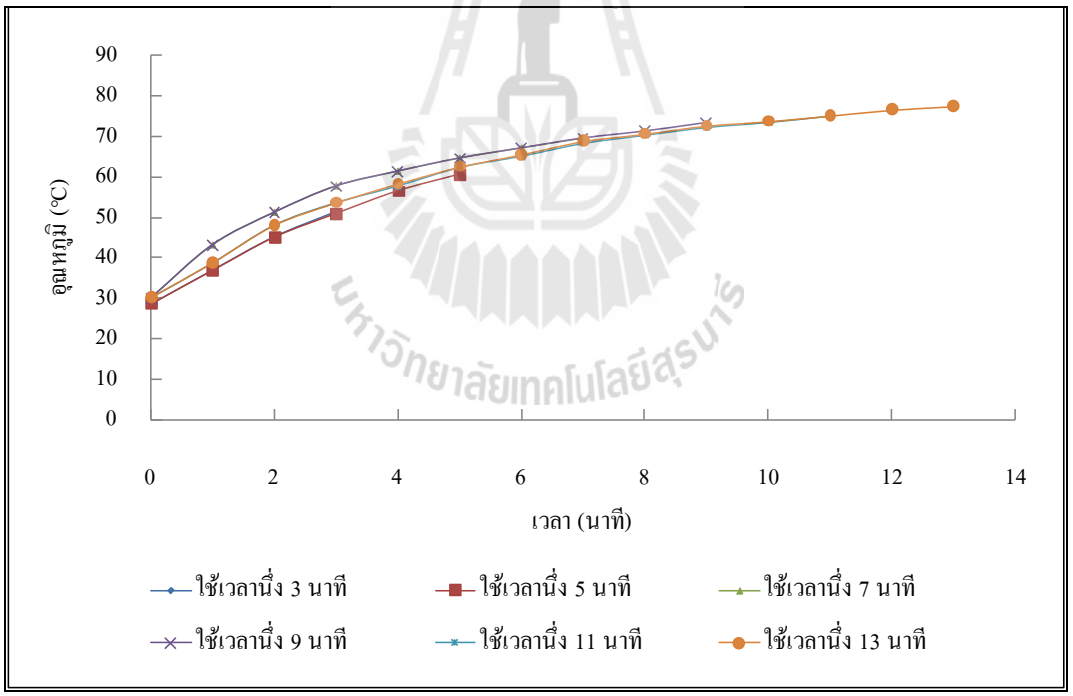
1) อุณหภูมิการนึ่ง

ลักษณะการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของการนึ่งภายในเตาอบไมโครเวฟนั้นเกิดจากแมกนีตรอนหรือแหล่งกำเนิดคลื่น ปล่อยคลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟ ผ่านเข้าไปในผลปาล์มน้ำมัน แล้วเกิดเป็นความร้อนขึ้น โดยเกิดจาก 2 กลไก ได้แก่ กลไกชนิดการเหนี่ยวนำเชิงไอออน กลไกนี้เริ่มขึ้นเมื่อประจุไอออน ซึ่งเกิดการแตกตัวในสารละลายถูกเร่งด้วยแรงของสนามไฟฟ้าที่กระทำ ซึ่งเคลื่อนที่โดยสนามไฟฟ้าในทิศทางตรงข้ามกับประจุที่มีอยู่แต่ละไอออน จากการเคลื่อนที่ดังกล่าวทำให้ไอออนชนกับโมเลกุลของน้ำที่ยังไม่เกิดการแตกตัวเป็นไอออนอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้พลังงานจลน์เพิ่มขึ้นและเป็นเหตุให้ไอออนเกิดความเร่ง ส่งผลเป็นลูกโซ่ต่อการชนของโมเลกุลอื่นๆ คล้ายกับการชนของลูกบิลเลียด เมื่อค่าประจุเปลี่ยนแปลงไอออนจึงมีความเร่งเพิ่มขึ้นในทิศทางตรงกันข้าม โดยเหตุการณ์ดังกล่าวจะเกิดด้วยอัตราความถี่สูงนับล้านครั้งต่อวินาที ทำให้มีการชนและถ่ายเทพลังงานเกิดขึ้นในระดับโมเลกุลอย่างมหาศาล ทำให้เกิดเป็นพลังงานความร้อนขึ้น ส่วนกลไกที่ทำให้เกิดความร้อนอีกกลไก คือ กลไกชนิดการหมุนของทั้งสองขั้ว สำหรับโมเลกุลหลายๆ ชนิด เช่น โมเลกุลน้ำที่มีคุณสมบัติเป็นสองขั้ว (Dipole) โดยธรรมชาติซึ่งหมายถึง โมเลกุลมีสมบัติของการกระจายความจุที่ไม่สมมาตร เมื่อเทียบกับจุดศูนย์กลางส่วนโมเลกุลของสสารชนิดอื่นก็จะเกิดความไม่สมมาตรได้หากเกิดการเหนี่ยวนำโดยสนามไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป ทั้งนี้เพราะสนามไฟฟ้าทำให้เกิดหน่วยแรงเค้นภายในโมเลกุล ขั้วทั้งสองจะได้รับอิทธิจากกลไกดังกล่าว ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงขั้วอย่างรวดเร็วตามสนามไฟฟ้าที่มากระทำ ทำให้เกิดเป็นพลังงานความร้อนขึ้น

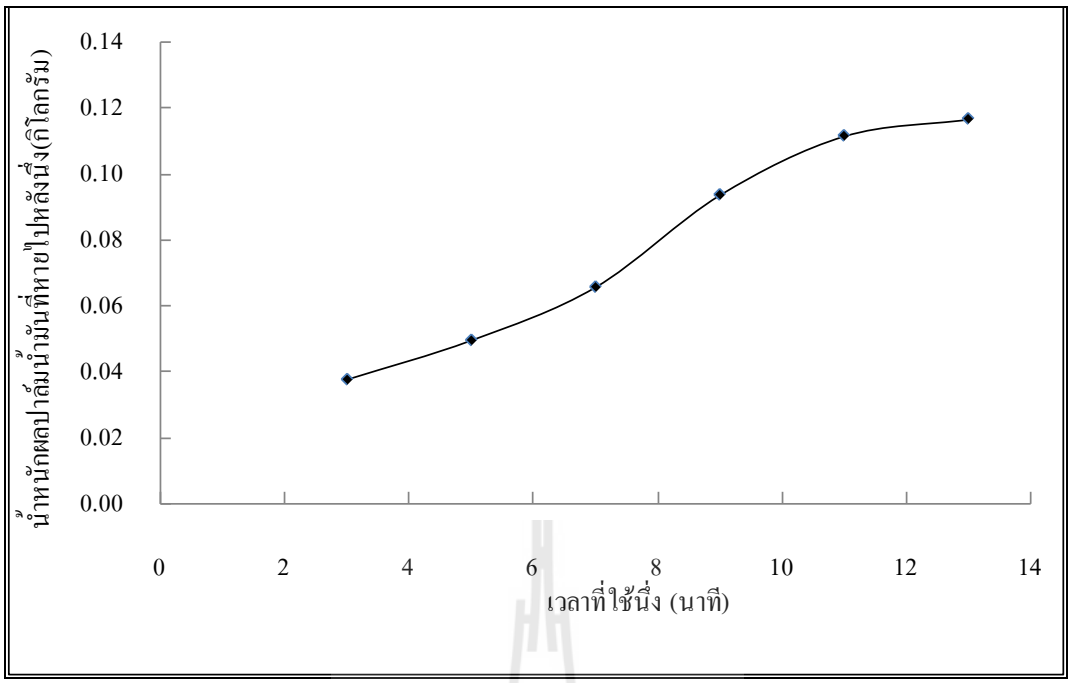
จากการศึกษาการนึ่งปาล์มน้ำมัน น้ำหนัก 0.5 กิโลกรัม ด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน โดยใช้เวลา 3, 5, 7, 9, 11 และ 13 นาที ดังแสดงใน **รูปที่ 4.49** พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กับเวลาในลักษณะแปรผันตรง โดยในช่วงเวลา 0 - 5 นาที มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น แต่หลังจากนั้นมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเกิดขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ดังแสดงใน **รูปที่ 4.50** เนื่องจากในช่วงเวลาแรกๆ น้ำและองค์ประกอบอื่นๆ ที่สามารถดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟภายในผลปาล์มน้ำมัน จะทำการดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟแล้วเกิดเป็นความร้อนระเหยกลายเป็นไอ หลังจากเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของน้ำและอื่น ๆ ที่สามารถดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟภายในผลปาล์มน้ำมันจะมีปริมาณลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับพลังงานลดลง การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจึงลดลงเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์น้ำหนักปาล์มที่หายไปหลังนึ่ง ดังแสดงใน **รูปที่ 4.50** ที่แสดงความ สัมพันธ์ของน้ำหนักปาล์มที่หายไปหลังนึ่งกับเวลาที่ใช้นึ่งในลักษณะแปรผันตรงเช่นเดียวกัน ดังรายละเอียดที่แสดงใน **ตารางที่** 4.3

ส่วนการนึ่งปาล์มน้ำมัน น้ำหนัก 11.2 กิโลกรัม ด้วยเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน โดยใช้เวลา 25 นาที ดังแสดงใน **รูปที่ 4.52** พบว่าอุณหภูมิสุดท้ายที่ผิวปาล์มน้ำมันเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส ใกล้เคียงกับเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน

รูปที่ 4.49 การนึ่งปาล์มน้ำมันด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน



รูปที่ 4.50 ลักษณะการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน



รูปที่ 4.51 น้ำหนักของผลปาล์มน้ำมันที่หายไปหลังนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน

รูปที่ 4.52 การทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งปาล์มน้ำมัน

ตารางที่ 4.3 น้ำหนักของผลปาล์มน้ำมันหลังนึ่ง

อุปกรณ์นึ่ง	เวลา (นาที)	น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	น้ำหนักหลังนึ่ง (กิโลกรัม)	น้ำหนัก ผลปาล์มน้ำมัน ที่หายไปหลังนึ่ง (กิโลกรัม)
เตาอบไมโครเวฟ แบบครัวเรือน	3	0.50	0.46	0.04
	5	0.50	0.45	0.05
	7	0.50	0.43	0.07
	9	0.50	0.41	0.09
	11	0.50	0.39	0.11
	13	0.50	0.38	0.12
เตาอบไมโครเวฟ แบบสายพาน	25	11.2	11.2	0.00
หม้อนึ่งความดัน	60	0.50	0.46	0.04

2) ผลการวิเคราะห์คุณภาพผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการนึ่งด้วยวิธีการต่าง ๆ

2.1) ปริมาณกรดไขมันอิสระ

ในการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระของผลปาล์มน้ำมันหลังผ่านการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนพบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระก่อนนึ่งมีค่า 20.98% และเมื่อนึ่งที่เวลา 3, 5, 7, 9, 11 และ 13 นาที แล้วทำการหีบน้ำมันตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงเหลือ 4.63, 2.15, 2.30, 2.54, 5.60 และ 2.81% ตามลำดับ หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมัน เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 48, 72 และ 96 ชั่วโมง พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันที่ตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง แต่ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการนึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 22.99, 25.04, 29.16 และ 31.20% เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งมีผลใกล้เคียงกับผลการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดัน ที่ปริมาณ กรดไขมันอิสระก่อนนึ่งมีค่า 20.98% และเมื่อทำการนึ่งที่เวลา 60 นาที อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสและความดัน 2.4 บาร์ แล้วทำการหีบน้ำมัน ตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 24 ,48, 72 และ 96 ชั่วโมง มีปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากับ 2.77, 3.83, 3.59 และ 3.85% ตามลำดับ ดังแสดงใน **ตารางที่ 4.4** ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย ของ Jiaxun et al. (1993) ที่ทำการอบรำข้าวด้วยไมโครเวฟ ที่มีความถี่ 2450 MHz โดยใช้เวลาในการอบ 3 นาที แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่ามีกรดไขมันอิสระ

เพิ่มขึ้นจาก 4.0% เป็น 4.9% ในรำข้าวที่ผ่านการอบ ในขณะที่รำข้าวที่ไม่ผ่านการอบมีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเป็น 68.3%

การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระของผลปาล์มน้ำมันหลังผ่านการนึ่งด้วย เตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนพบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระก่อนนึ่งมีค่า 20.13% และเมื่อทำการนึ่งที่เวลา 25 นาที แล้วทำการหีบน้ำมันตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงเหลือ 13.12 % ตามลำดับ และเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 72 และ 96 ชั่วโมง พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันที่ตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ดังแสดงใน **ตารางที่ 4.4**

ตารางที่ 4.4 ปริมาณกรดไขมันอิสระ

อุปกรณ์นึ่ง	เวลานึ่ง (นาที)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%)				
		ก่อนนึ่ง	หลังนึ่ง (ชั่วโมง)			
			24	48	72	96
เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน	ไม่นึ่ง	20.98	22.99	25.04	29.16	31.20
	3	20.98	4.63	4.56	4.34	4.55
	5	20.98	2.15	2.14	2.32	2.35
	7	20.98	2.30	2.52	2.51	2.49
	9	20.98	2.54	2.88	2.88	2.87
	11	20.98	5.60	3.46	2.73	2.8
	13	20.98	2.81	3.34	3.12	2.68
เตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน	ไม่นึ่ง	23.13	N/A	27.08	29.13	31.23
	25	23.13	N/A	13.12	13.00	13.89
หม้อนึ่งความดัน	60	20.98	2.77	3.83	3.59	3.85

2.2) ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้นในน้ำมันปาล์มมีความสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ในการนึ่งในลักษณะแปรผกผัน คือ เมื่อใช้เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนนึ่งผลปาล์มน้ำมันที่เวลา 3, 5, 7, 9, 11 และ 13 นาที ปริมาณความชื้นหลังนึ่งมีค่า 3.32, 3.10, 2.51, 2.98, 2.14 และ 0.47% ตามลำดับ จากความชื้นเริ่มต้นก่อนนึ่ง 6.68% ดังแสดงใน **ตารางที่ 4.5** เนื่องจากการนึ่งผลปาล์มน้ำมันด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนนั้น จะเกิดความร้อนขึ้นทำให้น้ำระเหยออกจากผลปาล์มน้ำมันและออกสู่ภายนอกห้องอบ ปริมาณน้ำที่อยู่ภายในผลปาล์มน้ำมันจึงลดลง ส่งผลให้ปริมาณความชื้นในน้ำมันลดลงเช่นเดียวกัน เมื่อใช้เวลาในการนึ่งเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่มีค่า

ความชื้นลดลงเมื่อเวลาการนึ่งเพิ่มขึ้น จากความชื้นเริ่มต้นของผลปาล์มน้ำมันก่อนนึ่ง 1.54 % เมื่อนึ่งที่เวลา 25 ปริมาณความชื้นหลังนึ่งมีค่าลดลงเหลือ 1.07 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปราการ กาญจนวดี และคณะ (2544) ที่ศึกษาการใช้เตาอบไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 850 วัตต์ เพื่ออบผลปาล์มน้ำมัน โดยใช้เวลาในการอบ 14 นาที พบว่าผลปาล์มน้ำมันจะเหลือความชื้นเพียง 4.07% จากเริ่ม 47.07% แต่ผลที่ได้จากการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟนั้นมีความแตกต่างจากการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันเพราะการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันจะใช้ไอน้ำผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการนึ่งจึงมีน้ำเป็นองค์ประกอบเพิ่มขึ้นความชื้นจึงสูงขึ้น

ตารางที่ 4.5 ปริมาณความชื้น

อุปกรณ์นึ่ง	เวลานึ่ง	ปริมาณความชื้น (%)	
	(นาที)	ก่อนนึ่ง	หลังนึ่ง
เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน	3	6.68	3.32
	5	6.68	3.10
	7	6.68	2.51
	9	6.68	2.98
	11	6.68	2.14
	13	6.68	0.47
เตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน	25	1.54	1.07
หม้อนึ่งความดัน	60	6.68	12.55

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.3) คุณภาพของผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟ

2.3.1) เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน

จากการพิจารณาและวิเคราะห์คุณภาพของผลปาล์มน้ำมันหลังการนึ่งโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนด้าน ความชื้น ความสุก อุณหภูมิสูงสุด และปริมาณกรดไขมันอิสระ ที่เกิดขึ้นของน้ำมันปาล์มพบว่าลักษณะของเนื้อผลปาล์มน้ำมันหลังการนึ่งมีความอ่อนนุ่มและหีบน้ำมันง่าย โดยใช้เวลานึ่งน้อยที่สุด 3 นาที ความชื้นลดลงเมื่อเวลานึ่งเพิ่มขึ้นโดยความชื้นต่ำสุดเหลือเพียง 0.47% (จากเริ่มต้น 6.68%) และอุณหภูมิสูงสุด 77 องศาเซลเซียส (สำหรับเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนวัดอุณหภูมิบริเวณผนังห้องอบ) ที่เวลานึ่ง 13 นาที หากพิจารณาปริมาณกรดไขมันอิสระจะพบว่าเวลานึ่ง 3 นาที สามารถทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงจาก 20.98% เป็น 4.56% โดยที่บริเวณผนังห้องอบมีอุณหภูมิ 57 องศาเซลเซียส ดังแสดงใน ตารางที่ 4.5 ปกติอุณหภูมิต่ำสุดในการนึ่งผลปาล์มน้ำมันที่สามารถยับยั้งการเกิดกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบได้ คือ 55 องศา

เซลเซียส (สภาอุตสาหกรรมจังหวัดกระบี่ และ บริษัท เอส.ที.อี.อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด, WWW, 2550)

2.3.2) เตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้นสามารถยืนยันได้ถึงความสามารถของการนำเตาอบไมโครเวฟมาใช้ในการนึ่งผลปาล์มน้ำมัน แต่อย่างไรก็ดีการนึ่งผลปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน มีขนาดเล็กไม่สามารถนำไปใช้งานได้จริง จึงได้ทำการทดลองกับเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับการนึ่งผลปาล์มน้ำมันปริมาณมาก

จากผลการทดลองนึ่งผลปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนพบว่าระยะ เวลาที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์มน้ำมันแล้วทำให้ผลปาล์มน้ำมันนุ่ม คือ 25 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่สามารถทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงเหลือ 13.12 % (จาก 23.23%) การนึ่งผลปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนจะใช้เวลาเพียง 25 นาที ในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระและยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลเปสได้ เนื่องจากอุณหภูมิขณะนึ่งประมาณ 70 องศาเซลเซียส (วัดอุณหภูมิบริเวณผลปาล์มน้ำมันขณะนึ่ง) ดังแสดงใน**รูปที่ 4.53 ถึง 4.54** ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิมาตรฐานที่ใช้ในการยับยั้งการเกิดกรดไขมันอิสระ แต่ปริมาณกรดไขมันอิสระที่ลดลงนั้นยังลดลงในปริมาณน้อยหากทำการนึ่งที่เวลาเพิ่มขึ้นจะสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระลงได้อีก ซึ่งปริมาณกรดไขมันอิสระที่ลดได้ยังสูงกว่าปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มดิบ ที่มาตรฐาน คือ 3% การลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบจะเกิดขึ้นในขั้นตอนต่อไปของกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม

รูปที่ 4.53 การหีบปาล์มน้ำมัน

รูปที่ 4.54 น้ำมันดิบ

2.4) ผลการวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ในการนึ่งปาล์ม

จาก**ตารางที่ 4.6** พบว่าพลังงานจำเพาะที่ใช้นึ่งผลปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนและเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมีค่า 1.52 และ 1.44 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมผลปาล์มน้ำมันสด ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการนึ่งผลปาล์มน้ำมันโดยใช้หม้อนึ่งไอน้ำที่มีอัตราการใช้ไอน้ำ 0.50 ตันไอน้ำต่อตันทะลายปาล์มน้ำมันสด หรือ 1357.28 เมกกะจูลเทอร์มัลต่อตันทะลายปาล์มสด ใช้เวลานึ่ง 60 นาที จะใช้พลังงานจำเพาะในการนึ่ง 1.36 กิโลจูลเทอร์มัลต่อกิโลกรัมทะลายปาล์มสดซึ่งจะเห็นว่าการใช้เตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนในการนึ่งผลปาล์มน้ำมันจะใช้พลังงานมากกว่าการนึ่งผลปาล์มน้ำมันโดยใช้หม้อนึ่งไอน้ำแต่เมื่อพิจารณาเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนพบว่าจะใช้พลังงานใกล้เคียงกันซึ่งอาจเป็นเพราะขนาดของเตาอบ(ห้องอบ) และลักษณะของการวางแมกนีตรอนทำให้ประสิทธิภาพของการนึ่งผลปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนไม่ดีเท่าที่ควร

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการนึ่ง

อุปกรณ์นึ่ง	เวลา (นาที)	ลักษณะผลปาล์มน้ำมันหลังนึ่ง	ความชื้น (%)	ความสุก	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	ปริมาณกรดไขมันอิสระหลังนึ่ง 48 ชั่วโมง (%)
เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน	ไม่นึ่ง	แข็ง	6.68	-	-	20.98
	3	อ่อน นุ่ม	3.32	สุก	57*	4.56
	5	อ่อน นุ่ม	3.10	สุก	60*	2.14
	7	อ่อน นุ่ม	2.51	สุก	69*	2.52
	9	อ่อน นุ่ม	2.98	สุก	73*	2.88
	11	อ่อน นุ่ม	2.14	สุก	75*	3.46
	13	อ่อน นุ่ม	0.47	สุก	77*	3.34
เตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	ไม่นึ่ง	แข็ง	1.54	-	-	23.13
	25	อ่อน นุ่ม	1.07	สุก	70**	13.12
หม้อนึ่งความดัน	ไม่นึ่ง	แข็ง	6.68	-	-	23.47
	60	อ่อน นุ่ม	12.55	สุก	120	3.83

หมายเหตุ: * วัดอุณหภูมิบริเวณผนังห้องอบด้านในขณะนึ่ง (เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน)

** วัดอุณหภูมิบริเวณผลปาล์มน้ำมันขณะนึ่ง (เตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานสำหรับนึ่งผลปาล์มน้ำมัน

อุปกรณ์นึ่ง	เวลา (นาที)	พลังงาน (W_e)	พลังงานที่ใช้ทั้งหมด (MJ_{th})	พลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัมผลปาล์มน้ำมันสด (MJ_{th}/1 kg ผลปาล์มน้ำมันสด)
เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน (น้ำหนักผลปาล์มน้ำมัน 0.5 kg)	3	1145	0.76	1.52
	5	1087	1.19	2.38
	7	1028	1.55	3.10
	9	1022	1.98	3.96
	11	1042	2.48	4.96
	13	1032	2.88	5.76
เตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน (น้ำหนักผลปาล์มน้ำมัน 11.2 kg)	25	3000	16.2	1.44
หม้อนึ่งความดัน* (น้ำหนักผลปาล์มน้ำมัน 1,000.0 kg)	60	-	1357.28**	1.36

หมายเหตุ: * กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, WWW, (2551)

** Specific enthalpy of steam (Total heat) ที่ Absolute pressure 2.4 bar Boiling point 126°C เท่ากับ 2714.55 kJ/kg

2.5) ผลการวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ในการนึ่งปาล์ม

2.5.1) ต้นทุนคงที่

ต้นแบบเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนราคา 158,550 บาท มีอายุการใช้งานประมาณ 10 ปี

2.5.2) ต้นทุนในการเดินระบบ

ระหว่างการใช้งานต้องมีการเปลี่ยนแมกนีตรอน เนื่องด้วยแมกนีตรอนมีอายุการใช้งานประมาณ 10,000 ชั่วโมง กำหนดให้เตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนทำงานวันละ 8 ชั่วโมงดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนแมกนีตรอนประมาณ 3 ครั้ง ครั้งละ 6 ตัว ตลอดอายุการใช้งาน แมกนีตรอนราคาตัวละ 450 บาท รวมเป็นค่าใช้จ่าย 8,100 บาท

2.5.3) ต้นทุนด้านพลังงาน

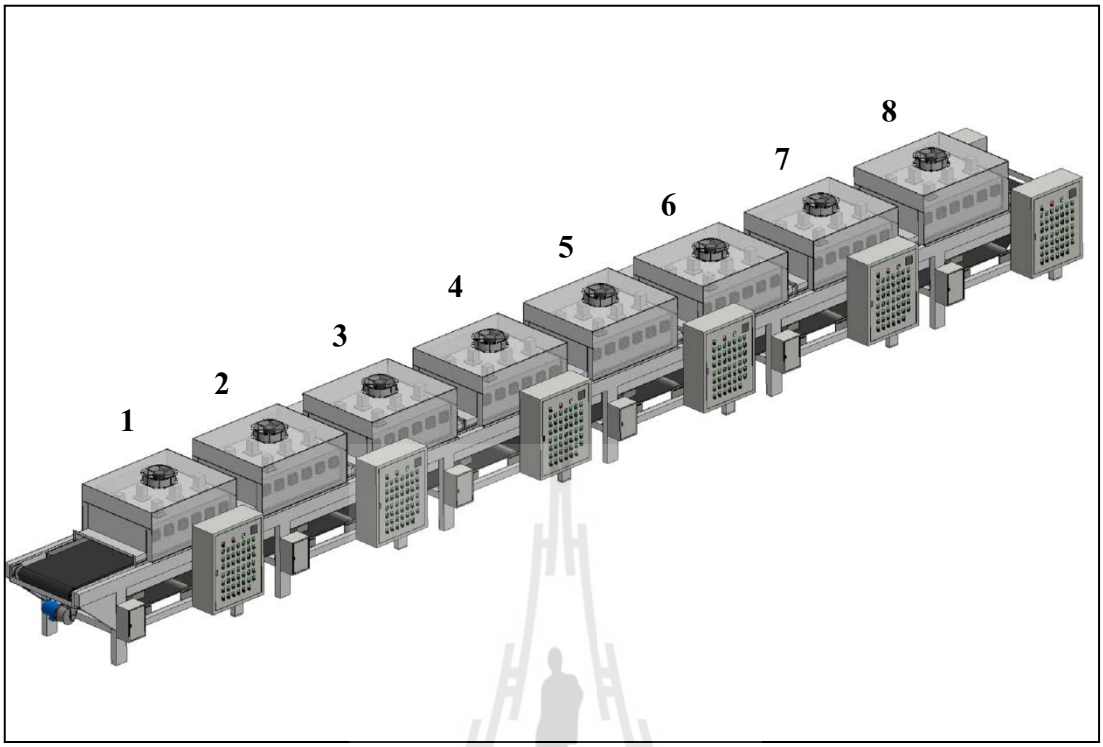
เตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมีอัตราการนึ่งเท่ากับ 22 กิโลกรัมผลปาล์มน้ำมันสดต่อชั่วโมง ใช้พลังงานไฟฟ้า 6000 วัตต์ หรือประมาณ 6 หน่วย โดย

คิดเป็นเงินทั้งสิ้น 18 บาท (ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 4 บาท) หรือเท่ากับ 0.82 บาทต่อกิโลกรัมผลปาล์มน้ำมันสด ซึ่งหากนำมาเปรียบเทียบกับการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดัน ที่มีอัตราการใช้ไอน้ำ (Specific steam consumption) อยู่ที่ 0.50 ตันไอน้ำต่อตันผลปาล์มน้ำมันสด โดยทั่วไปราคาต้นทุนด้านพลังงานที่ใช้ผลิตไอน้ำประมาณ 500 บาทต่อตันไอน้ำ ดังนั้นค่าพลังงานที่ใช้นึ่งผลปาล์มน้ำมันด้วยไอน้ำเท่ากับ 0.25 บาทต่อกิโลกรัมผลปาล์มน้ำมันสด หากนำต้นทุนของการนึ่งทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบกัน การนึ่งด้วย เตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนยังคงมีต้นทุนด้านพลังงานสูงกว่าการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันอย่างไรก็ดี หากเกษตรกรจะทำการนึ่งปาล์มน้ำมันโดยใช้ไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงอื่น ๆ เช่น น้ำมันเตาหรือ LPG จะมีต้นทุนผลิตไอน้ำประมาณ 850 และ 1,300 บาทต่อตันไอน้ำ ตามลำดับ ทำให้ต้นทุนนึ่งปาล์มน้ำมันสูงขึ้นเป็น 0.45 และ 0.65 บาทต่อกิโลกรัมผลปาล์มน้ำมันสด ตามลำดับ ซึ่งมีราคาสูงเทียบเคียงกับการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาในด้านอื่น ๆ ประกอบด้วย ของเสียและมลพิษที่เกิดขึ้นพบว่าการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนไม่มีของเสียออกจากระบบทำให้ไม่ต้องมีค่าใช้จ่ายในส่วนนี้แตกต่างกับการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันที่มีน้ำเสียออกจากระบบซึ่งต้องมีการเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น

4.6 แนวทางการพัฒนาสู่เชิงพาณิชย์

1) ลักษณะเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนร่วมกับลมร้อนเชิงพาณิชย์

ต้นแบบเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนร่วมกับลมร้อนของงานวิจัยนี้ ออกแบบมาเพื่อให้สามารถนำไปใช้ได้จริงในเชิงพาณิชย์ โดยนำแบบจากต้นแบบฯ จำนวน 8 ชุด ต่อเข้าด้วยกัน และใช้สายพานชุดเดียว ยาว 10 เมตร แบ่งระบบควบคุม เป็นอิสระต่อกัน ดังแสดงใน**รูปที่ 4.55**



รูปที่ 4.55 ลักษณะเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนร่วมกับลมร้อนเชิงพาณิชย์

2) ต้นทุนสร้างเครื่องเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนร่วมกับลมร้อนเชิงพาณิชย์

การสร้างเครื่องเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนร่วมกับลมร้อนเชิงพาณิชย์นั้น ประกอบด้วยชุดเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนร่วมกับลมร้อนที่ปรับปรุงขึ้นนี้ จำนวน 8 ชุด ยกเว้น ระบบสายพานใช้เพียงเส้นเดียว ยาว 10 เมตร ดังนั้นจึงมีต้นทุนสร้างเครื่องเท่ากับ 1,268,400 บาท รายละเอียดแสดงใน**ตารางที่ 4.8**

ตารางที่ 4.8 ต้นทุนเครื่องเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนร่วมกับลมร้อนระดับพาณิชย์

ลำดับ	รายการ	หน่วย	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	รวมค่าอุปกรณ์	ค่าแรงติดตั้ง	รวมทั้งหมด
1	ระบบควบคุม						
	-อุปกรณ์	ชุด	8.00	25,000.00	200,000.00	5,000.00	205,000.00
	- โปรแกรม	โปรแกรม	1.00			10,000.00	10,000.00
2	ชุดกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ						
	- ชุดกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ	ชุด	48.00	2,500.00	120,000.00	10,000.00	130,000.00
	- ตู้	ตู้	16.00	2,000.00	32,000.00	1,000.00	33,000.00
	- สายไฟทนแรงดันสูง	เมตร	160.00	100.00	16,000.00	-	16,000.00
3	ชุดกำเนิดลมร้อน	ชุด	8.00	30,000.00	240,000.00	-	240,000.00
4	ฐานรองและห้องอบ	ชุด	8.00	60,000.00	480,000.00	20,000.00	500,000.00
5	สายพาน(รวมมอเตอร์)	ชุด	1.00	120,000.00	120,000.00	-	120,000.00
6	ระบบพัดลมระบายความชื้น	ตัว	96.00	150.00	14,400.00	-	14,400.00
	รวมทั้งหมด				**1,222,400.00**	**46,000.00**	**1,268,400.00**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุป ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

5.1.1 ลักษณะต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

ต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนของงานวิจัยนี้ ประกอบไปด้วยส่วนที่สำคัญต่างๆ ได้แก่ ระบบควบคุม ระบบพัดลมระบายความชื้น ระบบกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ พัดลมระบายความร้อนแมกนีตรอน ผนังห้องอบ ทางเข้า-ออกวัตถุดิบ ระบบสายพาน ระบบกำเนิดลมร้อน และฐาน

ห้องอบมีขนาดความจุ 210 ลิตร หรือขนาดกว้าง 70 เซนติเมตร ยาว 100 เซนติเมตร และ สูง 30 เซนติเมตร ผนังของห้องอบประกอบด้วย ท่อนำคลื่นไมโครเวฟ (ด้านบน) ทางเข้า-ออกวัตถุดิบ (ด้านหน้าและหลัง) ระบบระบายความชื้น (ด้านข้าง 2 ด้าน) และทางเข้า-ออกลมร้อน (ด้านล่าง)

การออกแบบระยะการติดตั้งแมกนีตรอนและท่อนำคลื่นบนผนังห้องอบ ใช้ระยะการกระจายตัวของคลื่นกว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร ดังนั้นจึงใช้แมกนีตรอน 6 ตัว แต่ละตัวแผ่คลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟ 2450 MHz กำลัง 1200 วัตต์ ด้านบนของผนังห้องอบ มีอุปกรณ์สำหรับลดอุณหภูมิให้กับแมกนีตรอน คือ พัดลมระบายความร้อน โดยติดตั้งพัดลมลมระบายความร้อน 2 ตำแหน่ง ดังนี้ ตำแหน่งที่ 1 บริเวณด้านบนของผนังห้องอบภายนอก 1 ตัว ความเร็วลม 3.7 เมตรต่อวินาที กำลังไฟฟ้า 60 วัตต์ เป็นพัดดูดอากาศเย็นจากภายนอกแล้วปล่อยเข้าไปในห้องแมกนีตรอน และตำแหน่งที่ 2 บริเวณติดกับหัวแมกนีตรอน ทั้ง 6 ตัว พัดลมแต่ละตัว มีความเร็วลม 3.6 เมตรต่อวินาที กำลังไฟฟ้า 1.7 วัตต์ เป็นพัดลมดูดลมอากาศเย็นแล้วปล่อยผ่านครีบระบายความร้อนของแมกนีตรอนแต่ละตัว พัดลมระบายความร้อนทั้ง 2 ตำแหน่งเปิด-ปิด ตามการทำงานของแมกนีตรอน

ทางเข้า-ออก วัตถุดิบมีขนาด กว้าง 70 เซนติเมตร สูง 7 เซนติเมตร มีลักษณะเป็นอุโมงค์ลึก 10 เซนติเมตร มีประตูเปิด-ปิด ระหว่างห้องอบกับอุโมงค์ ประตูเปิดได้ 2 ด้าน ทั้งจากด้านในและด้านนอก ด้วยถาดบรรจุวัตถุดิบ ภายในห้องอบมีระบบระบายความชื้นด้วยพัดลมดูดความชื้นจำนวน 12 ตัว ติดตั้งไว้ด้านข้าง สูงจากพื้นห้องอบ 16 เซนติเมตร แต่ละตัวมีความเร็วลม 3.1 เมตรต่อวินาที กำลังไฟฟ้า 0.08 วัตต์ ทำหน้าที่ดูดความชื้นจากห้องอบปล่อยสู่ภายนอก โดยกำหนดให้พัดลมดูดความชื้นเปิดระบบทำงานที่ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องอบมีค่ามากกว่าภายนอกห้องอบ ภายในห้องอบด้านล่าง มีทางเข้าลมร้อนอยู่ด้านข้างมีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง 4 เซนติเมตร ยาว 100 เซนติเมตร และทางออกเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ระบบลมร้อนหมุนวน ผนังของ

ห้องอบภายใน ทำจากวัสดุสแตนเสนสตีล เกรด 304 ส่วนผนังห้องอบด้านนอกใช้วัสดุตะแกรงเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู 2 มิลลิเมตร มีความหนาหนา 3 มิลลิเมตร และฐานใช้เหล็กเป็นโครงสร้าง

สายพานสำเร็จรูป มีลักษณะเป็นตะแกรงลวด พื้นที่ใช้งานทั้งหมดกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 180 เซนติเมตร พื้นที่ใช้งานภายในห้องอบ กว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 100 เมตร ขนาดมอเตอร์ 0.21 กิโลวัตต์ ควบคุมความเร็วด้วยเกียร์ทด ถ่ายทอดกำลังจากมอเตอร์ขับสายพานด้วยโซ่

ชุดผลิตลมร้อนที่ใช้ในงานนี้มีขนาด 5,000 วัตต์ อุณหภูมิสูงสุด 180 องศาเซลเซียส เป็นระบบผลิตลมร้อนแบบหมุนวน ควบคุมการเปิดปิดด้วยอุณหภูมิภายในห้องอบ ความเร็วลมร้อนเท่ากับ 1.21 เมตรต่อวินาที

ระบบควบคุม แบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การควบคุมการทำงานของแมกนีตรอน ส่วนที่ 2 การควบคุมระบบการทำงานอุปกรณ์อื่น ๆ แบบปรับมือ และส่วนที่ 3 การควบคุมระบบการทำงานอุปกรณ์อื่นๆ แบบอัตโนมัติ

5.1.2 การทดสอบการทดสอบการทำงานของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

การทดสอบการกระจายตัวของคลื่น พบว่า การเปิดแมกนีตรอน ปิดระบบลมร้อน ปิดระบบดูดความชื้น และปิดระบบสายพาน ระยะเวลา 3 4 และ 5 นาที ให้การกระจายตัวของสม่ำเสมอ 80 90 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การทดสอบประสิทธิภาพเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ปรับปรุงขึ้น 3 สภาวะการทดสอบ พบว่า ในสภาวะการทดสอบประสิทธิภาพ กรณี เปิดระบบไมโครเวฟ และปิดระบบลมร้อน ระบบมีประสิทธิภาพ เท่ากับ 19.76 เปอร์เซ็นต์ สภาวะการทดสอบประสิทธิภาพ กรณี ปิดระบบไมโครเวฟ และเปิดระบบลมร้อน ระบบมีประสิทธิภาพ เท่ากับ 20.05 เปอร์เซ็นต์ และสภาวะการทดสอบประสิทธิภาพ กรณีเปิดระบบไมโครเวฟและเปิดระบบลมร้อน ระบบมีประสิทธิภาพ ท่ากับ 20.75 เปอร์เซ็นต์ (ทั้ง 3 สภาวะ ปิดพัดลมระบายความชื้น)

การทดสอบการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟสู่นอกห้องอบ พบ ว่ามีการรั่วไหล เท่ากับ 5 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ระยะ 4 เมตร ที่บริเวณทางเข้า-ออกของวัสดุ ส่วนบริเวณด้านข้างทั้ง 2 ด้าน มีการรั่วไหล เท่ากับ 5 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ระยะ 2 เมตร

5.1.3 การทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งมันเส้น

จากการทดลองอบแห้งมันเส้น ที่ความหนาชิ้น 5 ,10 มิลลิเมตร และมาตรฐานโรงงาน ด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ที่อุณหภูมิห้องอบ 65 องศาเซลเซียส ใช้เวลาการอบแห้ง 7.8, 7.6 และ 7.3 ชั่วโมง ตามลำดับ

พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งมันเส้นด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ที่อุณหภูมิห้องอบ 65 องศาเซลเซียส ที่มันเส้นความหนาชิ้นมัน 5 10 มิลลิเมตร และและมาตรฐานโรงงาน ความหนาชั้นอบแห้ง 2.5 เซนติเมตร ใช้พลังงาน 21.1, 33.5 และ 32.8 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำตามลำดับ

ต้นทุนพลังงานของมันเส้นอบเส้นด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ที่อุณหภูมิห้องอบ 65 องศาเซลเซียส ที่มันเส้นความหนาชิ้นมัน 5 10 มิลลิเมตร และและมาตรฐานโรงงาน ความหนาชั้นอบแห้ง 2.5 เซนติเมตร มีต้นทุนพลังงาน 19, 18 และ 14 บาทต่อกิโลกรัมมันแห้งตามลำดับ

มันเส้นที่ผ่านการอบแห้งมันเส้นด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ที่อุณหภูมิห้องอบ 65 องศาเซลเซียส ที่ความหนาชิ้นมัน 5,10 มิลลิเมตร และมาตรฐานโรงงาน และความหนาชั้นอบแห้ง 2.5 เซนติเมตร มีลักษณะผิวของมันเส้นแห้งมีสีขาว ไม่สุก สัมผัสลื่นคลายแป้ง เปลือกมีสีน้ำตาล และไม่หดตัว

5.1.4 การทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งปาล์ม

การนึ่งผลปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนพบว่าระยะ เวลาที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์มน้ำมันแล้วทำให้ผลปาล์มน้ำมันนุ่ม คือ 25 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่สามารถทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงเหลือ 13.12 % (จาก 23.23%) การนึ่งผลปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนจะใช้เวลาเพียง 25 นาที ในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระและยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลเปสได้

พลังงานจำเพาะที่ใช้นึ่งผลปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมีค่า 1.44 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมผลปาล์มน้ำมันสด มีต้นทุนพลังงาน 0.82 บาทต่อกิโลกรัมผลปาล์มน้ำมันสด

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนาเตาอบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนของงานวิจัยนี้มีส่วนที่ยังไม่สามารถแก้ปัญหาได้ ในด้านการรั่วไหลของคลื่น ซึ่งเกิดขึ้นบริเวณทางเข้า ออก วัสดุ ในแนวทางการแก้ปัญหา คือ ปรับปรุงทางเข้า-ออก ให้เป็นประตู 2 ชั้น และเพิ่มกลไกลลดการรั่วของคลื่น

ต้นแบบฯ ของงานวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาใช้ได้จริงในเชิงพานิชย์ เพื่อแก้ปัญหาการอบแห้งในฤดูฝนได้ นอกจากนี้ต้นแบบฯ ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการอบแห้งวัสดุอื่น ๆ เช่น ปลาแดดเดียว เนื้อแดดเดียว กากมันสำปะหลัง มันเส้น สมุนไพร วัสดุอื่น ๆ ที่ต้องการทำแห้ง โดยปราศจากสิ่งปนเปื้อน ทั้งนี้ก่อนนำไปประยุกต์ใช้ต้องศึกษาต้นทุนความคุ้มค่าต่อการลงทุนก่อนเนื่องจากต้นแบบฯ นี้ใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีต้นทุนในด้านพลังงานค่อนข้างสูง ดังนั้น ต้นแบบ ฯ นี้จึงเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2551). Process น้ำมันปาล์ม [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www2.dede.go.th/Wboard/Question.asp.

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2551). ปาล์มน้ำมัน [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.doae.go.th/plant/palm.htm.

จันทรา ดิษฐนา. (2549). การทำแห้งดอกกุหลาบด้วยระบบปั๊มความร้อนและสุญญากาศ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

จันทร์สม แก้วอุดร. (2546). การทำให้รำข้าวมีความคงตัวด้วยเตาอบไมโครเวฟ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์อาหาร) ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จันทร์สม แก้วอุดร. (2546). อ้างถึงใน ปราการ กาญจนวดี และ ธีระพงศ์ จันทรนิยม. (2544). หน้า 18.การทำให้รำข้าวมีความคงตัวด้วยเตาอบไมโครเวฟ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์อาหาร) ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จันทร์สม แก้วอุดร. (2546). อ้างถึงใน Ramezadeh, F.M., R.M.Rao, M. Windhuaser, R.T. Tulley, W.prinyawiwa tkul and W.E.Marshall. (1999). หน้า 14. การทำให้รำข้าวมีความคงตัวด้วยเตาอบไมโครเวฟ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์อาหาร) ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทนงศักดิ์ วัฒนา. (2554). การอบแห้งและการประยุกต์ใช้งานเครื่องอบแห้งด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ , http://www.thailandindustry.com/guru/view.php? Id=13208&section=9

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์. (2546). คู่มือน้ำมันปาล์มและการจัดการสวน. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เทวรัตน์ ทิพยวิมล. (2551). การพัฒนาเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนร่วมกับไมโครเวฟเพื่ออบแห้งสมุนไพร. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก วิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นคร สาระคุณ. (2545). การจัดการการผลิตปาล์มน้ำมัน. เอกสารการสอน ชุดวิชา การจัดการการผลิตพืชไร่อุตสาหกรรม สาขาส่งเสริมการเกษตรและสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

นาริสา บินหะยีดิง ปิยาภรณ์ ภาษิตกุล และวิภา พลันสังเกต.(2553).อิทธิพลของสารกับการเปลี่ยนแปลงสีของพริกชี้ฟ้าแห้ง. The 36th Congress on Science and Technology of Thailand. 26 - 28 ตุลาคม 2553. ณ กรุงเทพ มหานคร.

ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช. (2551). พื้นฐานการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

พรชัย เหลืองอาภาพงศ์. (2549). คัมภีร์ปาล์มน้ำมัน พืชเศรษฐกิจเพื่อบริโภคและอุปโภค. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มติชน.

บัญญัติ นิยมวาส. (2544). การพัฒนาระบบอบแห้งผลปาล์มน้ำมัน. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

มยุรี ปฏิมาพรเทพ. (2546). ชุดวัดความชื้นในเตาอบไมโครเวฟสำหรับอุตสาหกรรมเกษตร. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชามาตรวิทยาทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สมบัติ ขอวิวัฒนา. (2529). กรรมวิธีการอบแห้ง.ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 284 น.

สัณห์ชัย กลิ่นพิกุล. (2551). โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้กระบวนการทอดผลปาล์มภายใต้สภาพสุญญากาศ [ออนไลน์]. ได้จาก:http://www.biodiesel.eng.psu.ac.th.

สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน,เล่มที่ ๑๙ / เรื่องที่ ๓ การถนอมผลิตผลการเกษตร /

สาวิตรี คำหอม. (2549). การศึกษาการประยุกต์เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

เหมการ์ จินดาวัฒนภูมิ. (2545). การศึกษาแบบจำลองการทำแห้งระบบสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟกับพริกไทย. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. (2551). กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม [ออนไลน์]. ได้จาก: http://it.doa.go.th/palm/breed.html.

อิบรอเฮม ยีดำ. (2551). ปาล์มน้ำมัน [ออนไลน์]. ได้จาก:http://Plant Science/510-211/lecturenote/slidePPT/oilpalm.ppt.

Chow MC and Ma AN. (2007). Processing of fresh palm fruits using microwaves[On-line]. Available:http://www.nlm.nih.gov/sites/entrez

D.Firestone. (1999). Official methods and recommended practices of the American oil chemists society. American Oil Chemists Society Method Ca 5a-40.

http://t1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSCyj202_DTU_D6j9nBcOnK5a2zlhCl5BmmS07usATzU-XDSv-

http://www.bloggang.com/data/lamaii/picture/1195989431.jpg

http://www.phitsanulokhotnews.com/wp-content/media/2011/11/DSC03360-1.jpg

http://www.rmutphysics.com/charud/oldnews/270/pic1/prik04.jpg

http://www.thaikasetsart.com/wp-content/uploads/2012/04/kaset16.jpg

http://www.thaikasetsart.com/wp-content/uploads/2012/04/kaset16.jpg

I.Albas Ozkan B.Akbudak and N.Akbudak. (2005). Microwave drying characteristics of spinach.Journal of Food Engineering, 78: 577-583.

Jiaxun, T., R.Roa and J.Liuzzo. (1993). Microwave heating for rice bran stabilization. Journalof Microwave Power and Electromanetic Energy. 28(3): 156-164.

Sharma G.P. and Suresh Prasad. (2002). Dielectric properties of garlic (Allium sativum) at 2450 MHz as function of temperature and moisture content. Journal of Food Engineering , 52: 343-348.

Tomas Funebo and Thomas Ohlsson. (1998). Microwave - assisted air dehydration of apple and mushroom. Journal of Food Engineering, 38: 353-367.

Tulasidas T.N., G.S.V. Raghavan and A.S. Mujumdar. (1995). Microwave drying of Grapes in a Single mode cavity at 2540 MHz I: Drying Kinetics. Drying Technology, 13 (8&9): 1949-1971.

Y.Soysal. (2004). Microwave drying characteristics of parsiey. Biosystems engineering, 89(2):167-173.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัตินักวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรชัย อาจหาญ เกิดเมื่อวันที่ 26 มิถุนายน 2513 จังหวัดสิงห์บุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต(เกษตรกลวิธาน) ระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร) จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก Ph.D. (Agricultural and Forest Engineering) จาก University of Tsukuba ประเทศญี่ปุ่น ในปี พ.ศ. 2544 ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร และหัวหน้าศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มีผลงานวิชาการ/ผลงานวิจัย/ประสบการณ์ 15 ปี ในการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทน ปี 2537-2543 (7 ปี) วิจัยและพัฒนา การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เป็นต้นกำลังในรถแทรกเตอร์เกษตร โดยการพัฒนาต้นแบบรถแทรกเตอร์พลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 15 hp ซึ่งเป็นวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท-เอก ปี 2544-ปัจจุบัน (10 ปี) เน้นการวิจัยและพัฒนาด้านพลังงานชีวมวล//ชีวภาพและการอนุรักษ์พลังงานในอาคารและโรงงาน ทั้งส่วนของการวิจัยและพัฒนา และเป็นผู้เชี่ยวชาญให้คำปรึกษา แก้ไขปัญหาและวางแผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงาน เช่น การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตแก๊สชีวมวล (Biomass Gasification) การพัฒนาเทคโนโลยีการก่อสร้างระบบผลิตแก๊สชีวภาพ การพัฒนาระบบการใช้ประโยชน์จากแก๊สชีวมวลและแก๊สชีวภาพ การดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลใช้กับแก๊สชีวมวลและแก๊สชีวภาพ การศึกษาเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass Feedstock Technology) การพัฒนาเทคโนโลยีการปลูกพืชพลังงาน เช่น ไม้โตเร็วสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิง ตลอดจนการวิเคราะห์และตรวจวัดการใช้พลังงานในอาคารและโรงงาน และปัจจุบันยังมีงานวิจัยด้านการบริหารจัดการขยะชุมชนเพื่อนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนที่เป็นตัวอย่างโครงการงานวิจัยที่นำไปสู่การใช้ประโยชน์สำหรับการแก้ปัญหาระดับประเทศได้อย่างแท้จริง และเป็นโครงการนำร่องสำหรับภาคเอกชนหลายๆ แห่ง