15778

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสูญญากาศสำหรับการศึกษาลักษณะการอบแห้งของถั่วเขียว

(Vacuum Microwave Drying for Drying Characteristics Study of Mungbean)

T096639

นางสาวจรรยา เลิศอมรชัยกุล

นางสาวมนัสชนก สากิยะ

ปพ.
จ1148ค
2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วันที่ลงทะเบียน,ปี - 4 JUN 2003

งานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1889

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสูญญากาศสำหรับการศึกษาลักษณะการอบแห้งของถั่วเขียว

(Vacuum Microwave Dryer for drying Characteristics Study of Mungbean)

โดย

นางสาวจรรยา เลิศอมรชัยกุล

นางสาวมนัสชนก สากิยะ

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

..... อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

(.....)

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

.....

( )

หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 1 **เดือน** ธ.ค. **พ.ศ.** 42

15778
- 4 มิ.ย. 2542

ปก.
ล 1487ก
2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จรรยา เลิศอมรชัยกุล และ มนัสชนก สากิยะ.2542: เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสูญญากาศสำหรับการศึกษาลักษณะการอบแห้งของถั่วเขียว (Vacuum Microwave Drying for Drying Characteristics of Study of Mungbean) ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. อาจารย์ที่ปรึกษา: ดร.กิตติชัย บรรจง, 44 หน้า

บทคัดย่อ

การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและเมื่อนำมาใช้ในการทำแห้งจะทำให้มีประสิทธิภาพดีใช้เวลาน้อยลง สำหรับการทำแห้งสูญญากาศจะเกิดการถ่ายเทความร้อนและทำให้ลดความชื้นได้รวดเร็ว

ปัญหาพิเศษนี้ได้ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสูญญากาศสำหรับการศึกษาลักษณะการอบแห้งของถั่วเขียว โดยประกอบด้วยเตาอบไมโครเวฟ ขนาด 12x9x12 นิ้ว วางอยู่บนขาตั้งเหล็กภายในเตาอบไมโครเวฟมีถาดบรรจุวัสดุที่มีแกนรับสอดทะลุพื้นเตาอบไมโครเวฟลงมาวางบนเครื่องชั่ง Mettler PE 3000 เพื่อวัดน้ำหนักวัสดุขณะทำการทดลอง อุปกรณ์ทั้งหมดบรรจุอยู่ในตู้สูญญากาศซึ่งทำด้วยแผ่นสังกะสี ขนาดภายใน 26x26x21 นิ้ว ซึ่งต่อกับเครื่องปั๊มสูญญากาศ Type BS2212 และเกจวัดสูญญากาศ 0-250 mbar เมื่อนำเครื่องมาทดลองอบแห้งเมล็ดถั่วเขียวที่ความดันบรรยากาศและที่ระดับสูญญากาศ 20 mbar โดยใช้ระดับพลังงาน 200,300 และ 400 W และความชื้นเริ่มต้น 15,20 และ 25%wb พบว่าที่ทุกระดับความชื้น การใช้ไมโครเวฟร่วมกับสูญญากาศในการอบแห้งถั่วเขียวได้อัตราการอบแห้งที่เร็วขึ้น และที่ระดับพลังงานสูงขึ้นจะได้อัตราการอบแห้งที่เร็วขึ้นเช่นกัน โดยพลังงานระดับมากกว่า 300 W ไม่เหมาะสมต่อการอบแห้งไมโครเวฟสูญญากาศเมล็ดถั่วเขียว เนื่องจากเกิดความร้อนสูงเกินไป

จรรยา เลิศอมรชัยกุล

มนัสชนก สากิยะ

ลายมือชื่อนักศึกษา ลายมืออาจารย์ที่ปรึกษา วัน เดือน ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากบุคคลหลาย ๆ ท่านให้ความช่วยเหลือ ขอขอบพระคุณ ดร.กิตติชัย บรรจง ที่ให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาคอยให้คำแนะนำตลอดจนช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำปัญหาพิเศษ และขอขอบคุณ คุณชวลิต ประสิทธิ์ ที่ติดต่อช่างและซ่อมแซมอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้สามารถใช้งานได้ด้วยดี รวมทั้งขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรเจ้าหน้าที่ธุรการและพี่ ๆ ทุกคนที่ช่วยให้ความสะดวกในการจัดทำปัญหาพิเศษครั้งนี้

จรรยา เลิศอมรชัยกุล

มนัสชนก สากิยะ

14 มีนาคม 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	จ
สารบัญภาคผนวก	ฉ
สารบัญภาพภาคผนวก	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์	3
2.1 การจำแนกชนิดของถั่วเขียวในประเทศไทย	3
2.2 พันธุ์ถั่วเขียวและถั่วเขียวผิวดำ	3
2.3 การกำหนดชั้นคุณภาพและมาตรฐานถั่วเขียว	4
2.4 คุณค่าทางอาหารของถั่วเขียว	5
2.5 ประโยชน์ของถั่วเขียว	6
2.6 หลักการอบแห้ง	7
2.7 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการอบแห้ง	8
2.8 การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ	8
2.9 คุณลักษณะของไมโครเวฟ	9
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	12
3.1 วัตถุดิบ	12
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	12
3.3 วิธีการทดลอง	14
บทที่ 4 ผลการทดลอง	19
4.1 ผลของสูญญากาศต่อการอบแห้ง	19
4.2 ผลของพลังงานต่อไมโครเวฟ	19
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	29
เอกสารอ้างอิง	30
ประวัติผู้เขียน	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียวและแป้งถั่วเขียวเปรียบเทียบกับถั่วเหลือง	5
2.2 ตารางการเปรียบเทียบสารอาหารในปริมาณ 100 กรัมอาหาร	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

4.1 แสดง MR ของการอบแห้งไมโครเวฟและไมโครเวฟสูญญากาศสำหรับความชื้นเริ่มต้น 15 %wb พลังงาน 200 W 20

4.2 แสดง MR ของการอบแห้งไมโครเวฟและไมโครเวฟสูญญากาศสำหรับความชื้นเริ่มต้น 15 %wb พลังงาน 300 W 21

4.3 แสดง MR ของการอบแห้งไมโครเวฟและไมโครเวฟสูญญากาศสำหรับความชื้นเริ่มต้น 15 %wb พลังงาน 400 W 22

4.4 แสดง MR ของการอบแห้งไมโครเวฟและไมโครเวฟสูญญากาศสำหรับความชื้นเริ่มต้น 20 %wb พลังงาน 200 W 23

4.5 แสดง MR ของการอบแห้งไมโครเวฟและไมโครเวฟสูญญากาศสำหรับความชื้นเริ่มต้น 20 %wb พลังงาน 300 W 24

4.6 แสดง MR ของการอบแห้งไมโครเวฟและไมโครเวฟสูญญากาศสำหรับความชื้นเริ่มต้น 20 %wb พลังงาน 400 W 25

4.7 แสดง MR ของการอบแห้งไมโครเวฟและไมโครเวฟสูญญากาศสำหรับความชื้นเริ่มต้น 25 %wb พลังงาน 200 W 26

4.8 แสดง MR ของการอบแห้งไมโครเวฟและไมโครเวฟสูญญากาศสำหรับความชื้นเริ่มต้น 25 %wb พลังงาน 300 W 27

4.9 แสดง MR ของการอบแห้งไมโครเวฟและไมโครเวฟสูญญากาศสำหรับความชื้นเริ่มต้น 25 %wb พลังงาน 400 W 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาคผนวก

	หน้า
ภาคผนวก ก แสดงภาพส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสูญญากาศ	33
ภาคผนวก ข แสดงการคำนวณค่า moisture ratio โดยใช้โปรแกรม Excel	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพภาคผนวก

ภาพที่		หน้า
1	ส่วนประกอบภายในตู้สูญญากาศ	33
2	ตู้สูญญากาศ	33
3	ฝาตู้สูญญากาศ	34
4	เตาอบไมโครเวฟ	34
5	ขาตั้งไมโครเวฟ	35
6	แกนรับน้ำหนัก	35
7	เครื่องชั่ง	36
8	ปั๊มสูญญากาศ	36
9	เกจสูญญากาศ	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

การทำให้อาหารแห้งนับเป็นวิธีการถนอมอาหารแบบหนึ่งซึ่งเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและเป็นวิธีเก่าแก่ที่สุดวิธีหนึ่งที่มนุษย์ได้เรียนรู้มาจากธรรมชาติ โดยเริ่มมาจากแถบภูมิภาคที่มีอากาศร้อนแห้ง เช่น แถบทะเลทรายหรือในที่กูเขาซึ่งมนุษย์ได้อาศัยความร้อนจากแสงแดดมาช่วยทำให้อาหารแห้ง โดยการสังเกตจากพวกธัญญพืช เช่น ข้าว ข้าวโพด ซึ่งเป็นพืชที่มีความชื้นปานกลาง ถ้าทำให้แห้งขึ้นจะสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานปี นอกจากนั้นในบางภูมิประเทศจะมีผลผลิตจากการเกษตร เช่น ผักและผลไม้มากในบางฤดู จึงหาวิธีที่จะเก็บรักษาผลิตผลเหล่านั้นไว้ให้สามารถนำมาบริโภคได้ตลอดปี จึงได้มีการนำผลผลิตที่มีมากเกินพอเหล่านี้มาตากแห้งโดยการผึ่งแดด ความร้อนจากแสงแดดจะทำให้น้ำระเหยออกไป จนได้ผลิตภัณฑ์ที่แห้งสามารถเก็บไว้ได้นาน จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำหรือความชื้นที่จะสามารถป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์ได้โดยทั่วไปควรจะเหลือความชื้นในอาหารนั้นต่ำกว่า 10% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารเป็นสำคัญ

ในกระบวนการผลิตอาหารแห้งนั้น องค์ประกอบหลักที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือน้ำ ทั้งนี้น้ำเป็นตัวที่ต้องกำจัดออกจากอาหาร เพื่อให้ได้อาหารแห้ง ซึ่งตามความหมายของอาหารแห้งนั้นกล่าวว่า อาหารแห้งคืออาหารใด ๆ ก็ตามที่มีปริมาณน้ำเหลืออยู่ในตัวของมันต่ำๆ ทั่วๆไปควรจะมีปริมาณน้ำหรือความชื้นอยู่น้อยกว่า 10% ซึ่งจะทำให้อาหารแห้งนั้นเก็บรักษาไว้ได้นานขึ้น และมีน้ำหนักเบาด้วย

ในระบบการผลิตอาหารแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบตู้อบลมร้อนทั่วๆ ไปนั้นต้องใช้พลังงานในการกำจัดน้ำมาก ทั้งนี้เพราะการให้ความร้อนช่วยในระบบการทำงานนั้นปกติความร้อนจะต้องผ่านผิวอาหารเข้าไปภายในตัวอาหารต้องใช้ระยะเวลามากอันเนื่องมาจากสารอาหารทั่วไปจะมีความสามารถในการนำความร้อนค่อนข้างต่ำ จึงได้มีการค้นคิดและพัฒนาหาวิธีที่ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการกำจัดน้ำเป็นไอน้ำเกิดได้เร็วขึ้นและพบว่าการใช้คลื่นรังสีมาประกอบกับเครื่องอบแห้งจะช่วยทำให้เกิดการระเหยได้เร็วขึ้นมาก จึงเกิดระบบการทำแห้งแบบไมโครเวฟขึ้นมา ในการทำแห้งนี้มีข้อเสียคือความร้อนจะทำให้อาหารสูญเสียกลิ่นรสและคุณค่าทางอาหาร ซึ่งป้องกันโดยใช้สูญญากาศ ซึ่งสามารถลดความชื้นได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นในการทำปัญหาพิเศษจึงมีการศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องมืออบแห้งไมโครเวฟสูญญากาศเพื่อการถ่ายเทความร้อนและลดความชื้นได้รวดเร็วขึ้น ซึ่งมีวัตถุประสงค์ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องมือในการศึกษาการอบแห้งไมโครเวฟสูญญากาศสำหรับผลิตผลทางการเกษตร
2. เพื่อศึกษาผลของสูญญากาศและระดับพลังงานไมโครเวฟที่มีผลต่อการอบแห้งถั่วเขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

ถั่วเขียวเป็นพืชตระกูลถั่วที่ปลูกได้ดีในเขตร้อน (Tropical region) และเป็นพืชตระกูลถั่วที่มีความสำคัญของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ทั้งนี้เพราะเป็นพืชที่ชอบอากาศร้อนชื้น ไม่ชอบอากาศหนาวเย็น

2.1 การจำแนกชนิดของถั่วเขียวในประเทศไทย

ในประเทศไทยของเรามีการจำแนกประเภทของถั่วเขียวโดยใช้เปลือกของเมล็ดเป็นหลักในการจำแนก ซึ่งสามารถแบ่งถั่วเขียวออกเป็น 4 ประเภทคือ

2.1.1 **ถั่วเขียวเมล็ดมัน** ลักษณะของถั่วเขียวประเภทนี้จะมีเมล็ดเป็นมันสีเขียว ขนาดของเมล็ดจะมีทั้งเล็กและใหญ่ ลักษณะสีของฝักเมื่อแก่แบ่งได้เป็น 2 ชนิดคอ ฝักสีดำ ซึ่งได้แก่ พันธุ์อู่ทอง 1 , นน. 1 และชนิดฝักสีขาวนวลซึ่งได้แก่ พันธุ์พื้นเมืองฝักขาว , Bhacti

2.1.2 **ถั่วเขียวธรรมดา** หรือถั่วเขียวเมล็ดด้าน เป็นถั่วเขียวที่เปลือกของเมล็ดมีสีเขียวด้าน

2.1.3 **ถั่วทองหรือถั่วเขียวสีทอง** ลักษณะต่าง ๆ คล้ายกับถั่วเขียว 2 ชนิดแรก แต่สีของเมล็ดเป็นสีเขียวอมเหลือง มีทั้งเมล็ดด้านและเมล็ดมัน

2.1.4 **ถั่วเขียวผิวดำ** หรือที่เรียกกันว่าถั่วแขก มีลักษณะใกล้เคียงกับถั่วเขียวผิวมันแต่มีเมล็ดสีดำ

2.2 พันธุ์ถั่วเขียวและถั่วเขียวผิวดำ

พันธุ์ถั่วเขียวและถั่วเขียวผิวดำที่กรมวิชาการเกษตรประกาศรับรองพันธุ์และนิยมใช้อยู่ในปัจจุบันประกอบด้วยพันธุ์ต่าง ๆ ต่อไปนี้

2.2.1 ถั่วเขียวพันธุ์กำแพงแสน 1 (Khampang Saen 1)

เป็นสายพันธุ์ถั่วเขียวที่รับจาก ศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักแห่งเอเชีย ประเทศไต้หวัน (AVRDC) นำมาคัดเลือกที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์แล้วร่วมกับกรมวิชาการเกษตร ทดสอบผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตในสถานที่ต่าง ๆ มีชื่อสายพันธุ์เดิมว่า VC 1973 A ได้รับการรับรองพันธุ์จากกรมวิชาการเกษตร ในปี 2529

2.2.2 ถั่วเขียวพันธุ์กำแพงแสน 2 (Khampang Saen 2)

เป็นสายพันธุ์ถั่วเขียวที่รับจาก ศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักแห่งเอเชีย ประเทศไต้หวัน (AVRDC) นำมาคัดเลือกที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์แล้วร่วมกับกรมวิชาการเกษตร ทดสอบผลผลิตในสถานที่ต่าง ๆ มีชื่อสายพันธุ์เดิมว่า VC 2778 A ได้รับการรับรองพันธุ์จากกรมวิชาการเกษตร ในปี 2529

2.2.3 ถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 60 (Chai Nat 60)

เป็นพันธุ์ที่นำเข้าจาก AVRDC ชื่อสายพันธุ์เดิมคือ VC 1178 นำมาคัดเลือกในสภาพแวดล้อมของประเทศไทยและได้รับรองพันธุ์ในปี 2530

2.2.4 ถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 36 (Chai Nat 36)

เป็นพันธุ์ที่นำเข้าจากศูนย์วิจัยพืชผักแห่งเอเชีย (AVRDC) สายพันธุ์เดิมมีชื่อว่า VC 1628 A นำมาคัดเลือกในสภาพแวดล้อมของประเทศไทยจนได้สายพันธุ์ VC 1628 A-7 มีลักษณะดีหลายประการ และได้รับรองพันธุ์ในปี 2534

2.2.5 ถั่วเขียวผิวดำพันธุ์พิษณุโลก 2 (Phitsanulak 2)

เป็นพันธุ์ที่นำเข้าจาก AVRDC ชื่อสายพันธุ์เดิมคือ PI 288603 นำมาคัดเลือกในแหล่งปลูกถั่วเขียวผิวดำหลายท้องที่ จนได้สายพันธุ์ดีและได้รับรอพันธุ์ในปี 2533

2.3 การกำหนดชั้นคุณภาพและมาตรฐานถั่วเขียว

เกษตรกรส่วนใหญ่มักจะขายผลผลิตถั่วเขียวในรูปขายคละ โดยไม่มีการคัดเกรดหรือจัดชั้นคุณภาพ ส่วนการซื้อขายของพ่อค้าท้องที่ พ่อค้าท้องถิ่น พ่อค้ากรุงเทพฯ และพ่อค้าส่งออกจะมีการคัดเกรดถั่วเขียว การคัดเกรดจะอาศัยการมองดูด้วยตาและประสบการณ์เป็นสำคัญ ส่วนใหญ่จะมองดูจากความสวยงามของเมล็ด (สีและความมันของเมล็ด) ขนาด ความชื้นลักษณะของเปลือกเมล็ดว่าหนาหรือบาง ความสม่ำเสมอของเมล็ด สิ่งเจือปนต่าง ๆ และเชื้อรา เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วถั่วเขียวจะแบ่งออกเป็น 5 เกรด โดยแต่ละเกรดจะมีลักษณะพื้นฐานดังนี้

เกรด 1 ลักษณะสีเขียวเป็นมัน แห้ง ขนาดเมล็ดสม่ำเสมอ

เกรด 2 ลักษณะสีเขียวเป็นมัน แห้ง ขนาดเมล็ดไม่สม่ำเสมอ (ใหญ่บ้างเล็กบ้าง)

เกรด 3 ลักษณะสีเมล็ดไม่ค่อยสวย แห้ง ขนาดเมล็ดไม่สม่ำเสมอ มีเชื้อราปนอยู่บ้าง

เกรด 4 ลักษณะสีเมล็ดไม่สวย เมล็ดไม่สวย มีความชื้น ขนาดเมล็ดไม่สม่ำเสมอ มีเชื้อราปน

เกรด 5 ลักษณะเมล็ดถั่วคละที่มีลักษณะไม่ดี ไม่ว่าสี ขนาด ความชื้น และเชื้อรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 คุณค่าทางอาหารของถั่วเขียว

ถั่วเขียวเป็นพืชที่มีคุณค่างทางโภชนาการสูง (ตารางที่ 2.1) มีปริมาณโปรตีนสูงเมื่อเทียบกับถั่วเหลืองหรือถั่วอื่น ๆ คือมี โปรตีน 25.98% ไขมัน 1.3% โดยน้ำหนักแห้ง คุณประโยชน์ของโปรตีนยังขาดกรดอะมิโน ซึ่งมีกำมะถันเป็นองค์ประกอบได้แก่ เมทไธโอนิน และซีสตินจึงควรรับประทานถั่วเขียวร่วมกับโปรตีนจากแหล่งอื่น เช่น ข้าว งา เนื้อสัตว์ต่าง ๆ นม เป็นต้น ซึ่งมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบอยู่สูง จะทำให้โปรตีนจากถั่วเขียวกลายเป็นโปรตีนที่สมบูรณ์เช่นเดียวกับโปรตีนที่ได้จากสัตว์ ถั่วเขียวเป็นพืชที่มีปริมาณไขมันต่ำเมื่อเทียบกับถั่วชนิดอื่นจึงไม่สามารถใช้เป็นแหล่งของน้ำมันจากพืชได้ แต่ส่วนที่มากของถั่วเขียวคือคาร์โบไฮเดรต ทำให้เราใช้ถั่วเขียวเป็นแหล่งของแป้งและแป้งสตาร์ชได้เป็นอย่างดี องค์ประกอบทางด้านโภชนาการอื่น ๆ ของถั่วเขียวประกอบไปด้วยแร่ธาตุต่าง ๆเป็นปริมาณมาก เช่นเดียวกับถั่วเหลืองซึ่งเป็นประโยชน์แก่ร่างกาย ได้แก่ โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แคลเซียม ร่างกายของคนเราต้องการโพแทสเซียมในการเสริมสร้างกล้ามเนื้อต่าง ๆ และทำให้กล้ามเนื้อแข็งแรง ธาตุฟอสฟอรัสช่วยให้การบำรุงประสาทและสมอง ส่วนธาตุแคลเซียมนั้นสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งในการเจริญเติบโตของกระดูกในร่างกาย ในแง่ของไวตามินต่าง ๆ ถั่วเขียวอุดมสมบูรณ์ไปด้วยไวตามิน เอ บี1 บี2 ไนอาซิน และไวตามินซี ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อร่างกายและการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์เราแทบทั้งสิ้น

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียวและ แป้งถั่วเขียวเปรียบเทียบกับถั่วเหลือง

สารอาหาร	ถั่วเขียว	ถั่วเหลือง	แป้งถั่วเขียว
โปรตีน	25.98	40	25.4
ไขมัน	1.30	21.04	2.52
เถ้า	3.8	4.79	3.16
ปริมาณเส้นใย	4.79	5.41	1.01
คาร์โบไฮเดรต	64.12	28.76	58.77
แป้ง	51.8		

(ที่มา : จรัส กิจบำรุง, 2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ประโยชน์ของถั่วเขียว

ในการเปรียบเทียบสารอาหารที่มีในปริมาณ 100 กรัมอาหาร พบว่า ถั่วเขียวมีโปรตีนใกล้เคียงกับปลาและไก่ แต่มีแป้งมากกว่าถั่วอื่น ๆ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตารางการเปรียบเทียบสารอาหารในปริมาณ 100 กรัมอาหาร

อาหาร	โปรตีน (กรัม)	ไขมัน (กรัม)	คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	ใยอาหาร (กรัม)	ความชื้น (กรัม)	กำลังงาน (แคลอรี่)
ข้าวสาร	7	0.5	81	0.4	11.1	370
ไก่	18	25	-	-	57	300
ปลา	20	4	-	0.1	75.9	116
ถั่วเหลือง	36	20	23	7	14	416
ถั่วลิสง	25	48	17	3	7	593
งา	20	50	14	3	13	590
ถั่วเขียว	21	2	58	6	13	336
แป้งถั่วเขียว	0.2	0.2	85.5	-	14	345
ถั่วงอก	3.8	0.2	6.6	-	88.8	43
วุ้นเส้น	0.13	0.6	82.9	-	15.7	387

(ที่มา : คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา,2527)

กล่าวโดยกว้าง ๆ ถั่วเขียวมีประโยชน์ดังนี้

1. เป็นแหล่งโปรตีนที่เก็บรักษาและเคลื่อนย้ายได้ง่าย
2. ใช้ปรุงเป็นอาหารได้ง่ายและมากชนิด
3. ใช้เป็นอาหารสัตว์
4. ใช้เป็นวัตถุดิบในการอุตสาหกรรมหลายชนิด
5. ช่วยรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน
6. เหมาะสำหรับระบบการปลูกพืช
7. ลดการใช้ปุ๋ยอนินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 หลักการอบแห้ง

การอบแห้งอาหารทั่ว ๆ ไป อาศัยหลักการที่ว่า ปริมาณน้ำหรือความชื้นที่มีในอาหารสูง ๆ จะทำให้อาหารเน่าเสียได้ง่าย ทั้งเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์และจากปฏิกริยาทางเคมี ดังนั้นการดึงน้ำออกจากอาหารให้มีความชื้นลดลงจนพอเหมาะแก่อาหารแต่ละชนิดแล้วจะทำให้อาหารนั้นสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น ทั้งนี้หลักการของการอบแห้งอาหารจะเกี่ยวเนื่องกับจุดประสงค์ของการอบแห้ง ซึ่งในการอบแห้งอาหารทั่ว ๆ ไป จะมีจุดประสงค์หลักอยู่ 2 ประการ คือ

1. เพื่อต้องการลดปริมาณน้ำในอาหารเพื่อป้องกันการเน่าเสียของอาหาร เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณความชื้นในอาหารที่จะป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ โดยทั่วไปควรจะดึงน้ำออกจนเหลือต่ำกว่าร้อยละ 10 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารเป็นสำคัญ

2. เพื่อต้องการลดน้ำหนักของอาหารเพื่อสะดวกต่อการขนส่งเนื่องจากการขนส่ง ผลิตภัณฑ์บางชนิดในสภาพของสด จะกินเนื้อที่และการดูแลรักษาลำบาก โดยเฉพาะพวกนมสด ถ้าทำเป็นนมผงจะทำให้น้ำหนักเบาขึ้น การบรรจุ ขนส่งก็สะดวกและประหยัดในการอบแห้งอาหารทั่ว ๆ ไป พบว่าอาหารแห้งที่ได้มีน้ำหนักลดไปมาก ปริมาณความชื้นที่ลดลงไปหลังจากทำแห้งแล้ว

การทำแห้งอาหารอาจแบ่งได้เป็น 2 กรณีใหญ่ ๆ คือ

1. การทำแห้งที่อุณหภูมิสูงหรืออุณหภูมิห้อง
   - การทำแห้งโดยใช้อากาศร้อน เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก การถ่ายเทความร้อนส่วนใหญ่จะเป็นการพาความร้อน
   - การทำแห้งโดยใช้พื้นผิวร้อน (heated surfaces) การถ่ายเทความร้อนมักจะเป็นการนำความร้อน
   - การทำแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูงและลดความดันลงอย่างรวดเร็ว เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อโปร่ง
   - การทำแห้งโดยใช้หลักออสโมซิส
2. การทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ
   - การทำแห้งในสภาวะแช่แข็ง (Freezr dehydration) เป็นการทำแห้งโดยทำให้เกิดการระเหิดของน้ำ ในกระบวนการไม่มีการใช้ความร้อน จึงช่วยสงวนรักษากลิ่นรสของอาหารไว้ได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง

ในการทำแห้งอาหารทั่ว ๆ ไป มีปัจจัยหลายประการที่จะทำให้การอบแห้งนั้นเกิดได้เร็วหรือช้าซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

2.7.1. ลักษณะธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีลักษณะเป็นรูพรุนมาก ๆ จะมีอัตราการอบแห้งเร็ว นอกจากนั้นพื้นที่ผิวของอาหารก็จะมีผลต่ออัตราการอบแห้งมาก อาหารที่มีพื้นที่ผิวมาก ๆ การอบแห้งก็จะทำได้เร็วขึ้น

2.7.2 ขนาดและรูปร่างของอาหาร ส่วนใหญ่จะคำนึงถึงเฉพาะความหนาของอาหารเนื่องจากอัตราการอบแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร ยิ่งอาหารหนามากเท่าไรการอบแห้งจะเกิดได้ช้าลง

2.7.3 ปริมาณอาหาร อาหารที่ใส่ในเครื่องอบแห้งและการจัดเรียงเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่ง การใส่ปริมาณอาหารมากเกินไปเข้าไปในเครื่องอบแห้งจะทำให้การอบแห้งทำได้ไม่ทั่วถึงโดยเฉพาะบริเวณช่วงกลาง ๆ น้ำจะระเหยออกได้ไม่ดี ความร้อนเข้าไปไม่ค่อยถึงยิ่งถ้าจัดเรียงตัวกันไม่ดีแล้ว ก็จะทำให้อัตราการอบแห้งเกิดได้ช้ามาก

2.7.4 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของลม ความชื้นของอากาศเป็นสิ่งสำคัญมาก การระเหยน้ำออกจะทำได้ดีหรือไม่ขึ้นกับความชื้นของอากาศและความเร็วของลม นอกจากนั้นอุณหภูมิที่ใช้อบก็จะเป็นปัจจัยที่สำคัญเช่นกัน

2.7.5 ความดัน เกี่ยวเนื่องกับการระเหยของน้ำเนื่องจากในที่ความดันต่ำ ๆ ลงมา น้ำก็จะเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ดังนั้นการทำแห้งภายใต้ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศจะทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น

2.8 การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

ทฤษฎี

ในโมเลกุลของน้ำประกอบด้วยส่วนที่มีประจุลบของอะตอมออกซิเจน และส่วนที่มีประจุบวกของอะตอมไฮโดรเจน ซึ่งเรียกว่ามีลักษณะอิเลคตริกไดโพล เมื่อนำอาหารไปไว้ในสนามไฟฟ้า โมเลกุลของน้ำและสารอื่นที่มีขั้วจะจัดเรียงตัวให้สอดคล้องกับทิศทางของสนามไฟฟ้า จำนวนโมเลกุลของไดโพลและการเปลี่ยนแปลงซึ่งถูกเหนี่ยวนำด้วยสนามไฟฟ้าจะเป็นตัวกำหนดค่าคงที่ไดอิเลคตริก (dielectric constant) ของอาหาร ค่านี้จะเป็นสัดส่วนของความจุของประจุในอาหารต่อความจุของอากาศหรือในบางกรณีจะเป็นความจุของสูญญากาศ การที่โมเลกุลเกิดการบิดเบี้ยวหรือเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโครงสร้างและการจัดเรียงตัวสลับไปมาตามสนามไฟฟ้าไดโพล จะทำให้เกิดความร้อนขึ้น ก่อนที่ไดโพลตอบสนองต่อสนามไฟฟ้าจะมีเวลาว่างอยู่ช่วงหนึ่ง เวลาช่วงนี้จะสั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาก เรียกว่า ช่วงเวลารีแลกซ์ (relaxation time) ค่าเหล่านี้จะขึ้นกับความหนืด จึงขึ้นกับอุณหภูมิของอาหาร ตัวอย่างเช่น เมื่อน้ำเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งค่าคงที่ไดอิเลคตริกจะลดลงและจะลดลงเรื่อย ๆ ถ้าอุณหภูมิของน้ำแข็งนั้นต่ำลง น้ำแข็งจึงมีการตอบสนองคลื่นไมโครเวฟน้อยกว่าน้ำ

เมื่อผ่านคลื่นไมโครเวฟไปที่อาหาร พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนและเปลี่ยนเป็นความร้อน ปริมาณพลังงานที่ถูกดูดกลืนจะแสดงด้วยค่าลอสแฟคเตอร์ (loss factor) ของอาหาร หรือบางครั้งจะเรียกว่า ค่าไดอิเลคตริกลอส (dielectric loss) หรือ ลอสแทนเจนท์ (loss tangent) อาหารที่มีลอสเฟคเตอร์มากจะดูดกลืนพลังงานได้ดีและมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

มีการนำการให้ความร้อนโดยไมโครเวฟมาดัดแปลงใช้ในการอบแห้ง เนื่องจากกลไกในการถ่ายเทความร้อนโดยการนำและการพามีข้อจำกัด การให้ความร้อนโดยไมโครเวฟหรือไดอิเลคตริก (dielectric) อาหารต่าง ๆ จะขึ้นกับปริมาณน้ำในอาหารมากกว่าองค์ประกอบอื่น ๆ (Owusu-Ansah,1991) การดูดกลืนพลังงานไมโครเวฟในโมเลกุลของน้ำจะทำให้เกิดความร้อนและอัตราการอบแห้งอย่างรวดเร็ว (Schiffmanor,1987;Rosenberg and Boegl,1987) การให้ความร้อนโดยไมโครเวฟหรือไดอิเลคตริกนี้มีข้อจำกัดในการใช้ในการแปรรูปอาหารคือ มีราคาสูงและมีปัญหาทางเทคนิคในการดำเนินการ (Giese,1992;Schiffmann,1992) แต่มีการใช้เตาอบไมโครเวฟในการให้ความร้อนอาหารตามบ้านอย่างแพร่หลาย

2.9 คุณลักษณะของไมโครเวฟ

ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นจึงสามารถแสดงคุณลักษณะที่สำคัญของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ 3 ลักษณะคือ

1. สามารถทะลุผ่านวัตถุบางอย่างได้ (Transmitted)

คลื่นไมโครเวฟนี้สามารถทะลุผ่านวัตถุบางชนิดได้โดยไม่มีการดูดกลับเข้าไปในภาชนะประเภทแก้ว พลาสติก และชามกระเบื้องมักจะดูดกลับคลื่นไมโครเวฟไว้น้อยมาก และยอมให้ไมโครเวฟผ่านไปได้อย่างสบาย นี่เป็นเหตุผลหนึ่งที่ว่าทำไมภาชนะใส่อาหารไม่ร้อนเลยเมื่อใช้ในเตาอบไมโครเวฟ แต่ถ้าเป็นเตาอบแบบธรรมดาภาชนะแก้วมักแตก และพลาสติกก็จะละลายเมื่อร้อนเกินไป ดังนั้นจึงหมดกังวลได้เมื่อใช้ภาชนะที่เป็นแก้วหรือพลาสติกเมื่อต้องการอบอาหารเป็นจำนวนมาก หรือต้องใช้เวลาอบนานภาชนะจึงจะร้อนซึ่งเป็นเพราะความร้อนที่กระจายในอาหารทำให้ภาชนะร้อนด้วย ภาชนะจะร้อนเพราะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากอาหารเท่านั้น ไม่ใช่ร้อนเนื่องจากไมโครเวฟ

2. สามารถสะท้อนกลับได้ (Reflected)

คลื่นไมโครเวฟนี้มักสะท้อนกลับเมื่อพุ่งไปกระทบวัตถุประเภทโลหะซึ่งเป็นสื่อไฟฟ้าที่ดี คุณสมบัติของไมโครเวฟอันนี้เป็นข้อได้เปรียบของเตาอบไมโครเวฟ คลื่นไมโครเวฟจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม่เหล็กจะสะท้อนจากด้านข้างและด้านล่างของเตา ทำให้คลื่นไมโครเวฟสามารถซึมเข้าไปในอาหารจากทุกด้านทั้งด้านบนด้านล่างและขวา ซ้าย ยกตัวอย่าง เช่น เวลาทำเนื้ออบ ไม่จำเป็นต้องกลับเนื้อเลยเพราะทั้งด้านบนและด้านล่างจะสุกเท่า ๆ กัน และเวลาเดียวกันด้วย

3. สามารถดูดกลืนไปในอาหารได้ (Absorped)

คลื่นไมโครเวฟสามารถดูดกลืนเข้าไปในอาหารได้ คุณสมบัติข้อนี้ทำให้อาหารสุกได้ อาหารที่มีน้ำอยู่ในอัตราส่วนที่ค่อนข้างสูงประกอบอยู่ ซึ่งเป็นส่วนที่ไมโครเวฟถูกดูดกลืนเข้าไปได้ง่ายที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับคลื่นแสงแล้ว ไมโครเวฟจะแสดงการสะท้อนในลักษณะเดียวกับคลื่นแสง แต่คลื่นแสงและไมโครเวฟก็ต้องอาศัยวัตถุคนละชนิดที่จะทำปฏิกริยาของการสะท้อน ส่วนแผ่นสกรีนหรือแผ่นลวดตาข่ายก็สามารถสะท้อนไมโครเวฟได้แต่ไม่เกิดในกรณีของแสง ในวัตถุหรือภาชนะที่ทำด้วยกระดาษ แก้ว พลาสติก หรือดินเคลือบเซรามิค จะยอมให้ไมโครเวฟผ่านได้ แต่จะไม่ยอมให้แสดงผ่านในขณะเดียวกันไมโครเวฟจะซึมผ่านน้ำได้แต่คลื่นแสงจะผ่านน้ำไม่ได้

ในการให้ความร้อนอาหารโดยอากาศร้อน จะทำได้ไม่ดีเนื่องจากอาหารส่วนที่แห้งมีค่าการนำความร้อนต่ำ ส่วนการใช้ไมโครเวฟให้ความร้อนจะทำได้เร็วกว่า และมีประสิทธิภาพมากกว่า (B.Adu et al.,1996) การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อนำมาใช้ในการทำแห้งจะทำให้มีประสิทธิภาพดีใช้เวลาน้อยลง และในบางครั้งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีขึ้นด้วย (Prabhanjan et al.,1995) ข้อเสียของการทำแห้งโดยอากาศร้อน คือ ความร้อนจะทำให้สูญเสียกลิ่นรสและคุณค่าทางอาหาร ซึ่งป้องกันได้โดยใช้การทำแห้งสูญญากาศ สามารถลดความชื้นได้รวดเร็ว และนอกจากนั้นการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาจะเป็นไปอย่างช้า ๆ แต่ในการใช้ไมโครเวฟจะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนอย่างรวดเร็ว เช่น ในการทำแห้งและการแปรรูปอื่น ๆ (Rosenberg & Boegl,1987:Giese,1992)

การทำแห้งสามารถอธิบายโดยใช้ Model (จากสมการของ Shraf Eldeen et al.,1979:Shivhare et al.,1991:Diamante and Munro,1991)

โดย

$$MR = e^{-kt}$$

$$MR = \frac{M - Me}{Mo - Me}$$

เมื่อ

MR คือ moisture ratio

M คือ ความชื้นที่เวลาต่าง ๆ

M_o คือ ความชื้นที่เวลาเท่ากับ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M_e คือ ความชื้นสุดท้าย

k คือ ค่าคงที่ของการทำแห้ง

t คือ เวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

ถั่วเขียวคัดขนาดตราเดียวคู่ ขนาดบรรจุ 480 กรัม

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 ตู้สูญญากาศ 29x29x24 นิ้ว
3.2.2 เตาอบไมโครเวฟ TURBORA รุ่น TRX –249 M 900W
3.2.3 ขาตั้งไมโครเวฟ
3.2.4 แกนรับน้ำหนัก
3.2.5 เครื่องชั่ง Mettler PE 3000
3.2.6 ปั๊มสูญญากาศ Type BS2212 50 Hz RPM 1425
3.2.7 เกจสูญญากาศ 0-250 mbar
3.2.8 ตู้อบลมร้อน
3.2.9 โถดูดความชื้น
3.2.10 อลูมิเนียมแคน
3.2.11 ภาชนะสำหรับบ่มถั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 ตู้สูญญากาศ

ตู้สูญญากาศ มีรูปร่างลักษณะเป็นกล่องทำจากแผ่นสังกะสี ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนตัวตู้และฝาตู้

3.2.1.1 ส่วนตัวตู้ ทำจากแผ่นสังกะสี ขนาดตู้ภายใน 26x26x21 นิ้ว ความหนาของผนังตู้ 1.5 นิ้ว ความจุ 14,196 ลูกบาศก์นิ้ว ประกอบกันโดยการเชื่อม เจาะรูเพื่อเดินสายไฟ , ต่อกับเกจสูญญากาศ , ต่อกับปั๊มเพื่อดูดอากาศ และเนื่องจากมีรอยต่ออยู่มาก จึงต้องตรวจสอบรอยรั่ว โดยการปั๊มลมเข้าในตู้ ทดสอบโดยใช้น้ำสบู่ราดลงบริเวณรอยต่อต่าง ๆ ถ้ารั่วจะมีฟองอากาศเกิดขึ้น

3.2.1.2 ส่วนฝาตู้ ทำจากแผ่นสังกะสี เจาะเพื่อใส่แผ่นกระจกใส ไว้สำหรับอ่านค่าน้ำหนักจากเครื่องชั่งภายในตู้ และมองเห็นเตาอบไมโครเวฟขณะทำแห้ง และมีขอบยางกันรั่วที่รอยต่อระหว่างตัวตู้กับฝาตู้ เวลาปิดตู้ใช้ตัวล็อคเพื่อให้ปิดได้สนิท

3.2.2 เตาอบไมโครเวฟ

ใช้เตาอบไมโครเวฟ TURBORA รุ่น TRX – 249M กำลัง 900 W ความถี่ 2450 MHz ขนาด 12x9x12 นิ้ว เจาะเตาอบไมโครเวฟทางด้านล่างบริเวณแกนหมุน เพื่อต่อเป็นแกนรับน้ำหนัก

3.2.3 ขาตั้งไมโครเวฟ

เป็นโครงเหล็ก และใช้ไม้วางทับ เจาะรูตรงบริเวณที่ต่อให้แกนรับน้ำหนักผ่าน

3.2.4 แกนรับน้ำหนัก

ใช้แท่งทรงกระบอก ทำจากโพลิเมอร์ ต่อกับฐานวงกลมทำจากอะคริลิก เพื่อวางลงบนเครื่องชั่ง

3.2.5 เครื่องชั่ง

เครื่องชั่ง Mettler PE 3000 รับน้ำหนักได้ 3 กิโลกรัม ทศนิยม 1 ตำแหน่ง

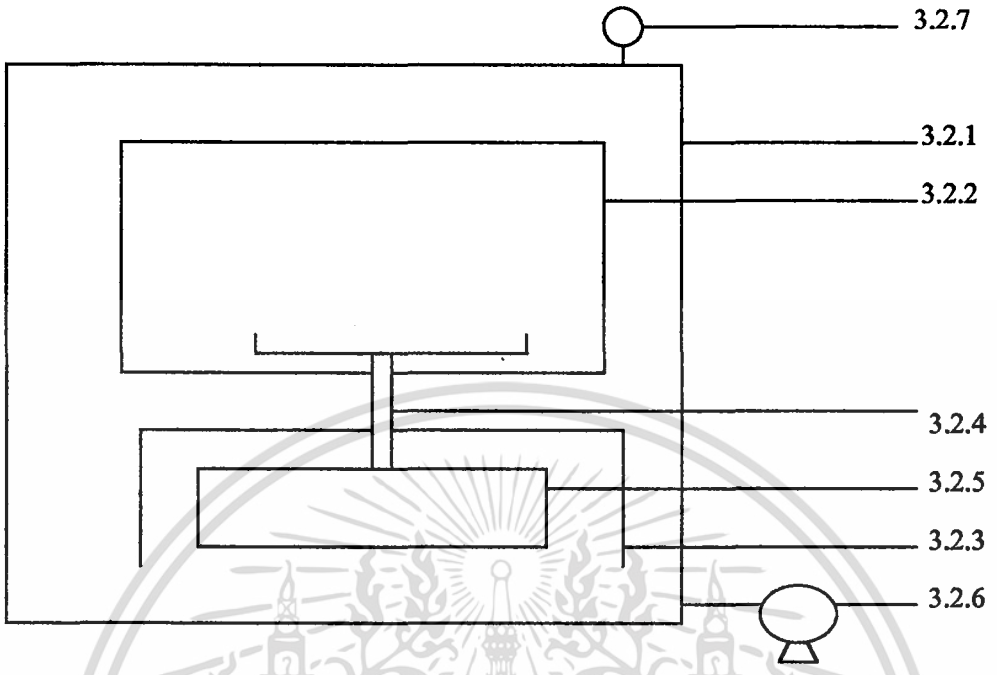
3.2.6 ปั๊มสูญญากาศ

ปั๊มสูญญากาศ Type BS 2212 50 Hz RPM 1425

3.2.7 เกจสูญญากาศ

ช่วงใช้งานระหว่าง 0-250 mbar ต่อเข้ากับท่อจากตู้สูญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.1 แสดงภาพโครงร่างของเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสูญญากาศ

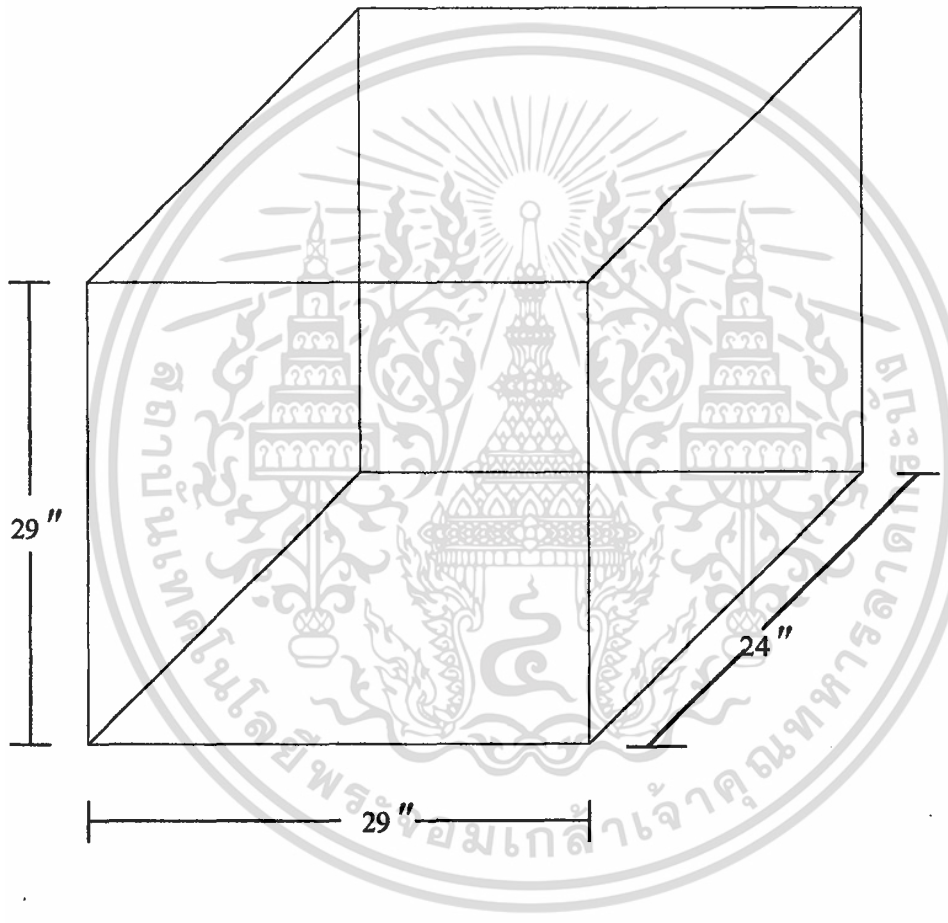
3.3 วิธีการทดลอง

การเริ่มต้นการทดลองจำเป็นต้องมีการวางแผนการทดลอง โดยเริ่มต้นออกแบบเครื่องมือและสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง เพื่อทำการอบแห้งและนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์อัตราการอบแห้ง

3.3.1 การออกแบบและสร้างเครื่องมือ

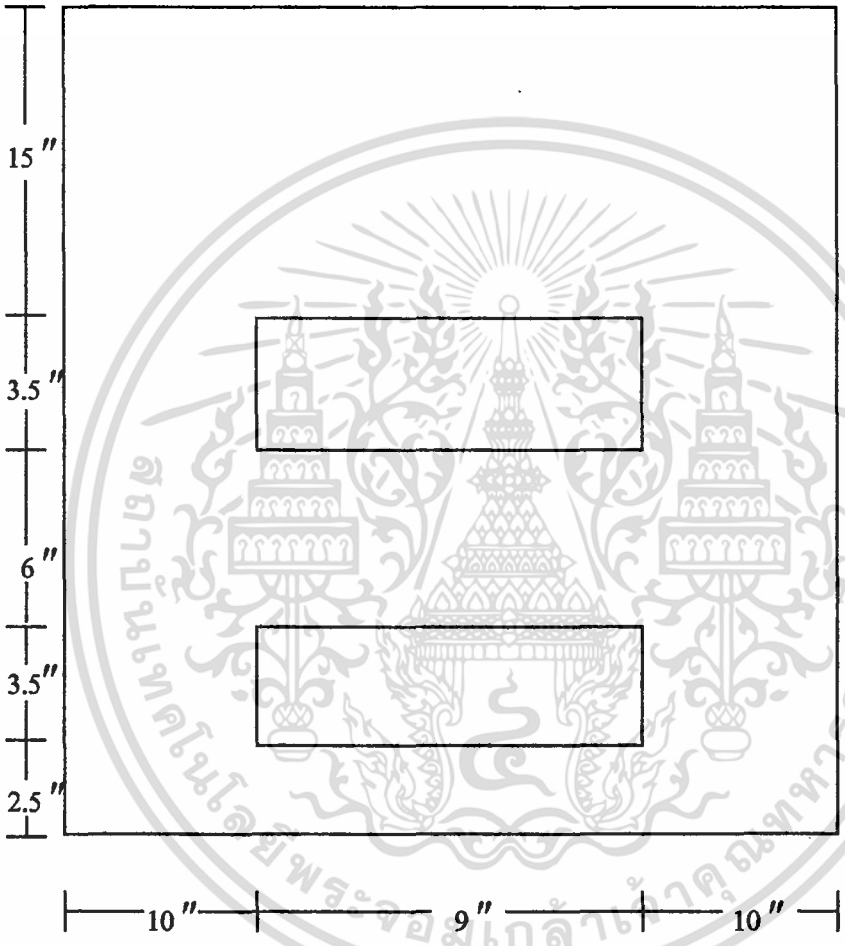
ก) ตู้สูญญากาศ ออกแบบให้มีขนาดใหญ่เหมาะกับขนาดของเตาอบไมโครเวฟและเครื่องชั่งที่มีอยู่ให้สามารถบรรจุอยู่ภายในได้ เลือกใช้วัสดุที่ทนต่อความดันต่ำได้ (สูญญากาศ) นอกจากนั้นพิจารณาการประกอบตัวตู้จากแผ่นสังกะสีโดยเลือกใช้วิธีการเชื่อมเพื่อป้องกันการรั่วของอากาศขณะเป็นสูญญากาศ ฝาตู้ต้องปิดสนิทจึงเลือกใช้ขอบยางติดฝาตู้ (ลักษณะคล้ายตู้เย็น) พร้อมทั้งตัวล็อก ส่วนของท่อสายไฟที่ต่อออกจากตู้สูญญากาศป้องกันการรั่วโดยใช้ซิลิโคนเชื่อมระหว่างสายไฟกับท่อ และเจาะช่องใส่กระจกใสเพื่อจดบันทึกน้ำหนักตลอดเวลาพร้อมทั้งดูการทำงานของเตาอบไมโครเวฟเนื่องจากทนแรงดันได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 แสดงขนาดของตู้สูญญากาศ

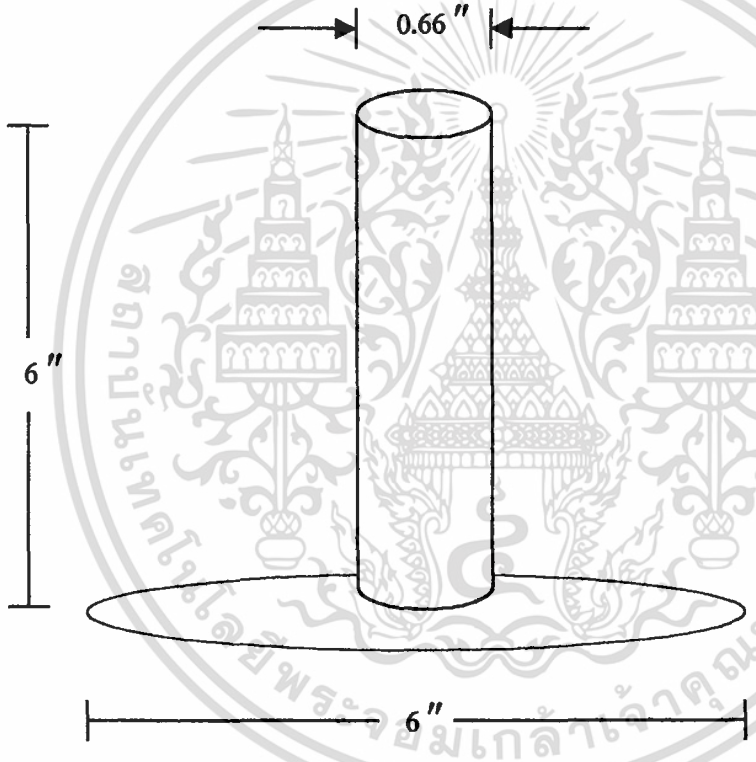
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 แสดง ขนาดของฝาตู้สูญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

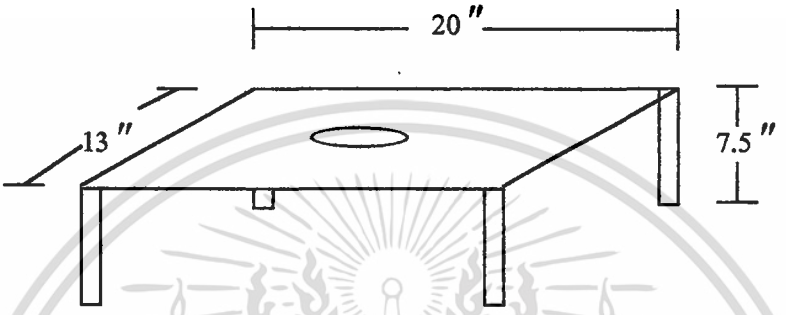
ข) แกนรับน้ำหนัก สามารถรับน้ำหนักของจานรองไมโครเวฟและจานบรรจุวัสดุอบแห้ง (ถั่วเขียว) จึงใช้แท่งทรงกระบอกทำจากโพลิเมอร์มีความสูง 6 นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลาง 16.6 มิลลิเมตร ซึ่งต่อกับฐานรองวงกลมทำจากอะครีลิก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว เพื่อเป็นฐานสำหรับรับน้ำหนักได้



ภาพที่ 3.4 แสดงขนาดของแกนรับน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
06639

ค) ขาตั้ง สำหรับรองรับน้ำหนักเตาอบไมโครเวฟและเจาะรูให้แกนรับน้ำหนักลอดผ่านเพื่อให้ได้น้ำหนักของวัสดุที่ทำการอบแห้ง (ถั่วเขียว) ขนาด 20x13x7.5 นิ้ว



ภาพที่ 3.5 แสดงขนาดของขาตั้งไมโครเวฟ

3.3.2 เตรียมวัสดุที่จะทำการอบแห้ง

จากการทดลองบ่มถั่วเขียวเพื่อให้ได้ความชื้นตามที่ต้องการ ปรากฏว่าเมื่อพรมน้ำ 5 มิลลิลิตร ลงบนถั่วเขียว 100 กรัม ใส่ในภาชนะปิดสนิทบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 4 $^{\circ}$ c เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้ถั่วเขียวที่มีความชื้น 15 % wet basis และเมื่อเปลี่ยนปริมาณน้ำเป็น 10 และ 15 มิลลิลิตร บ่มด้วยวิธีเดียวกันจะได้ถั่วเขียวที่มีความชื้น 20 และ 25% wet basis ตามลำดับ

3.3.3 การทดลองอบแห้ง

ก) นำถั่วเขียวที่บ่มจนได้ความชื้นที่ต้องการ 100 กรัม อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสูญญากาศ ที่ความดันบรรยากาศและความดันต่ำ 20 mbar ปรับระดับพลังงาน 200,300 และ 400 W

ข) บันทึกน้ำหนักทุก 10 วินาที จนน้ำหนักคงที่

ค) นำถั่วเขียวที่ทำการอบแห้งแล้วไปหาความชื้นสุดท้ายโดยวิธี proximate analysis

ง) คิดค่าความชื้นแบบ dry basis ที่ระยะเวลาต่าง ๆ นำมา plot กราฟระหว่าง moisture ratio กับ เวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

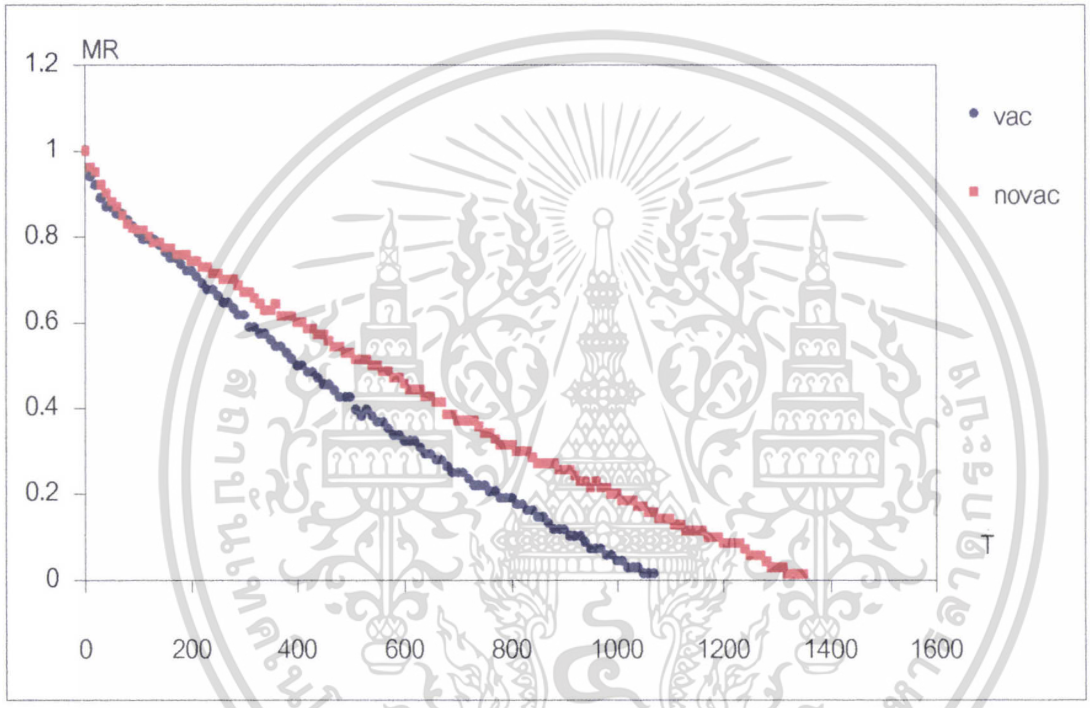
4.1 ผลของสูญญากาศต่อการอบแห้ง

เมื่อพิจารณาอัตราการอบแห้งของถั่วเขียวในทุกการทดลอง (ภาพที่ 4.1- ภาพที่ 4.9) พบว่าที่ความดันต่ำ 20 mbar อัตราการอบแห้งจะเร็วกว่าการอบแห้งด้วยไมโครเวฟที่ความดันบรรยากาศ ยกเว้นที่ระดับพลังงาน 400 W อัตราการอบแห้งจะใกล้เคียงกันทั้ง 2 ระดับความดัน

4.2 ผลของพลังงานไมโครเวฟ

เมื่อพิจารณาอัตราการอบแห้งของถั่วเขียวมีระดับพลังงานต่างกัน พบว่าเมื่อระดับพลังงานสูงขึ้นอัตราการอบแห้งจะเร็วขึ้นทั้งที่ความดันต่ำและความดันบรรยากาศ โดยที่ระดับพลังงานสูงถึง 400 W ถั่วเขียวจะเกิดการร้อนมากเกินไปจนไหม้

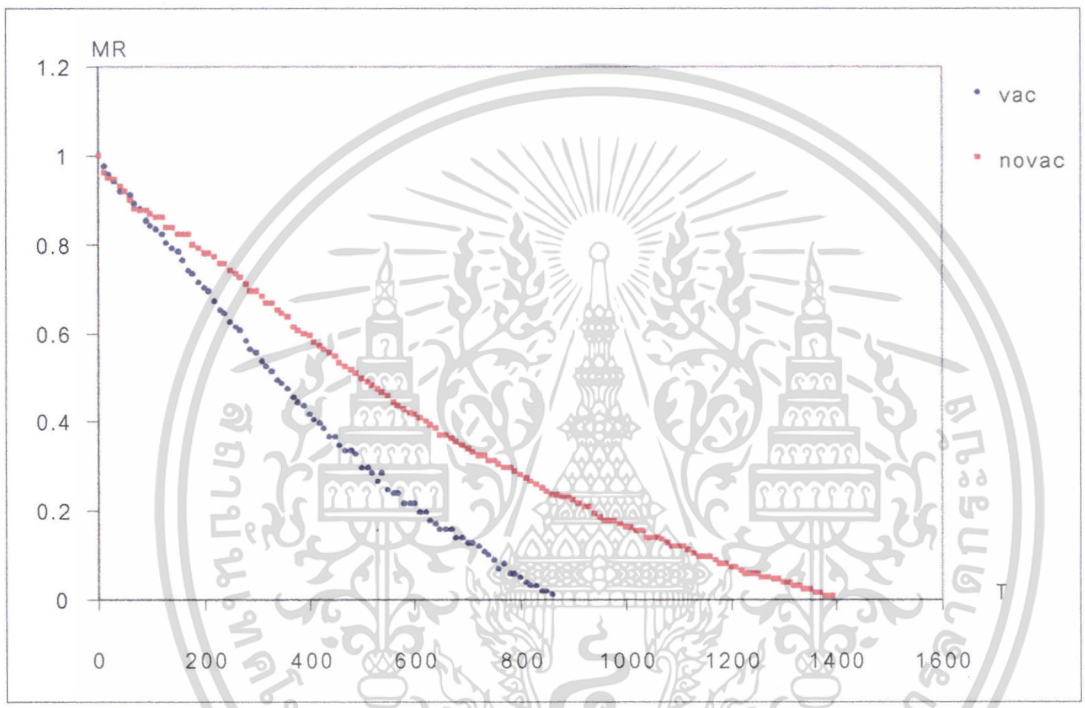
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 แสดง MR ของการอบแห้งไมโครเวฟและไมโครเวฟสูญญากาศสำหรับความชื้นเริ่มต้น 15 %wb พลังงาน 200 W

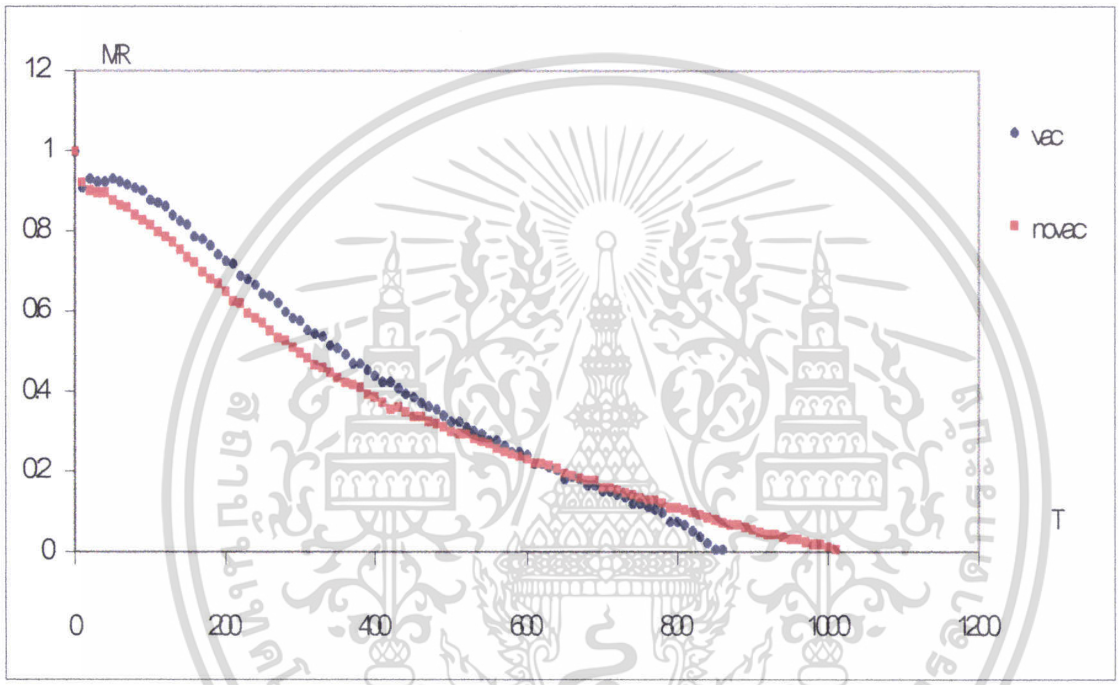
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15778



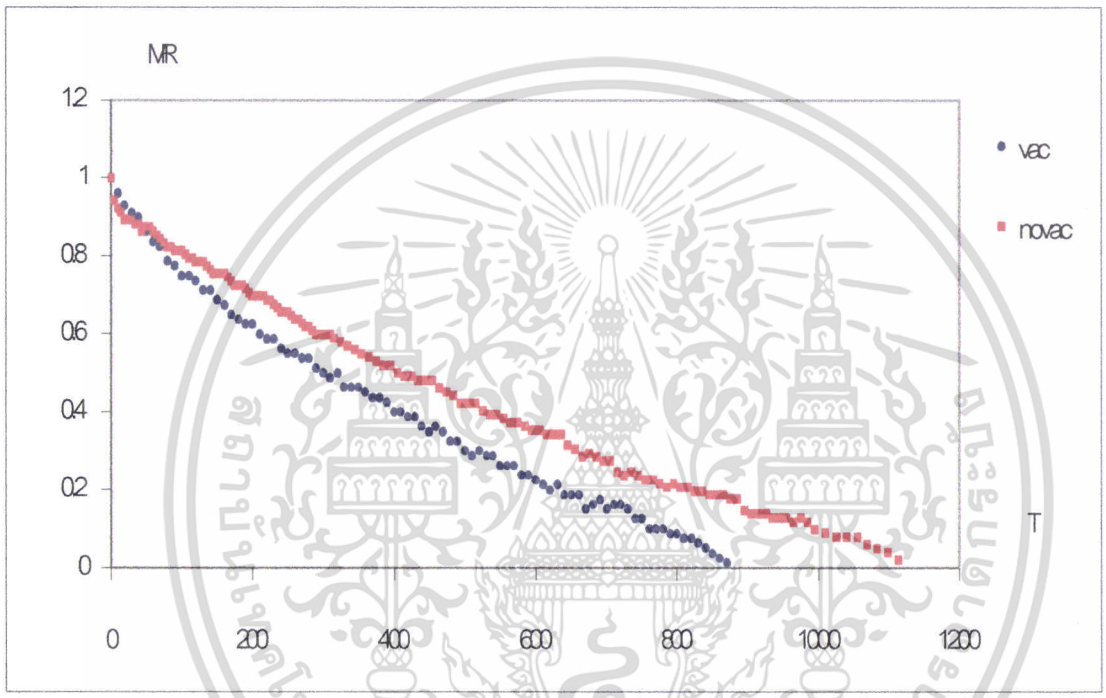
ภาพที่ 4.2 แสดง MR ของการอบแห้งไมโครเวฟและไมโครเวฟสูญญากาศสำหรับความชื้นเริ่มต้น 15 %wb พลังงาน 300 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง



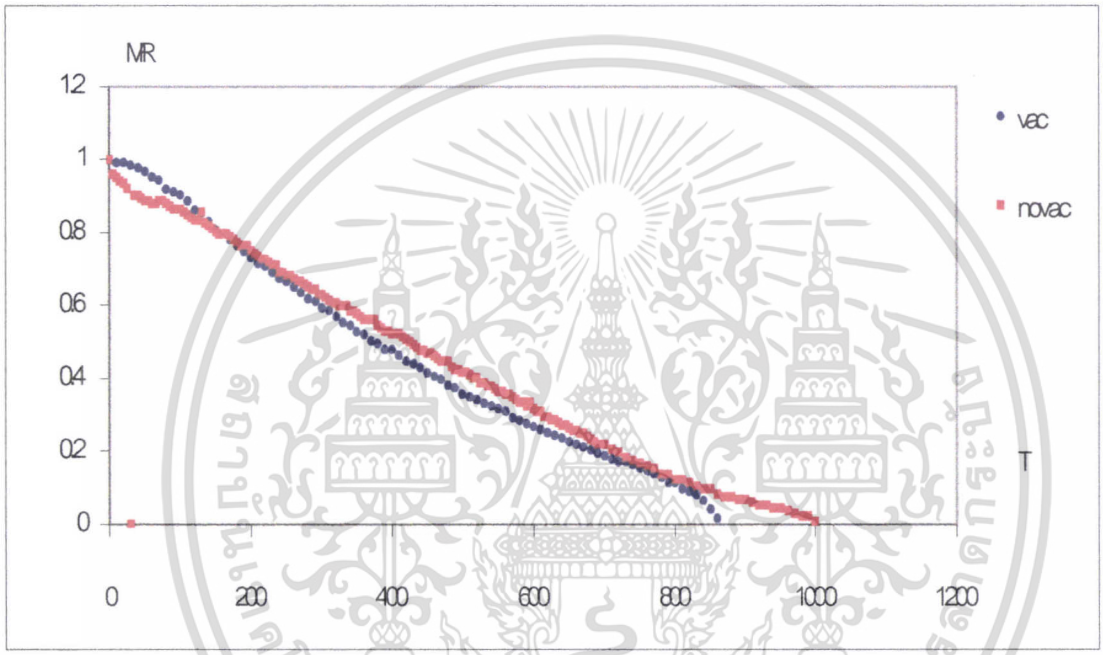
ภาพที่ 4.3 แสดง MR ของการอบแห้งไมโครเวฟและไมโครเวฟสูญญากาศสำหรับความชื้นเริ่มต้น 15 %wb พลังงาน 400 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



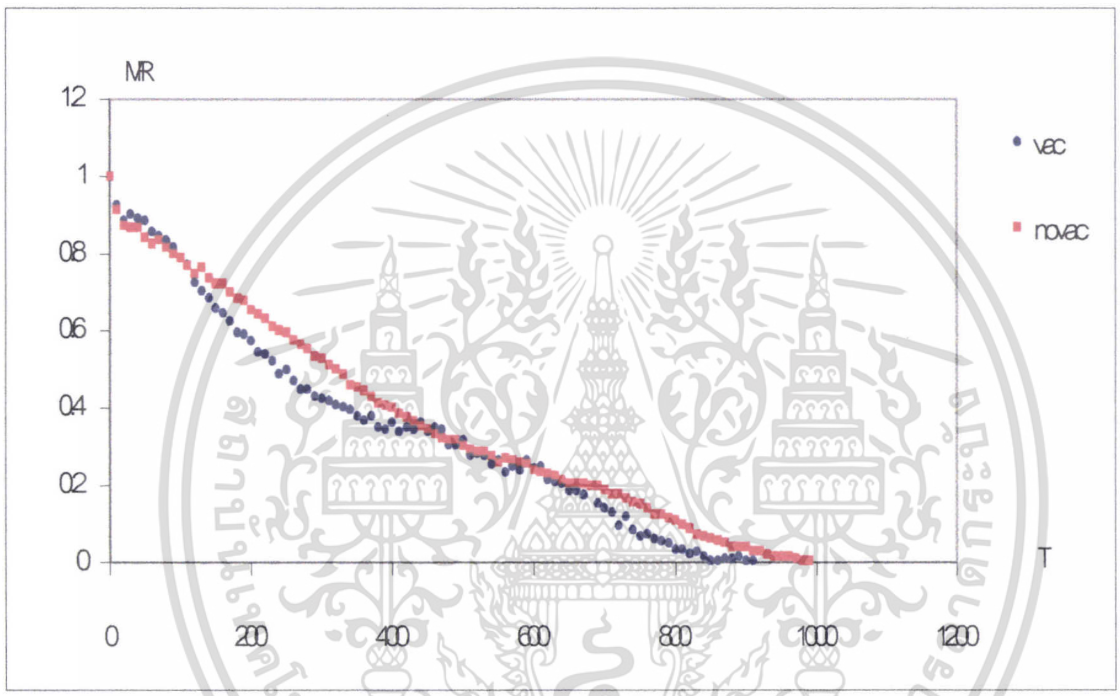
ภาพที่ 4.4 แสดง MR ของการอบแห้งไมโครเวฟและไมโครเวฟสูญญากาศสำหรับความชื้นเริ่มต้น 20 %wb พลังงาน 200 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



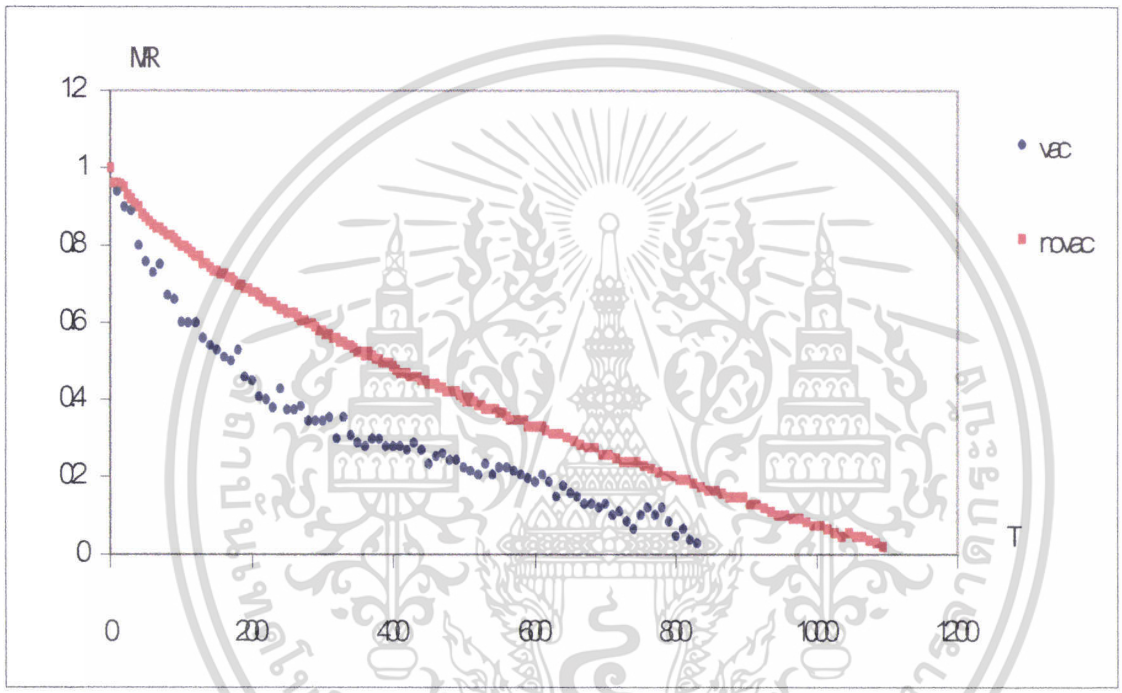
ภาพที่ 4.5 แสดง MR ของการอบแห้งไมโครเวฟและไมโครเวฟสูญญากาศสำหรับความชื้นเริ่มต้น 20 %wb พลังงาน 300 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



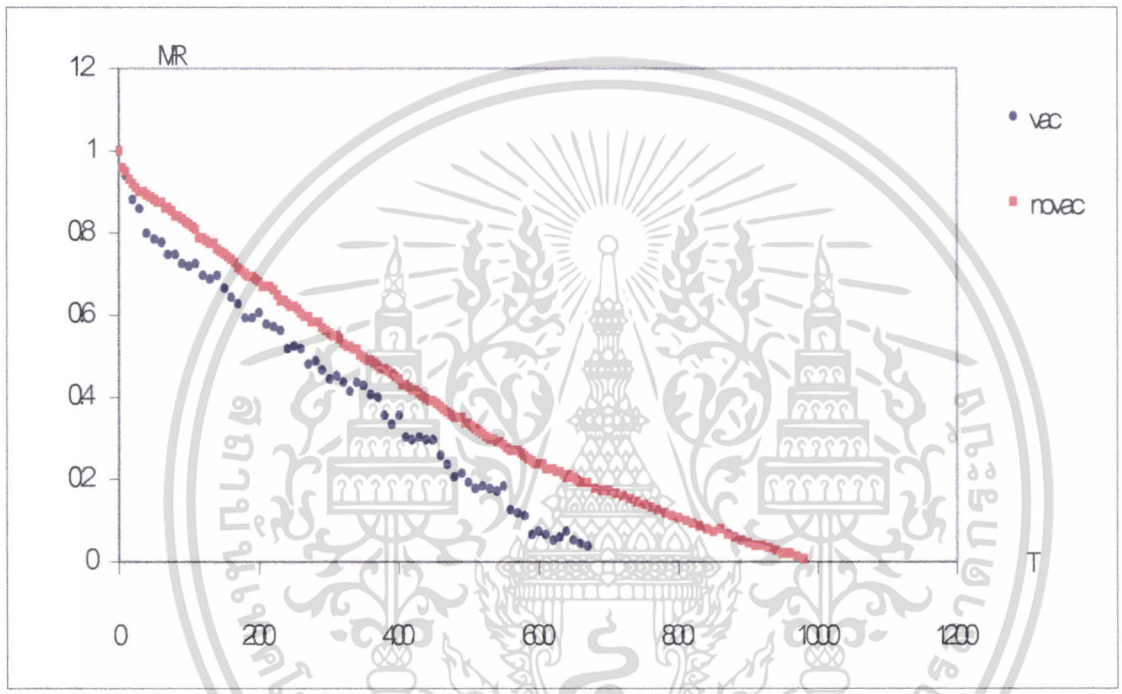
ภาพที่ 4.6 แสดง MR ของการอบแห้งไมโครเวฟและไมโครเวฟสูญญากาศสำหรับความชื้นเริ่มต้น 20 %wb พลังงาน 400 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



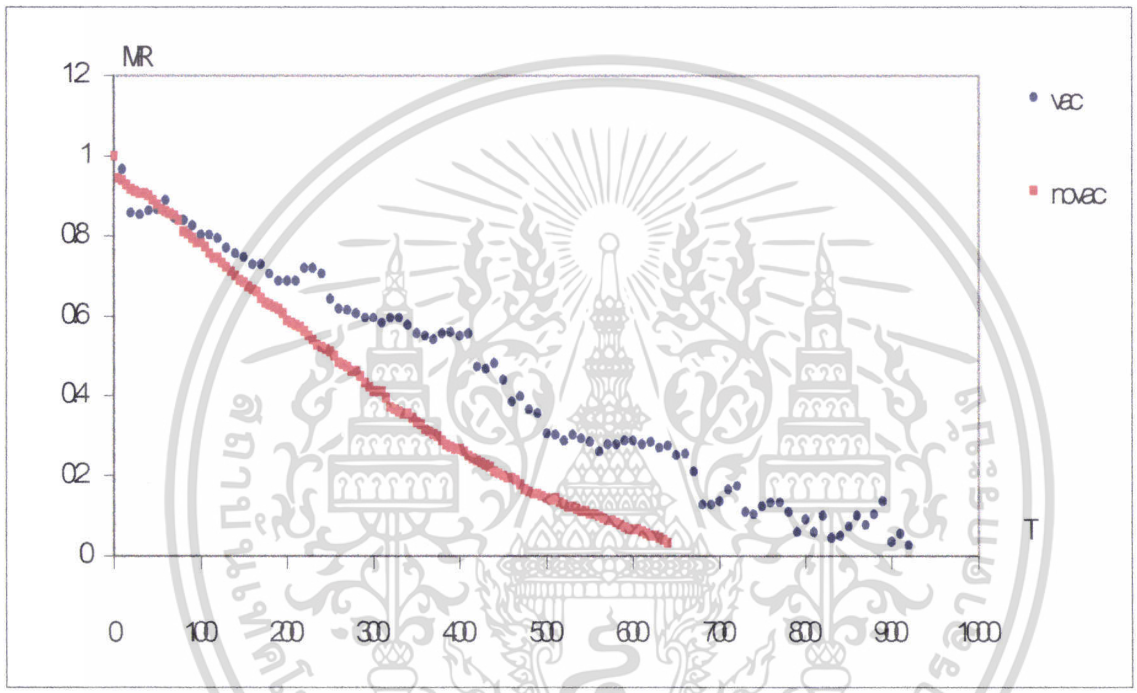
ภาพที่ 4.7 แสดง MR ของการอบแห้งไมโครเวฟและไมโครเวฟสูญญากาศสำหรับความชื้นเริ่มต้น 25 %wb พลังงาน 200 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 แสดง MR ของการอบแห้งไมโครเวฟและไมโครเวฟสูญญากาศสำหรับความชื้นเริ่มต้น 25 %wb พลังงาน 300 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 แสดง MR ของการอบแห้งไมโครเวฟและไมโครเวฟสูญญากาศสำหรับความชื้นเริ่มต้น 25 %wb พลังงาน 400 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองอบแห้งเมล็ดถั่วเขียวที่ระดับสูญญากาศ 20 mbar และที่ความดันบรรยากาศโดยใช้ระดับพลังงาน 200,300 และ 400 W และความชื้นเริ่มต้น 15,20 และ 25% wet basis พบว่า ที่ทุกระดับความชื้นการใช้ไมโครเวฟร่วมกับสูญญากาศในการอบแห้งถั่วเขียวได้อัตราการอบแห้งที่เร็วกว่าการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟที่ความดันบรรยากาศ และที่ระดับพลังงานสูงขึ้นจะได้อัตราการอบแห้งที่เร็วขึ้นเช่นกัน โดยระดับพลังงาน 400 W ไม่เหมาะสมต่อการอบแห้งไมโครเวฟสูญญากาศเมล็ดถั่วเขียวเนื่องจากความร้อนสูงเกินไป

ข้อบกพร่องและข้อเสนอแนะ

ข้อบกพร่อง	แนวทางการแก้ไข
1. การบันทึกข้อมูลต้องกระทำถี่ ๆ เป็นเวลานานติดต่อกัน อาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดได้	1. ควรมีระบบ data locker แทน เพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอในการบันทึกข้อมูล
2. เมื่อมีการดูดอากาศออกตู้สูญญากาศจะเกิดการบุบ	2. ควรมีการเสริมโครงเหล็กภายในตู้เพื่อเพิ่มความแข็งแรง และทนต่อระดับสูญญากาศที่มากขึ้น
3. ไม่มีการเปรียบเทียบการอบแห้งที่สูญญากาศระดับต่าง ๆ	3. ควรมีการเพิ่มขนาดของปั๊มเพื่อให้มีระดับสูญญากาศที่เพิ่มขึ้น (สูงกว่า 20 mbar)
4. ไม่มีการวัดอุณหภูมิภายในเตาอบไมโครเวฟขณะทำแห้ง	4. ควรเพิ่มอุปกรณ์ในการวัดอุณหภูมิ อาจใช้เป็นอินฟราเรด เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับอัตราการทำแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2527, ถั่วเขียว, *พืชเศรษฐกิจ* เล่ม 2;230

จรัส กิจบำรุง, 2539, ถั่วเขียว,*รายงานการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ งานวิจัยถั่วเขียว* ครั้งที่ 6 ปี 2538, กรมวิชาการเกษตร; 351-352

ทรงเชาว์ อินสมพันธ์, 2531, ถั่วเขียว, *พืชไร่สำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย* 1;261

ประวีณา สวราชย์, 2536, การใช้ไมโครเวฟในการเก็บรักษาอาหาร, *สัมมนา ระดับปริญญาตรี*, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,กรุงเทพฯ

สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร, 2541, ถั่วเขียว, *เอกสารคำแนะนำพันธุ์ถั่วเขียว*

สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2529, หลักการอบแห้ง, *กรรมวิธีการอบแห้ง*; 11-14,181-182

Benjamin Adu & Lambert Otten, 1996, Effect of Increasing Hygroscopicity on the Micrewave Heating of Solid Foods, *Journal of Food Engineering* 27; 35-37

Diamante L.M. and P.A. Munro., 1991, Mathermatical modelling of hot air drying of sweet potato slices, *Journal of Food Science and Technology* 26(1); 99-109

Drouzas A.E. & Schubert H., 1996, Microwave Application in Vacuum Drying of Fuits, *Journal of Food Engineering* 28;203-209

Giese J., 1992, Advances in microwave food processes, *Food Technology* 46(9); 18-23

Kostaroporlos A.E. & Saravacos G.D., 1995, Microwave Pre-treatment for Sun Dried Raisins, *Journal of Food Science* Vol.60(2);344-347

Owusu-Ansah Y.J., 1991, Advances in microwave drying of foods and food ingredients,Can. Inst, *Journal of Food Science Technology* 24(3-4);102-197

Prabhanjan D.G.,H.S. Ramaswamy & G.S.V. Raghavan, 1995, Microwave assisted Convective Air Drying of Thin Later Carrots, *Journal of Food Engineering* 25; 283-293

Robert V.Deacareau, 1992, Characteristics of Microwaves, *Microwave Foods: New Product Development*, Food & Nutrition Press Inc.connecticut;48-49

Rosenberg U. & Boegl, 1987, Microwave thawing drying and paking in food industry , *Food Technology* 41(6);85-91

Schiffmann R.F., 1987, Microwave and dielectric drying , *In handbook of Industrial Drying*, A.S. Mujumdar(ED.); 327-356

Schiffmann R.F., 1992, Microwave processing in the U.S. food processing industry, *Food Technology* 46(12); 50-52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shivhare U.S.,G.S.V. Raghavan and G. Bossisio, 1990, Drying corn in microwave environment with varying initial moisture contents, *ASAE* paper No. 90-6605, St. Joseph, MI: ASAE

Shraf-Eldeen Y.I., M.Y, Hamdy and J.L. Blais dell, 1979, Falling rate drying of fully exposed biological materials, A review of mathematical models, *ASAE* paper No.79-6522, St. Joseph, MI: ASAE

Tulasidas,T.N., G.S.V. raghavan, E.R. Norris , 1993, Microwave and Convective Drying of Grapes, *American Saciety of Agricultural Engineers* Vol.36(6);1861-1865

Wadsworth J.I., L.Velupillai , L.R. Verma , 1990, Microwave-vacuum Drying of Parboiled Rice, *Transactions in Agricultrue* Vol,33(1);199-210

Youngsawatdegul J., 1996, Microwave-vacuum drying of cranberries, *Journal of Food Processing & Preservation* 20(2);121-143

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

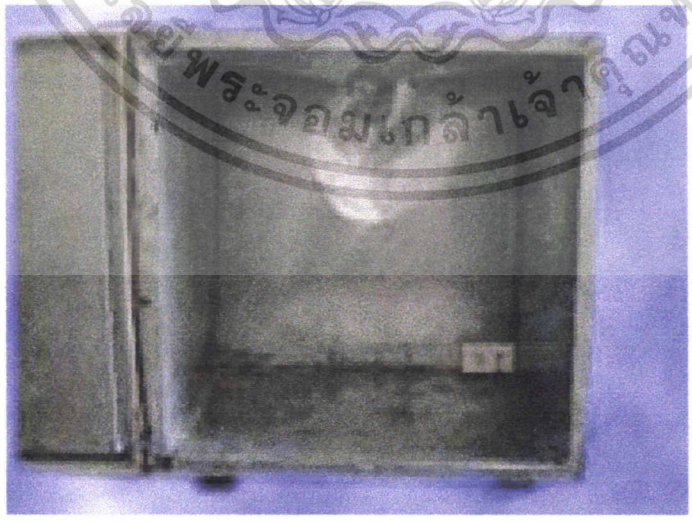
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

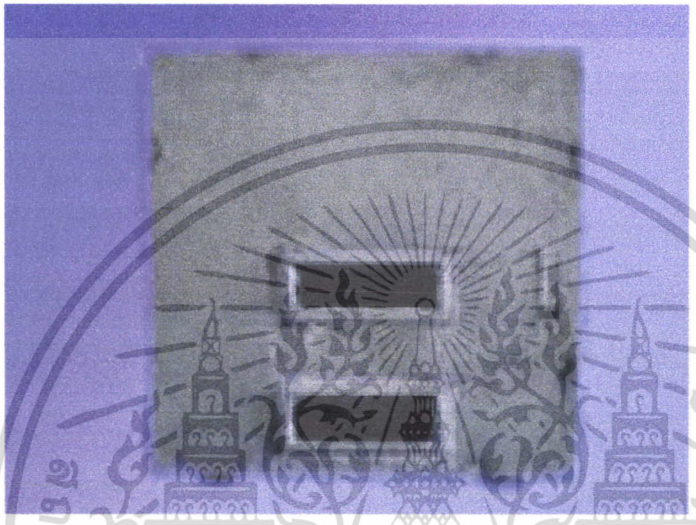
แสดงภาพส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสูญญากาศ

ภาพที่ 1 ส่วนประกอบภายในตู้สูญญากาศ

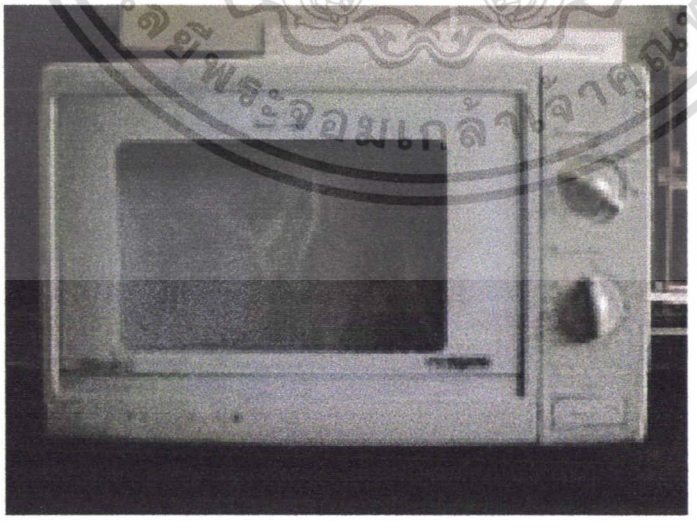


ภาพที่ 2 ตู้สูญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

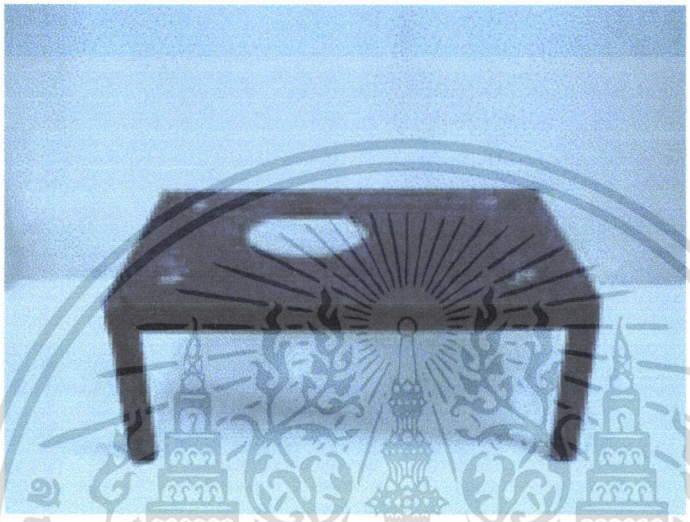


ภาพที่ 3 ฝาตู้สูญญากาศ

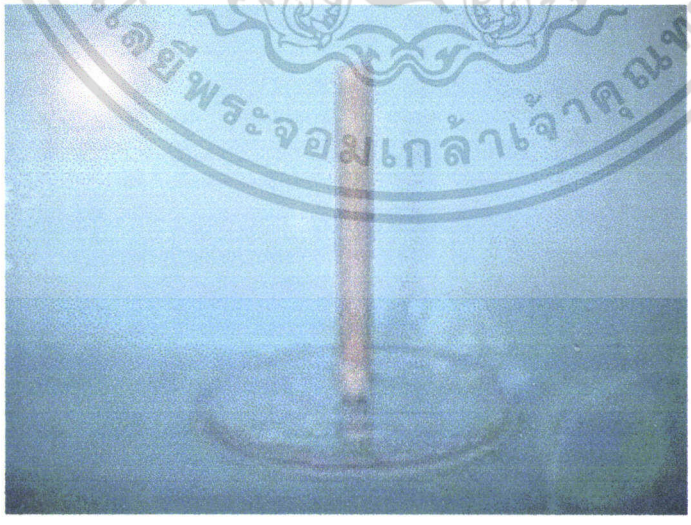


ภาพที่ 4 เตาอบไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

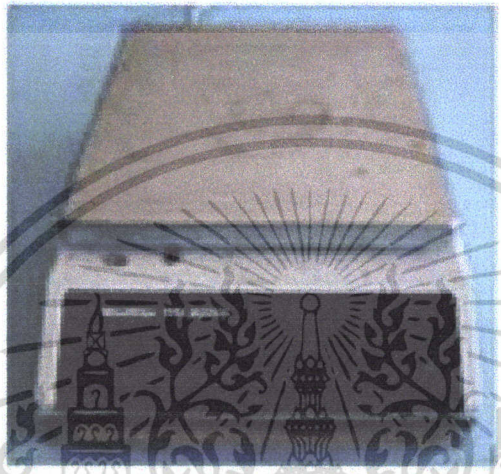


ภาพที่ 5 ขาตั้งไมโครเวฟ

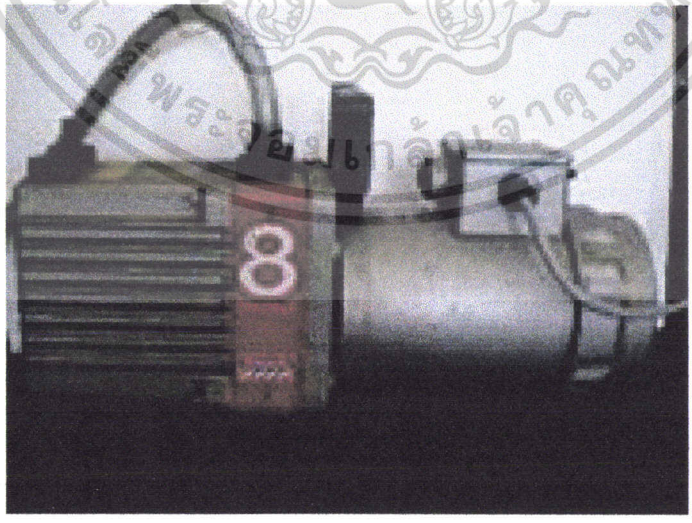


ภาพที่ 6 แกนรับน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

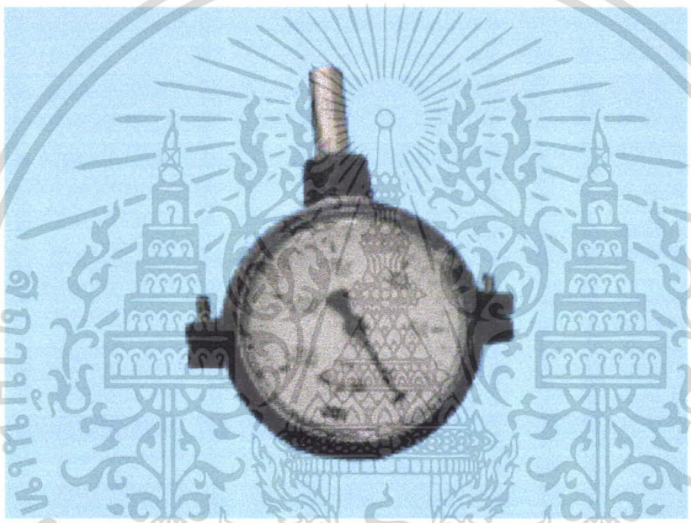


ภาพที่ 7 เครื่องชั่ง



ภาพที่ 8 ปั๊มสูญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 9 เกจสูญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

แสดงการคำนวณค่า moisture ratio โดยใช้โปรแกรม Excel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	vac 10 %wb 200 W			novac 10%wb 200 W			
เวลา	น้ำหนัก	M	MR	น้ำหนัก	M	MR	
0	100	16.77768	1	100	17.53906	1	
10	99	15.60991	0.94	98.9	16.24613	0.96	
20	98.8	15.37635	0.92	98.8	16.12859	0.95	
30	98.8	15.37635	0.89	98.9	16.24613	0.92	
40	99	15.60991	0.87	98.9	16.24613	0.9	
50	99.1	15.72668	0.867647	98.8	16.12859	0.88	
60	99	15.60991	0.852941	98.8	16.12859	0.868	
70	99	15.60991	0.852941	98.7	16.01105	0.85	
80	98.9	15.49313	0.838235	98.7	16.01105	0.83	
90	98.8	15.37635	0.823529	98.7	16.01105	0.82	
100	98.7	15.25957	0.808824	98.7	16.01105	0.814286	
110	98.6	15.1428	0.794118	98.7	16.01105	0.814286	
120	98.6	15.1428	0.794118	98.6	15.89351	0.8	
130	98.6	15.1428	0.794118	98.5	15.77598	0.785714	
140	98.5	15.02602	0.779412	98.5	15.77598	0.785714	
150	98.4	14.90924	0.764706	98.4	15.65844	0.771429	
160	98.3	14.79246	0.75	98.4	15.65844	0.771429	
170	98.3	14.79246	0.75	98.3	15.5409	0.757143	
180	98.2	14.67569	0.735294	98.3	15.5409	0.757143	
190	98.1	14.55891	0.720588	98.3	15.5409	0.757143	
200	98.1	14.55891	0.720588	98.2	15.42336	0.742857	
210	98	14.44213	0.705882	98.2	15.42336	0.742857	
220	97.9	14.32535	0.691176	98.1	15.30582	0.728571	
230	97.8	14.20857	0.676471	98.1	15.30582	0.728571	
240	97.8	14.20857	0.676471	98	15.18828	0.714286	
250	97.7	14.0918	0.661765	98	15.18828	0.714286	
260	97.6	13.97502	0.647059	97.9	15.07074	0.7	
270	97.6	13.97502	0.647059	97.9	15.07074	0.7	
280	97.5	13.85824	0.632353	97.9	15.07074	0.7	
290	97.4	13.74146	0.617647	97.8	14.9532	0.685714	
300	97.4	13.74146	0.617647	97.7	14.83566	0.671429	
310	97.2	13.50791	0.588235	97.7	14.83566	0.671429	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

320	97.2	13.50791	0.588235	97.6	14.71812	0.657143	
330	97.1	13.39113	0.573529	97.5	14.60058	0.642857	
340	97.1	13.39113	0.573529	97.4	14.48305	0.628571	
350	97	13.27435	0.558824	97.4	14.48305	0.628571	
360	96.9	13.15758	0.544118	97.5	14.60058	0.642857	
370	96.9	13.15758	0.544118	97.3	14.36551	0.614286	
380	96.8	13.0408	0.529412	97.3	14.36551	0.614286	
390	96.7	12.92402	0.514706	97.3	14.36551	0.614286	
400	96.6	12.80724	0.5	97.2	14.24797	0.6	
410	96.6	12.80724	0.5	97.2	14.24797	0.6	
420	96.5	12.69046	0.485294	97.1	14.13043	0.585714	
430	96.5	12.69046	0.485294	97.1	14.13043	0.585714	
440	96.4	12.57369	0.470588	97	14.01289	0.571429	
450	96.3	12.45691	0.455882	97	14.01289	0.571429	
460	96.3	12.45691	0.455882	96.9	13.89535	0.557143	
470	96.2	12.34013	0.441176	96.8	13.77781	0.542857	
480	96.1	12.22335	0.426471	96.8	13.77781	0.542857	
490	96.1	12.22335	0.426471	96.7	13.66027	0.528571	
500	96.1	12.22335	0.426471	96.7	13.66027	0.528571	
510	95.9	11.9898	0.397059	96.6	13.54273	0.514286	
520	95.8	11.87302	0.382353	96.6	13.54273	0.514286	
530	95.9	11.9898	0.397059	96.6	13.54273	0.514286	
540	95.8	11.87302	0.382353	96.5	13.42519	0.5	
550	95.7	11.75624	0.367647	96.5	13.42519	0.5	
560	95.7	11.75624	0.367647	96.4	13.30765	0.485714	
570	95.6	11.63947	0.352941	96.4	13.30765	0.485714	
580	95.5	11.52269	0.338235	96.3	13.19012	0.471429	
590	95.5	11.52269	0.338235	96.3	13.19012	0.471429	
600	95.4	11.40591	0.323529	96.2	13.07258	0.457143	
610	95.4	11.40591	0.323529	96.1	12.95504	0.442857	
620	95.4	11.40591	0.323529	96.1	12.95504	0.442857	
630	95.3	11.28913	0.308824	96.1	12.95504	0.442857	
640	95.2	11.17235	0.294118	96	12.8375	0.428571	
650	95.2	11.17235	0.294118	96	12.8375	0.428571	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

660	95.1	11.05558	0.279412	95.9	12.71996	0.414286	
670	95.1	11.05558	0.279412	95.9	12.71996	0.414286	
680	95	10.9388	0.264706	95.7	12.48488	0.385714	
690	94.9	10.82202	0.25	95.7	12.48488	0.385714	
700	94.9	10.82202	0.25	95.6	12.36734	0.371429	
710	94.9	10.82202	0.25	95.6	12.36734	0.371429	
720	94.8	10.70524	0.235294	95.6	12.36734	0.371429	
730	94.7	10.58847	0.220588	95.6	12.36734	0.371429	
740	94.7	10.58847	0.220588	95.5	12.2498	0.357143	
750	94.7	10.58847	0.220588	95.4	12.13226	0.342857	
760	94.6	10.47169	0.205882	95.4	12.13226	0.342857	
770	94.6	10.47169	0.205882	95.3	12.01473	0.328571	
780	94.5	10.35491	0.191176	95.2	11.89719	0.314286	
790	94.5	10.35491	0.191176	95.2	11.89719	0.314286	
800	94.5	10.35491	0.191176	95.2	11.89719	0.314286	
810	94.4	10.23813	0.176471	95.1	11.77965	0.3	
820	94.4	10.23813	0.176471	95.1	11.77965	0.3	
830	94.3	10.12136	0.161765	95.1	11.77965	0.3	
840	94.3	10.12136	0.161765	95	11.66211	0.285714	
850	94.2	10.00458	0.147059	94.9	11.54457	0.271429	
860	94.2	10.00458	0.147059	94.9	11.54457	0.271429	
870	94.1	9.8878	0.132353	94.9	11.54457	0.271429	
880	94	9.771022	0.117647	94.9	11.54457	0.271429	
890	94	9.771022	0.117647	94.8	11.42703	0.257143	
900	94	9.771022	0.117647	94.8	11.42703	0.257143	
910	93.9	9.654245	0.102941	94.8	11.42703	0.257143	
920	93.9	9.654245	0.102941	94.7	11.30949	0.242857	
930	93.9	9.654245	0.102941	94.6	11.19195	0.228571	
940	93.8	9.537467	0.088235	94.6	11.19195	0.228571	
950	93.7	9.420689	0.073529	94.5	11.07441	0.214286	
960	93.7	9.420689	0.073529	94.6	11.19195	0.228571	
970	93.7	9.420689	0.073529	94.5	11.07441	0.214286	
980	93.6	9.303912	0.058824	94.5	11.07441	0.214286	
990	93.6	9.303912	0.058824	94.4	10.95687	0.2	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1000	93.5	9.187134	0.044118	94.4	10.95687	0.2	
1010	93.5	9.187134	0.044118	94.3	10.83933	0.185714	
1020	93.4	9.070356	0.029412	94.3	10.83933	0.185714	
1030	93.4	9.070356	0.029412	94.3	10.83933	0.185714	
1040	93.4	9.070356	0.029412	94.2	10.7218	0.171429	
1050	93.3	8.953579	0.014706	94.2	10.7218	0.171429	
1060	93.3	8.953579	0.014706	94.1	10.60426	0.157143	
1070	93.3	8.953579	0.014706	94.1	10.60426	0.157143	
1080	93.2	8.836801	0	94	10.48672	0.142857	
1090	93.1	8.720023	-0.014706	94	10.48672	0.142857	
1100	93.2	8.836801	0	94	10.48672	0.142857	
1110				93.9	10.36918	0.128571	
1120	85.6328			93.9	10.36918	0.128571	
1130				93.8	10.25164	0.114286	
1140				93.8	10.25164	0.114286	
1150				93.8	10.25164	0.114286	
1160				93.8	10.25164	0.114286	
1170				93.7	10.1341	0.1	
1180				93.7	10.1341	0.1	
1190				93.7	10.1341	0.1	
1200				93.6	10.01656	0.085714	
1210				93.6	10.01656	0.085714	
1220				93.6	10.01656	0.085714	
1230				93.6	10.01656	0.085714	
1240				93.5	9.899022	0.071429	
1250				93.4	9.781483	0.057143	
1260				93.4	9.781483	0.057143	
1270				93.4	9.781483	0.057143	
1280				93.3	9.663944	0.042857	
1290				93.2	9.546405	0.028571	
1300				93.2	9.546405	0.028571	
1310				93.2	9.546405	0.028571	
1320				93.1	9.428866	0.014286	
1330				93.1	9.428866	0.014286	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1340				93.1	9.428866	0.014286	
1350				93.1	9.428866	0.014286	
				93	9.311327	0	
				93	9.311327	0	
				85.0781			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวจรรยา เลิศอมรชัยกุล เกิดเมื่อวันที่ 5 มีนาคม 2520 ที่อำเภอ บางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนสตรีวัดระฆัง กรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ.2538 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (วิศวกรรมแปรรูปอาหาร) คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ.2542

นางสาวมนัสชนก สากิยะ เกิดเมื่อวันที่ 29 กรกฎาคม 2521 ที่อำเภอ ดุสิต กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนศรียานุสรณ์ จันทบุรี ในปี พ.ศ.2538 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (วิศวกรรมแปรรูปอาหาร) คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ.2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้