วิทยานิพนธ์

การออกแบบเครื่องให้ความร้อนรำข้าวสำหรับการเก็บรักษา

DESIGN OF RICE BRAN HEAT - TREATMENT DEVICE FOR STORAGES

นายนัยวัฒน์ สุขทั่ง

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

ปริญญา

วิศวกรรมเกษตร	วิศวกรรมเกษตร
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การออกแบบเครื่องให้ความร้อนรำข้าวสำหรับการเก็บรักษา

Design of Rice Bran Heat - Treatment Device for Storages

นามผู้วิจัย นายนัยวัฒน์ สุขทั่ง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ .....

(รองศาสตราจารย์อภิชาติ จิรัฐติยางกูร, Dr.Ing.)

กรรมการ .....

(รองศาสตราจารย์มงคล กวางวโรภาส, Ph.D.)

กรรมการ .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เชาว์ อินทร์ประสิทธิ์, D.Eng.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การออกแบบเครื่องให้ความร้อนรำข้าวสำหรับการเก็บรักษา

Design of Rice Bran Heat - Treatment Device for Storages

โดย

นายนัยวัฒน์ สุขทั่ง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)
พ.ศ. 2550

นัยวัฒน์ สุขทั่ง 2550: การออกแบบเครื่องให้ความร้อนรำข้าวสำหรับการเก็บรักษา ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร) สาขาวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร ประธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์อภิชาติ จิรัฐติยางกูร, Dr.Ing. 140 หน้า

โดยการออกแบบและสร้างเครื่องให้ความร้อนรำข้าวเป็นแบบทรงกระบอก 2 ชั้น ชั้นในติดตั้งขดลวดความร้อนขนาด 1500 วัตต์ และชั้นนอกบรรจุรำข้าวได้ปริมาตรมากที่สุด 13 ลิตร สามารถหมุนได้โดยรับกำลังผ่านทางสายพานจากมอเตอร์กระแสสลับขนาด 25 วัตต์ จากผลการทดสอบสภาวะการทำงานของเครื่อง พบว่ารำข้าวสามารถรับความร้อนได้ดีเมื่อบรรจุรำข้าวปริมาณ 4 กิโลกรัม และความเร็วรอบในการหมุนของกระบอกบรรจุรำข้าว 30 รอบ/นาที ในการทดสอบผลของการให้ความร้อนรำข้าวที่มีต่อกิจกรรมเอนไซม์ไลเพสพบว่า สามารถลดกิจกรรมเอนไซม์ไลเพสลงได้ โดยสภาวะที่เหมาะสมในการให้ความร้อนคือการให้ความร้อนที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ทำให้รำข้าวมีอุณหภูมิ 84.4 องศาเซลเซียส ความชื้น 3.3 เปอร์เซ็นต์ และมีกิจกรรมเอนไซม์ไลเพสเพียง 1.0 เปอร์เซ็นต์ไฮโดรไลซิส ส่วนการทดสอบผลของการให้ความร้อนรำข้าวที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษา โดยนำรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที มาบรรจุในถุงซิปโพลีเอทิลีน 2 ชั้น, ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ปิดผนึกแบบสุญญากาศ และตัวอย่างควบคุมรำข้าวสดบรรจุในถุงกระสอบ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง และตู้เย็นเพื่อทดสอบการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระเป็นเวลา 16 สัปดาห์ พบว่ารำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนสามารถชะลอการเกิดกรดไขมันอิสระในระหว่างการเก็บรักษาได้ โดยรำข้าวสดที่เก็บรักษาในถุงกระสอบมีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นสูงถึง 74.9 และ51.7 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และตู้เย็นตามลำดับ ในภาชนะบรรจุแบบถุงซิปโพลีเอทิลีน 2 ชั้น มีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเป็น 54.0 และ26.3 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และตู้เย็นตามลำดับ ส่วนภาชนะที่ให้ผลในการเก็บรักษาดีที่สุดคือ ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์บรรจุแบบสุญญากาศที่เก็บรักษาในตู้เย็นซึ่งมีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเป็น 19.4 เปอร์เซ็นต์

___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่อประธานกรรมการ

Naiyawat Sukthang 2007: Design of Rice Bran Heat - Treatment Device for Storages. Master of Engineering (Agricultural Engineering), Major Field: Agricultural Engineering, Department of Agricultural Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Apichart Chirattiyangkur, Dr.Ing. 140 pages.

By designing and constructed a rice bran heat - treatment device comprises of 2 shells cylinder. The inner shell was installed with electric heating coil 1500 W and the outer shell drum could load rice bran capacity volume up to 13 litres. The drum can be rotated by transmitting power from belt through 25 W - AC motor. Experiments yielded suitable load for operation was 4 kg with revolution speed of 30 rpm. The effects of rice bran heat - treatment to lipase enzyme activity can be reduced. The best condition in heat - treatment was 200° C for 60 minutes of which the temperature of rice bran rose to 84.4° C with moisture content 3.3% and lipase enzyme activity only 1% hydrolysis. The effect of rice bran heat - treatment to the quality change during storages was studied by taking heat rice bran at 200° C for 60 minutes packed in polyethylene bag 2 layers, aluminum foil bag under vacuum and control sample raw rice bran packed in sack and stored in room temperature and in refrigerator. The sample was analyzed about the increase of free fatty acid (FFA) through 16 weeks. It was found that the increase of FFA was in a decreasing rate during storage for the whole 16 weeks. Raw rice bran packed in sack yielded increment of FFA up to 74.9% and 51.7% stored in room temperature and refrigerator respectively and rice bran packed in polyethylene bag 2 layers yielded increment of FFA up to 54.0 and 26.3% stored in room temperature and refrigerator respectively. For best type of packaging is aluminum foil bag under vacuum pack yielded increment of FFA up to 19.4% only.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. อภิชาติ จิรัฐติยางกูร ประธานกรรมการที่คอยให้คำปรึกษา และการสนับสนุนในการทำงานวิจัยครั้งนี้ พร้อมทั้งตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัย ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. มงคล กวางวโรภาส กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เชาว์ อินทร์ประสิทธิ์ กรรมการที่ปรึกษาวิชารอง และ อาจารย์ ดร. วีรพันธุ์ สรีดอกจันทร์ ที่กรุณาช่วยแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน และบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้การสนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัย ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกทดลองมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดลอง ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต โดยบริษัท โรงสีข้าวสวนดุสิต จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์วัตถุดิบรำข้าวหอมมะลิ 105 ในการทดสอบ ขอขอบคุณบุคคลากรในภาควิชาวิศวกรรมเกษตรที่คอยให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ขอขอบคุณรุ่นพี่ รุ่นน้อง และเพื่อนนิสิตทุกท่านที่ให้การสนับสนุนในการทำงานวิจัยในครั้งนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และญาติพี่น้องของข้าพเจ้าทุกท่านที่เป็นกำลังใจ และสนับสนุนให้โอกาสในการศึกษาเล่าเรียนด้วยดีตลอดมา

นัยวัฒน์ สุขทั่ง

สิงหาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(12)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	15
อุปกรณ์	15
วิธีการ	22
ผลและวิจารณ์	29
สรุปและข้อเสนอแนะ	53
สรุป	53
ข้อเสนอแนะ	54
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	55
ภาคผนวก	58
ภาคผนวก ก ข้อมูลจากการทดลอง	59
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ทางสถิติ	92
ภาคผนวก ค การเตรียมตัวอย่าง และวิเคราะห์ทางเคมี	113
ภาคผนวก ง การคำนวณออกแบบ	116
ภาคผนวก จ แบบเครื่องให้ความร้อนรำข้าว	130

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	6
2	หมายเลข และชื่อของชิ้นส่วน	30
3	ผลการศึกษาหาปริมาณการบรรจุรำข้าวที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที ต่ออุณหภูมิรำข้าว	32
4	ผลการศึกษาหาระดับความเร็วรอบในการหมุนกระบอกรำข้าวที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส และประมาณการบรรจุที่ 4 กิโลกรัม ต่ออุณหภูมิรำข้าว	34
5	ผลของอุณหภูมิรำข้าวในแต่ละการเปลี่ยนแปลง	38
6	ผลของการหาความชื้นรำข้าว และกิจกรรมเอนไซม์ไลเพสในแต่ละการเปลี่ยนแปลง	39
7	ผลของค่าสีรำข้าวในแต่ละการเปลี่ยนแปลง	41
8	การเปลี่ยนแปลงความชื้นของรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนบรรจุในภาชนะต่างกันและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 16 สัปดาห์	43
9	การเปลี่ยนแปลงความชื้นของรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนบรรจุในภาชนะต่างกันและเก็บรักษาไว้ที่ตู้เย็นนาน 16 สัปดาห์	44
10	การเปลี่ยนแปลงกรดไขมันอิสระของรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนบรรจุในภาชนะต่างกันและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 16สัปดาห์	48
11	การเปลี่ยนแปลงกรดไขมันอิสระของรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนบรรจุในภาชนะต่างกันและเก็บรักษาไว้ที่ตู้เย็นนาน 16 สัปดาห์	48
12	การเปลี่ยนแปลงค่าสีของรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนบรรจุในภาชนะต่างกันและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 16 สัปดาห์	51
13	การเปลี่ยนแปลงค่าสีของรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนบรรจุในภาชนะต่างกันและเก็บรักษาไว้ที่ตู้เย็นนาน 16 สัปดาห์	52

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ก1	อุณหภูมิรำข้าวจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 30 รอบ/นาทีและเปลี่ยนแปลงปริมาณการบรรจุที่ 3 กิโลกรัม	60
ก2	อุณหภูมิรำข้าวจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที และเปลี่ยนแปลงปริมาณการบรรจุที่ 4กิโลกรัม	61
ก3	อุณหภูมิรำข้าวจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที และเปลี่ยนแปลงปริมาณการบรรจุที่ 5 กิโลกรัม	62
ก4	อุณหภูมิรำข้าวจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส ปริมาณการบรรจุ 4 กิโลกรัม และเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบที่ 20 รอบ/นาที	63
ก5	อุณหภูมิรำข้าวจากการให้ความร้อนทีอุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส ปริมาณการบรรจุ 4 กิโลกรัม และเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบที่ 30 รอบ/นาที	64
ก6	อุณหภูมิรำข้าวจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส ปริมาณการบรรจุ 4 กิโลกรัม และเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบที่ 40 รอบ/นาที	65
ก7	อุณหภูมิรำข้าวจากการให้ความร้อนที่ปริมาณการบรรจุ 4 กิโลกรัม ความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที และเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ 170 องศาเซลเซียส	66
ก8	อุณหภูมิรำข้าวจากการให้ความร้อนที่ปริมาณการบรรจุ 4 กิโลกรัม ความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที และเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ 185 องศาเซลเซียส	67
ก9	อุณหภูมิรำข้าวจากการให้ความร้อนที่ปริมาณการบรรจุ 4 กิโลกรัม ความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที และเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ 200 องศาเซลเซียส	68
ก10	อุณหภูมิรำข้าวจากการให้ความร้อนในขั้นตอนการหากิจกรรมเอนไซม์ไลเพสที่อุณหภูมิแหล่งความร้อน 170 องศาเซลเซียส	69
ก11	อุณหภูมิรำข้าวจากการให้ความร้อนในขั้นตอนการหากิจกรรมเอนไซม์ไลเพสที่อุณหภูมิแหล่งความร้อน 185 องศาเซลเซียส	70
ก12	อุณหภูมิรำข้าวจากการให้ความร้อนในขั้นตอนการหากิจกรรมเอนไซม์ไลเพสที่อุณหภูมิแหล่งความร้อน 200 องศาเซลเซียส	71

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก13	ความชื้นรำข้าวจากการให้ความร้อนในขั้นตอนการหากิจกรรมเอนไซม์ไลเพส	72
ก14	ค่ากิจกรรมเอนไซม์ (%ไฮโดรไลซิส) ของรำข้าวจากการให้ความร้อน	72
ก15	ค่าสีของรำข้าวจากการให้ความร้อนในขั้นตอนการหากิจกรรมเอนไซม์ไลเพสที่อุณหภูมิแหล่งความร้อน 170 องศาเซลเซียส	73
ก16	ค่าสีของรำข้าวจากการให้ความร้อนในขั้นตอนการหากิจกรรมเอนไซม์ไลเพสที่อุณหภูมิแหล่งความร้อน 185 องศาเซลเซียส	74
ก17	ค่าสีของรำข้าวจากการให้ความร้อนในขั้นตอนการหากิจกรรมเอนไซม์ไลเพสที่อุณหภูมิแหล่งความร้อน 200 องศาเซลเซียส	75
ก18	เปอร์เซ็นต์ความชื้นในสัปดาห์ที่ 0 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB)	76
ก19	เปอร์เซ็นต์ความชื้นในสัปดาห์ที่ 2 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน	76
ก20	เปอร์เซ็นต์ความชื้นในสัปดาห์ที่ 4 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน	77
ก21	เปอร์เซ็นต์ความชื้นในสัปดาห์ที่ 6 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน	77
ก22	เปอร์เซ็นต์ความชื้นในสัปดาห์ที่ 8 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน	78

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก23	เปอร์เซ็นต์ความชื้นในสัปดาห์ที่ 10 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน	78
ก24	เปอร์เซ็นต์ความชื้นในสัปดาห์ที่ 12 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน	79
ก25	เปอร์เซ็นต์ความชื้นในสัปดาห์ที่ 16 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน	79
ก26	ค่ากรดไขมันอิสระ(%)ไฮโดรไลสิสในสัปดาห์ที่ 0 ของรำข้าวสด (RRB) และรำ ข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB)	80
ก27	ค่ากรดไขมันอิสระ(%)ไฮโดรไลสิสในสัปดาห์ที่ 2 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน	80
ก28	ค่ากรดไขมันอิสระ(%)ไฮโดรไลสิสในสัปดาห์ที่ 4 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน	81
ก29	ค่ากรดไขมันอิสระ(%)ไฮโดรไลสิสในสัปดาห์ที่ 6 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน	82
ก30	ค่ากรดไขมันอิสระ(%)ไฮโดรไลสิสในสัปดาห์ที่ 8 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน	82

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ก31 ค่ากรดไขมันอิสระ(%)ไฮโดรไลสิสในสัปดาห์ที่ 10 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน 82

ก32 ค่ากรดไขมันอิสระ(%)ไฮโดรไลสิสในสัปดาห์ที่ 12 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน 83

ก33 ค่ากรดไขมันอิสระ(%)ไฮโดรไลสิสในสัปดาห์ที่ 16 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน 83

ก34 ค่าสีของรำข้าว (L, a และ b) ในสัปดาห์ที่ 0 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) 84

ก35 ค่าสีของรำข้าว (L, a และ b) ในสัปดาห์ที่ 2 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน 85

ก36 ค่าสีของรำข้าว (L, a และ b) ในสัปดาห์ที่ 4 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน 86

ก37 ค่าสีของรำข้าว (L, a และ b) ในสัปดาห์ที่ 6 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน 87

ก38 ค่าสีของรำข้าว (L, a และ b) ในสัปดาห์ที่ 8 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน 88

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ก39 ค่าสีของรำข้าว (L, a และ b) ในสัปดาห์ที่ 10 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน 89

ก40 ค่าสีของรำข้าว (L, a และ b) ในสัปดาห์ที่ 12 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน 90

ก41 ค่าสีของรำข้าว (L, a และ b) ในสัปดาห์ที่ 16 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน 91

ข1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิรำข้าวที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที 93

ข2 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับเวลาในการให้ความร้อนที่มีผลต่ออุณหภูมิรำข้าวด้วยวิธีการของ Duncan 93

ข3 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับปริมาณการบรรจุที่มีผลต่ออุณหภูมิรำข้าวด้วยวิธีการของ Duncan 94

ข4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิรำข้าวที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส และปริมาณการบรรจุ 4 กิโลกรัม 94

ข5 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับความเร็วรอบที่มีผลต่ออุณหภูมิรำข้าวด้วยวิธีการของ Duncan 94

ข6 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับเวลาในการให้ความร้อนที่มีผลต่ออุณหภูมิรำข้าวด้วยวิธีการของ Duncan 95

ข7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชื้นรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในขั้นตอนการหากิจกรรมเอนไซม์ไลเพส 95

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข8	การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับอุณหภูมิที่มีผลต่อความชื้นรำข้าวด้วยวิธีการของ Duncan	96
ข9	การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับเวลาที่มีผลต่อความชื้นรำข้าวด้วยวิธีการของ Duncan	96
ข10	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกิจกรรมเอนไซม์ไลเพสในรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน	96
ข11	การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับอุณหภูมิที่มีผลต่อกิจกรรมเอนไซม์ไลเพสด้วยวิธีการของ Duncan	97
ข12	การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับเวลาที่มีผลต่อกิจกรรมเอนไซม์ไลเพสด้วยวิธีการของ Duncan	97
ข13	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชื้นรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในภาชนะบรรจุแบบต่างๆ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง	98
ข14	การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับภาชนะบรรจุที่มีผลต่อความชื้นรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	98
ข15	การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับเวลาที่มีผลต่อความชื้นรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	99
ข16	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชื้นรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในภาชนะบรรจุแบบต่างๆ เก็บรักษาไว้ที่ตู้เย็น	99
ข17	การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับภาชนะบรรจุที่มีผลต่อความชื้นรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่ตู้เย็น	100
ข18	การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับเวลาที่มีผลต่อความชื้นรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่ตู้เย็น	100
ข19	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกรดไขมันอิสระในรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในภาชนะบรรจุแบบต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	101

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ข20	การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับภาชนะบรรจุที่มีผลต่อกรดไขมันอิสระของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	101
ข21	การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับเวลาที่มีผลต่อกรดไขมันอิสระของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	102
ข22	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกรดไขมันอิสระในรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในภาชนะบรรจุแบบต่างๆ เก็บรักษาที่ตู้เย็น	102
ข23	การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับภาชนะบรรจุที่มีผลต่อกรดไขมันอิสระของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่ตู้เย็น	103
ข24	การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับเวลาที่มีผลต่อกรดไขมันอิสระของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่ตู้เย็น	103
ข25	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี Lในรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในภาชนะบรรจุแบบต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	104
ข26	การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับภาชนะบรรจุที่มีผลต่อค่าสี L ของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	104
ข27	การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับเวลาที่มีผลต่อค่าสี L ของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	105
ข28	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี Lในรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในภาชนะบรรจุแบบต่างๆ เก็บรักษาที่ตู้เย็น	105
ข29	การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับภาชนะบรรจุที่มีผลต่อค่าสี L ของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่ตู้เย็น	106
ข30	การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับเวลาที่มีผลต่อค่าสี L ของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่ตู้เย็น	106
ข31	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี aในรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในภาชนะบรรจุแบบต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	107

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ข32	การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับภาชนะบรรจุที่มีผลต่อค่าสี a ของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	107
ข33	การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับเวลาที่มีผลต่อค่าสี a ของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	108
ข34	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี aในรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในภาชนะบรรจุแบบต่างๆ เก็บรักษาที่ตู้เย็น	108
ข35	การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับภาชนะบรรจุที่มีผลต่อค่าสี a ของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่ตู้เย็น	109
ข36	การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับเวลาที่มีผลต่อค่าสี a ของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่ตู้เย็น	109
ข37	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี bในรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในภาชนะบรรจุแบบต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	110
ข38	การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับภาชนะบรรจุที่มีผลต่อค่าสี b ของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	110
ข39	การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับเวลาที่มีผลต่อค่าสี b ของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	111
ข40	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี bในรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในภาชนะบรรจุแบบต่างๆ เก็บรักษาที่ตู้เย็น	111
ข41	การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับภาชนะบรรจุที่มีผลต่อค่าสี b ของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่ตู้เย็น	112
ข42	การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับเวลาที่มีผลต่อค่าสี b ของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่ตู้เย็น	112
ง1	สมรรถนะในการส่งกำลังของสายพานลิ่มหน้าตัด “A” ต่อเส้น P_R (เป็น kW) สำหรับสายพานยาว L_p= 1732 mm และส่วนโค้งสัมผัส $\alpha = 180^\circ$	124

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ง2	ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส N_a สำหรับสายพานลิ่ม	126
ง3	ตัวประกอบใช้งาน N_S สำหรับสายพานลิ่ม	127
ง4	ตัวประกอบใช้งาน	128
ง5	ค่าตัวประกอบ k_2	129

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างของเมล็ดข้าว	3
2	การขัดสีระหว่างเมล็ดด้วยกันเอง และการขัดสีด้วยวัตถุ	4
3	แผนผังการเสื่อมคุณภาพของรำข้าว	7
4	การถ่ายเทความร้อนผ่านทรงกระบอกกลวง	13
5	เครื่องให้ความร้อนรำข้าว	15
6	เทอร์โมมิเตอร์แบบตัวเลข (FLUKE รุ่น 51)	17
7	เครื่องวัดสี (Minolta รุ่น CR-400)	17
8	เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (Schott Gerate รุ่น CG-818)	17
9	เครื่องเขย่า	18
10	เครื่องระเหยสุญญากาศ (BUCHI รุ่น Rotavapor R-200/205)	18
11	เครื่องกรองสุญญากาศ	19
12	เครื่องปิดผนึกแบบสุญญากาศ (Supervac รุ่น GK-125)	19
13	ถุงกระสอบโพลีเอทิลีน, ถุงซิปโพลีเอทิลีน และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์	19
14	แสดงลักษณะการให้ความร้อนรำข้าวในแนวตัดขวาง	22
15	วงจรการทำงานของขดลวดความร้อน	23
16	ตัวอย่างรำข้าวในแต่ละการเปลี่ยนแปลง	27
17	ตัวอย่างรำข้าวในบรรจุภัณฑ์แบบต่างๆเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และตู้เย็น	27
18	ภาพประกอบเครื่องให้ความร้อนรำข้าว	29
19	เครื่องให้ความร้อนรำข้าว	30
20	กราฟแสดงการเปรียบเทียบเส้นอุณหภูมิรำข้าวทั้งสามระดับของปริมาณการบรรจุ	33
21	กราฟแสดงการเปรียบเทียบเส้นอุณหภูมิรำข้าวทั้งสามระดับของความเร็วรอบการหมุน	35
22	กราฟแสดงการเปรียบเทียบเส้นอุณหภูมิรำข้าวทั้งสามระดับอุณหภูมิแหล่งความร้อน	36

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของตัวอย่างรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนเก็บรักษาในภาชนะบรรจุแบบต่างๆเป็นเวลานาน 16 สัปดาห์	44
24	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระของตัวอย่างรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนเก็บรักษาในภาชนะบรรจุแบบต่างๆเป็นเวลานาน 16 สัปดาห์	49

ภาพผนวกที่

ง1	ภาพตามยาวของกระบอกรำข้าว	117
ง2	ลักษณะการวัดแรงในการหมุนกระบอกรำข้าว	119
ง3	ระบบการถ่ายทอดกำลังด้วยสายพาน	122

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

FFA	=	กรดไขมันอิสระ
HRB	=	รำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน
HRB, AF	=	รำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ปิดผนึกแบบสุญญากาศ
HRB, AF (CT)	=	รำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ปิดผนึกแบบสุญญากาศ เก็บรักษาในตู้เย็น
HRB, AF (RT)	=	รำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ปิดผนึกแบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง
HRB, PE 2 L.	=	รำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนบรรจุในถุงซิปโพลีเอทิลีน 2 ชั้น
HRB, PE 2 Layer (CT)	=	รำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนบรรจุในถุงซิปโพลีเอทิลีน 2 ชั้น เก็บรักษาในตู้เย็น
HRB, PE 2 Layer (RT)	=	รำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนบรรจุในถุงซิปโพลีเอทิลีน 2 ชั้น เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง
LOX	=	เอนไซม์ไลพอกซี่จิเนส
RRB	=	รำข้าวสด
RRB, Sack	=	รำข้าวสดที่บรรจุในถุงกระสอบ
RRB, Sack (CT)	=	รำข้าวสดที่บรรจุในถุงกระสอบ เก็บรักษาในตู้เย็น
RRB, Sack (RT)	=	รำข้าวสดที่บรรจุในถุงกระสอบ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

การออกแบบเครื่องให้ความร้อนรำข้าวสำหรับการเก็บรักษา

Design of Rice Bran Heat - Treatment Device for Storages

คำนำ

ในกระบวนการผลิตข้าวของโลกมีผลผลิตรวมมากกว่า 550 ล้านตันต่อปี ส่วนประเทศไทยสามารถผลิตข้าวได้ถึง 25,608,000 ตัน เฉลี่ยผลผลิตจะได้ 419.76 กิโลกรัมต่อไร่ (ธรรมศักดิ์, 2547) และเป็นแหล่งอาหารส่วนใหญ่ของประชากรทั้งหมด เมื่อมีการเก็บเกี่ยวและลดความชื้นแล้วก็จะนำเข้าสู่กระบวนการกะเทาะเปลือกทำให้ได้ข้าวกล้อง และขัดสีได้ข้าวขาว ซึ่งผลพลอยได้ที่ออกมาจากกระบวนการก็คือ รำข้าว ซึ่งมาจากกระบวนการกะเทาะเปลือกประมาณ 5-8 เปอร์เซ็นต์ และจากกระบวนการขัดสีจะได้ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ข้าวขาวที่ได้ก็จะนำมาบริโภค ส่วนรำข้าวที่ออกมาจากกระบวนการ ส่วนหนึ่งจะนำมาผ่านกระบวนการสกัดน้ำมันรำข้าวเพื่อบริโภค และส่วนที่เหลือ รวมทั้งกากที่เหลือจากการสกัดน้ำมันออกไปแล้วก็จะถูกใช้เป็นอาหารสัตว์ราคาถูก แต่หากคำนึงถึงคุณค่า และประโยชน์จากรำข้าวแล้ว จะเห็นว่าน่าจะมีการพัฒนาการใช้ประโยชน์จากรำข้าวเพื่อการบริโภคให้มากขึ้น แต่เนื่องจากยังไม่มีวิทยาการในการคงสภาพรำข้าวที่เหมาะสม ดังนั้นจะเห็นได้ว่าปริมาณสารอาหารจากข้าวมากกว่าครึ่งต้องสูญเสียไป (จันทร์สม, 2546)

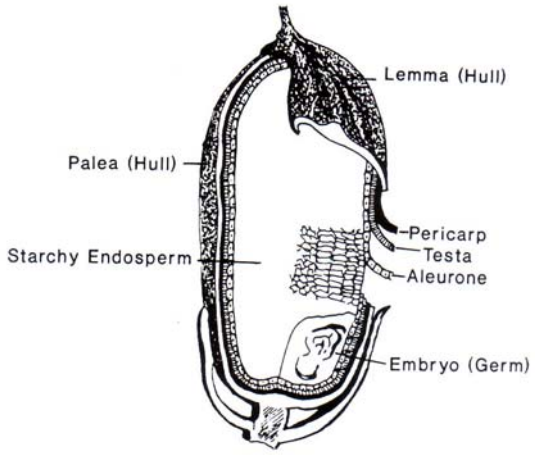
รำข้าวเป็นผลผลิตจากการเกษตรที่มีความไวต่อความเสียหายมากหากมีการเก็บรักษาไว้ในสภาพที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมีบางส่วนอยู่ในรูปไขมัน และมีกิจกรรมของเอนไซม์ที่อยู่ภายในทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีและได้กรดไขมันอิสระ และกรีเซอรอลออกมา ซึ่งเมื่อกรดไขมันอิสระทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจะทำให้เกิดการเหม็นหืน (ศิริวัฒน์, 2545) ซึ่งเป็นการบ่งบอกถึงการเสื่อมคุณภาพของรำข้าวนั่นเอง ดังนั้นการหาวิธีที่เหมาะสมก็จะสามารถยืดอายุการเก็บรักษาไว้ได้ แต่เนื่องจากรำข้าวยังคงมีเอนไซม์ไลเพสซึ่งอาจก่อให้เกิดการเสื่อมคุณภาพได้ จึงต้องทำให้รำข้าวมีความคงสภาพก่อนที่จะนำเข้าสู่กระบวนการเก็บรักษา เพื่อเป็นการลดกิจกรรมของเอนไซม์ไลเพสลง ซึ่งในการคงสภาพของรำข้าวอาจทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ความร้อน การใช้สารเคมี และการปรับสภาพบรรยากาศดัดแปลง เป็นต้น แต่ละวิธีก็จะมีข้อดี และข้อเสียแตกต่างกัน ดังนั้นเราจึงควรคำนึงถึงความแตกต่างนี้เพื่อเป็นข้อพิจารณาในการเลือกใช้ตามความเหมาะสม

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและออกแบบเครื่องมือในการให้ความร้อนรำข้าวสำหรับการเก็บรักษา
2. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพของรำข้าวระหว่างการเก็บรักษา

การตรวจเอกสาร

รำข้าว หมายถึง ผลพลอยได้ที่ออกมาจากกระบวนการผลิตข้าวขาว หรือข้าวสาร ซึ่งรำข้าวจะออกมาจาก 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนของการกะเทาะเปลือก และขั้นตอนของการขัดขาวข้าวกล้อง ซึ่งรำข้าวประกอบด้วยชั้นต่างๆ ได้แก่ เยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด ชั้นแอลิวโรน รวมทั้งบางส่วนของเอนโดเสปิร์มและคัพภะ(ศิริวัฒน์, 2545) โดยภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างของเมล็ดข้าวและชั้นต่างๆ



ภาพที่ 1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

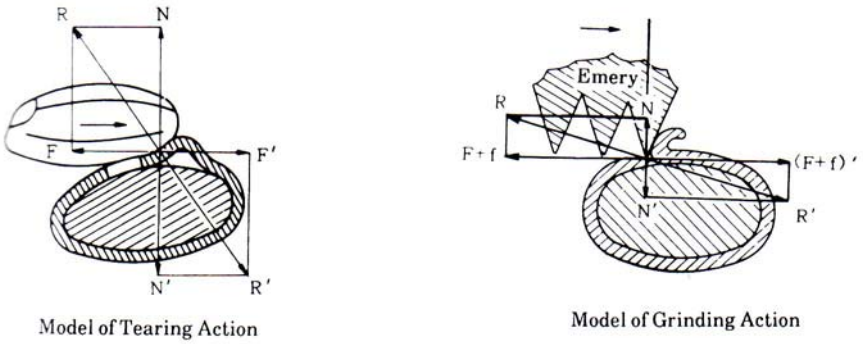
ส่วนประกอบ และชั้นต่างๆของเมล็ดข้าว

เยื่อหุ้มผล แบ่งเป็นชั้นต่างๆคือ epicarp, mesocarp และ endocarp ซึ่งแต่ละชั้นมีขนาดของเซลล์แตกต่างกัน ชั้นเยื่อหุ้มผลมีองค์ประกอบสำคัญคือคาร์โบไฮเดรต ส่วนเยื่อหุ้มเมล็ด จะอยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผล ประกอบด้วยเนื้อเยื่อสองชั้นเรียงกันเป็นแถว ในชั้นแอริวโรนจะประกอบด้วยเซลล์พาเรนไคมา ภายในมีการสะสมของโปรตีน เม็ดไขมัน และในส่วนของคัพภะ หรือจมูกข้าว ประกอบด้วยส่วนยอด รากอ่อน ซึ่งต่อกับส่วนลำต้น

กระบวนการขัดสีรำข้าว

รำข้าวที่ได้ออกมาจากกระบวนการผลิตข้าวส่วนหนึ่งซึ่งมีปริมาณน้อยและมีความหยาบมากจะออกมาจากขั้นตอนของการกะเทาะเปลือก และส่วนที่เหลือซึ่งมีปริมาณมากจะออกมาจากกระบวนการขัดสีข้าวขาวหรือในกระบวนการขัดขาวข้าวกล้อง โดยมีหลักการในการขัดรำข้าวออกเพื่อให้ได้เป็นเมล็ดข้าวขาวอยู่สองแบบด้วยกัน คือ การขัดสีกับวัตถุ และการขัดสีกันเองของเมล็ด

การขัดสีระหว่างเมล็ดด้วยกันเอง จะใช้เครื่องจักรที่มีส่วนประกอบสำคัญ 2 ชิ้น คือ ตะแกรงหกเหลี่ยมยาว และลูกโรกลวงสอดอยู่ในตะแกรง โดยลูกโรมีลักษณะเป็นปีกยื่นออกไป 2 ข้าง และอยู่ตรงข้ามกัน ที่ผิวของลูกโรมีรูเป็นแนวยาวเจาะทะลุลงไปถึงรูกลวงตรงกลาง ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของช่องลม เมื่อใส่ข้าวกล้องลงในกระบะรับข้าว เครื่องเคลื่อนย้ายแบบเกลียวจะพาข้าวกล้องไปยังช่องว่างระหว่างลูกโรกับตะแกรง ลูกโรจะพาข้าวกล้องให้หมุนไปและเกิดการขัดสีกันเอง



ภาพที่ 2 การขัดสีระหว่างเมล็ดด้วยกันเอง และการขัดสีด้วยวัตถุ

การขัดสีกับวัตถุ เครื่องขัดรำที่ใช้จะมีทั้งแบบที่เป็นแนวตั้ง และแนวนอน โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ชั้นคือ ชั้นแรกเป็นลูกโรเหล็กรูปกรวยตัดเคลือบด้วยหินขัด ลูกโรนี้จะอยู่ในลวดตะข่ายรูปกรวยตัดเช่นเดียวกัน โดยให้มีช่องว่างระหว่างลูกโรกับลวดตาข่ายเล็กน้อย ซึ่งมีการปรับตั้งระยะห่างได้ ซึ่งเมื่อข้าวกล้องเข้าไปก็จะเกิดการขัดสี และรำข้าวที่หลุดออกมาก็จะไหลออกสู่ด้านนอกของตาข่าย

ประโยชน์จากรำข้าว

รำข้าวที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการสีข้าวนั้นมีประโยชน์ และคุณค่ามากมายหลายอย่างในด้านโภชนาการ ซึ่งรำข้าวนี้เองเป็นแหล่งใยอาหารที่ดีมาก และถ้ามีการเก็บรักษาที่เหมาะสมก็จะสามารถยืดอายุของรำข้าวได้นานขึ้นเพื่อนำไปทำเป็นส่วนผสมของอาหารเพื่อสุขภาพ เช่น ธัญญาหาร ขนมปัง อาหารเสริมเส้นใย และอาหารสัตว์ ทั้งยังมีการผลิตเป็นน้ำมันรำข้าวเพื่อการบริโภค เนื่องมาจากรำข้าวนี้มีแร่ธาตุ สารอาหาร และวิตามินมากมาย ประกอบไปด้วย tocotrienole, potassium, inositol, choline, protein และวิตามิน B, E (Christensen, 2001)

องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว

ปัจจัยที่มีผลต่อชนิด และปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว ได้แก่ พันธุ์ข้าว ความหนาของชั้นต่างๆ รูปร่าง และความทนทานต่อการแตกหักของเมล็ดข้าว รวมทั้ง วิธีการ เครื่องมือ และสภาวะในการขัดสี ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีหลักๆจะประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต ไขมันและกรดไขมัน โปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุ โดยจะแสดงปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีร้อยละโดยน้ำหนักแห้งดังตารางที่ 1

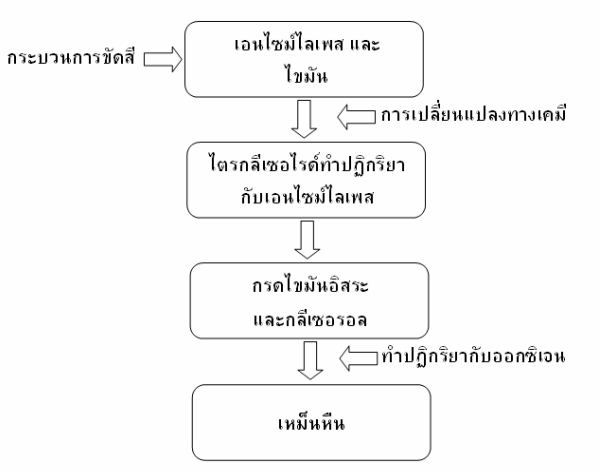
ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ
โปรตีน (ร้อยละ)	12.0-15.6
ไขมัน (ร้อยละ)	15.0-19.7
เส้นใยหยาบ (ร้อยละ)	7.0-11.4
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	34.1-52.3
เถ้า (ร้อยละ)	6.6-9.9
แคลเซียม (มิลลิกรัม/กรัม)	0.3-1.2
แมกนีเซียม (มิลลิกรัม/กรัม)	5.0-13.0
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/กรัม)	11.5-25.0
ไฟติน ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/กรัม)	9.0-22.0
ซิลิกา (มิลลิกรัม/กรัม)	6.0-11.0
สังกะสี (ไมโครกรัม/กรัม)	43.0-258.0
ไทอะมิน (ไมโครกรัม/กรัม)	12.0-24.0
ไรโบฟลาวิน (ไมโครกรัม/กรัม)	1.8-4.3
ไนอะซิน (ไมโครกรัม/กรัม)	267-499

ที่มา: ศิริวัฒน์ (2545)

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของรำข้าว

สาเหตุการเสื่อมคุณภาพของรำข้าวมาจากสารอาหารในรำข้าว เนื่องมาจากกิจกรรมเอนไซม์ไลเพส และฟอสโฟไลเพส ซึ่งจะทำให้เกิดการไฮโดรไลซิส เอนไซม์ไลเพสจะพบอยู่ในส่วนของ testa ส่วนไขมันจะพบมากในแอลิวโรน และคัพภะ ซึ่งในคัพภะจะมีกิจกรรมของเอนไซม์ไลเพสถึงร้อยละ 60 ของกิจกรรมเอนไซม์ไลเพสทั้งหมด ภาพที่ 3 แสดงแผนผังการเสื่อมคุณภาพของรำข้าว โดยเริ่มต้นจากกระบวนการสีข้าวทำให้ได้ส่วนที่เป็นรำข้าวออกมา จากนั้นเอนไซม์ไลเพสและไขมันจะมารวมกันอยู่ และเกิดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการทางเคมีโดยเริ่มจากฟอสฟาติลโคลีนซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของ spherosome membrane ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยเอนไซม์ฟอสโฟไลเพส ได้กรดฟอสฟาติดิกจึงทำให้ spherosome membrane ถูกทำลาย ดังนั้นไตรกลีเซอไรด์จึงออกมาและทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ไลเพส เกิดเป็นกรดไขมันอิสระและกลีเซอรอล เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้วจะทำให้เกิดกลิ่นหืนและทำให้คุณภาพของรำข้าวลดลง(ศิริวัฒน์, 2545) ซึ่งจะเห็นได้ว่ารำข้าวที่ได้จากกระบวนการสีข้าวนั้นสามารถเสื่อมคุณภาพได้ โดย Haydt. (n.d.) ได้รายงานไว้ว่าปริมาณกรดไขมันอิสระที่เหมาะสำหรับมนุษย์บริโภคไม่ควรเกิน 5 เปอร์เซ็นต์ (หลังจากกระบวนการขัดสี 12 ชั่วโมง) และสำหรับสัตว์บริโภคไม่ควรเกิน 12 เปอร์เซ็นต์ (หลังจากกระบวนการขัดสี 48 ชั่วโมง) ดังนั้นวิธีในการคงสภาพ และเก็บรักษาที่เหมาะสมมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง



ภาพที่ 3 แผนผังการเสื่อมคุณภาพของรำข้าว

การคงสภาพรำข้าว และการเก็บรักษา

การคงสภาพให้กับรำข้าวมีจุดประสงค์เพื่อทำลายเอนไซม์ จุลินทรีย์ หรือแมลง ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมคุณภาพของรำข้าว และเพื่อเป็นการรักษาองค์ประกอบที่สำคัญในรำข้าวได้แก่ ไขมัน โปรตีน วิตามิน (ศิริวัฒน์, 2545) ซึ่งการคงสภาพรำข้าวแบ่งได้เป็น 2 วิธีด้วยกัน คือ

1. การใช้สารเคมี

วิธีนี้มีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร เพราะต้องคำนึงถึงเรื่องการเจือปนของสารเคมี และการเปลี่ยนแปลงของสารอาหาร ซึ่งอาจส่งผลต่อสุขภาพผู้บริโภค และบรรยากาศ การคงสภาพรำข้าวนั้นมีจุดประสงค์เพื่อเป็นการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ไลเพสในรำข้าว วิธีการนี้สามารถนำไปใช้กับผลิตผลที่เป็นเนื้อเยื่อพืชที่มีเอนไซม์ไลเพสเป็นส่วนประกอบ แต่ต้องเลือกใช้สารเคมีให้ถูกต้องและเหมาะสม สารเคมีที่ใช้เพื่อยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ไลเพส ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก กรดแลกติก โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไอออนของโลหะ (จันทร์สม, 2546)

Takahashi (1919) รายงานว่า เอนไซม์ไลเพสในรำข้าวสามารถทำลายได้ด้วยการใช้ความร้อนร่วมกับการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้น 5-15 เปอร์เซ็นต์ โดยการผสมกันที่ปริมาณรำข้าว 1 กิโลกรัม นาน 5-10 ชั่วโมงแล้วนำไปทำให้แห้งด้วยแสงแดด และต่อมาได้ทดลองใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์เป็นแหล่งของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ผสมลงในรำข้าวโดยตรง 2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักรำข้าว พบว่าสามารถยับยั้งการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระได้ นอกจากนั้นยังได้ทดลองใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ผสมกับรำข้าวแล้วบรรจุในขวดแก้วที่ปิดสนิทได้ผลที่น่าพอใจ

นอกจากนี้ยังมีการใช้กรดไฮโดรคลอริกในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ไลเพสในรำข้าว (Probhakar and Vendatesh, 1986) โดยใช้กรด 40 ลิตรต่อรำข้าว 1 ตัน โดยมีวิธีการผสมแบบโปรยและแบบพ่น เพื่อทำให้รำข้าวมีค่าความเป็นกรดด่างต่ำลงจาก 6.9 เป็น 4.0 และนำมาเก็บในถุงปิดสนิทที่อุณหภูมิห้อง 25-30 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าในกรณีที่ใช้มือคลุกจะมีกรดไขมันเพิ่มขึ้นจาก 3.0 เป็น 9.3 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 51 วัน ส่วนในกรณีที่ใช้เครื่องคลุกพบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นจาก 6.7 เป็น 8.8 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 90 วัน สรุปได้ว่าการคลุกเคล้าที่สม่ำเสมอ และการเติมปริมาณกรดที่มากขึ้นจะทำให้กรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นจากเดิมเล็กน้อย

ในการศึกษาการใช้ไอออนโลหะเพื่อยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ไลเพสนั้น Munshi et al. (1993) ได้ทำการศึกษาพบว่า Fe^{3+} และ Ni^{2+} ที่ความเข้มข้น 5×10^{-3} M สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้อย่างสมบูรณ์ ในขณะที่ Zn^{2+} และ Cu^{2+} สามารถยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ได้เมื่อมีความเข้มข้นสูงขึ้นคือ 2.5×10^{-4} M และเมื่อทำการเก็บรักษาไว้พบว่ากรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นจากเดิมน้อยมากเมื่อใช้ Fe^{3+} และ Ni^{2+} ผสมลงในรำข้าว

2. การใช้วิธีทางกายภาพ

การใช้วิธีทางกายภาพแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ การเก็บที่อุณหภูมิต่ำ การเก็บในสภาพบรรยากาศดัดแปลง และการใช้ความร้อน

2.1 การเก็บที่อุณหภูมิต่ำ เป็นการเก็บรักษาในที่ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำ โดยจะใช้อุณหภูมิในการเก็บรักษาประมาณ 0-5 องศาเซลเซียส เพื่อลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแต่จะไม่สามารถหยุด หรือยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ไลเพสได้สิ้นเชิง เพราะเนื่องจากถ้านำมาไว้ที่อุณหภูมิห้องก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยานี้ขึ้นได้อีก ซึ่งอาจต้องใช้ต้นทุนสูงและน่าจะเหมาะสมกับการเก็บรักษาในปริมาณน้อยๆ (จันทร์สม, 2546)

2.2 การเก็บในสภาพบรรยากาศดัดแปลง เป็นวิธีในการลดปริมาณออกซิเจนเพื่อลดการเจริญของเชื้อรา การแพร่พันธุ์ของแมลง และลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้ แต่ไม่สามารถทำลายกิจกรรมไลโปไลติกได้ โดย Loeb et al (1949) ได้รายงานไว้ว่า การบรรจุรำข้าวในบรรยากาศของไนโตรเจนและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง 20-25 องศาเซลเซียส มีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นถึง 40 เปอร์เซ็นต์ภายใน 23 วัน และในการใช้คาร์บอนไดออกไซด์จะช่วยป้องกันการเจริญของแมลง และเชื้อราได้ แต่จะไม่ค่อยได้ผลเป็นที่น่าพอใจ และในเรื่องของการใช้รังสีเพื่อเป็นการคงสภาพรำข้าวนั้น ได้มีรายงานว่าการใช้วิธีนี้เป็นวิธีที่ยุ่งยาก และเสียค่าใช้จ่ายสูง

2.3 การใช้ความร้อน เป็นวิธีที่เหมาะสม และนิยมใช้มากที่สุดในการคงสภาพรำข้าวก่อนจะนำมาทำการเก็บรักษาต่อไป ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ได้ และแบ่งการใช้เทคนิคทางความร้อนนี้ออกเป็น 2 วิธี ด้วยกันคือ การใช้ไอน้ำ และการใช้ความร้อนแบบแห้ง ซึ่งมีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาในเรื่องของการคงสภาพรำข้าวด้วยเทคนิคทางความร้อนเพื่อการเก็บรักษาไว้มากมาย

ในการใช้ไอน้ำในการคงสภาพรำข้าวนั้นได้มีการศึกษาไว้แล้วโดย Hayashi (1998) ได้ทำการออกแบบ และสร้างเครื่องให้ความร้อนรำข้าว โดยเครื่องประกอบไปด้วยท่อ 2 ชั้น ต่อกันแบบอนุกรม 2 ชุด ซึ่งท่อชั้นในจะมีสกรูคอนเวเยอร์เพื่อลำเลียงรำข้าว และรับความร้อนจากไอน้ำที่มาตามท่อชั้นนอก และเมื่อรำข้าวออกจากท่อชุดที่สองแล้วจะผ่านไซโคลนเพื่อเป็นการลดความร้อนของรำข้าว โดยความดันไอน้ำที่ใช้จะอยู่ในช่วง 3-4 กิโลกรัม/เซ็นติเมตร^2 และอัตราการไหลของรำข้าวประมาณ 1.5-2.5 กิโลกรัม/นาที อุณหภูมิของรำข้าวที่ออกจากท่อชุดที่สองจะสูงถึง 90-93 องศาเซลเซียส และมีปริมาณความชื้นประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นผลให้กิจกรรมเอนไซม์ไลเพสลดลงครึ่งหนึ่งเมื่อเทียบกับรำข้าวสด ส่วนรำข้าวที่ผ่านเครื่องให้ความร้อนแล้วจะนำมาเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง 35 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณกรดไขมันอิสระน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ แต่ในรำข้าวสดจะมีกรดไขมันอิสระสูงถึง 121 เปอร์เซ็นต์ จากผลทดลองดังกล่าวบ่งชี้ได้ว่าประสิทธิภาพในการรักษาความคงตัวรำข้าวของเครื่องมีความใกล้เคียงกับการเก็บรักษาในห้องเย็น และส่วนประกอบทางเคมีของรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนยังคงอยู่เหมือนกับรำข้าวสด การทำความร้อนให้กับรำข้าวสามารถรักษาที่อุณหภูมิปกติได้โดยปราศจากการเสื่อมคุณภาพ และต้นทุนในการทำความร้อนวิธีนี้ประมาณ US$45/mt

การใช้ความร้อนแบบแห้งในการให้ความร้อนรำข้าว เป็นการใช้เทคนิคทางความร้อนอีกรูปแบบหนึ่งที่สามารถคงสภาพรำข้าวได้ (จันทร์สม, 2546)ได้ทำการศึกษาการทำให้รำข้าวมีความคงตัวด้วยไมโครเวฟ แล้วนำมาบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน คือ กระสอบโพลีเอทิลีน (sack) ถุงซิบโพลีเอทิลีน(PE) ถุงเคลือบอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต(AF)ที่ผนึกภายใต้สุญญากาศ แล้วเก็บตัวอย่างรำข้าวซึ่งเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25-30 องศาเซลเซียส) และที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ผลที่ได้คือ รำข้าวหลังอบจะมีความชื้น 4.8 เปอร์เซ็นต์ และในการเก็บรักษาในถุงปิดแบบสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีค่ากรดไขมันอิสระ และเพอร์ออกไซด์ต่ำ แต่เมื่อเก็บในถุงกระสอบที่มีการผ่านได้ของอากาศและความชื้นทำให้เกิดกรดไขมันอิสระสูงขึ้นมาก เมื่อเทียบกับการบรรจุในถุงแบบสุญญากาศซึ่งเพิ่มขึ้นเพียง 1 เปอร์เซ็นต์ ตลอดระยะเวลา 18 สัปดาห์

Ramezanzadeh et al., (1999a) ได้ทำการศึกษาความสูญเสียของสารอาหารในรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในระหว่างการเก็บรักษา โดยทำการเปรียบเทียบกันระหว่างรำข้าวสด กับรำข้าวที่ผ่านการอบ และการบรรจุต่างกันคือ แบบสุญญากาศ และแบบอากาศผ่านได้ และสภาพการเก็บรักษาที่แตกต่างกันคือ 25 องศาเซลเซียส กับ 4-5 องศาเซลเซียส ผลที่ได้คือ ปริมาณโปรตีนของรำข้าวที่ผ่านการอบ และเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 16 สัปดาห์ ไม่ขึ้นกับวิธีการในการบรรจุและอุณหภูมิในการเก็บรักษา ปริมาณไขมันในรำข้าวสดที่มีประมาณ (16.9-17.6 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างจากปริมาณไขมันในรำข้าวที่ผ่านการอบซึ่งมีประมาณ (17.0-17.8 เปอร์เซ็นต์) และหลังจากการเก็บรักษาผ่านไป 16 สัปดาห์ ปริมาณ stearic, linoleic และ ปริมาณ linoleic ของรำข้าวตัวอย่างทั้งหมดไม่เปลี่ยนแปลง แต่ปริมาณของ oleic acid จะลดลงในตัวอย่างรำข้าวสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการอบรำข้าวด้วยไมโครเวฟไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารในรำข้าว แต่สามารถลดการเกิดกรดไขมันอิสระได้ ดังนั้นวิธีนี้เหมาะที่จะนำมาใช้กับการทำอาหารเพื่อสุขภาพได้

เนื่องจากว่าการเสื่อมคุณภาพของรำข้าวนั้นเกิดจากปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ดังนั้น Ramezanzadeh et al. (1999b) จึงได้ทำการศึกษาในเรื่องการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของรำข้าวเพื่อการเก็บรักษา โดยทำการทดลองนำรำข้าวที่ปรับความชื้นให้ได้ 21 เปอร์เซ็นต์ มาผ่านการอบด้วยตู้อบไมโครเวฟที่ 380 วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นนำรำข้าวสดและรำข้าวที่ผ่านการอบมาบรรจุในถุงซิปและถุงสุญญากาศ เก็บที่สภาพอากาศ 4-5 องศาเซลเซียส และ25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 สัปดาห์ และนำตัวอย่างมาตรวจหากรดไขมันอิสระทุกๆ 4 สัปดาห์ จากผลการทดลองพบว่าตัวอย่างรำข้าวสดที่เก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระในถุงซิปและถุงสุญญากาศ จากเริ่มต้น 2.5 เปอร์เซ็นต์ เป็น 48.1เปอร์เซ็นต์ และ 54.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยในการเก็บที่อุณหภูมิ 4-5 องศาเซลเซียส กรดไขมันอิสระจะเพิ่มขึ้นช้ากว่า โดยจะเพิ่มเป็น 19.5 เปอร์เซ็นต์ และ25.4 เปอร์เซ็นต์ในบรรจุภัณฑ์แบบถุงซิปและถุงสุญญากาศตามลำดับ ส่วนตัวอย่างรำข้าวที่ผ่านการอบด้วยไมโครเวฟและเก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณกรดไขมันอิสระเกิดขึ้นน้อยมากคือประมาณ 5.2 เปอร์เซ็นต์ และ 6.9 เปอร์เซ็นต์ ในบรรจุภัณฑ์แบบถุงซิปและถุงสุญญากาศตามลำดับ แต่ในสภาพการเก็บรักษาที่ 4-5 องศาเซลเซียสพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระ ดังนั้นปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในรำข้าวสามารถป้องกันได้จากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแล้วเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์แบบถุงซิปและควรเก็บที่อุณหภูมิ 4-5 องศาเซลเซียส

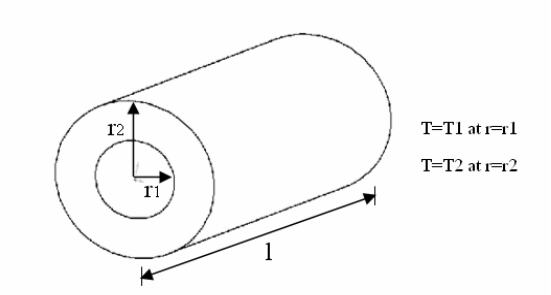
ต่อมา Ramezanzadeh et al. (1999c) จึงได้ทำการศึกษาในเรื่องการป้องกันการเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชั่นของรำข้าวเพื่อการเก็บรักษา โดยทำการทดลองนำรำข้าวที่ปรับความชื้นให้ได้ 21เปอร์เซ็นต์มาผ่านการอบด้วยตู้อบไมโครเวฟที่ 380 วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที และนำรำข้าวสดและรำข้าวที่ผ่านการอบมาบรรจุในถุงซิป และถุงสุญญากาศ เก็บที่อุณหภูมิ 4 - 5 องศาเซลเซียส และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 สัปดาห์ โดยนำตัวอย่างมาตรวจหา LOX (lipoxygenase) ทุกๆ 4 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่าค่า LOX เริ่มต้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงสำหรับถุงแบบซิป และถุงสุญญากาศที่เก็บในสภาพ 4-5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ แต่จะเพิ่มขึ้นที่สัปดาห์ที่ 16 จึงพบว่าการบรรจุแบบสุญญากาศไม่มีผลต่อปริมาณ LOX ตลอด 16 สัปดาห์ และในรำข้าวที่ผ่านการอบและเก็บรักษาในห้องเย็นไม่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ LOX ตลอด 12 สัปดาห์ แต่จะลดลงในสัปดาห์ที่ 16 ดังนั้นปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในรำข้าวสามารถป้องกันได้จากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ และควรเก็บที่อุณหภูมิ 4-5 องศาเซลเซียส และการบรรจุในถุงซิป

เนื่องจากปัญหาความเสียหายส่วนใหญ่จะเกิดจากกรดไขมันอิสระ และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น Marshall and Wadsworth, (1994) จึงได้รายงานเกี่ยวกับการศึกษานี้ ซึ่งเป็นการทดสอบการเพิ่มขึ้นของค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเพอร์ออกไซด์ในตัวอย่างรำข้าวที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือรำข้าวที่ผ่านกระบวนการ extrusion และรำข้าวที่ผ่านกระบวนการ parboiled บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน 2 แบบ คือ ถุงโพลีเอทิลีน และถุงโพลีเอทิลีนเคลือบด้วยอะลูมินัมฟอยล์หุ้มด้วยถุงกระดาษ และเก็บในสภาพการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน 2 แบบ คือ เก็บที่อุณหภูมิ 22 และ 38 องศาเซลเซียส โดยทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 ปี ผลการทดลองสรุปว่า กระบวนการคงสภาพรำข้าวแบบ extrusion อาจจะสามารถเก็บรักษาได้นานกว่า 1 ปี ในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองแบบและเก็บในสภาพที่มีอุณหภูมิน้อยกว่าหรือเท่ากับ 22 องศาเซลเซียส ส่วนรำข้าวที่ผ่านกระบวนการ parboiled มีอายุการเก็บรักษาที่มากที่สุดเพียง 3-4 เดือนเท่านั้น

จะเห็นได้ว่าวิธีในการคงสภาพของรำข้าวนั้นมีหลายวิธี ซึ่งในการเลือกใช้ต้องดูตามความเหมาะสม โดย Jarcia et al. (1988) ได้รายงานเกี่ยวกับการเปรียบเทียบวิธีในการคงสภาพรำข้าวระหว่างการใช้ความร้อนซึ่งทำการทดลองในระดับโรงงานอุตสาหกรรม และการใช้สารเคมีแต่จะทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ดังนี้ หลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องผ่านไป 1 เดือนพบว่ากรดไขมันอิสระของรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนและสารเคมีมีค่าน้อยกว่ารำข้าวสด และพบว่ารำข้าวที่ผ่านกระบวนการทางเคมีเกิดกรดไขมันอิสระน้อยกว่าแบบให้ความร้อนใน 2 เดือน แสดงว่ารำข้าวที่ผ่านกระบวนการทางเคมีสามารถเก็บได้นานกว่าแบบให้ความร้อนอย่างน้อย 1 เดือน ดังนั้นภายใต้สภาพที่ทำการศึกษานี้รำข้าวที่ผ่านกระบวนการทางเคมีจะเหมาะสมกว่า

การประยุกต์ใช้หลักการถ่ายเทความร้อนตามแนวรัศมี

เนื่องจากเครื่องให้ความร้อนรำข้าวที่ได้ออกแบบขึ้นมานั้นมีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอก 2 ชั้น โดยท่อชั้นในจะเป็นแหล่งความร้อน ส่วนท่อชั้นนอกบรรจุรำข้าวและรับความร้อนจากแหล่งความร้อนตามแนวรัศมีของท่อทรงกระบอกบรรจุรำข้าวซึ่งจะสอดคล้องกับหลักการถ่ายเทความร้อนตามแนวรัศมีของท่อทรงกระบอกกลวง ภาพที่ 4 แสดงทรงกระบอกที่มีรัศมีใน r_1 และรัศมีนอก r_2 และมีความยาว L เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิผิวท่อชั้นในและผิวท่อชั้นนอก $T_1 - T_2$ แล้ว จะสามารถเขียนสมการความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังทรงกระบอกได้โดยใช้กฎของฟูร์เยร์ (Fourier's law)



ภาพที่ 4 การถ่ายเทความร้อนผ่านทรงกระบอกกลวง

โดยพื้นที่สำหรับการถ่ายเทความร้อนของทรงกระบอกกลวง คือ

$$A_r = 2\pi rl \quad (1)$$

A_r คือ พื้นที่สำหรับการถ่ายเทความร้อนของทรงกระบอก (เมตร^2)

r คือ รัศมีของทรงกระบอก (เมตร)

l คือ ความยาวของทรงกระบอก (เมตร)

ดังนั้นสามารถเขียนสมการความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังทรงกระบอกโดยอาศัยกฎของฟูร์เยร์ (Fourier's law) ได้ดังนี้

$$q_r = -kA_r \frac{dT}{dr}$$

$$q_r \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{2\pi rl} = -k \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$q_r = \frac{2\pi kl}{\ln(r_2 / r_1)}(T_1 - T_2) \quad (2)$$

q_r คือ พลังงานความร้อน (วัตต์)

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (วัตต์/เมตร-องศาเซลเซียส)

r คือ รัศมีของทรงกระบอก (เมตร)

T คือ อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ (องศาเซลเซียส)

และสามารถเขียนให้อยู่ในรูปความต้านทานการนำความร้อนในทรงกระบอกกลวงได้ดังนี้

$$R_k = \frac{\ln(r_2 / r_1)}{2\pi kl} \quad (3)$$

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

วัตถุดิบเป็นรำข้าวหอมมะลิ 105 โดยได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทโรงสีข้าวสวนดุสิต จำกัด จังหวัดปราจีนบุรี ซึ่งเป็นโรงสีข้าวเพื่อการศึกษาและวิจัยของมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต มีกำลังการผลิต 60-80 ตันข้าวเปลือก/วัน ซึ่งถือว่าเป็นโรงสีข้าวขนาดกลาง เปิดดำเนินการมาแล้วเป็นเวลา 2 ปี และได้รับมาตรฐาน ISO 14001(2004), ISO 9000(2001), GMP และ HACCP โดยข้าวเปลือกที่นำมาเข้ากระบวนการจะรับมาจากสหกรณ์การเกษตรเดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี โดยจะรับเฉพาะข้าวพันธุ์หอมมะลิ 105 เท่านั้น ซึ่งความชื้นข้าวเปลือกก่อนเข้าสู่กระบวนการต้องมีความชื้นไม่เกิน 14 เปอร์เซ็นต์ อุปกรณ์และเครื่องมือในกระบวนการเป็นชุดของ Satake จากประเทศญี่ปุ่น

2. อุปกรณ์และเครื่องมือ

2.1 เครื่องให้ความร้อนรำข้าวที่ออกแบบ และสร้างขึ้นดังภาพที่ 5

ภาพที่ 5 เครื่องให้ความร้อนรำข้าว

2.2. ตู้อบไฟฟ้า (Memmert รุ่น UM-100) เพื่อใช้อบหาความชื้นของตัวอย่างรำข้าว

2.3 เทอร์โมมิเตอร์แบบตัวเลข (FLUKE รุ่น 51) โดยใช้เซ็นเซอร์เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K เพื่อใช้ในการวัดอุณหภูมิรำข้าว ดังภาพที่ 6

2.4 เครื่องชั่งดิจิตอล 2 ตำแหน่ง (AND รุ่น Precision Balance)

2.5 เครื่องชั่งสปริง

2.6 ตู้ทำความเย็น

2.7 เครื่องวัดสี (Minolta รุ่น CR-400) ต่อเชื่อมกับคอมพิวเตอร์ส่งค่าผ่านทางโปรแกรมไมโครซอฟท์เอกซ์เซลล์ เพื่อทำการเก็บค่าสีออกมาเป็น L, a และ b เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สีของตัวอย่างรำข้าวเพื่อสังเกตุการเปลี่ยนแปลง ดังภาพที่ 7

2.8 เครื่องวัดความเป็นกรด – ด่าง (Schott Gerate รุ่น CG-818) เพื่อใช้ในการวัดค่า pH ในขั้นตอนการหาค่ากิจกรรมเอนไซม์ไลเพส และค่ากรดไขมันอิสระ ดังภาพที่ 8

2.9 เครื่องเขย่า มีลักษณะเป็นแท่นรองรับทำหน้าที่ยึดขวดรูปชมพู่ที่บรรจุตัวอย่างไว้ โดยใช้การหมุนของเพลาลูกเบี้ยวที่รับกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าทำให้เกิดการเคลื่อนแบบขึ้นลง เพื่อเป็นการเขย่าตัวอย่างรำข้าวที่ผสมอยู่กับตัวทำละลายปิโตรเลี่ยมอีเทอร์ ในขั้นตอนของการสกัดน้ำมันรำข้าวตัวอย่าง ดังภาพที่ 9

2.10 เครื่องระเหยสุญญากาศ (BUCHI รุ่น Rotavapor R-200/205) ใช้หลักการระเหยของสารที่มีจุดเดือดต่างกันควบคู่ไปกับการควบคุมความดันบรรยากาศให้ต่ำกว่าปกติเพื่อแยกสารที่มีจุดเดือดต่ำกว่าออกมาก่อน เพื่อใช้ในการระเหยแยกเอาปิโตรเลียมอีเทอร์ที่มีจุดเดือดต่ำ (40-60 องศาเซลเซียส) ออกมาจากน้ำมันรำข้าว ดังภาพที่ 10

ภาพที่ 6 เทอร์โมมิเตอร์แบบตัวเลข (FLUKE รุ่น 51)

ภาพที่ 7 เครื่องวัดสี (Minolta รุ่น CR – 400)

ภาพที่ 8 เครื่องวัดความเป็นกรด – ด่าง (Schott Gerate รุ่น CG-818)

2.11 ชุดเครื่องกรองสุญญากาศ ประกอบไปด้วยชุดมอเตอร์ไฟฟ้าและปั้มสุญญากาศ ต่อสายยางเชื่อมกับชุดกรองที่ประกอบด้วยขวดรูปชมพู่ และกรวยกรองเซรามิกรองด้วยกระดาษกรอง เพื่อใช้ในการแยกกากรำข้าวออกจากตัวทำละลายปิโตรเลี่ยมอีเทอร์ที่ผสมอยู่กับน้ำมันรำข้าว หลังจากการเขย่าด้วยเครื่องเขย่า ดังภาพที่ 11

2.12 เครื่องปิดผนึกแบบสุญญากาศ (Supervac รุ่น GK-125) เพื่อใช้สำหรับปิดผนึกภาชนะบรรจุตัวอย่างรำข้าวชนิดถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ดังภาพที่ 12

ภาพที่ 9 เครื่องเขย่า

ภาพที่ 10 เครื่องระเหยสุญญากาศ (BUCHI รุ่น Rotavapor R-200 / 205)

ภาพที่ 11 เครื่องกรองสุญญากาศ

ภาพที่ 12 เครื่องปิดผนึกแบบสุญญากาศ (Supervac รุ่น GK-125)

ภาพที่ 13 ถุงกระสอบโพลีเอทิลีน, ถุงซิปโพลีเอทิลีน และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์

2.13 ถุงกระสอบโพลีเอทิลีนสั่งทำขนาด 6” x 7.5” ดังภาพที่ 13

2.14 ถุงซิปโพลีเอทิลีนถุงเล็กทำเป็นชั้นในมีขนาด 5” x 7” และถุงซิปโพลีเอทิลีนถุงใหญ่ทำเป็นชั้นนอกมีขนาด 6” x 9” ดังภาพที่ 13

2.15 ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ขนาด 5” x 8” ดังภาพที่ 13

2.16 เครื่องแก้วต่าง ๆ ที่จำเป็น เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมี

3. สารเคมี

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์ไลเพส

3.1.1 เมทานอล
3.1.2 ไดเอทิลอีเทอร์
3.1.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการสกัดน้ำมันรำข้าว

3.2.1 ปิโตรเลียมอีเทอร์

3.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่ากรดไขมันอิสระ

3.3.1 เอทานอล
3.3.2 ไดเอทิลอีเทอร์
3.3.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์
3.3.4 ฟีนอล์ฟทาลีน

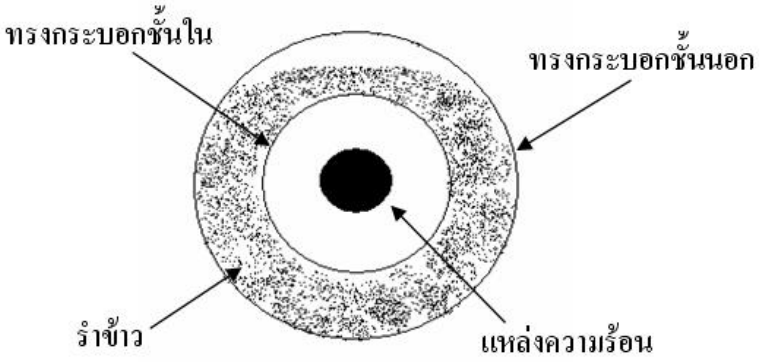
3.4 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์

3.4.1 กรดแอซิติก
3.4.2 คลอโรฟอร์ม
3.4.3 โพแทสเซียมไอโอไดด์
3.4.4 โซเดียมไทโอซัลเฟต

วิธีการ

1. การออกแบบ

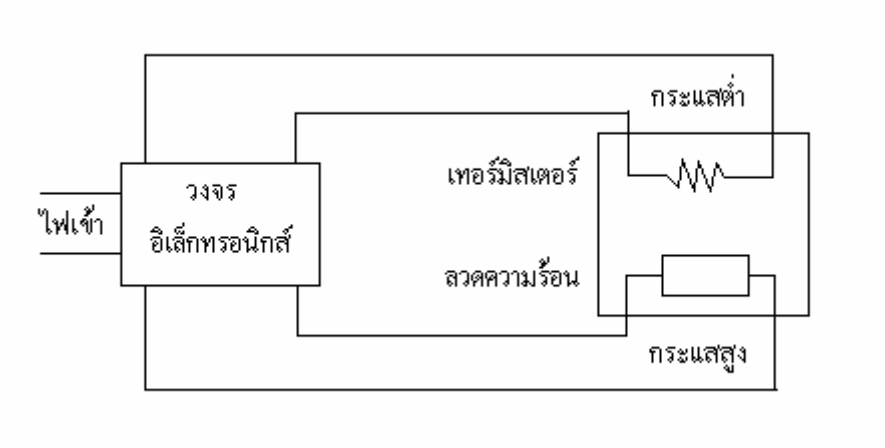
ในการออกแบบอุปกรณ์ในการคงสภาพรำข้าวโดยใช้เทคนิคทางความร้อนนั้นจะแบ่งส่วนประกอบหลักๆออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนแรกจะเป็นชุดกระบอกบรรจุรำข้าวที่มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกสองชั้น ส่วนที่สองคือ ชุดอุปกรณ์ในการให้ความร้อนรำข้าวที่ติดตั้งในท่อชั้นในของชุดกระบอกบรรจุรำข้าว และส่วนที่สาม คือ ชุดมอเตอร์ส่งกำลังเพื่อทำการขับให้ท่อทรงกระบอกหมุนทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนไปยังรำข้าวอย่างทั่วถึง โดยทำการออกแบบให้มีหลักหลักการทำงานคร่าวๆดังนี้คือ เริ่มจากการบรรจุรำข้าวสดลงในชุดบรรจุทรงกระบอกที่ออกแบบให้มีการหมุนได้ ซึ่งท่อชั้นในของชุดทรงกระบอกนี้จะมีอุปกรณ์ให้ความร้อนไว้เพื่อถ่ายเทความร้อนให้กับรำข้าว ซึ่งจะแสดงไว้ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 แสดงลักษณะการให้ความร้อนรำข้าวในแนวตัดขวาง

ลักษณะการให้ความร้อนกับรำข้าวดังภาพที่ 14 นั้น แหล่งของพลังงานความร้อนจะได้มาจากขดลวดความร้อนที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานความร้อน จากนั้นจะเกิดการถ่ายเทความร้อนตามแนวรัศมีไปยังอากาศที่ล้อมรอบขดลวดความร้อนแล้วส่งผ่านเปลือกท่อทรงกระบอกชั้นใน และออกไปสู่รำข้าว ซึ่งลักษณะการถ่ายเทความร้อนดังกล่าวจะคล้ายกับหลักการถ่ายเทความร้อนผ่านทรงกระบอกกลวง

ในการให้ความร้อนรำข้าวในงานวิจัยนี้ แหล่งกำเนิดความร้อนของอุปกรณ์ให้ความร้อนรำข้าวนั้นจะเป็นลวดความร้อน หรืออาจเรียกรวมๆได้ว่า “ฮีทเตอร์” ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นลวดนิโครม ซึ่งได้มาจากการผสมของนิเกิล, เหล็ก และโครเมี่ยมในปริมาณ 60%, 24% และ16% ตามลำดับ ซึ่งคุณสมบัติของลวดความร้อนนี้เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นความร้อนได้ เพราะขดลวดนิโครมสามารถให้ความร้อนได้สูง และไม่หลอมละลายได้ง่าย (ณรงค์ และคณะ, ม.ป.ป.) โดยวงจรไฟฟ้าของขดลวดความร้อนแสดงดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 วงจรการทำงานของขดลวดความร้อน

การคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ต้องจ่ายให้กับขดลวดเพื่อให้ได้ความร้อนตามต้องการ สามารถทำได้โดยการใช้สมการดังนี้

$$I = \frac{P}{V} \tag{4}$$

I คือ กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

P คือ กำลังไฟฟ้า (วัตต์)

V คือ แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)

ขดลวดความร้อน (Heater) แต่ละขนาดจะมีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดกำกับไว้ เพื่อความสะดวกในการเลือกใช้ให้ได้ความร้อนที่ต้องการ ซึ่งถ้าให้กำลังไฟฟ้ากับขดลวดความร้อน 1 กิโลวัตต์ - ชั่วโมง ลวดความร้อนก็จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าดังกล่าวออกมาในรูปของความร้อน ประมาณ 3,412 บีทียู / ชั่วโมง

ในการทำงานของเครื่องให้ความร้อนรำข้าวนั้นจำเป็นต้องทำให้ท่อทรงกระบอกที่บรรจุรำข้าวอยู่นั้นเกิดการหมุนอย่างช้าๆเพื่อให้รำข้าวได้รับความร้อนอย่างทั่วถึง โดยการหมุนจะใช้มอเตอร์เป็นตัวส่งกำลังผ่านชุดพูเลย์ และสายพานถ่ายทอดกำลังพื่อทดรอบให้ท่อทรงกระบอกหมุนช้าๆ และจะมีอินเวอร์เตอร์เพื่อปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ในระดับต่างๆได้เพื่อสะดวกในการทดสอบสภาวะการทำงานของเครื่องได้ ซึ่งส่วนประกอบในชุดมอเตอร์ส่งกำลังจะประกอบไปด้วย มอเตอร์ พูเลย์ สายพาน และอินเวอร์เตอร์ ซึ่งในการทดรอบการหมุนของชุดมอเตอร์ส่งกำลังนี้สามารถใช้หลักการของอัตราการทด (วริทธิ์ และชาญ, 2541) ดังนี้

อัตราการทด (velocity ratio) คือ อัตราส่วนระหว่างความเร็วเชิงมุมของเฟืองขับต่อความเร็วเชิงมุมของเฟืองตาม โดย 1 และ 2 แทนเฟืองขับและเฟืองตามตามลำดับ

$$m_w = \frac{w_1}{w_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{N_2}{N_1} \qquad (5)$$

m_w คือ อัตราการทด

w คือ ความเร็วเชิงมุม (เรเดียล/วินาที)

n คือ ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ (มิลลิเมตร)

N คือ จำนวนฟัน

หลังจากที่ได้มีการออกแบบและจัดหาวัสดุอุปกรณ์ เพื่อดำเนินการสร้างเครื่องให้ความร้อนรำข้าวแล้ว เครื่องให้ความร้อนรำข้าวที่เสร็จสมบูรณ์จะประกอบไปด้วยชุดอุปกรณ์หลัก ๆ 4 ชุด ด้วยกัน คือ

1. ชุดกระบอกบรรจุรำข้าว
2. ชุดอุปกรณ์ให้ความร้อนรำข้าว
3. ชุดมอเตอร์ส่งกำลัง
4. ชุดโครงสร้างฐาน

ขั้นตอนการทำงานของเครื่องนี้จะมีลักษณะการทำงานแบบเป็นครั้ง (Batch Type) คือ เมื่อนำรำข้าวบรรจุลงในกระบอกบรรจุที่สามารถหมุนรอบตัวเองช้าๆได้ด้วยมอเตอร์ ซึ่งการหมุนจะช่วยให้รำข้าวได้รับความร้อนจากชุดให้ความร้อนอย่างสม่ำเสมอ และเมื่อให้ความร้อนไปจนกระทั่งรำข้าวมีความร้อนตามต้องการแล้วก็จะหยุดเครื่องและนำรำข้าวออก แล้วใส่รำข้าวสดอีกชุดหนึ่งที่ต้องการให้ความร้อนเข้าไปใหม่

2. แผนการทดลอง

การเก็บรักษารำข้าวนั้นจำเป็นต้องมีกระบวนการในการคงสภาพรำข้าวก่อนการเก็บรักษา ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้เทคนิคทางความร้อนในการคงสภาพรำข้าว โดยการทดลองจะถูกแบ่งออกเป็นสามส่วนคือ การทดสอบหาสภาวะการทำงานของเครื่องให้ความร้อนรำข้าว การทดสอบผลของการให้ความร้อนรำข้าวที่มีต่อกิจกรรมเอนไซม์ไลเพส และการทดสอบผลของการให้ความร้อนรำข้าวที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา

2.1 การทดสอบหาสภาวะการทำงานของเครื่องให้ความร้อนรำข้าวที่สร้างเสร็จสมบูรณ์แล้ว โดยทำการทดลองให้ความร้อนรำข้าวในสภาวะการทำงานของเครื่องที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาถึงสภาวะการทำงานที่เหมาะสมเพื่อให้รำข้าวมีอัตราการรับความร้อนจากแหล่งความร้อนได้ดีที่สุด โดยทำการศึกษาปัจจัยที่อาจมีผลต่ออัตราการรับความร้อนของตัวอย่างรำข้าว 2 ปัจจัยด้วยกันคือ การทดสอบหาปริมาณการบรรจุที่เหมาะสม และการทดสอบหาความเร็วรอบในการหมุนของกระบอกบรรจุรำข้าวที่เหมาะสม ซึ่งในการทดลองนี้จะกำหนดอุณหภูมิแหล่งความร้อนให้คงที่คือ 185 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่ากลางของอุณหภูมิแหล่งความร้อนที่เลือกมาจากการผลการทดสอบเบื้องต้นดังนี้คือ ช่วงของอุณหภูมิแหล่งความร้อนที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 170 – 200 องศาเซลเซียส เนื่องจากเมื่อทำการให้ความร้อนรำข้าวที่อุณหภูมิแหล่งความร้อนที่ต่ำกว่า 170 องศาเซลเซียส ทำให้รำข้าวมีอัตราการรับความร้อนต่ำมาก และในอุณหภูมิที่สูงกว่า 200 องศาเซลเซียส ทำให้รำข้าวไหม้ในทันที

การทดสอบหาปริมาณการบรรจุที่เหมาะสม โดยกำหนดระดับความร้อนที่ 185 องศาเซลเซียส และระดับความเร็วรอบในการทดลองที่ 30 รอบ/นาที แล้วทำการเปลี่ยนแปลงระดับปริมาณการบรรจุ 3 ระดับ คือ 3, 4 และ 5 กิโลกรัม โดยทำการวัดอุณหภูมิรำข้าวทุก ๆ 10 นาที เป็นจำนวน 6 ครั้ง จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง และเลือกระดับการบรรจุที่เหมาะสม

การทดสอบหาระดับความเร็วรอบที่เหมาะสม กำหนดระดับความร้อนที่ 185 องศาเซลเซียส และระดับปริมาณการบรรจุที่ดีที่สุดจากการทดลองหาระดับปริมาณการบรรจุที่เหมาะสมแล้วทำการเปลี่ยนแปลงระดับความเร็วรอบ 3 ระดับ คือ 20, 30 และ 40 รอบ/นาที โดยทำการวัดอุณหภูมิรำข้าวทุก ๆ 10 นาที เป็นจำนวน 6 ครั้ง จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง และเลือกระดับความเร็วรอบที่เหมาะสม

2.2 การทดสอบผลของการให้ความร้อนรำข้าวที่มีต่อกิจกรรมเอนไซม์ไลเพส โดยจะทดลองที่ระดับปริมาณการบรรจุ และระดับความเร็วรอบที่ได้จากที่ได้ศึกษาไว้แล้วตอนต้นจากนั้นทำการเปลี่ยนแปลงระดับความร้อน 3 ระดับ คือ 170, 185 และ 200 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งทำการเปลี่ยนแปลงระดับของเวลาในการให้ความร้อนอีก 3 ระดับ คือ 30, 60 และ 90 นาที แล้ววัดอุณหภูมิรำข้าวในกระบอกบรรจุรำข้าว จากนั้นเก็บตัวอย่างรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนทุกๆ การเปลี่ยนแปลง ในบรรจุภัณฑ์แบบถุงซิปโพลีเอทิลีนดังภาพที่ 16 เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่ากิจกรรมเอนไซม์ไลเพสตามวิธีของ Hoi et al. (1999) พร้อมทั้งหาค่าความชื้น และค่าสีของรำข้าว

ภาพที่ 16 ตัวอย่างรำข้าวในแต่ละการเปลี่ยนแปลง

ภาพที่ 17 ตัวอย่างรำข้าวในบรรจุภัณฑ์แบบต่างๆเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และตู้เย็น

2.3 การทดสอบผลของการให้ความร้อนรำข้าวที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา โดยใช้ภาชนะบรรจุที่แตกต่างกัน 2 แบบเพื่อบรรจุตัวอย่างรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน คือ ถุงซิปโพลีเอทิลีนซ้อนกัน 2 ชั้น และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ปิดผนึกแบบสุญญากาศ พร้อมทั้งมีตัวควบคุมคือรำข้าวสดที่บรรจุในถุงกระสอบโพลีเอทิลีนโดยแต่ละตัวอย่างจะบรรจุรำข้าวเป็นปริมาณ 150 กรัม ดังภาพที่ 17 แล้วนำไปเก็บรักษาในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน 2 สภาวะ คือ เก็บในอุณหภูมิห้องปกติ (25 – 32 องศาเซลเซียส) และเก็บในอุณหภูมิตู้เย็น (3 – 5 องศาเซลเซียส) เป็นเวลานาน 16 สัปดาห์ และนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ทุกๆ 2 สัปดาห์ โดยจะทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวอย่างรำข้าวเป็นกรดไขมันอิสระตามวิธีของ AOAC Cd – 63. (1995) เนื่องจากสามารถบ่งชี้ถึงการเกิดสภาวะกลิ่นเปลี่ยนแปลง (off-flavor) หรือเกิดการเหม็นหืนได้ (สาโรจน์ และคณะ, 2540) พร้อมทั้งวิเคราะห์ปริมาณความชื้น และค่าสี

3. สถานที่ทำการทดลอง

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ. กำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

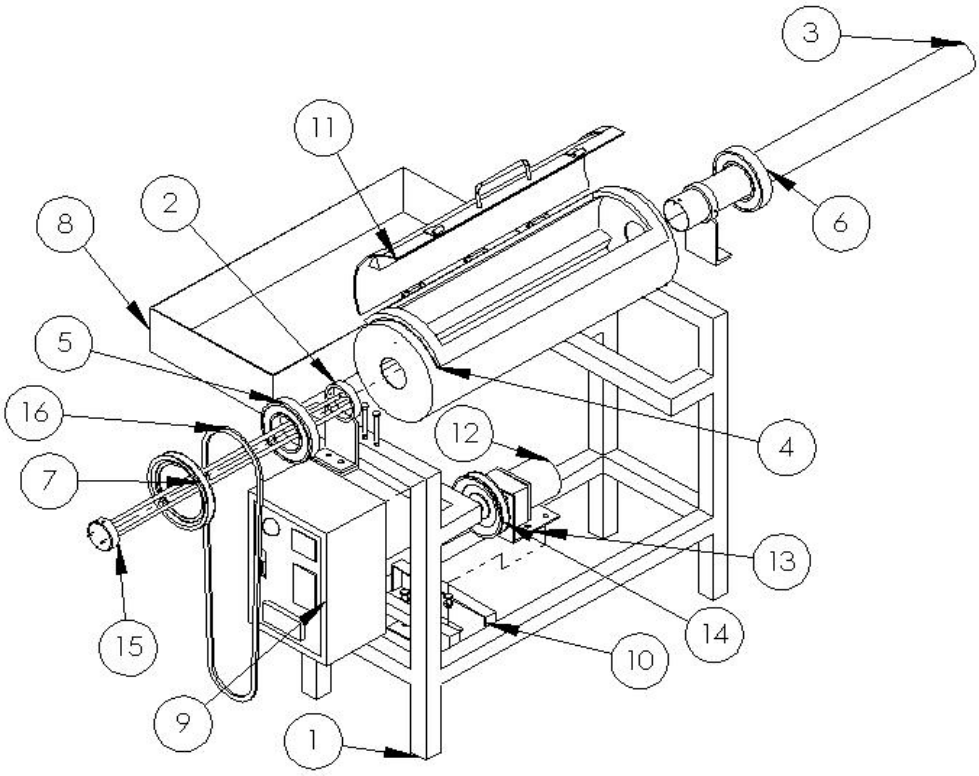
4. ระยะเวลาในการทดลอง

การทดลองนี้เริ่มตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2548 สิ้นสุดเดือนเมษายน 2550

ผลและวิจารณ์

1. เครื่องให้ความร้อนรำข้าว

เครื่องให้ความร้อนรำข้าวที่ได้ออกแบบ และสร้างขึ้นใช้หลักการทำงานแบบเป็นครั้งๆ ลักษณะของเครื่องให้ความร้อนรำข้าวแสดงดังรูปภาพที่ 18 และ 19 โดยมีส่วนประกอบหลัก ๆ ดังนี้ คือ ชุดกระบอกบรรจุรำข้าว ชุดอุปกรณ์ให้ความร้อนรำข้าว ชุดมอเตอร์ส่งกำลัง และชุดโครงสร้างฐาน เครื่องให้ความร้อนรำข้าวที่สร้าง และประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้วจะมีมิติทางความยาวคร่าว ๆ คือ กว้าง 314 ยาว 764 และสูง 865 มิลลิเมตร และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 18 ภาพประกอบเครื่องให้ความร้อนรำข้าว

ตารางที่ 2 หมายเลข และชื่อของชิ้นส่วน

หมายเลข	ชื่อ
1	โครงสร้างฐาน
2	ตู้กตา
3	ท่อความร้อน
4	กระบอกใส่รำข้าว
5	ตลับลูกปืนข้างซ้าย
6	ตลับลูกปืนข้างขวา
7	พูเลย์กระบอกรำข้าว
8	ถาดรองรับรำข้าว
9	กล่องควบคุม
10	เหล็กฉากฐานวางมอเตอร์
11	ฝาปิดกระบอกใส่รำข้าว
12	มอเตอร์
13	หน้าแปลนมอเตอร์
14	พูเลย์มอเตอร์
15	ฮีตเตอร์
16	สายพาน

ภาพที่ 19 เครื่องให้ความร้อนรำข้าว

1.1 ชุดกระบอกบรรจุรำข้าว ทำจากวัสดุแผ่นสเตนเลสหนา 1.2 มิลลิเมตร ม้วนเป็นท่อทรงกระบอก 2 ชิ้น ชิ้นใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 มิลลิเมตร ยาว 618 มิลลิเมตร ส่วนชิ้นเล็กมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 63.5 มิลลิเมตร ยาว 725 มิลลิเมตร นำมาประกอบกันให้เป็นลักษณะท่อทรงกระบอกซ้อนกัน 2 ชั้น โดยท่อชั้นในจะติดตั้งขดลวดความร้อนไฟฟ้า ส่วนท่อชั้นนอกสามารถบรรจุรำข้าวได้ปริมาตรมากที่สุด 13 ลิตร และมีฝาปิด – เปิด เพื่อความสะดวกในการนำรำข้าวเข้าและออก พร้อมทั้งมีครีบกวน 3 ครีบ ติดห่างกัน 120 องศา เพื่อประโยชน์ในการกวนรำข้าวให้มีความสม่ำเสมอ

1.2 ชุดอุปกรณ์ให้ความร้อนรำข้าว แหล่งความร้อนได้มาจากขดลวดความร้อนไฟฟ้าแบบเส้นยาว 1.3 เมตร ขดเป็นรูปตัวยู กำลังไฟฟ้าขนาด 1500 วัตต์ แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ติดตั้งอยู่ภายในท่อชั้นในของชุดกระบอกบรรจุรำข้าว ควบคุมและวัดอุณหภูมิโดยตัวควบคุมอุณหภูมิแบบตัวเลขโดยใช้เซ็นเซอร์เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ยาว 20 มิลลิเมตร สามารถควบคุมช่วงอุณหภูมิได้ 0 – 600 องศาเซลเซียส

1.3 ชุดมอเตอร์ส่งกำลัง มอเตอร์กระแสสลับ ขนาด 25 วัตต์ แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ความเร็วรอบ 1,400 – 1,700 รอบ/นาที ใส่หัวเกียร์ทดอัตราทด 30 ต่อ 1 รอบ/นาที ควบคุมความเร็วรอบด้วยอินเวอร์เตอร์ 25 วัตต์ สามารถควบคุมความเร็วรอบที่กระบอกบรรจุรำข้าวได้ 0 ถึง 40 รอบ/นาที ส่งถ่ายกำลังจากมอเตอร์ไปยังกระบอกรำข้าวด้วยสายพานไทม์มิ่งขนาด 17 x 1370 มิลลิเมตร

1.4 ชุดโครงสร้างฐาน ทำจากเหล็กกล่องรูปพรรณขนาด 1.5 นิ้ว ประกอบขึ้นเป็นฐานรองรับชุดกระบอกบรรจุรำข้าว และส่วนประกอบอื่น ๆ ด้านล่างของขาโครงสร้างฐานทั้ง 4 ติดตั้งลูกล้อเพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย

2. การทดสอบหาสภาวะการทำงานของเครื่องให้ความร้อนรำข้าว

ศึกษาการให้ความร้อนรำข้าวด้วยเครื่องให้ความร้อนที่ออกแบบ และสร้างขึ้น เพื่อทำการหาสภาวะการทำงานของเครื่องที่เหมาะสม โดยทดลองกับรำข้าวหอมมะลิ 105 ที่มีความชื้นเริ่มต้น 9.1 เปอร์เซ็นต์ ด้วยการศึกษาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมใน 2 ปัจจัย คือ ปริมาณการบรรจุ และความเร็วรอบในการหมุนของกระบอกรำข้าวที่ทำให้มีมีอัตราการให้ความร้อนรำข้าวได้ดีที่สุด

2.1 การศึกษาหาปริมาณการบรรจุรำข้าวที่เหมาะสม

ศึกษาโดยนำรำข้าวสดจำนวน 135 กิโลกรัม มาทำการทดสอบให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อนรำข้าว ซึ่งทำการปรับตั้งค่าอุณหภูมิในท่อแหล่งความร้อน และความเร็วรอบในการหมุนของกระบอกรำข้าวให้คงที่ คือ 185 องศาเซลเซียส และ 30 รอบ/นาที ตามลำดับ และทำการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณการบรรจุเป็น 3 ระดับ คือ 3, 4 และ 5 กิโลกรัม โดยทำการวัดอุณหภูมิรำข้าวในขณะให้ความร้อนทุก ๆ 10 นาที เป็นจำนวน 6 ครั้ง ผลแสดงดังตารางที่ 3

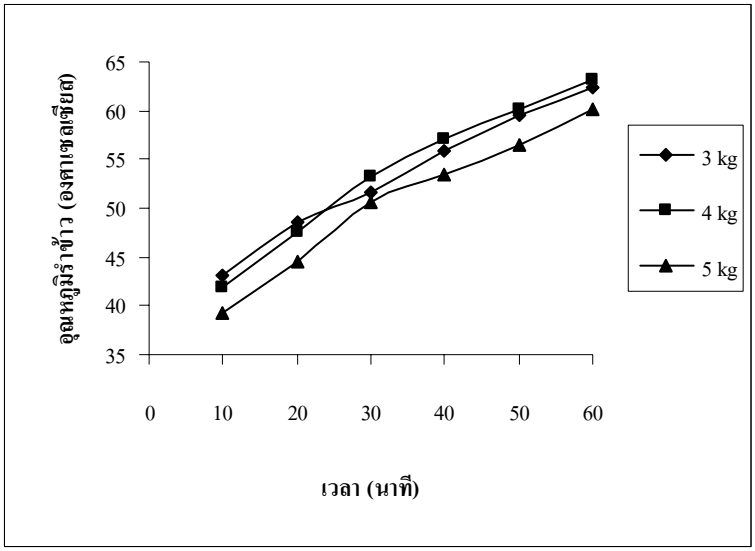
ตารางที่ 3 ผลการศึกษาหาปริมาณการบรรจุรำข้าวที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที ต่ออุณหภูมิรำข้าว

ปริมาณการบรรจุ (กิโลกรัม)	เวลา (นาที)					
	10	20	30	40	50	60
3	43.2^{bA}	48.5^{bB}	51.7^{bC}	55.8^{bD}	59.5^{bE}	62.1^{bF}
4	41.8^{bA}	47.5^{bB}	53.2^{bC}	57.1^{bD}	60.1^{bE}	63.1^{bF}
5	39.2^{aA}	44.5^{aB}	50.7^{aC}	53.5^{aD}	56.5^{aE}	60.1^{aF}

หมายเหตุ 1. อักษรตัวเล็กที่ไม่เหมือนกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$)

2. อักษรตัวใหญ่ที่ไม่เหมือนกันตามแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$)

จากผลการทดลอง เมื่อทำการศึกษาถึงความแตกต่างในแต่ละระดับของปริมาณการบรรจุด้วยวิธีของ Duncan ซึ่งจะได้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิรำข้าวที่ระดับปริมาณการบรรจุ 3, 4 และ 5 กิโลกรัม คือ 53.5, 53.8 และ 50.7 องศาเซลเซียส อุณหภูมิรำข้าวที่ระดับการบรรจุ 5 กิโลกรัมมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิรำข้าวน้อยที่สุดคือมีค่า 50.7 องศาเซลเซียส ซึ่งหมายความว่ามีอัตราการให้ความร้อนน้อยสุด อาจเป็นผลเนื่องมาจากรำข้าวในปริมาณ 5 กิโลกรัมเป็นปริมาณที่มากเกินไปและไม่เหมาะสมกับพื้นที่ผิวสัมผัสทางความร้อนของเครื่องซึ่งมีจำกัดทำให้ต้องใช้เวลาในการให้ความร้อนมากกว่าระดับปริมาณการบรรจุอื่นๆซึ่งมีปริมาณรำข้าวน้อยกว่า โดยในระดับปริมาณการบรรจุที่ 3 และ 4 กิโลกรัม ให้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิรำข้าวเท่า ๆ กัน โดยพบว่าที่ระดับปริมาณการบรรจุที่ 3 กิโลกรัมมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิรำข้าวต่ำกว่าเล็กน้อยซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากรำข้าวมีปริมาณน้อยเกินไปทำให้รำข้าวสัมผัสกับพื้นผิวของท่อแหล่งความร้อนได้ไม่หมด จึงทำการเลือกระดับของปริมาณการบรรจุที่ 4 กิโลกรัม เนื่องจากว่ามีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิรำข้าวสูงกว่าอยู่เล็กน้อยเนื่องจากรำข้าวสัมผัสกับพื้นผิวสัมผัสของท่อแหล่งความร้อนได้ทั้งหมด และมีปริมาณการบรรจุมากกว่า ภาพที่ 20 แสดงการเปรียบเทียบเส้นอุณหภูมิรำข้าวทั้งสามระดับปริมาณการบรรจุ



ภาพที่ 20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเส้นอุณหภูมิรำข้าวทั้งสามระดับของปริมาณการบรรจุ

2.2 การศึกษาหาความเร็วรอบในการหมุนกระบอกรำข้าวที่เหมาะสม

ศึกษาโดยนำรำข้าวสดจำนวน 135 กิโลกรัม มาทำการทดสอบให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อนรำข้าว ซึ่งทำการปรับตั้งค่าอุณหภูมิ และปริมาณการบรรจุให้คงที่ คือ 185 องศาเซลเซียส และ 4 กิโลกรัม ตามลำดับ และทำการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วรอบการหมุนของกระบอกรำข้าวเป็น 3 ระดับ คือ 20, 30 และ 40 รอบ/นาที เพื่อศึกษาระดับความเร็วรอบการหมุนที่มีอัตราการให้ความร้อนดีที่สุด โดยทำการวัดอุณหภูมิรำข้าวขณะให้ความร้อนทุก ๆ 10 นาที เป็นจำนวน 10 ครั้ง ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4

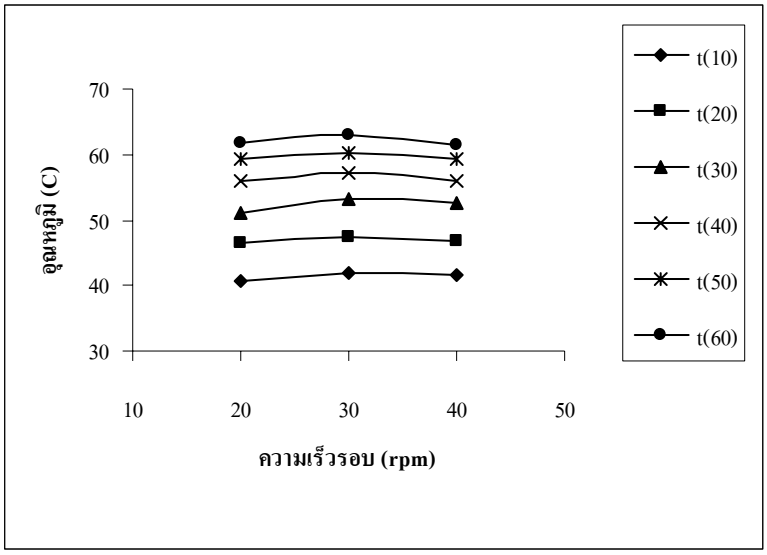
ตารางที่ 4 ผลการศึกษาหาระดับความเร็วรอบในการหมุนกระบอกรำข้าวที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส และประมาณการบรรจุที่ 4 กิโลกรัม ต่ออุณหภูมิรำข้าว

ความเร็วรอบ	เวลา (นาที)					
(รอบ/นาที)	10	20	30	40	50	60
20	40.7^{aA}	46.5^{aB}	51.1^{aC}	56.0^{aD}	59.4^{aE}	61.9^{aF}
30	41.8^{bA}	47.5^{bB}	53.2^{bC}	57.1^{bD}	60.1^{bE}	63.1^{bF}
40	41.7^{aA}	46.9^{aB}	52.7^{aC}	55.9^{aD}	59.4^{aE}	61.5^{aF}

หมายเหตุ 1. อักษรตัวเล็กที่ไม่เหมือนกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$)
2. อักษรตัวใหญ่ที่ไม่เหมือนกันตามแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$)

จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิรำข้าวในขณะให้ความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามเวลา และเมื่อทำการศึกษาถึงความแตกต่างในแต่ละระดับของความเร็วรอบการหมุนกระบอกรำข้าวตามวิธีของ Duncan ซึ่งจะได้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิรำข้าวในแต่ละระดับความเร็วรอบที่ 20, 30 และ 40 รอบ/นาที คือ 52.9, 53.8 และ 53.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิรำข้าวที่ระดับความเร็วรอบ 20 และ 40 รอบ/นาที มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ และมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิรำข้าวที่ระดับความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที ซึ่งมีค่าเท่ากับ 53.8 องศาเซลเซียส ดังนั้นอัตราการให้ความร้อนรำข้าวดีที่สุดคือ ความเร็วรอบกระบอกรำข้าวที่ 30 รอบ/นาที

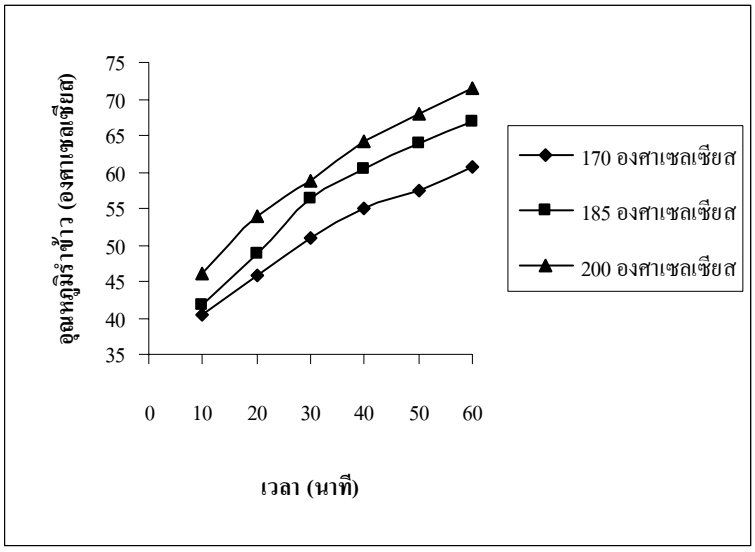
การเปรียบเทียบเส้นอุณหภูมิรำข้าวทั้งสามระดับของความเร็วรอบการหมุนแสดงดังภาพที่ 21 ซึ่งจะเห็นว่าอุณหภูมิรำข้าวจะมีค่าๆหนึ่งที่ระดับความเร็วรอบ 20 รอบ/นาที แต่เมื่อให้ความร้อนที่ระดับความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที จะทำให้อุณหภูมิรำข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเร็วรอบอื่นๆ ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากการหมุนที่ระดับความเร็วรอบ 20 รอบ/นาที ช้าเกินไปทำให้ครีบกวนไม่สามารถกวนรำข้าวได้อย่างสม่ำเสมอเพราะรำข้าวเคลื่อนตัวได้น้อยมาก และการให้ความร้อนที่ระดับความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที พบว่าอุณหภูมิรำข้าวจะมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับที่ระดับความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที เนื่องจากว่าการหมุนของกระบอกรำข้าวที่เร็วเกินไปซึ่งอาจไม่ส่งผลดีต่ออัตราการรับความร้อนของรำข้าวเพราะทำให้รำข้าวเกิดการเคลื่อนที่เร็วเกินไปและรับความร้อนจากแหล่งความร้อนได้ไม่ดี



ภาพที่ 21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเส้นอุณหภูมิรำข้าวทั้งสามระดับของความเร็วรอบการหมุน

3. การทดสอบผลของการให้ความร้อนรำข้าวที่มีต่อกิจกรรมเอนไซม์ไลเพส

ศึกษาหาผลของการให้ความร้อนรำข้าวด้วยเครื่องให้ความร้อนรำข้าวที่มีต่อกิจกรรมเอนไซม์ไลเพสในรำข้าว โดยทำการศึกษาจากตัวอย่างรำข้าวสดพันธุ์หอมมะลิ 105 และใช้สภาวะการทำงานของเครื่องให้ความร้อนที่ได้ศึกษาไว้ในตอนต้น คือ ระดับปริมาณการบรรจุที่ 4 กิโลกรัม และ ระดับความเร็วรอบที่ 30 รอบ/นาที แล้วทำการให้ความร้อนรำข้าวโดยการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิ และระดับเวลาในการให้ความร้อน 3 ระดับ จากนั้นทำการตรวจสอบระดับอุณหภูมิ และระดับเวลาในการให้ความร้อนที่เหมาะสม ซึ่งสามารถทำให้กิจกรรมเอนไซม์ไลเพสลดลงได้มากที่สุด แต่ก่อนที่จะมีการทดสอบกิจกรรมเอนไซม์ไลเพสจะทำการทดลองให้ความร้อนรำข้าว โดยการเปลี่ยนแปลงระดับความร้อนเป็น 3 ระดับ คือ 170, 185 และ 200 องศาเซลเซียส แล้วทำการวัดอุณหภูมิรำข้าวทุก ๆ 10 นาที เป็นจำนวน 6 ครั้ง เพื่อดูแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิรำข้าวในแต่ละระดับของอุณหภูมิแหล่งความร้อน ซึ่งแสดงดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเส้นอุณหภูมิรำข้าวทั้งสามระดับอุณหภูมิแหล่งความร้อน

การทดสอบกิจกรรมเอนไซม์ไลเพสด้วยวิธีของ Hoi et al. (1999) เพื่อศึกษาผลของการให้ความร้อนรำข้าวที่มีต่อกิจกรรมเอนไซม์ไลเพสในตัวอย่างรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน โดยทำการทดลองให้ความร้อนรำข้าวด้วยเครื่องให้ความร้อนรำข้าวที่ได้สร้างขึ้น และทำการปรับตั้งค่าสภาวะการทำงานของเครื่องให้ความร้อนตามที่ได้ทดลองไว้ข้างต้น แล้วเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเป็น 3 ระดับ คือ 170, 185 และ 200 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งเปลี่ยนแปลงระดับเวลาในการให้ความร้อน 3 ระดับ คือ 30, 60 และ 90 นาที จากนั้นทำการวัดอุณหภูมิรำข้าว และเก็บตัวอย่างรำข้าวแต่ละการเปลี่ยนแปลงมาทำการหาความชื้น กิจกรรมเอนไซม์ไลเพส และค่าสี ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5, 6 และ 7

ตารางที่ 5 แสดงผลของอุณหภูมิรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในแต่ละการเปลี่ยนแปลง ซึ่งพบว่าค่าของอุณหภูมิรำข้าวที่วัดได้ไม่สอดคล้องกับขั้นตอนของการหาแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิรำข้าวในแต่ละระดับอุณหภูมิ เนื่องจากการวัดอุณหภูมินั้นต้องหยุดการหมุนของกระบอกรำข้าวทุก ๆ 10 นาที แล้วจึงทำการวัดอุณหภูมิรำข้าวในกระบอกรำข้าว ซึ่งอาจทำให้การถ่ายเทความร้อนจากแหล่งความร้อนไปสู่รำข้าวไม่มีความต่อเนื่อง และยังมีผลเนื่องมาจากคุณสมบัติของรำข้าวซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นฝุ่นผงขนาดเล็กมีคุณสมบัติในการดูดซับและคายความชื้นได้ดี จึงมักเกิดความแปรปรวนทางด้านความชื้นและอุณหภูมิภายในตัวรำข้าวได้ง่าย ดังนั้นการให้ความร้อนรำข้าวในแต่ละการทดลองจึงอาจให้ผลในการถ่ายเทความร้อนไปยังรำข้าวที่แตกต่างกันไปตามความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศในขณะทำการทดลอง ซึ่งคุณสมบัติของรำข้าวที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น พันธุ์ข้าว สภาพแวดล้อมในกระบวนการสีข้าว เป็นต้น

ตารางที่ 5 ผลของอุณหภูมิรำข้าวในแต่ละการเปลี่ยนแปลง

อุณหภูมิแหล่งความร้อน (องศาเซลเซียส)	เวลาในการให้ความร้อน (นาที)	อุณหภูมิรำข้าว (องศาเซลเซียส)
170	30	66.6^{aA}
	60	75.5^{aB}
	90	79.9^{aC}
185	30	73.7^{bA}
	60	81.1^{bB}
	90	84.3^{bC}
200	30	76.5^{cA}
	60	84.4^{cB}
	90	86.4^{cC}

หมายเหตุ 1. อักษรที่ไม่เหมือนกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$)

2. อักษรตัวเล็ก หมายถึง ระดับของอุณหภูมิ

3. อักษรตัวใหญ่ หมายถึง ระดับของเวลา

ตารางที่ 6 ผลของการหาความชื้นรำข้าว และกิจกรรมเอนไซม์ไลเพสในแต่ละการเปลี่ยนแปลง

อุณหภูมิแหล่งความร้อน (องศาเซลเซียส)	เวลาในการให้ความร้อน (นาที)	ความชื้นรำข้าว (%มาตรฐานเปียก)	กิจกรรมเอนไซม์ (%ไฮโดรไลซิส)
170	30	8.16^{cC}	2.2^{cA}
	60	5.55^{cB}	2.2^{cA}
	90	4.75^{cA}	1.9^{cA}
185	30	6.75^{bC}	1.4^{bA}
	60	5.18^{bB}	1.4^{bA}
	90	2.95^{bA}	1.3^{bA}
200	30	5.33^{aC}	1.2^{aA}
	60	3.31^{aB}	1.0^{aA}
	90	2.61^{aA}	0.9^{aA}
รำข้าวสด	-	9.46	4.3

หมายเหตุ 1. อักษรที่ไม่เหมือนกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$)

2. อักษรตัวเล็ก หมายถึง ระดับของอุณหภูมิ

3. อักษรตัวใหญ่ หมายถึง ระดับของเวลา

ค่าของความชื้น และกิจกรรมเอนไซม์ไลเพสของรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่าค่าของความชื้นรำข้าวหลังให้ความร้อนมีความแตกต่างกันในแต่ละระดับของอุณหภูมิแหล่งความร้อน และระดับเวลาในการให้ความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ส่วนค่ากิจกรรมเอนไซม์ไลเพสในระดับอุณหภูมิแหล่งความร้อนค่าหนึ่ง และระดับเวลา 3 ระดับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่มีความแตกต่างกันในแต่ละระดับของอุณหภูมิแหล่งความร้อน เมื่อพิจารณาค่ากิจกรรมเอนไซม์ไลเพสในระดับอุณหภูมิแหล่งความร้อน 170 องศาเซลเซียส และระดับเวลาในการให้ความร้อนที่ 30 และ 60 นาที จะพบว่ามีค่ากิจกรรมเอนไซม์ไลเพสมากกว่า 2 และมีความชื้นมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ อาจยังไม่เพียงพอต่อการทำลายกิจกรรมเอนไซม์ไลเพสได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของจันทร์สม (2546) ได้รายงานไว้ว่ารำข้าวที่ผ่านการคงสภาพแล้วมีความชื้นต่ำกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ และกิจกรรมเอนไซม์ต่ำกว่า 2 เปอร์เซ็นต์จะสามารถทำลายกิจกรรมเอนไซม์ได้ดี และยังทำให้ค่ากรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นน้อยมากหลังจากเก็บรักษาไว้ 2 สัปดาห์ และเมื่อพิจารณาผลของการให้ความร้อนที่ระดับเวลาในการให้ความร้อนที่ 90 นาที พบว่ามีค่ากิจกรรมเอนไซม์ไลเพส 1.9 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าความชื้นของรำข้าวน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน่าจะเป็นสภาวะที่เหมาะสมตามรายงานของจันทร์สม (2546) แต่เนื่องจากเวลาในการให้ความร้อนที่ 90 นาทีพบว่าจะทำให้รำข้าวภายในกระบอกติดเป็นชั้นหนาอยู่ที่ผิว ทั้งยังอาจส่งผลต่อกำลังการผลิตที่น้อยลงด้วย

ผลของการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิแหล่งความร้อน 185 องศาเซลเซียส ที่ระดับเวลาในการให้ความร้อนที่ 30 และ 60 นาที พบว่าค่าความชื้นของรำข้าวยังคงมีค่าสูงกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ แม้ว่าจะมีกิจกรรมเอนไซม์ไลเพสเพียง 1.4 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงทำการพิจารณาสภาวะการให้ความร้อนรำข้าวที่ระดับอุณหภูมิแหล่งความร้อน 200 องศาเซลเซียส พบว่าเวลาในการให้ความร้อนที่ 60 นาที ทำให้ตัวอย่างรำข้าวมีความชื้นต่ำกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ และมีค่ากิจกรรมเอนไซม์ไลเพสต่ำกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน่าจะเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการให้ความร้อนรำข้าวด้วยเครื่องให้ความร้อนรำข้าวตามรายงานของจันทร์สม (2546)

ตารางที่ 7 ผลของค่าสีรำข้าวในแต่ละการเปลี่ยนแปลง

อุณหภูมิแหล่งความร้อน (องศาเซลเซียส)	เวลาในการให้ความร้อน (นาที)	ค่าสีรำข้าว		
		L	a	b
170	30	72.3^{bB}	2.9^{bA}	20.5^{aA}
	60	72.4^{bAB}	3.0^{bB}	21.5^{aB}
	90	71.9^{bA}	3.3^{bC}	21.9^{aC}
185	30	72.0^{abB}	3.2^{abA}	21.4^{bA}
	60	71.9^{abAB}	3.3^{abB}	22.4^{bB}
	90	71.0^{abA}	3.8^{abC}	23.1^{bC}
200	30	72.3^{aB}	3.1^{aA}	21.6^{cA}
	60	70.9^{aAB}	4.0^{aB}	23.3^{cB}
	90	70.6^{aA}	4.2^{aC}	23.6^{cC}
รำข้าวสด	-	75.0	2.5	19.6

หมายเหตุ 1. อักษรที่ไม่เหมือนกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$)

2. อักษรตัวเล็ก หมายถึง ระดับของอุณหภูมิ

3. อักษรตัวใหญ่ หมายถึง ระดับของเวลา

จากผลการวัดสีของรำข้าวหลังการให้ความร้อนในแต่ละการเปลี่ยนแปลงด้วยเครื่องวัดสี รุ่น Minollta รุ่น CR – 400 โดยวัดค่าสีออกมาเป็นค่า L, a และ b ซึ่งคือค่าความสว่าง, ค่าสีแดง และค่าสีเหลือง ตามลำดับ แล้วทำการเปรียบเทียบกับรำข้าวสดดังตารางที่ 7 พบว่าการให้ความร้อนรำข้าวมีผลทำให้ค่าสีทั้งสามค่ามีการเปลี่ยนแปลงไปจากรำข้าวสดเล็กน้อย การที่รำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนมีค่าความสว่างลดลงหรือสีเข้มขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อวัตถุดิบอยู่ในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้น ออกซิเจน และโลหะ จึงทำให้องค์ประกอบในรำข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น การสลายตัว และการเกิดปฏิกิริยาหลายขั้นตอน จนทำให้มีการพัฒนาเป็นสารสีเหลืองจนถึงน้ำตาล (จันทร์สม, 2546)

แม้ว่าสีของรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนจะมีสีเปลี่ยนแปลงไปจากรำข้าวสดก็ตาม แต่ถ้าดูผลของอุณหภูมิรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในตารางที่ 5 แล้วจะพบว่าอุณหภูมิรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนมีอุณหภูมิไม่เกิน 90 องศาเซลเซียส ซึ่งถือว่าไม่ทำให้ส่วนประกอบในรำข้าวแตกต่างไปจากรำข้าวสด ดังรายงานของ Hayashi. (1998) ซึ่งได้รายงานไว้ว่ารำข้าวที่ผ่านการคงสภาพด้วยการใช้ไอน้ำจนทำให้รำข้าวมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 90 – 93 องศาเซลเซียส องค์ประกอบในรำข้าวยังคงอยู่เหมือนกับรำข้าวสด

4. การทดสอบผลของการให้ความร้อนรำข้าวที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา

4.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน และรำข้าวสดที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง และตู้เย็น เป็นเวลา 16 สัปดาห์

จากการให้ความร้อนตัวอย่างรำข้าว โดยใช้สภาวะการทำงานของเครื่องให้ความร้อนรำข้าวที่ได้ทำการศึกษาไว้แล้ว และใช้อุณหภูมิแหล่งความร้อนที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ได้ตัวอย่างรำข้าวที่มีความชื้น 7.4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาเก็บรักษาในภาชนะบรรจุต่างกัน 2 แบบคือ ถุงซิปโพลีเอทิลีนซ้อนกัน 2 ชั้น และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ เปรียบเทียบกับรำข้าวสดที่บรรจุในถุงกระสอบโพลีเอทิลีนเป็นเวลา 16 สัปดาห์ ผลของความชื้นตัวอย่างรำข้าวแสดงดังตารางที่ 8 และ 9 พบว่ารำข้าวสดที่บรรจุในถุงกระสอบที่เก็บรักษาในอุณหภูมิห้อง และตู้เย็นมีความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับในสัปดาห์แรก (สัปดาห์ที่ 0) โดยรำข้าวสดที่เก็บรักษาในอุณหภูมิห้องความชื้นจะเพิ่มสูงสุดในสัปดาห์ที่ 6 และในรำข้าวสดที่เก็บรักษาในตู้เย็นพบว่าความชื้นเพิ่มขึ้นสูงสุดในสัปดาห์ที่ 10 และ 12 จากนั้นจะลดลงในสัปดาห์สุดท้าย การเพิ่มขึ้นของความชื้นรำข้าวสดที่เก็บรักษาในถุงกระสอบนั้น อาจเป็นผลมาจากถุงกระสอบมีรูเล็กๆเป็นจำนวนมากทำให้ความชื้นสามารถผ่านเข้าออกได้ ทำให้ความชื้นในรำข้าวมีการแปรปรวนไปตามความชื้นสัมพัทธ์บรรยากาศ เนื่องจากรำข้าวมีคุณสมบัติในการดูดซับ และคายความชื้นได้ดีมาก จันทร์สม (2546)

ตารางที่ 8 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนบรรจุในภาชนะต่างกันและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 16 สัปดาห์

ภาชนะ	เวลา (สัปดาห์)							
	0	2	4	6	8	10	12	16
RRB,sack	8.4^{cBC}	8.4^{cBC}	8.8^{cA}	9.5^{cC}	8.3^{cA}	8.6^{cBC}	8.6^{cA}	9.2^{cAB}
HRB,PE2L.	7.4^{bBC}	7.6^{bBC}	6.0^{bA}	7.6^{bC}	6.0^{bA}	7.0^{bBC}	6.0^{bA}	6.3^{bAB}
HRB,AF	7.4^{aBC}	6.4^{aBC}	5.4^{aA}	6.6^{aC}	5.5^{aA}	6.6^{aBC}	5.7^{aA}	6.1^{aAB}

หมายเหตุ 1. อักษรตัวเล็กที่ไม่เหมือนกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$)

2. อักษรตัวใหญ่ที่ไม่เหมือนกันตามแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$)

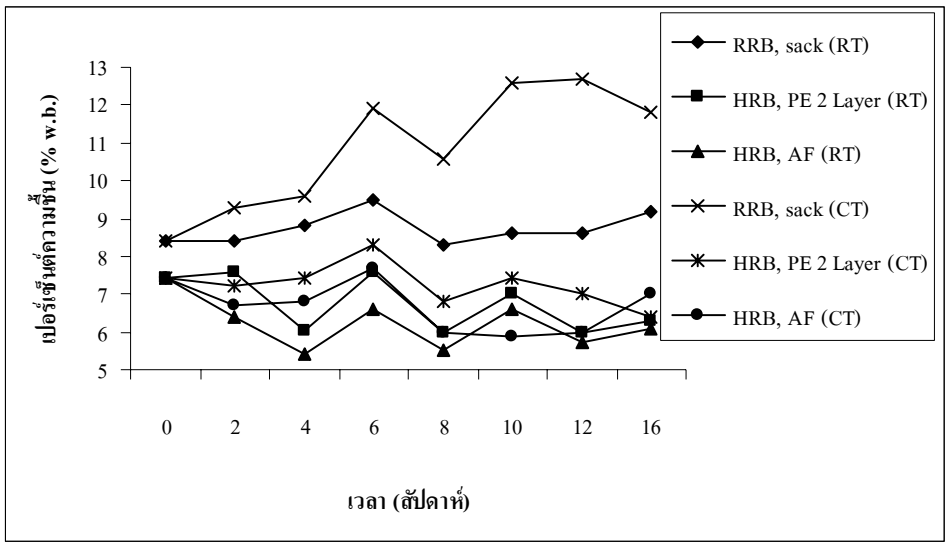
ตารางที่ 9 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนบรรจุในภาชนะต่างกันและเก็บรักษาไว้ที่ตู้เย็นนาน 16 สัปดาห์

ภาชนะ	เวลา (สัปดาห์)							
	0	2	4	6	8	10	12	16
RRB,sack	8.4^{cA}	9.3^{cA}	9.6^{cA}	11.9^{cD}	10.6^{cA}	12.6^{cC}	12.7^{cC}	11.8^{cBC}
HRB,PE2L.	7.4^{bA}	7.2^{bA}	7.4^{bA}	8.3^{bD}	6.8^{bA}	7.4^{bC}	7.0^{bC}	6.4^{bBC}
HRB,AF	7.4^{aA}	6.7^{aA}	6.8^{aA}	7.7^{aD}	6.0^{aA}	5.9^{aC}	6.0^{aC}	7.0^{aBC}

หมายเหตุ 1. อักษรตัวเล็กที่ไม่เหมือนกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$)

2. อักษรตัวใหญ่ที่ไม่เหมือนกันตามแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$)

นอกจากนี้ยังพบว่ารำข้าวสดที่เก็บรักษาในภาชนะบรรจุแบบถุงกระสอบที่อุณหภูมิห้องมีการเจริญเติบโตของหนอน และแมลงมอดตั้งแต่ในสัปดาห์ที่ 4 เนื่องจากการเจือปนของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กจากกระบวนการสีข้าว และการเข้าทำลายในระหว่างการเก็บรักษา



ภาพที่ 23 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของตัวอย่างรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนเก็บรักษาในภาชนะบรรจุแบบต่างๆเป็นเวลานาน 16 สัปดาห์

สำหรับตัวอย่างรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน และบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ให้ผลในการป้องกันความชื้นได้ดีกว่าภาชนะบรรจุแบบถุงซิปโพลีเอทิลีน 2 ชั้นเล็กน้อยในสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและตู้เย็น ซึ่งปริมาณความชื้นมีการเปลี่ยนแปลงจากสัปดาห์แรก (สัปดาห์ที่ 0)เล็กน้อย โดยมีความแตกต่างกันประมาณ 0.4 – 1.5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณความชื้นในสัปดาห์ที่ 16 ของตัวอย่างรำข้าวที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และตู้เย็นมีปริมาณความชื้น 6.1 และ7.0 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และพบว่าในตัวอย่างรำข้าวที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีความชื้นลดลงไปจากสัปดาห์แรก ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากตัวอย่างรำข้าวในภาชนะบรรจุหนึ่งๆอาจไม่เป็นเนื้อเดียวกันทั่วทั้งภาชนะบรรจุทำให้การสุ่มตัวอย่างมาทดสอบแต่ละครั้งให้ผลของค่าความชื้นที่แตกต่างกันไป ส่วนในตัวอย่างรำข้าวที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่เก็บรักษาในตู้เย็นพบว่ามีความชื้นมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเล็กน้อยอาจเนื่องมาจากขั้นตอนในการวัดปริมาณความชื้นต้องมีการนำตัวอย่างรำข้าวออกจากตู้เย็นซึ่งมีอุณหภูมิต่ำประมาณ 3 - 5 องศาเซลเซียส และมีความชื้นต่ำ เมื่อนำออกมาภายนอกทำให้รำข้าวซึ่งมีความสามารถในการถ่ายเทความชื้นได้ดีรับความชื้นจากภายนอกเข้าไปได้ และจากการสังเกตุตัวอย่างรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในภาชนะบรรจุแบบต่างๆที่เก็บรักษาในอุณหภูมิห้องไม่พบการเจริญเติบโตของแมลงมอด และหนอนทั้งในภาชนะบรรจุแบบอะลูมิเนียมฟอยล์ และถุงซิปโพลีเอทิลีน 2 ชั้น โดยลักษณะการถ่ายเทปริมาณความชื้นในถุงซิปโพลีเอทิลีน 2 ชั้นมีลักษณะคล้ายกันกับตัวอย่างรำข้าวที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ โดยมีปริมาณความชื้นในสัปดาห์สุดท้าย (สัปดาห์ที่ 16) ของตัวอย่างรำข้าวเก็บที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 6.3 เปอร์เซ็นต์ และที่เก็บรักษาในตู้เย็นเท่ากับ 7.0 เปอร์เซ็นต์

ส่วนตัวอย่างรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อนที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ทั้งที่เก็บในอุณหภูมิห้อง และตู้เย็นนาน 16 สัปดาห์ ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นบ้างเล็กน้อย และแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) โดยความชื้นต่างกันประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าภาชนะบรรจุที่สามารถป้องกันความชื้นได้ดีที่สุด คือ ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่ปิดแบบสุญญากาศ และรองลงมาคือ ถุงซิปโพลีเอทิลีน 2 ชั้น

ภาพที่ 23 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นตัวอย่างรำข้าวในภาชนะบรรจุแบบต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และตู้เย็น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความชื้นของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง และตู้เย็นนั้นอาจส่งผลให้ปฏิกริยาทางเคมีของรำข้าวเปลี่ยนแปลงได้เช่นกัน โดยความชื้น และอุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักสำคัญที่ทำให้รำข้าวเสื่อมคุณภาพได้รวดเร็ว (จันทร์สม, 2546) ดังนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของรำข้าวด้วยการวิเคราะห์ค่าของกรดไขมันอิสระเป็นอันดับต่อไป

4.2 การเปลี่ยนแปลงกรดไขมันอิสระของรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน และรำข้าวสดที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง และตู้เย็น เป็นเวลา 16 สัปดาห์

การเพิ่มขึ้นของค่ากรดไขมันอิสระในรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนมีความแตกต่างกับรำข้าวสดอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และชัดเจนตั้งแต่เก็บไว้ 2 สัปดาห์ ผลของค่ากรดไขมันอิสระแสดงดังตารางที่ 10 และ 11 การเก็บรักษาตัวอย่างรำข้าวไว้ที่อุณหภูมิห้องมีอัตราการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระเร็วกว่าที่เก็บไว้ในตู้เย็นอย่างเห็นได้ชัด การเปลี่ยนแปลงกรดไขมันอิสระของตัวอย่างรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน และบรรจุในภาชนะต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

ตัวอย่างรำข้าวสดที่เก็บรักษาในถุงกระสอบมีการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระตลอดการเก็บรักษา โดยกรดไขมันอิสระเพิ่มสูงขึ้นถึง 74.9 เปอร์เซ็นต์ในสัปดาห์ที่ 16 ในสภาพการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 51.7 เปอร์เซ็นต์ในสภาพการเก็บรักษาในตู้เย็น ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระที่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน สาเหตุที่ตัวอย่างรำข้าวสดที่บรรจุในถุงกระสอบมีกรดไขมันอิสระสูง เป็นผลเนื่องมาจากถุงกระสอบที่ใช้บรรจุตัวอย่างรำข้าวสดนี้มีรูให้ความชื้นเข้าออกได้ง่าย ทำให้ความชื้นที่อยู่ในรำข้าวซึ่งจะเป็นตัวเร่งปฏิกริยาไฮโดรไลซิสในรำข้าวได้เป็นอย่างดี พร้อมทั้งตัวอย่างรำข้าวไม่ได้ผ่านการให้ความร้อนจึงยังคงมีกิจกรรมเอนไซม์ไลเพสสูงอยู่ และยังเป็นผลเนื่องมาจากหนอนและแมลงมอดที่เจริญเติบโตได้สร้างเอนไซม์ไลเพสเสริมกับเอนไซม์ไลเพสที่มีอยู่เดิมในรำข้าวทำให้เอนไซม์ไลเพสทำปฏิกริยากับไตรกลีเซอไรด์ในรำข้าวได้มากขึ้นเป็นผลให้เกิดกรดไขมันอิสระเพิ่มมากขึ้น (จันทร์สม , 2546) ภาพที่ 24 เป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระในตัวอย่างรำข้าวแบบต่างๆ

ตารางที่ 10 การเปลี่ยนแปลงกรดไขมันอิสระของรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน บรรจุในภาชนะต่างกันและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 16 สัปดาห์

ภาชนะ	เวลา (สัปดาห์)							
	0	2	4	6	8	10	12	16
RRB,sack	10.6^{cA}	22.7^{cB}	38.7^{cC}	44.7^{cD}	53.3^{cE}	62.2^{cF}	63.5^{cF}	74.9^{cG}
HRB,PE2L.	12.5^{bA}	21.3^{bB}	26.6^{bC}	27.1^{bD}	34.0^{bE}	38.9^{bF}	41.2^{bF}	54.0^{bG}
HRB,AF	12.5^{aA}	17.1^{aB}	19.9^{aC}	21.8^{aD}	27.6^{aE}	35.1^{aF}	34.7^{aF}	41.4^{aG}

หมายเหตุ 1. อักษรตัวเล็กที่ไม่เหมือนกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$)
2. อักษรตัวใหญ่ที่ไม่เหมือนกันตามแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$)

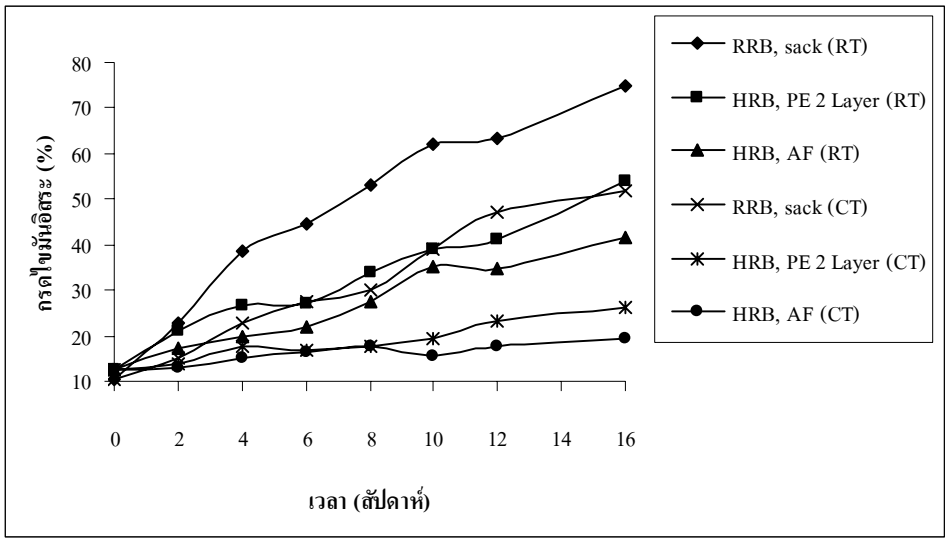
ตารางที่ 11 การเปลี่ยนแปลงกรดไขมันอิสระของรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน บรรจุในภาชนะต่างกันและเก็บรักษาไว้ที่ตู้เย็นนาน 16 สัปดาห์

ภาชนะ	เวลา (สัปดาห์)							
	0	2	4	6	8	10	12	16
RRB,sack	10.6^{cA}	15.0^{cB}	22.8^{cC}	27.6^{cD}	30.1^{cE}	39.2^{cF}	47.1^{cG}	51.7^{cH}
HRB,PE2L.	12.5^{bA}	14.0^{bB}	17.7^{bC}	17.0^{bD}	17.8^{bE}	19.4^{bF}	23.2^{bG}	26.3^{bH}
HRB,AF	12.5^{aA}	13.1^{aB}	15.2^{aC}	16.2^{aD}	17.8^{aE}	15.7^{aF}	17.5^{aG}	19.4^{aH}

หมายเหตุ 1. อักษรตัวเล็กที่ไม่เหมือนกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$)
2. อักษรตัวใหญ่ที่ไม่เหมือนกันตามแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$)

การเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระในรำข้าวเกิดขึ้นน้อยที่สุดในภาชนะบรรจุแบบถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ปิดผนึกแบบสุญญากาศ และเก็บรักษาที่ตู้เย็น โดยมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 16 สัปดาห์ เพียง 6.9 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างรำข้าวที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิห้องซึ่งมีค่ากรดไขมันอิสระในสัปดาห์ที่ 16 สูงถึง 41.4 เปอร์เซ็นต์ ภาชนะบรรจุที่ให้ผลรองลงมาคือ ตัวอย่างรำข้าวที่บรรจุในถุงซิปโพลีเอทิลีน 2 ชั้นที่เก็บรักษาในตู้เย็นโดยมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเป็น 26.3 เปอร์เซ็นต์

ส่วนการเก็บรักษาตัวอย่างรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องให้ผลดีที่สุดคือ ภาชนะบรรจุแบบถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ซึ่งพบว่ามีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเป็น 41.4 เปอร์เซ็นต์เมื่อถึงสัปดาห์ที่ 16 และภาชนะบรรจุที่ให้ผลรองลงมาคือภาชนะบรรจุแบบถุงซิปโพลีเอทิลีน 2 ชั้น ซึ่งมีกรดไขมันอิสระในสัปดาห์ที่ 16 เท่ากับ 54.0 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าภาชนะบรรจุและอุณหภูมิในการเก็บรักษามีความสำคัญในการเก็บรักษา พร้อมทั้งจะเห็นได้ว่ารำข้าวที่ได้ผ่านการให้ความร้อนสามารถชะลอการเกิดกรดไขมันอิสระได้ โดยเฉพาะในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องพบว่ารำข้าวสดในสัปดาห์ที่ 16 มีค่ากรดไขมันอิสระมากกว่ารำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนและเก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ 33.5 เปอร์เซ็นต์ และแตกต่างกันถึง 32.3 เปอร์เซ็นต์ในสภาพการเก็บรักษาในตู้เย็น



ภาพที่ 24 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระของตัวอย่างรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนเก็บรักษาในภาชนะบรรจุแบบต่างๆเป็นเวลานาน 16 สัปดาห์

4.3 การเปลี่ยนแปลงสีของรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน และรำข้าวสดที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง และตู้เย็น เป็นเวลา 16 สัปดาห์

เมื่อนำรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อนมาวัดสีด้วยเครื่องวัดสี Minolta รุ่น CR – 400 โดยเปรียบเทียบกับรำข้าวสด พบว่าการให้ความร้อนรำข้าวมีผลทำให้ค่าความสว่าง (L) ของรำข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ส่วนค่าสีเหลือง (b) และค่าสีแดง (a) มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก การที่รำข้าวมีค่าความสว่าง (L) ลดลงเกิดมาจากการที่วัตถุดิบได้รับความร้อนดังเช่นรำข้าวได้รับความร้อนและทำให้องค์ประกอบในรำข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลงสีเข้มขึ้น (ความสว่างลดลง)

เมื่อนำรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนมาเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และตู้เย็น เป็นเวลา 16 สัปดาห์ เปรียบเทียบกับรำข้าวสด พบว่าสีของรำข้าวทั้งสองชนิดมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงสัปดาห์ที่ 0 – 4 โดยพบว่ามีค่าความสว่าง (L) ลดลง และค่าสีเหลือง (b) เพิ่มสูงขึ้นและค่อนข้างคงที่ในช่วงหลังจากสัปดาห์ที่ 4 เป็นต้นไป ซึ่งผลที่เกิดขึ้นนี้อาจเนื่องมาจากในช่วงสัปดาห์ที่ 0- 4 มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศน้อยเพราะอยู่ในช่วงฤดูหนาว ซึ่งอาจทำให้รำข้าวมีความชื้นลดลง และมีผลทำให้สีของรำข้าวสว่างขึ้นจากเดิม โดยปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้เกิดขึ้นคล้ายกันทั้งในสภาพการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และตู้เย็น

เมื่อเก็บรักษารำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อนทั้งที่เก็บในอุณหภูมิห้อง และตู้เย็นนานเป็นเวลา 16 สัปดาห์ พบว่าค่าสีที่มีการเปลี่ยนแปลงมากได้แก่ค่าความสว่าง (L) และค่าสีเหลือง (b) ส่วนค่าสีแดง (a) มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าสีแสดงดังตารางที่ 12 และ 13 ซึ่งค่าสีที่เกิดการแปรปรวนนั้นอาจเกิดจากการการแปรผันของการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ไม่อาศัยเอนไซม์ คือ ปฏิกริยาออกซิเดชั่น และปฏิกริยาเมลลาร์ด เพราะทั้งสองปฏิกริยานี้เกิดขึ้นได้กับวัตถุดิบที่มีความชื้นค่อนข้างต่ำ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงกว่า 20 องศาเซลเซียส ซึ่งที่ต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียสก็สามารถเกิดขึ้นได้ถ้าหากเก็บรำข้าวไว้เป็นเวลานาน โดยปัจจัยที่มีผลต่อทั้งสองปฏิกริยานี้ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ออกซิเจน และโลหะ ซึ่งผลของปฏิกริยาออกซิเดชั่นที่เกิดขึ้นอาจทำให้สีของวัตถุดิบเข้มขึ้น หรือซีดจางลงได้ (จันทร์สม, 2546)

ตารางที่ 12 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนบรรจุในภาชนะต่างกันและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 16 สัปดาห์

ภาชนะ	เวลา (สัปดาห์)							
	0	2	4	6	8	10	12	16
				ค่าสี L				
RRB,sack	63.5^{bA}	62.8^{bA}	71.5^{bB}	72.1^{bB}	72.3^{bB}	73.1^{bB}	72.7^{bB}	72.8^{bB}
HRB,PE2L.	60.5^{aA}	61.4^{aA}	70.0^{aB}	69.6^{aB}	70.0^{aB}	68.0^{aB}	70.4^{aB}	70.5^{aB}
HRB,AF	60.5^{aA}	61.7^{aA}	69.8^{aB}	69.3^{aB}	70.1^{aB}	69.9^{aB}	70.4^{aB}	69.9^{aB}
				ค่าสี a				
RRB,sack	3.0^{aA}	2.9^{aA}	3.3^{aB}	3.3^{aB}	3.3^{aB}	3.0^{aA}	3.1^{aA}	3.1^{aA}
HRB,PE2L.	3.1^{bA}	3.1^{bA}	3.7^{bB}	3.7^{bB}	3.7^{bB}	3.1^{bA}	3.2^{bA}	3.2^{bA}
HRB,AF	3.1^{bA}	3.1^{bA}	3.6^{bB}	3.6^{bB}	3.6^{bB}	3.2^{bA}	3.2^{bA}	3.2^{bA}
				ค่าสี b				
RRB,sack	17.8^{aA}	17.4^{aA}	21.1^{aBC}	21.6^{aBC}	21.0^{aB}	21.7^{aB}	21.3^{aB}	22.1^{aC}
HRB,PE2L.	17.4^{aA}	17.6^{aA}	21.6^{aBC}	22.0^{aBC}	21.5^{aB}	20.6^{aB}	21.5^{aB}	21.9^{aC}
HRB,AF	17.4^{aA}	17.8^{aA}	21.7^{aBC}	21.7^{aBC}	21.6^{aB}	21.8^{aB}	21.2^{aB}	21.7^{aC}

หมายเหตุ 1. อักษรตัวเล็กที่ไม่เหมือนกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$)

2. อักษรตัวใหญ่ที่ไม่เหมือนกันตามแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$)

จากการเปลี่ยนแปลงสีของรำข้าวสดและรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และตู้เย็น พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่คล้ายกันมาก ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Tortosa และ de Barber (1978) ซึ่งทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีรำข้าวสดและรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องและ 15 องศาเซลเซียส พบว่าการเปลี่ยนแปลงสีของรำข้าวทั้งสองชนิดมีความคล้ายคลึงกัน

ตารางที่ 13 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนบรรจุในภาชนะต่างกันและเก็บรักษาไว้ที่ตู้เย็นนาน 16 สัปดาห์

ภาชนะ	เวลา (สัปดาห์)							
	0	2	4	6	8	10	12	16
				ค่าสี L				
RRB,sack	63.5^{bA}	64.2^{bB}	70.6^{aD}	71.2^{bC}	71.1^{bD}	71.1^{bD}	71.3^{bD}	71.0^{bD}
HRB,PE2L.	60.5^{aA}	65.8^{aB}	70.1^{aD}	67.1^{aC}	69.9^{aD}	70.2^{aD}	70.1^{aD}	69.6^{aD}
HRB,AF	60.5^{aA}	60.7^{aB}	70.1^{aD}	68.8^{aC}	70.0^{aD}	69.7^{aD}	69.8^{aD}	69.3^{aD}
				ค่าสี a				
RRB,sack	3.0^{aA}	3.0^{aAB}	3.5^{aD}	3.5^{aD}	3.5^{aD}	3.1^{aBC}	3.2^{aC}	3.2^{aBC}
HRB,PE2L.	3.1^{bA}	3.2^{bAB}	3.7^{bD}	3.7^{bD}	3.6^{bD}	3.3^{bBC}	3.3^{bC}	3.3^{bBC}
HRB,AF	3.1^{bA}	3.1^{bAB}	3.6^{bD}	3.9^{bD}	3.6^{bD}	3.4^{bBC}	3.4^{bC}	3.3^{bBC}
				ค่าสี b				
RRB,sack	17.8^{aA}	18.1^{aB}	21.0^{aC}	21.7^{aC}	21.2^{aC}	21.5^{aC}	21.5^{aC}	21.7^{aC}
HRB,PE2L.	17.4^{aA}	19.5^{aB}	21.7^{aC}	21.1^{aC}	21.6^{aC}	21.6^{aC}	21.4^{aC}	21.4^{aC}
HRB,AF	17.4^{aA}	17.5^{aB}	21.6^{aC}	21.7^{aC}	21.5^{aC}	21.7^{aC}	21.5^{aC}	21.3^{aC}

หมายเหตุ 1. อักษรตัวเล็กที่ไม่เหมือนกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$)

2. อักษรตัวใหญ่ที่ไม่เหมือนกันตามแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$)

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพรำข้าวโดยใช้วิธีทางความร้อน โดยทำการออกแบบ และสร้างเครื่องให้ความร้อนรำข้าวแบบกระบอกหมุนซึ่งมีลักษณะเป็นท่อ 2 ชั้น โดยท่อชั้นในติดตั้งชุดขดลวดความร้อนไฟฟ้าขนาด 1500 วัตต์เพื่อเป็นแหล่งความร้อน ท่อชั้นนอกสามารถบรรจุรำข้าวได้ปริมาตรสูงสุด 13 ลิตร(15 กิโลกรัม) มีลักษณะการทำงานแบบเป็นครั้ง ชุดกระบอกรำข้าวออกแบบให้มีการหมุนได้ด้วยมอเตอร์กระแสสลับขนาด 25 วัตต์ ส่งถ่ายกำลังด้วยสายพาน จากการทดสอบสภาวะการทำงานของเครื่องที่เหมาะสมพบว่าการให้ความร้อนรำข้าวสดในแต่ละครั้งควรใส่รำข้าวปริมาณ 4 กิโลกรัม และปรับตั้งให้กระบอกรำข้าวหมุนด้วยความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที เพราะจะทำให้อัตราการรับความร้อนของรำข้าวสูงสุด

การทดสอบผลของการให้ความร้อนรำข้าวที่มีผลต่อกิจกรรมเอนไซม์ไลเพสในรำข้าวโดยใช้สภาวะการทำงานที่ได้ศึกษาไว้แล้วข้างต้นคือปริมาณการบรรจุที่ 4 กิโลกรัม และความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที พบว่ารำข้าวสดที่มีกิจกรรมเอนไซม์ไลเพส 4.3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อผ่านการให้ความร้อนแล้วสามารถลดกิจกรรมเอนไซม์ไลเพสลงได้ และสภาวะที่เหมาะสมคือการให้ความร้อนที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ทำให้รำข้าวมีอุณหภูมิ 84.4 องศาเซลเซียส ความชื้น 3.3 เปอร์เซ็นต์ และมีกิจกรรมเอนไซม์ไลเพสเพียง 1.0 เปอร์เซ็นต์

การทดสอบผลของการให้ความร้อนรำข้าวที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษา โดยให้ความร้อนรำข้าวที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ทำให้ความชื้นในรำข้าวหลังการให้ความร้อนลดลงมีค่าเท่ากับ 7.4 เปอร์เซ็นต์ และพบว่ารำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนสามารถชะลออัตราการเกิดกรดไขมันอิสระลงได้ โดยตัวอย่างที่ให้ผลดีที่สุดคือตัวอย่างรำข้าวที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ปิดผนึกแบบสุญญากาศ และเก็บรักษาในตู้เย็นซึ่งมีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเพียง 6.9 เปอร์เซ็นต์ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนตัวอย่างรำข้าวแบบอื่นๆพบว่ามีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นสูงกว่า แสดงให้เห็นว่ามีการคืนสภาพตามธรรมชาติได้ของกิจกรรมเอนไซม์ไลเพส การเก็บรักษาที่เหมาะสมควรจะเก็บในภาชนะที่สามารถป้องกันความชื้นได้ดี และเก็บในสภาพที่มีอุณหภูมิต่ำ

ข้อเสนอแนะ

การให้ความร้อนรำข้าวด้วยเครื่องให้ความร้อนรำข้าวที่ได้ออกแบบขึ้นสามารถคงสภาพรำข้าวก่อนการเก็บรักษาได้ และมีเทคนิคในการสร้างไม่ยุ่งยากซับซ้อน ซึ่งอาจเหมาะสมกับการคงสภาพรำข้าวในปริมาณที่ไม่มากนัก และหากมีการปรับปรุงในเรื่องของปริมาณการบรรจุรำข้าวและพื้นที่ผิวสัมผัสความร้อนให้เพิ่มขึ้นน่าจะสามารถนำไปใช้คงสภาพรำข้าวในระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็กได้

เนื่องจากรำข้าวเป็นวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติในการดูดซับ และคายความชื้นได้ดี จึงมักมีความแปรปรวนทางด้านความชื้นและอุณหภูมิภายในตัวรำข้าวอยู่เสมอ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการทดลองได้ ดังนั้นควรจะควบคุมตัวอย่างรำข้าวที่จะนำมาทดลองให้มีสภาวะใกล้เคียงกันมากที่สุด และน่าจะมีการศึกษาในตัวอย่างรำข้าวพันธุ์อื่นๆด้วย

ในขณะทำการทดลองให้ความร้อนรำข้าวพบว่าเมื่อให้ความร้อนจนถึงช่วงเวลาหนึ่งจะทำให้รำข้าวติดกันเป็นชั้นหนาอยู่ที่บริเวณผิวด้านในของกระบอกบรรจุรำข้าวอันเนื่องมาจากความชื้น ดังนั้น จึงควรมีการพัฒนาครีบกวนให้มีประสิทธิภาพในการกวนรำข้าวให้ได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอมากขึ้น และสามารถแก้ปัญหาการติดกันเป็นชั้นหนาของรำข้าวได้ด้วย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

โกศล เพ็ชร์สุวรรณ์. 2525. **วัสดุ ตัวเลข ตัวนำ ตารางสำหรับช่างไฟฟ้า**. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

จันทร์สม แก้วอุดร. 2546. **การทำให้รำข้าวมีความคงตัวด้วยไมโครเวฟ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ณรงค์ ชอนตะวัน, เสวก ผาสุข, สุภาพ สุขเกื้อ และ พานิชพล มงคลเจริญ. ม.ป.ป. **คู่มือซ่อมเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน**. ม.ป.ท.

ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี. 2547. **การประหยัดพลังงานในระบบระบายอากาศของไซโลเก็บข้าวเปลือกโดยใช้ท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน. 2541. **การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1**. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน), กรุงเทพฯ.

วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน. 2541. **การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2**. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน), กรุงเทพฯ.

ศิริวัฒน์ มงคลกาญจนสิริ. 2545. **การผลิตโปรตีนเข้มข้นจากรำข้าว**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมยศ เชิญอักษร. 2530. **การถ่ายเทความร้อนและมวลสาร**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล, ประไพพิศ เดโชดมพันธ์ และ สิริ ชัยเสรี. 2540. **การศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของเอนไซม์ไลเพสจากรำข้าว**. วิทยาสารเกษตรศาสตร์ 31 (1): 56 – 71.

A.O.A.C. 1995. **Official Method of Analysis**. The d., William, S., Ed Washington, DC., Official Method Cd3d – 63. Sampling and Analysis of Commercial Fat and Oil.

Haydt, E. n.d. **All Rice Bran is Not Created Equal**. News and Information. Available Source: http://www.triplecrownfeed.com/newsricebran.php?PRINT=1, September 21, 2005.

H. Christensen. 2001. **Survey of foods Using Rice Bran**. 2001 AACC Annual Meeting. Available Source: http://www.aaccnet.org/meetings/2001/Abstracts/a01ma153.htm, September 21, 2005.

Hoi, S.W., J.B. Holland and E.G. Hammond. 1999. **Heritability of lipase activity of oat caryopsis**. Crop Sci. 39: 1056 – 1059.

Hu, W., J. H. Wells., T – S. Shin and J. S. Godber. 1996. **Comparison of isopropanol and hexane for extraction of vitamin E and oryzanol from stabilized rice bran**. J. Am. Oil Chem. Soc. 73(12): 1653 – 1656.

Jarcia, Eduardo A., Icabales and MA. Theresa Q. 1988. **Comparative Study on the Stabilization of Rice Bran by Heat and Chemical Treatments**. Available Source: http://www.nfa.gov.ph/research/p7.html, September 21, 2005.

Loeb, J.R., N.J. Morris and F.G. Dollar. 1949. **Rice bran oil. IV. Storage of the bran as it affects hydrolysis of the oil**. J. Am. Oil Chem. Soc. 28: 738-73.

Munshi, S.K., N. Bhatia., B.S. Seklon and P.S. Sukhiji. 1993. **Inactivation of rice bran lipase with metal ions**. J. Chem. Technol. And Biotech. 57(2): 169-174.

Prabhakar, J.V. and K.V.L. Venkatesh. 1986. **A sample chemical method for stabilization of rice bran**. J. Am. Oil Chem. Soc. 63(5): 644-646.

Ramezanzadeh, F.M., R.M. Rao, Windhauser M. and Prinyawiwatkul W. 1999. **Nutrient Losses in Microwave-Heated Rice Bran during Storage**. 1999 IFT ANNUAL MEETING. Available Source: http://www.ift.confex.com/ift/99annual/techprogram/abstracts/3848.html, September 21, 2005.

Ramezanzadeh F.M., R.M. Rao., Windhauser M., Prinyawiwatkul W. and W.E. Marshall. 1999. P**revention of Oxidative Rancidity in Rice Bran during Storage**. National Library Medicine. Available Source: http://mofpi.nic.in/annual/reports/pprc9596/annual report.html, September 21, 2005.

Ramezanzadeh F.M., R.M. Rao, Windhauser M., Prinyawiwatkul W., Tulley R and W.E. Marshall 1999. **Prevention of Hydrolytic Rancidity in Rice Bran during Storage**. National Library Medicine. Available Source: http://mofpi.nic.in/annual/reports/pprc9596/annual report.html, September 21, 2005.

Tadahiro Hayashi. 1998. **Preventing Spoilage of Raw Rice Bran Used as a Feedstuff**. Food & Fertilizer Technology Center. Available Source: http://www.fftc.agnet.org/library/aricle/pt2003037.html, September 21, 2005.

Takahashi, K. 1919. **Rice bran oil**. Japanese patent 4(11): 35, 263.

Tortosa, E. and B. Barber. 1978 . **Unpublished data**.

Wayne E. Marshall and James I. Wadsworth. 1994. **Rice Science and Technology**. Marcel Dekker, Inc., New York.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลจากการทดลอง

ตารางผนวกที่ ก1 อุณหภูมิรำข้าวจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที และเปลี่ยนแปลงปริมาณการบรรจุที่ 3 กิโลกรัม

ซ้ำที่	ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ	เวลา (นาที)					
		10	20	30	40	50	60
1	T_1	40.2	42.5	43.8	52.7	55.3	63.2
	T_2	42.9	48.4	51.1	56..5	59.8	61.9
	T_3	44.5	50.6	54.1	58.7	61.6	63.7
	Tavg	42.5	47.2	49.7	55.7	58.9	62.9
2	T_1	40.6	45.5	47.2	51.2	54.3	58.1
	T_2	43.8	49.9	52	55.9	60.9	63.1
	T_3	45.9	52	56.5	60	62.6	64.7
	Tavg	43.4	49.1	51.9	55.7	59.3	62.0
3	T_1	41.6	45.6	49.7	52.7	56.8	58.6
	T_2	43.8	50.3	54.6	55.9	60	62.8
	T_3	45.3	52	56.4	59	63.8	65.6
	Tavg	43.6	49.3	53.6	55.9	60.2	62.3
เฉลี่ย	-	43.2	48.5	51.7	55.8	59.5	62.4

ตารางผนวกที่ ก2 อุณหภูมิรำข้าวจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที และเปลี่ยนแปลงปริมาณการบรรจุที่ 4 กิโลกรัม

ซ้ำที่	ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ	เวลา (นาที)					
		10	20	30	40	50	60
1	T_1	40.2	43.9	49.8	52.4	54.7	58.9
	T_2	42.4	48.6	53.1	58.3	59.6	63.5
	T_3	42	50.2	54.5	60.6	62.9	64.6
	Tavg	41.5	47.6	52.5	57.1	59.1	62.3
2	T_1	40.9	44.9	49	52.8	56.1	58
	T_2	43	48.4	54.2	58.3	60.7	63.7
	T_3	43.5	50.1	55.7	61	63.6	67.2
	Tavg	42.5	47.8	53.0	57.4	60.1	63.0
3	T_1	39.4	43.7	49.88	52.1	57.5	60
	T_2	41.9	48	54.6	57.6	61.7	64.8
	T_3	43	49.6	58	60.7	64.2	67.3
	Tavg	41.4	47.1	54.2	56.8	61.1	64.0
เฉลี่ย	-	41.8	47.5	53.2	57.1	60.1	63.1

ตารางผนวกที่ ก3 อุณหภูมิรำข้าวจากการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 30 รอบ/นาทีและเปลี่ยนแปลงปริมาณการบรรจุที่ 5 กิโลกรัม

ซ้ำที่	ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ	เวลา (นาที)					
		10	20	30	40	50	60
1	T_1	36.7	41.2	46.4	50.2	51.5	53.7
	T_2	39.3	45	50.4	54	56.5	60.7
	T_3	41.1	45.4	53.1	56	59	61.2
	Tavg	39.0	43.9	50.0	53.4	55.7	58.5
2	T_1	36.2	43.2	49.2	50.4	53.5	56.7
	T_2	40	46.5	52.7	54.2	57.3	61.9
	T_3	41.6	48.5	52.5	57.1	59.7	62.2
	Tavg	39.3	46.1	51.5	53.9	56.8	60.3
3	T_1	37	40.9	46	48.9	53.8	58.6
	T_2	39.2	43.9	51.2	54.3	58.4	61.8
	T_3	41.4	45.5	55.2	56.4	58.8	64.1
	Tavg	39.2	43.4	50.8	53.2	57.0	61.5
เฉลี่ย	-	39.2	44.5	50.7	53.5	56.5	60.1

ตารางผนวกที่ ก4 อุณหภูมิรำข้าวจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส ปริมาณการบรรจุ 4 กิโลกรัม และเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบที่ 20 รอบ/นาที

ซ้ำที่	ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ	เวลา (นาที)					
		10	20	30	40	50	60
1	T_1	36.2	42.3	46.5	51.8	55.4	57.7
	T_2	39.7	45.6	50.8	56	62.1	62.8
	T_3	40.2	48.2	51.6	58.4	63.7	64.5
	Tavg	38.7	45.4	49.6	55.4	60.4	61.7
2	T_1	38.4	43.2	47	50.2	54.1	58.8
	T_2	43	48.4	53.2	58.4	59.8	62.2
	T_3	43.7	49.4	54.7	61.4	62.8	64.6
	Tavg	41.7	47.0	51.6	56.7	58.9	61.9
3	T_1	39.5	43.2	46.5	51.7	53.6	58.7
	T_2	43.2	47.9	54	56.4	60	61.2
	T_3	42.4	50.1	55.2	59.3	63.4	66.4
	Tavg	41.7	47.1	51.9	55.8	59.0	62.1
เฉลี่ย	-	40.7	46.5	51.1	56.0	59.4	61.9

ตารางผนวกที่ ก5 อุณหภูมิรำข้าวจากการให้ความร้อนทีอุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส ปริมาณการบรรจุ 4 กิโลกรัม และเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบที่ 30 รอบ/นาที

ซ้ำที่	ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ	เวลา (นาที)					
		10	20	30	40	50	60
1	T_1	40.2	43.9	49.8	52.4	54.7	58.9
	T_2	42.4	48.6	53.1	58.3	59.6	63.5
	T_3	42	50.2	54.5	60.6	62.9	64.6
	Tavg	41.5	47.6	52.5	57.1	59.1	62.3
2	T_1	40.9	44.9	49	52.8	56.1	58
	T_2	43	48.4	54.2	58.3	60.7	63.7
	T_3	43.5	50.1	55.7	61	63.6	67.2
	Tavg	42.5	47.8	53.0	57.4	60.1	63.0
3	T_1	39.4	43.7	49.88	52.1	57.5	60
	T_2	41.9	48	54.6	57.6	61.7	64.8
	T_3	43	49.6	58	60.7	64.2	67.3
	Tavg	41.4	47.1	54.2	56.8	61.1	64.0
เฉลี่ย	-	41.8	47.5	53.2	57.1	60.1	63.1

ตารางผนวกที่ ก6 อุณหภูมิรำข้าวจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส ปริมาณการบรรจุ 4 กิโลกรัม และเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบที่ 40 รอบ/นาที

ซ้ำที่	ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ	เวลา (นาที)					
		10	20	30	40	50	60
1	T_1	42.4	46	51.3	54.5	57.1	59.5
	T_2	44.1	49.3	54.5	58.3	60.4	63.2
	T_3	44.3	52.3	57.4	60	62	64.4
	Tavg	43.6	49.2	54.4	57.6	59.8	62.4
2	T_1	38.3	42.6	47	51	54.4	58
	T_2	40.2	44.7	53.5	54.2	58	60.7
	T_3	41.7	48	54.9	58.7	61.3	63.8
	Tavg	40.1	45.1	51.8	54.6	57.9	60.8
3	T_1	39.3	42	47.6	52.3	58.5	58
	T_2	41.7	47.3	53.1	56	60.1	62.2
	T_3	43	49.6	54.9	58.2	63.2	63.6
	Tavg	41.3	46.3	51.9	55.5	60.6	61.3
เฉลี่ย	-	41.7	46.9	52.7	55.9	59.4	61.5

ตารางผนวกที่ ก7 อุณหภูมิรำข้าวจากการให้ความร้อนที่ปริมาณการบรรจุ 4 กิโลกรัม ความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที และเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ 170 องศาเซลเซียส

ซ้ำที่	ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ	เวลา (นาที)					
		10	20	30	40	50	60
1	T_1	37.9	42.1	47	50.6	53.2	56.1
	T_2	40.6	47.4	52.9	55.2	58.6	63
	T_3	43.5	49.5	54.8	59.5	60.3	64.3
	Tavg	40.7	46.3	51.6	55.1	57.4	61.1
2	T_1	36.2	42.4	46.7	51.3	52.4	55.8
	T_2	40.7	45.5	50.7	55.7	58	62.9
	T_3	43.2	48.7	54.2	57.6	61.5	64.2
	Tavg	40.0	45.5	50.5	54.9	57.3	61.0
3	T_1	37.4	42.5	46.3	50.7	54	55.6
	T_2	41.7	46.2	50.4	57	57.9	61.2
	T_3	43.6	48.3	55.7	58.6	61.3	63.7
	Tavg	40.9	45.7	50.8	55.4	57.7	60.2
เฉลี่ย	-	40.5	45.8	51.0	55.1	57.5	60.8

ตารางผนวกที่ ก8 อุณหภูมิรำข้าวจากการให้ความร้อนที่ปริมาณการบรรจุ 4 กิโลกรัม ความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที และเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ 185 องศาเซลเซียส

ซ้ำที่	ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ	เวลา (นาที)					
		10	20	30	40	50	60
1	T_1	38.9	45.9	53.3	58.2	60.4	62
	T_2	42.3	52	57.9	60.8	65.1	68.6
	T_3	45.2	52.7	58.7	63	67.8	70.6
	Tavg	42.1	50.2	56.6	60.7	64.4	67.1
2	T_1	39.5	45.3	53.1	57.8	62.2	63.6
	T_2	43	51.2	57.6	61.6	64.5	71.7
	T_3	45.1	51.7	58.2	63.4	66.6	69.1
	Tavg	42.5	49.4	56.3	60.9	64.4	68.1
3	T_1	39.5	44	54.7	57.5	60.9	62.5
	T_2	40.2	46.8	55.8	59.2	62.9	65.4
	T_3	42.5	50.5	58.2	61.6	65.4	69
	Tavg	40.7	47.1	56.2	59.4	63.1	65.6
เฉลี่ย	-	41.8	48.9	56.4	60.3	64.0	66.9

ตารางผนวกที่ ก9 อุณหภูมิรำข้าวจากการให้ความร้อนที่ปริมาณการบรรจุ 4 กิโลกรัม ความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที และเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ 200 องศาเซลเซียส

ซ้ำที่	ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ	เวลา (นาที)					
		10	20	30	40	50	60
1	T_1	45.4	52.7	55.1	60	63.3	69.5
	T_2	47.6	54.7	58.9	63.6	68.8	73.9
	T_3	48.7	55.7	59.2	67	72	73.5
	Tavg	47.2	54.4	57.7	63.5	68.0	72.3
2	T_1	42.9	51.6	56.6	62.6	64.2	68.5
	T_2	45.5	53.5	60.3	64.8	67.5	74.5
	T_3	47.6	53.4	61.9	66.5	70.2	73.2
	Tavg	45.3	52.8	59.6	64.6	67.3	72.1
3	T_1	43.8	51.6	55	62.7	65.1	65.5
	T_2	46.5	54.6	61	64.7	69.9	71.4
	T_3	47.7	56.2	61	66.9	71.5	73.2
	Tavg	46.0	54.1	59.0	64.8	68.8	70.0
เฉลี่ย	-	46.2	53.8	58.8	64.3	68.1	71.5

ตารางผนวกที่ ก10 อุณหภูมิรำข้าวจากการให้ความร้อนในขั้นตอนการหากิจกรรมเอนไซม์ไลเพส ที่อุณหภูมิแหล่งความร้อน 170 องศาเซลเซียส

ซ้ำที่	ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ	เวลา (นาที)		
		30	60	90
1	T_1	65.2	73.8	80.9
	T_2	65.4	77.2	77.8
	T_3	66.5	75.6	80.3
	Tavg	65.7	75.5	79.7
2	T_1	64.9	72.5	78.6
	T_2	65.4	76.9	79
	T_3	67.5	76.8	79.4
	Tavg	65.9	75.4	79.0
3	T_1	64.2	74.9	77.5
	T_2	68.1	75.1	83.7
	T_3	71.8	78.4	81.9
	Tavg	68.0	76.1	81.0
เฉลี่ย	-	66.6	75.7	79.9

ตารางผนวกที่ ก11 อุณหภูมิรำข้าวจากการให้ความร้อนในขั้นตอนการหากิจกรรมเอนไซม์ไลเพส ที่อุณหภูมิแหล่งความร้อน 185 องศาเซลเซียส

ซ้ำที่	ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ	เวลา (นาที)		
		30	60	90
1	T_1	67.7	81.6	81.8
	T_2	72.5	81.9	83.5
	T_3	73.9	83.3	87
	Tavg	71.4	82.3	84.1
2	T_1	73.8	78.8	82.8
	T_2	74.8	81.5	83.5
	T_3	74.2	82	87.9
	Tavg	74.3	80.8	84.7
3	T_1	75.8	77	80.5
	T_2	76	81.2	85
	T_3	74.6	82.4	86.6
	Tavg	75.5	80.2	84.0
เฉลี่ย	-	73.7	81.1	84.3

ตารางผนวกที่ ก12 อุณหภูมิรำข้าวจากการให้ความร้อนในขั้นตอนการหากิจกรรมเอนไซม์ไลเพส ที่อุณหภูมิแหล่งความร้อน 200 องศาเซลเซียส

ซ้ำที่	ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ	เวลา (นาที)		
		30	60	90
1	T_1	72.5	87.6	84.7
	T_2	75.4	86.5	88.1
	T_3	78.1	87.2	89.1
	Tavg	75.3	87.1	87.3
2	T_1	72.2	79.1	82.8
	T_2	75.9	86.3	86.6
	T_3	78.9	85.2	88.5
	Tavg	75.7	83.5	86.0
3	T_1	76.4	79.2	81
	T_2	78.6	83.8	87.2
	T_3	80.5	84.8	89.3
	Tavg	78.5	82.6	85.8
เฉลี่ย	-	76.5	84.4	86.4

ตารางผนวกที่ ก13 ความชื้นรำข้าวจากการให้ความร้อนในขั้นตอนการหากิจกรรมเอนไซม์ไลเพส

อุณหภูมิแหล่งความร้อน (องศาเซลเซียส)	เวลาในการให้ความร้อน (นาที)	ซ้ำ			เฉลี่ย
		1	2	3	
170	30	9.09	7.78	7.61	8.16
	60	5.83	5.71	5.10	5.55
	90	4.86	4.31	5.07	4.75
185	30	6.46	6.85	6.93	6.75
	60	4.65	4.41	6.48	5.18
	90	3.45	2.86	2.54	2.95
200	30	5.40	5.07	5.54	5.33
	60	3.64	3.05	3.22	3.31
	90	2.64	2.77	2.41	2.61
รำข้าวสด	-	9.27	9.54	9.57	9.46

ตารางผนวกที่ ก14 ค่ากิจกรรมเอนไซม์ (%ไฮโดรไลซิส) ของรำข้าวจากการให้ความร้อน

อุณหภูมิแหล่งความร้อน (องศาเซลเซียส)	เวลาในการให้ความร้อน (นาที)	ซ้ำ			เฉลี่ย
		1	2	3	
170	30	2.5	2.5	1.6	2.2
	60	1.6	2.0	2.9	2.2
	90	2.0	2.0	1.6	1.9
185	30	1.2	1.6	1.6	1.4
	60	1.6	1.6	1.2	1.4
	90	1.2	1.2	1.6	1.3
200	30	1.2	1.2	1.2	1.2
	60	0.7	1.2	1.2	1.0
	90	0.7	0.7	1.2	0.9
รำข้าวสด	-	3.3	4.6	5.1	4.3

ตารางผนวกที่ ก15 ค่าสีของรำข้าวจากการให้ความร้อนในขั้นตอนการหากิจกรรมเอนไซม์ไลเพส ที่อุณหภูมิแหล่งความร้อน 170 องศาเซลเซียส

เวลาในการให้ความร้อน (นาที)	ซ้ำ	ค่าสี		
		L	a	b
30	1	71.41	2.60	19.49
	2	72.81	2.91	20.76
	3	72.67	3.09	21.15
	เฉลี่ย	72.30	2.87	20.47
60	1	73.26	2.67	21.08
	2	71.79	3.12	21.79
	3	72.17	3.06	21.56
	เฉลี่ย	72.41	2.95	21.48
90	1	72.70	3.07	22.10
	2	71.10	3.38	21.63
	3	71.94	3.37	22.06
	เฉลี่ย	71.91	3.27	21.93
รำข้าวสด	1	74.75	2.53	19.73
	2	75.12	2.54	19.69
	3	75.02	2.43	19.36
	เฉลี่ย	74.97	2.50	19.59

ตารางผนวกที่ ก16 ค่าสีของรำข้าวจากการให้ความร้อนในขั้นตอนการหากิจกรรมเอนไซม์ไลเพส ที่อุณหภูมิแหล่งความร้อน 185 องศาเซลเซียส

เวลาในการให้ความร้อน (นาที)	ซ้ำ	ค่าสี		
		L	a	b
30	1	71.70	3.20	21.42
	2	72.53	3.08	21.36
	3	71.76	3.23	21.44
	เฉลี่ย	72.00	3.17	21.41
60	1	71.71	3.23	22.08
	2	72.18	3.31	21.55
	3	71.72	3.45	22.30
	เฉลี่ย	71.87	3.33	21.98
90	1	70.98	3.69	22.67
	2	71.06	3.78	22.97
	3	70.93	3.97	23.71
	เฉลี่ย	70.99	3.81	23.12
รำข้าวสด	1	74.75	2.53	19.73
	2	75.12	2.54	19.69
	3	75.02	2.43	19.36
	เฉลี่ย	74.97	2.50	19.59

ตารางผนวกที่ ก17 ค่าสีของรำข้าวจากการให้ความร้อนในขั้นตอนการหากิจกรรมเอนไซม์ไลเพส ที่อุณหภูมิแหล่งความร้อน 200 องศาเซลเซียส

เวลาในการให้ความร้อน (นาที)	ซ้ำ	ค่าสี		
		L	a	b
30	1	72.12	3.13	21.38
	2	72.17	3.18	21.75
	3	72.62	3.08	21.69
	เฉลี่ย	72.30	3.13	21.61
60	1	71.33	3.58	22.79
	2	69.50	4.70	24.29
	3	71.74	3.63	22.93
	เฉลี่ย	70.86	3.97	23.34
90	1	70.51	4.35	23.93
	2	71.21	3.65	22.72
	3	70.03	4.67	24.12
	เฉลี่ย	70.58	4.22	23.59
รำข้าวสด	1	74.75	2.53	19.73
	2	75.12	2.54	19.69
	3	75.02	2.43	19.36
	เฉลี่ย	74.97	2.50	19.59

ตารางผนวกที่ ก18 เปอร์เซ็นต์ความชื้นในสัปดาห์ที่ 0 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB)

สภาพรำข้าว	ซ้ำ			
	1	2	3	เฉลี่ย
RRB	8.52	8.33	8.22	8.36
HRB	6.98	7.62	7.59	7.39

ตารางผนวกที่ ก19 เปอร์เซ็นต์ความชื้นในสัปดาห์ที่ 2 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

การเก็บรักษา	ภาชนะบรรจุ	ซ้ำ			
		1	2	3	เฉลี่ย
อุณหภูมิห้อง	RRB, sack	7.62	8.52	8.97	8.37
	HRB, PE 2 Layers	7.54	7.26	7.97	7.59
	HRB, AF	6.60	6.00	6.56	6.39
ตู้เย็น	RRB, sack	9.24	9.27	9.42	9.31
	HRB, PE 2 Layers	7.54	7.26	6.89	7.23
	HRB, AF	6.58	6.94	6.64	6.72

ตารางผนวกที่ ก20 เปอร์เซ็นต์ความชื้นในสัปดาห์ที่ 4 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

การเก็บรักษา	ภาชนะบรรจุ	ซ้ำ			
		1	2	3	เฉลี่ย
อุณหภูมิห้อง	RRB, sack	8.88	8.52	8.97	8.79
	HRB, PE 2 Layers	6.60	6.29	5.26	6.05
	HRB, AF	5.32	5.54	5.32	5.39
ตู้เย็น	RRB, sack	9.63	9.57	9.60	9.60
	HRB, PE 2 Layers	7.31	7.92	7.00	7.41
	HRB, AF	7.57	6.62	6.25	6.81

ตารางผนวกที่ ก21 เปอร์เซ็นต์ความชื้นในสัปดาห์ที่ 6 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

การเก็บรักษา	ภาชนะบรรจุ	ซ้ำ			
		1	2	3	เฉลี่ย
อุณหภูมิห้อง	RRB, sack	9.67	9.57	9.21	9.48
	HRB, PE 2 Layers	7.57	7.59	7.67	7.61
	HRB, AF	6.60	6.95	6.31	6.62
ตู้เย็น	RRB, sack	11.59	12.21	11.92	11.91
	HRB, PE 2 Layers	8.61	8.28	7.97	8.29
	HRB, AF	8.25	7.26	7.62	7.71

ตารางผนวกที่ ก22 เปอร์เซ็นต์ความชื้นในสัปดาห์ที่ 8 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

การเก็บรักษา	ภาชนะบรรจุ	ซ้ำ			
		1	2	3	เฉลี่ย
อุณหภูมิห้อง	RRB, sack	8.25	8.31	8.25	8.27
	HRB, PE 2 Layers	6.60	5.61	5.92	6.04
	HRB, AF	5.32	5.98	5.30	5.53
ตู้เย็น	RRB, sack	10.82	10.56	10.63	10.67
	HRB, PE 2 Layers	6.62	6.67	6.98	6.76
	HRB, AF	6.25	5.92	5.94	6.04

ตารางผนวกที่ ก23 เปอร์เซ็นต์ความชื้นในสัปดาห์ที่ 10 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

การเก็บรักษา	ภาชนะบรรจุ	ซ้ำ			
		1	2	3	เฉลี่ย
อุณหภูมิห้อง	RRB, sack	7.97	8.94	9.00	8.64
	HRB, PE 2 Layers	7.31	6.64	6.98	6.98
	HRB, AF	7.00	7.24	5.63	6.62
ตู้เย็น	RRB, sack	13.91	12.29	11.67	12.62
	HRB, PE 2 Layers	7.64	6.93	7.67	7.41
	HRB, AF	6.00	5.94	5.63	5.86

ตารางผนวกที่ ก24 เปอร์เซ็นต์ความชื้นในสัปดาห์ที่ 12 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

การเก็บรักษา	ภาชนะบรรจุ	ซ้ำ			
		1	2	3	เฉลี่ย
อุณหภูมิห้อง	RRB, sack	8.64	8.28	9.00	8.64
	HRB, PE 2 Layers	5.33	6.33	6.25	5.97
	HRB, AF	5.65	5.33	6.25	5.74
ตู้เย็น	RRB, sack	12.58	12.96	12.67	12.74
	HRB, PE 2 Layers	7.00	7.28	6.60	6.96
	HRB, AF	5.63	6.27	6.31	6.07

ตารางผนวกที่ ก25 เปอร์เซ็นต์ความชื้นในสัปดาห์ที่ 16 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

การเก็บรักษา	ภาชนะบรรจุ	ซ้ำ			
		1	2	3	เฉลี่ย
อุณหภูมิห้อง	RRB, sack	8.64	10.33	8.64	9.20
	HRB, PE 2 Layers	7.62	4.64	6.67	6.31
	HRB, AF	7.28	5.33	5.63	6.08
ตู้เย็น	RRB, sack	12.96	10.96	11.55	11.82
	HRB, PE 2 Layers	6.25	6.29	6.67	6.40
	HRB, AF	5.92	7.97	6.95	6.95

ภาคผนวกที่ ก26 ค่ากรดไขมันอิสระ(%)ไฮโดรไลสิสในสัปดาห์ที่ 0 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB)

สภาพรำข้าว	ซ้ำ			
	1	2	3	เฉลี่ย
RRB	10.3	10.9	10.5	10.6
HRB	12.2	12.4	13.0	12.5

ตารางผนวกที่ ก27 ค่ากรดไขมันอิสระ(%)ไฮโดรไลสิสในสัปดาห์ที่ 2 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

การเก็บรักษา	ภาชนะบรรจุ	ซ้ำ			
		1	2	3	เฉลี่ย
อุณหภูมิห้อง	RRB, sack	21.6	22.0	24.4	22.7
	HRB, PE 2 Layers	20.7	22.6	20.7	21.3
	HRB, AF	15.2	19.7	16.4	17.1
ตู้เย็น	RRB, sack	12.2	14.1	18.8	15.0
	HRB, PE 2 Layers	12.6	14.5	15.0	14.0
	HRB, AF	12.6	13.2	13.5	13.1

ตารางผนวกที่ ก28 ค่ากรดไขมันอิสระ(%)ไฮโดรไลสิสในสัปดาห์ที่ 4 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

การเก็บรักษา	ภาชนะบรรจุ	ซ้ำ			
		1	2	3	เฉลี่ย
อุณหภูมิห้อง	RRB, sack	43.2	37.2	35.7	38.7
	HRB, PE 2 Layers	26.3	27.3	26.3	26.6
	HRB, AF	19.7	19.7	20.3	19.9
ตู้เย็น	RRB, sack	22.6	22.7	23.1	22.8
	HRB, PE 2 Layers	17.5	18.4	17.3	17.7
	HRB, AF	16.0	14.1	15.4	15.2

ตารางผนวกที่ ก29 ค่ากรดไขมันอิสระ(%)ไฮโดรไลสิสในสัปดาห์ที่ 6 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

การเก็บรักษา	ภาชนะบรรจุ	ซ้ำ			
		1	2	3	เฉลี่ย
อุณหภูมิห้อง	RRB, sack	43.2	44.0	47.0	44.7
	HRB, PE 2 Layers	27.3	26.3	27.8	27.1
	HRB, AF	22.6	20.7	22.2	21.8
ตู้เย็น	RRB, sack	29.7	26.3	26.9	27.6
	HRB, PE 2 Layers	16.9	16.9	17.3	17.0
	HRB, AF	14.7	16.2	17.7	16.2

ตารางผนวกที่ ก30 ค่ากรดไขมันอิสระ(%)ไฮโดรไลสิสในสัปดาห์ที่ 8 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

การเก็บรักษา	ภาชนะบรรจุ	ซ้ำ			
		1	2	3	เฉลี่ย
อุณหภูมิห้อง	RRB, sack	55.5	49.8	54.5	53.3
	HRB, PE 2 Layers	33.8	33.5	34.8	34.0
	HRB, AF	27.6	27.8	27.3	27.6
ตู้เย็น	RRB, sack	30.5	30.1	29.9	30.1
	HRB, PE 2 Layers	17.9	17.5	18.0	17.8
	HRB, AF	18.8	17.9	16.7	17.8

ตารางผนวกที่ ก31 ค่ากรดไขมันอิสระ(%)ไฮโดรไลสิสในสัปดาห์ที่ 10 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

การเก็บรักษา	ภาชนะบรรจุ	ซ้ำ			
		1	2	3	เฉลี่ย
อุณหภูมิห้อง	RRB, sack	61.5	61.1	63.9	62.2
	HRB, PE 2 Layers	38.5	39.5	38.5	38.9
	HRB, AF	33.8	35.7	35.7	35.1
ตู้เย็น	RRB, sack	39.5	40.4	37.6	39.2
	HRB, PE 2 Layers	20.3	19.2	18.6	19.4
	HRB, AF	15.0	16.9	15.0	15.7

ตารางผนวกที่ ก32 ค่ากรดไขมันอิสระ(%)ไฮโดรไลสิสในสัปดาห์ที่ 12 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

การเก็บรักษา	ภาชนะบรรจุ	ซ้ำ			
		1	2	3	เฉลี่ย
อุณหภูมิห้อง	RRB, sack	63.9	61.9	64.9	63.5
	HRB, PE 2 Layers	44.7	42.9	36.1	41.2
	HRB, AF	33.3	35.2	35.5	34.7
ตู้เย็น	RRB, sack	46.1	48.3	47.0	47.1
	HRB, PE 2 Layers	23.5	23.9	22.2	23.2
	HRB, AF	18.8	16.9	16.9	17.5

ตารางผนวกที่ ก33 ค่ากรดไขมันอิสระ(%)ไฮโดรไลสิสในสัปดาห์ที่ 16 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

การเก็บรักษา	ภาชนะบรรจุ	ซ้ำ			
		1	2	3	เฉลี่ย
อุณหภูมิห้อง	RRB, sack	75.2	74.6	74.8	74.9
	HRB, PE 2 Layers	52.6	54.0	55.5	54.0
	HRB, AF	42.1	40.6	41.4	41.4
ตู้เย็น	RRB, sack	52.6	50.4	52.1	51.7
	HRB, PE 2 Layers	26.3	25.6	26.9	26.3
	HRB, AF	19.7	19.6	18.8	19.4

ตารางผนวกที่ ก34 ค่าสีของรำข้าว (L, a และ b) ในสัปดาห์ที่ 0 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB)

สภาพรำข้าว	ซ้ำ	ค่าสี		
		L	a	b
RRB	1	63.11	2.98	17.75
	2	62.97	2.16	17.06
	3	63.74	3.01	16.53
HRB	1	60.49	3.10	17.43
	2	60.87	3.32	16.89
	3	61.32	3.17	17.15

ตารางผนวกที่ ก35 ค่าสีของรำข้าว (L, a และ b) ในสัปดาห์ที่ 2 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

การเก็บรักษา	ภาชนะบรรจุ	ซ้ำ	ค่าสี		
			L	a	b
อุณหภูมิห้อง	RRB, sack	1	71.53	3.42	21.24
		2	71.46	3.22	21.22
		3	71.61	3.27	20.85
	HRB, PE 2 Layers	1	69.92	3.71	21.73
		2	70.29	3.60	21.37
		3	69.92	3.66	21.76
	HRB, AF	1	69.84	3.53	21.73
		2	69.79	3.59	21.61
		3	69.87	3.59	21.65
ตู้เย็น	RRB, sack	1	70.59	3.46	20.96
		2	70.68	3.50	21.14
		3	70.61	3.44	20.86
	HRB, PE 2 Layers	1	70.22	3.71	21.78
		2	69.91	3.73	21.86
		3	70.04	3.62	21.56
	HRB, AF	1	69.55	3.76	21.71
		2	70.01	3.57	21.30
		3	70.77	3.54	21.79

ตารางผนวกที่ ก36 ค่าสีของรำข้าว (L, a และ b) ในสัปดาห์ที่ 4 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

การเก็บรักษา	ภาชนะบรรจุ	ซ้ำ	ค่าสี		
			L	a	b
อุณหภูมิห้อง	RRB, sack	1	71.53	3.42	21.24
		2	71.46	3.22	21.22
		3	71.61	3.27	20.85
	HRB, PE 2 Layers	1	69.92	3.71	21.73
		2	70.29	3.60	21.37
		3	69.92	3.66	21.76
	HRB, AF	1	69.84	3.53	21.73
		2	69.79	3.59	21.61
		3	69.87	3.59	21.65
ตู้เย็น	RRB, sack	1	70.59	3.46	20.96
		2	70.68	3.50	21.14
		3	70.61	3.44	20.86
	HRB, PE 2 Layers	1	70.22	3.71	21.78
		2	69.91	3.73	21.86
		3	70.04	3.62	21.56
	HRB, AF	1	69.55	3.76	21.71
		2	70.01	3.57	21.30
		3	70.77	3.54	21.79

ตารางผนวกที่ ก37 ค่าสีของรำข้าว (L, a และ b) ในสัปดาห์ที่ 6 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

การเก็บรักษา	ภาชนะบรรจุ	ซ้ำ	ค่าสี		
			L	a	b
อุณหภูมิห้อง	RRB, sack	1	72.24	3.35	21.75
		2	71.99	3.41	21.74
		3	71.98	3.19	21.22
	HRB, PE 2 Layers	1	69.94	3.55	21.63
		2	68.77	3.78	22.11
		3	70.02	3.89	22.27
	HRB, AF	1	68.83	3.63	21.78
		2	70.05	3.46	21.91
		3	69.03	3.55	21.52
ตู้เย็น	RRB, sack	1	70.95	3.48	21.50
		2	70.93	3.65	21.92
		3	71.78	3.42	21.53
	HRB, PE 2 Layers	1	69.01	3.75	21.84
		2	63.16	3.33	19.34
		3	68.99	3.90	22.13
	HRB, AF	1	68.79	3.89	21.85
		2	68.18	3.96	21.63
		3	69.31	3.71	21.67

ตารางผนวกที่ ก38 ค่าสีของรำข้าว (L, a และ b) ในสัปดาห์ที่ 8 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

การเก็บรักษา	ภาชนะบรรจุ	ซ้ำ	ค่าสี		
			L	a	b
อุณหภูมิห้อง	RRB, sack	1	72.69	3.24	21.02
		2	72.15	3.15	20.75
		3	72.08	3.36	21.32
	HRB, PE 2 Layers	1	70.27	3.51	21.41
		2	69.94	3.75	21.54
		3	69.90	3.72	21.41
	HRB, AF	1	70.16	3.50	21.61
		2	69.82	3.70	21.70
		3	70.33	3.61	21.50
ตู้เย็น	RRB, sack	1	70.60	3.41	21.13
		2	71.30	3.58	21.23
		3	71.33	3.44	21.24
	HRB, PE 2 Layers	1	69.99	3.66	21.54
		2	69.78	3.65	21.65
		3	69.87	3.55	21.60
	HRB, AF	1	70.20	3.49	21.39
		2	69.95	3.63	21.55
		3	69.81	3.69	21.43

ตารางผนวกที่ ก39 ค่าสีของรำข้าว (L, a และ b) ในสัปดาห์ที่ 10 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

การเก็บรักษา	ภาชนะบรรจุ	ซ้ำ	ค่าสี		
			L	a	b
อุณหภูมิห้อง	RRB, sack	1	73.01	3.10	22.06
		2	73.04	3.01	21.53
		3	73.15	2.90	21.37
	HRB, PE 2 Layers	1	67.47	2.91	20.21
		2	66.39	3.04	20.01
		3	70.07	3.22	21.60
	HRB, AF	1	69.28	3.28	21.77
		2	70.75	3.13	21.83
		3	69.60	3.14	21.74
ตู้เย็น	RRB, sack	1	71.56	2.93	21.35
		2	71.97	3.09	21.73
		3	69.81	3.16	21.26
	HRB, PE 2 Layers	1	70.53	3.40	21.93
		2	70.08	3.30	21.18
		3	69.95	3.19	21.71
	HRB, AF	1	70.07	3.25	21.57
		2	69.82	3.21	21.71
		3	69.31	3.62	21.81

ตารางผนวกที่ ก40 ค่าสีของรำข้าว (L, a และ b) ในสัปดาห์ที่ 12 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

การเก็บรักษา	ภาชนะบรรจุ	ซ้ำ	ค่าสี		
			L	a	b
อุณหภูมิห้อง	RRB, sack	1	72.93	2.88	21.09
		2	72.74	3.06	21.35
		3	72.35	3.32	21.37
	HRB, PE 2 Layers	1	70.32	3.26	21.42
		2	70.28	3.21	21.49
		3	70.44	3.20	21.60
	HRB, AF	1	70.64	3.11	20.98
		2	69.91	3.29	21.36
		3	70.49	3.20	21.35
ตู้เย็น	RRB, sack	1	71.10	3.22	21.54
		2	71.48	3.23	21.48
		3	71.36	3.13	21.33
	HRB, PE 2 Layers	1	70.16	3.27	21.38
		2	70.01	3.22	21.40
		3	70.07	3.33	21.55
	HRB, AF	1	69.98	3.31	21.57
		2	69.39	3.31	21.43
		3	69.87	3.55	21.59

ตารางผนวกที่ ก41 ค่าสีของรำข้าว (L, a และ b) ในสัปดาห์ที่ 16 ของรำข้าวสด (RRB) และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (HRB) เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

การเก็บรักษา	ภาชนะบรรจุ	ซ้ำ	ค่าสี		
			L	a	b
อุณหภูมิห้อง	RRB, sack	1	72.83	3.09	22.21
		2	72.46	3.19	21.95
		3	73.01	3.07	22.11
	HRB, PE 2 Layers	1	70.38	3.12	22.18
		2	70.68	3.26	21.98
		3	70.50	3.26	21.62
	HRB, AF	1	69.29	3.24	21.23
		2	69.96	3.25	21.78
		3	70.48	3.21	22.02
ตู้เย็น	RRB, sack	1	70.91	3.29	21.87
		2	71.13	3.13	21.70
		3	71.04	3.04	21.44
	HRB, PE 2 Layers	1	69.76	3.15	21.70
		2	69.61	3.22	21.08
		3	69.41	3.39	21.49
	HRB, AF	1	69.40	3.27	21.20
		2	69.21	3.32	21.45
		3	69.32	3.29	21.24

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางผนวก ข1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิรำข้าวที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที

Source	df	Sum of Square	Mean Square	F	Sig.
ปริมาณบรรจุ	2	102.281	51.141	52.237	.000
เวลา	5	2616.478	523.296	534.515	.000
Error	46	45.034	.979		
Total	54	152674.220			

ตารางผนวก ข2 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับเวลาในการให้ความร้อนที่มีผลต่ออุณหภูมิรำข้าวด้วยวิธีการของ Duncan

เวลา	N	Subset					
		1	2	3	4	5	6
10	9	41.3778					
20	9		46.8333				
30	9			51.9111			
40	9				55.4556		
50	9					58.6889	
60	9						61.8667
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

ตารางผนวก ข3 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับปริมาณการบรรจุที่มีผลต่ออุณหภูมิรำข้าวด้วยวิธีการของ Duncan

ปริมารบรรจุ	N	Subset	
		1	2
5.00	18	50.7500	
3.00	18		53.5111
4.00	18		53.8056
Sig.		1.000	.377

ตารางผนวก ข4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิรำข้าวที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส และปริมาณการบรรจุ 4 กิโลกรัม

Source	df	Sum of Square	Mean Square	F	Sig.
ความเร็วรอบ	2	13.738	6.869	5.786	.006
เวลา	5	2799.579	599.916	471.669	.000
Error	46	54.606	1.187		
Total	54	155328.710			

ตารางผนวก ข5 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับความเร็วรอบที่มีผลต่ออุณหภูมิรำข้าวด้วยวิธีการของ Duncan

ความเร็วรอบ	N	Subset	
		1	2
20.00	18	52.5889	
40.00	18	53.0111	
30.00	18		53.8056
Sig.		.251	1.000

ตารางผนวก ข6 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับเวลาในการให้ความร้อนที่มีผลต่ออุณหภูมิรำข้าวด้วยวิธีการของ Duncan

เวลา	N	Subset					
		1	2	3	4	5	6
10	9	41.3889					
20	9		46.9556				
30	9			52.3222			
40	9				56.3222		
50	9					59.6556	
60	9						62.1667
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

ตารางผนวก ข7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชื้นรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในขั้นตอนการหากิจกรรมเอนไซม์ไลเพส

Source	df	Sum of Square	Mean Square	F	Sig.
อุณหภูมิ	2	25.968	12.984	43.199	.000
เวลา	2	50.432	25.216	83.896	.000
Error	18	5.410	.301		
Total	27	746.774			

ตารางผนวก ข8 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับอุณหภูมิที่มีผลต่อความชื้นรำข้าวด้วยวิธีการของ Duncan

อุณหภูมิ	N	Subset		
		1	2	3
200.00	9	3.7489		
185.00	9		4.9589	
170.00	9			6.1511
Sig.		1.000	1.000	1.000

ตารางผนวก ข9 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับเวลาที่มีผลต่อความชื้นรำข้าวด้วยวิธีการของ Duncan

เวลา	N	Subset		
		1	2	3
90.00	9	3.4344		
60.00	9		4.6767	
30.00	9			6.7478
Sig.		1.000	1.000	1.000

ตารางผนวก ข10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกิจกรรมเอนไซม์ไลเพสในรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน

Source	df	Sum of Square	Mean Square	F	Sig.
อุณหภูมิ	2	4.956	2.478	18.586	.000
เวลา	2	.394	.197	1.478	.255
Error	18	2.400	.133	.153	
Total	27	70.700			

ตารางผนวก ข11 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับอุณหภูมิที่มีผลต่อกิจกรรมเอนไซม์ไลเพส ด้วยวิธีการของ Duncan

อุณหภูมิ	N	Subset		
		1	2	3
200.00	9	1.0333		
185.00	9		1.4667	
170.00	9			2.0778
Sig.		1.000	1.000	1.000

ตารางผนวก ข12 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับเวลาที่มีผลต่อกิจกรรมเอนไซม์ไลเพส ด้วยวิธีการของ Duncan

เวลา	N	Subset
		1
90	9	1.3556
60	9	1.6000
30	9	1.6222
Sig.		.159

ตารางผนวก ข13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชื้นรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในภาชนะบรรจุแบบต่างๆ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง

Source	df	Sum of Square	Mean Square	F	Sig.
ภาชนะ	2	83.259	41.629	119.475	.000
เวลา	7	14.271	2.039	5.851	.000
Error	48	16.275	.348		
Total	72	3886.010			

ตารางผนวก ข14 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับภาชนะบรรจุที่มีผลต่อความชื้นรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

อุณหภูมิ	N	Subset		
		1	2	3
HRB,AL	24	6.2221		
HRB, PE 2Layer	24		6.7433	
RRB, Sack	24			8.7187
Sig.		1.000	1.000	1.000

ตารางผนวก ข15 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับเวลาที่มีผลต่อความชื้นรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

เวลา	N	Subset		
		1	2	3
Week 8	9	6.6156		
Week 4	9	6.7444		
Week 12	9	6.7844		
Week 16	9	7.1978	7.1978	
Week 10	9		7.4122	7.4122
Week 2	9		7.4489	7.4489
Week 0	9		7.7167	7.7167
Week 6	9			7.9044
Sig.		.060	.094	.112

ตารางผนวก ข16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชื้นรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในภาชนะบรรจุแบบต่างๆ เก็บรักษาไว้ที่ตู้เย็น

Source	df	Sum of Square	Mean Square	F	Sig.
ภาชนะ	2	248.765	124.383	525.996	.000
เวลา	7	19.734	2.819	11.922	.000
Error	48	11.351	.236		
Total	72	5254.878			

ตารางผนวก ข17 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับภาชนะบรรจุที่มีผลต่อความชื้นรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่ตู้เย็น

อุณหภูมิ	N	Subset		
		1	2	3
HRB,AL	24	6.6938		
HRB, PE 2Layer	24		7.2321	
RRB, Sack	24			10.8783
Sig.		1.000	1.000	1.000

ตารางผนวก ข18 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับเวลาที่มีผลต่อความชื้นรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่ตู้เย็น

เวลา	N	Subset			
		1	2	3	4
Week 0	9	7.7167			
Week 2	9	7.7533			
Week 8	9	7.8211			
Week 4	9	7.9411	7.9411		
Week 16	9		8.3911	8.3911	
Week 12	9			8.5889	
Week 10	9			8.6311	
Week 6	9				9.3011
Sig.		.380	.055	.330	1.000

ตารางผนวก ข19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกรดไขมันอิสระในรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในภาชนะบรรจุแบบต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

Source	df	Sum of Square	Mean Square	F	Sig.
ภาชนะ	2	5127.897	2563.948	856.076	.000
เวลา	7	13765.853	1966.550	656.611	.000
Error	48	143.760	2.995		
Total	72	108265.460			

ตารางผนวก ข20 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับภาชนะบรรจุที่มีผลต่อกรดไขมันอิสระของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ภาชนะ	N	Subset		
		1	2	3
HRB,AL	24	26.2542		
HRB, PE 2Layer	24		31.9708	
RRB, Sack	24			46.3167
Sig.		1.000	1.000	1.000

ตารางผนวก ข21 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับเวลาที่มีผลต่อกรดไขมันอิสระของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

เวลา	N	Subset						
		1	2	3	4	5	6	7
Week0	9	11.8778						
Week2	9		20.3667					
Week4	9			28.4111				
Week6	9				31.2333			
Week8	9					38.2889		
Week10	9						45.3556	
Week12	9						46.4889	
Week16	9							56.7556
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

ตารางผนวก ข22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกรดไขมันอิสระในรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในภาชนะบรรจุแบบต่างๆ เก็บรักษาที่ตู้เย็น

Source	df	Sum of Square	Mean Square	F	Sig.
ภาชนะ	2	2918.051	1459.025	1121.369	.000
เวลา	7	3140.250	448.607	344.788	.000
Error	48	62.453	1.301		
Total	72	41772.030			

ตารางผนวก ข23 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับภาชนะบรรจุที่มีผลต่อกรดไขมันอิสระของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่ตู้เย็น

ภาชนะ	N	Subset		
		1	2	3
HRB,AL	24	15.9167		
HRB, PE 2Layer	24		18.4958	
RRB, Sack	24			30.5250
Sig.		1.000	1.000	1.000

ตารางผนวก ข24 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับเวลาที่มีผลต่อกรดไขมันอิสระของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่ตู้เย็น

เวลา	N	Subset							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Week0	9	11.8778							
Week2	9		14.0556						
Week4	9			18.5667					
Week6	9				20.2889				
Week8	9					21.9222			
Week10	9						24.7222		
Week12	9							29.2889	
Week16	9								32.4444
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

ตารางผนวก ข25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี Lในรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในภาชนะบรรจุแบบต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

Source	df	Sum of Square	Mean Square	F	Sig.
ภาชนะ	2	91.174	45.587	48.971	.000
เวลา	7	1067.744	152.535	163.858	.000
Error	48	44.683	.931		
Total	72	338727.812			

ตารางผนวก ข26 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับภาชนะบรรจุที่มีผลต่อค่าสี L ของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ภาชนะ	N	Subset	
		1	2
HRB,AL	24	67.6004	
HRB, PE 2Layer	24	67.7425	
RRB, Sack	24		70.0554
Sig.		.612	1.000

ตารางผนวก ข27 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับเวลาที่มีผลต่อค่าสี L ของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

เวลา	N	Subset	
		1	2
1	9	61.6867	
2	9	61.9456	
6	9		70.3067
4	9		70.3167
3	9		70.4700
5	9		70.8156
8	9		71.0656
7	9		71.1222
Sig.		.572	.122

ตารางผนวก ข28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี Lในรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในภาชนะบรรจุแบบต่างๆ เก็บรักษาที่ตู้เย็น

Source	df	Sum of Square	Mean Square	F	Sig.
ภาชนะ	2	42.580	21.290	21.705	.000
เวลา	7	771.918	110.274	112.426	.000
Error	48	47.081	.981		
Total	72	335736.128			

ตารางผนวก ข29 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับภาชนะบรรจุที่มีผลต่อค่าสี L ของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่ตู้เย็น

ภาชนะ	N	Subset	
		1	2
HRB,AL	24	67.4058	
HRB, PE 2Layer	24	67.9375	
RRB, Sack	24		69.2367
Sig.		.069	1.000

ตารางผนวก ข30 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับเวลาที่มีผลต่อค่าสี L ของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่ตู้เย็น

เวลา	N	Subset			
		1	2	3	4
1	9	61.6867			
2	9		63.5689		
4	9			69.0111	
8	9				69.9767
3	9				70.2644
5	9				70.3144
6	9				70.3444
7	9				70.3800
Sig.		1.000	1.000	1.000	.450

ตารางผนวก ข31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี aในรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในภาชนะบรรจุแบบต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

Source	df	Sum of Square	Mean Square	F	Sig.
ภาชนะ	2	1.026	.513	21.628	.000
เวลา	7	3.049	.436	18.358	.000
Error	48	1.139	.02372	1.121	
Total	72	770.186			

ตารางผนวก ข32 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับภาชนะบรรจุที่มีผลต่อค่าสี a ของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ภาชนะ	N	Subset	
		1	2
HRB,AL	24	3.0904	
HRB, PE 2Layer	24		3.3317
RRB, Sack	24		3.3542
Sig.		1.000	.615

ตารางผนวก ข33 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับเวลาที่มีผลต่อค่าสี a ของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

เวลา	N	Subset	
		1	2
1	9	3.0367	
2	9	3.0456	
6	9	3.0811	
7	9	3.1700	
8	9	3.1878	
5	9		3.5044
3	9		3.5100
4	9		3.5344
Sig.		.068	.701

ตารางผนวก ข34 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี aในรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในภาชนะบรรจุแบบต่างๆ เก็บรักษาที่ตู้เย็น

Source	df	Sum of Square	Mean Square	F	Sig.
ภาชนะ	2	.730	.365	14.015	.000
เวลา	7	3.557	.508	19.500	.000
Error	48	1.251	.02606		
Total	72	810.585			

ตารางผนวก ข35 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับภาชนะบรรจุที่มีผลต่อค่าสี a ของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่ตู้เย็น

ภาชนะ	N	Subset	
		1	2
HRB,AL	24	3.2017	
HRB, PE 2Layer	24		3.4000
RRB, Sack	24		3.4279
Sig.		1.000	.552

ตารางผนวก ข36 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับเวลาที่มีผลต่อค่าสี a ของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่ตู้เย็น

เวลา	N	Subset			
		1	2	3	4
1	9	3.0367			
2	9	3.1156	3.1156		
8	9		3.2333	3.2333	
6	9		3.2389	3.2389	
7	9			3.2856	
5	9				3.5667
3	9				3.5922
4	9				3.6767
Sig.		.305	.132	.523	.179

ตารางผนวก ข37 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี b ในรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในภาชนะบรรจุแบบต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

Source	df	Sum of Square	Mean Square	F	Sig.
ภาชนะ	2	.392	.196	.822	.446
เวลา	7	236.823	33.832	141.916	.000
Error	48	11.443	.238		
Total	72	30480.899			

ตารางผนวก ข38 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับภาชนะบรรจุที่มีผลต่อค่าสี b ของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ภาชนะ	N	Subset
		1
HRB,AL	24	20.4025
HRB, PE 2Layer	24	20.4842
RRB, Sack	24	20.5829
Sig.		.234

ตารางผนวก ข39 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับเวลาที่มีผลต่อค่าสี b ของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

เวลา	N	Subset		
		1	2	3
1	9	17.1422		
2	9	17.6033		
7	9		21.3344	
6	9		21.3467	
5	9		21.3622	
3	9		21.4622	21.4622
4	9		21.7700	21.7700
8	9			21.8978
Sig.		.051	.097	.079

ตารางผนวก ข40 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี bในรำข้าวสด และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในภาชนะบรรจุแบบต่างๆ เก็บรักษาที่ตู้เย็น

Source	df	Sum of Square	Mean Square	F	Sig.
ภาชนะ	2	.800	.400	1.776	.180
เวลา	7	193.781	27.683	122.970	.000
Error	48	10.806	.225		
Total	72	30613.400			

ตารางผนวก ข41 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับภาชนะบรรจุที่มีผลต่อค่าสี b ของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่ตู้เย็น

ภาชนะ	N	Subset
		1
HRB,AL	24	20.4525
HRB, PE 2Layer	24	20.4971
RRB, Sack	24	20.6950
Sig.		.100

ตารางผนวก ข42 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับเวลาที่มีผลต่อค่าสี b ของรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่ตู้เย็น

เวลา	N	Subset		
		1	2	3
1	9	17.1422		
2	9		18.3744	
7	9			21.4178
6	9			21.4400
5	9			21.4633
3	9			21.4744
4	9			21.4900
8	9			21.5833
Sig.		1.000	1.000	.525

ภาคผนวก ค

การเตรียมตัวอย่าง และวิเคราะห์ทางเคมี

1. วิธีวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 925.10, 1995)

นำรำข้าวที่ต้องการหาความชื้น 3 กรัม ใส่ในภาชนะสเตนเลสสำหรับอบหาความชื้นโดยอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบ และทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำมาอบต่อจนน้ำหนักคงที่ ซึ่งจะใช้เวลาในการอบทั้งหมดประมาณ 5 ชั่วโมง แล้วนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก

$$\%MC = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \qquad (6)$$

W_1 คือ น้ำหนักรำข้าวก่อนอบ (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักรำข้าวหลังอบ (กรัม)

2. วิธีการทดสอบกิจกรรมเอนไซม์ไลเพส (Hoi et al., 1999)

นำรำข้าวที่ต้องการหากิจกรรมเอนไซม์มา 10 กรัม เติมน้ำกลั่นปริมาตร 2 ลบ.ซม. คนให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง จากนั้นเติมน้ำมันรำข้าวบริสุทธิจำนวน 10 กรัม คนให้เข้ากัน พร้อมทั้งทำตัวควบคุมที่ไม่มีรำข้าวควบคู่ไปด้วย จากนั้นนำมาบ่มในตู้อบที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองน้ำมันจากแต่ละตัวอย่างมา 0.2 กรัม มาละลายในตัวทำละลายผสมระหว่างเมทานอล – ไดเอทิลอีเทอร์ในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 จำนวน 15 ลบ.ซม. แล้วนำตัวอย่างมา 5 ลบ.ซม. ทำให้เจือจางด้วยเมทานอล และปรับให้มีปริมาตร 50 ลบ.ซม. นำมาไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ไทเทรตจนกว่า pH จะถึง 9 จากนั้นนำค่าปริมาณการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์มาคำนวณเปอร์เซ็นต์การไฮโดรไลซิสของเอนไซม์ไลเพส จากสูตร

$$\%\text{Hydrolysis} = 4.334 \times (\text{ml consumed by sample} \;\; \text{ml consumed by control}) \qquad (7)$$

โดยที่ 4.334 คำนวณได้จากค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันรำข้าว (จันทร์สม, 2546)

3. การสกัดน้ำมันเพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าต่างๆ (Hu et al., 1996)

นำรำข้าวที่ต้องการสกัดน้ำมันมา 25 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ใส่ตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ในอัตราส่วน 75 ลบ.ซม. แล้วนำมาเขย่าที่อุณหภูมิห้องด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำออกมากรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ แล้วนำของเหลวที่กรองได้ไประเหยเอาตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ แล้วนำมาชั่งปริมาณน้ำมันที่สกัดได้

4. วิธีวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระ (AOAC Cd – 63, 1995)

ชั่งน้ำมันตัวอย่างที่สกัดได้ 1.5 – 2.0 กรัม นำมาละลายด้วยตัวทำละลายผสมระหว่างเอทานอล – ไดเอทิลอีเทอร์ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 ที่ปรับให้เป็นกลาง แล้วนำมาไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ ทำการไทเทรตจนเกิดสีชมพู และคงตัวอยู่อย่างน้อย 30 วินาที แล้วคำนวนค่าปริมาณกรดไขมันอิสระโดยคิดเป็นกรดโอเลอิก จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ (FFA)} = \frac{\text{VxNx100xMw}}{\text{Wx1000}} \qquad (8)$$

V คือ ปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต (ลบ.ซม.)

N คือ ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (โมลาร์)

Mw คือ น้ำหนักโมเลกุลของกรดโอเลอิก (กรัม)

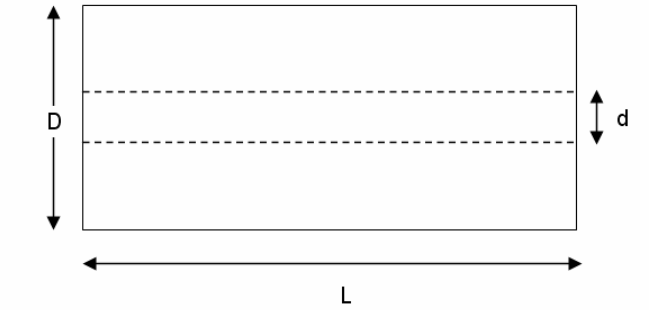
W คือ น้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง (กรัม)

ภาคผนวก ง

การคำนวณออกแบบ

1. การออกแบบกระบอกบรรจุรำข้าว

กระบอกใส่รำข้าวทำด้วยแผ่นเสตนเลสหนา 1.2 mm ม้วนเป็นท่อ 2 ชั้น ชั้นในมีไว้สำหรับติดตั้งขดลวดความร้อน ส่วนชั้นนอกใช้เพื่อบรรจุรำข้าว และมีครีบกวน 3 ครีบ ติดตั้งห่างกัน 120 องศา โดยกำหนดให้กระบอกรำข้าวสามารถบรรจุรำข้าวได้มากสุด 5 kg และความหนาแน่นรำข้าวสดมีค่าเท่ากับ 0.38 g/cm^3



ภาพผนวกที่ ง1 ภาพตามยาวของกระบอกรำข้าว

กำหนดให้

D = 20 cm (ดูจากความเหมาะสม)
d = 63.5 cm (ท่อเสตนเลสขนาด 2.5” มีขายตามท้องตลาด)
m = 5 kg (น้ำหนักรำข้าวสด)

หาปริมาตรรำข้าว 5,000 g จากสูตรความหนาแน่น

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{9}$$

โดยที่

ρ คือ ความหนาแน่น (g/cm^3)

m คือ มวลวัสดุ (g)

V คือ ปริมาตรวัสดุ (cm^3)

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{5000\,g}{0.38\,g/cm^3} = 13157.9\,cm^3$$

ดังนั้นต้องหาความยาวกระบอกรำข้าวโดยกำหนดให้กระบอกรำข้าวมีปริมาตรเท่ากับ 13157.9 cm^3

$$V(\text{รำข้าว}) = V(\text{ท่อนอก}) - V(\text{ท่อใน}) - V(\text{ครีบกวน}) - V(\text{ฝาปิด}) \qquad (10)$$

โดยที่

$$V(\text{ท่อนอก}) = \pi(20/2)^2 L$$

$$V(\text{ท่อใน}) = \pi(6.35/2)^2 L$$

$$V(\text{ครีบกวน}) = 4.5L$$

$$V(\text{ฝาปิด}) = 55.69L$$

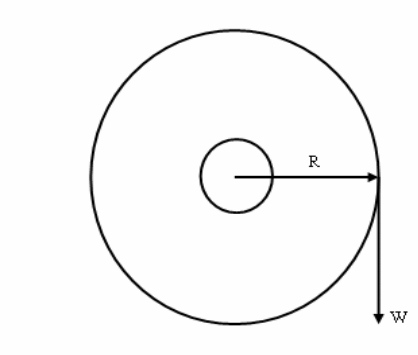
แทนค่า ;

$$13157.9 = \left[\pi\left(\frac{20}{2}\right)^2 - \pi\left(\frac{6.35}{2}\right)^2 - 4.5 - 55.69\right] \cdot L$$

$$L = 59.14\,cm \approx 60\,cm$$

2. การหาขนาดกำลังมอเตอร์

เครื่องให้ความร้อนรำข้าวออกแบบให้มีลักษณะเป็นทรงกระบอกหมุนได้เพื่อให้รำข้าวเกิดการเคลื่อนที่และได้รับความร้อนอย่างทั่วถึง ดังนั้นจึงต้องมีการติดตั้งชุดมอเตอร์ต้นกำลัง จึงจำเป็นต้องมีการประมาณขนาดกำลังของมอเตอร์ที่จะนำมาเป็นต้นกำลังของเครื่องให้ความร้อนรำข้าว โดยทำการวัดค่าแรงดึงในแนวตั้งฉากกับรัศมีของหน้าตัดทรงกระบอกออกมาเป็น(kg) ด้วย linear load spring ในสภาวะที่มีการบรรจุรำข้าวปริมาณ 5 kg ลงในกระบอกบรรจุรำข้าว จากนั้นทำการคำนวณแรงดึงที่ได้ไปเป็นค่าโมเมนต์บิด (torque) และนำไปคำนวณต่อเป็นกำลังงาน (power) ดังต่อไปนี้



ภาพผนวกที่ ง2 ลักษณะการวัดแรงในการหมุนกระบอกรำข้าว

แรงดึงสูงสุดที่วัดได้จาก linear load spring มีค่าเท่ากับ 3 kg ทำการเปลี่ยนค่าแรงดึงในหน่วย (kg) ให้เป็นหน่วย (N) จากสมการ

$$F = W \cdot g \qquad (11)$$

F คือ แรงดึงในหน่วย (N)

W คือ แรงดึงในหน่วย (kg)

g คือ แรงโน้มถ่วง (m/s^2)

แทนค่า ;

$$F = (3\,\text{kg})\left(9.81\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$$

$$F = 29.43\,\text{N}$$

หาโมเมนต์บิด (torque) จากสมการ

$$T = F \cdot R \tag{12}$$

T คือ โมเมนต์บิด (Nm)

F คือ แรงดึงในแนวตั้งฉากกับรัศมี (N)

R คือ รัศมี (m)

แทนค่ารัศมีหน้าตัดทรงกระบอกเท่ากับ 0.1 m และค่าแรงดึงเท่ากับ 29.43 N

$$T = (29.43\,\text{N})(0.1\,\text{m})$$

$$T = 2.943\,\text{Nm}$$

หาขนาดกำลังมอเตอร์จากสมการ

$$W_p = 2\pi nT \tag{13}$$

W_p คือ กำลังงาน (Watt)

n คือ ความเร็วรอบ (rev / s)

T คือ โมเมนต์บิด (Nm)

กำหนดให้ความเร็วรอบในการหมุนของกระบอกรำข้าวสูงสุดเท่ากับ 40 รอบ/นาที

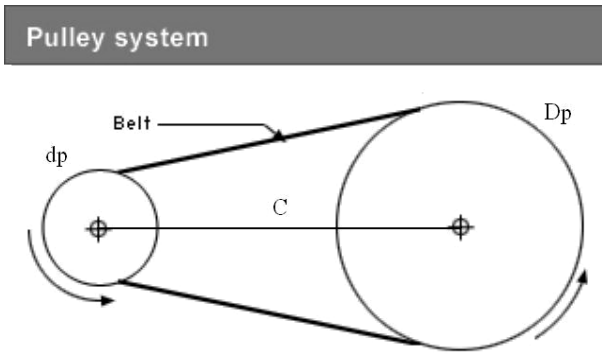
$$W_p = 2x\pi x\left(40\frac{\text{rev}}{\text{min}}\right)x\left(\frac{1}{60}\frac{\text{min}}{\text{sec}}\right)x(2.943\text{Nm})$$

$$W_p = 12.33\ \text{Watt}$$

ดังนั้นจึงสามารถเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 25 Watt พร้อมชุดปรับรอบ (inverter) ความเร็วรอบ 1,400 – 1,700 รอบ/นาที 220 Volt

3. การออกแบบระบบส่งกำลังด้วยสายพาน

เครื่องให้ความร้อนรำข้าวต้องการให้มีการหมุนของกระบอกใส่รำข้าวด้วยต้นกำลังมอเตอร์ ดังนั้นจึงต้องมีชุดส่งกำลังด้วยสายพานเพื่อทำการถ่ายทอดกำลังจากมอเตอร์ไปยังกระบอกรำข้าวเพื่อให้เกิดการหมุนได้



ภาพผนวกที่ ง3 ระบบการถ่ายทอดกำลังด้วยสายพาน

กำหนดให้

n1 = 51.67 rev/min (ความเร็วรอบมอเตอร์)
n2 = 40 rev/min (ความเร็วรอบกระบอกใส่รำข้าว)

หาขนาดล้อสายพานมอเตอร์ d_p โดยกำหนดให้

Dp = 128 mm (ล้อสายพานกระบอกรำข้าว)

จากสมการอัตราทด

$$m_w = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_p}{d_p} \qquad (14)$$

$$m_w = \frac{n_1}{n_2} = \frac{51.67}{40} = 1.29$$

หาขนาดล้อสายพานมอเตอร์ได้จาก

$$1.29 = \frac{128}{d_p}$$

$$d_p = \frac{128}{1.29} = 99.22 \approx 100\,\text{mm}$$

การหาความยาวสายพานโดยประมาณ (เลือกใช้สายพานหน้าตัด A)

$$L_p = 2C + 1.57(D_p + d_p) + \frac{(D_p - d_p)^2}{4C} \qquad (15)$$

โดยที่ C คือ ระยะห่างระหว่างล้อสายพานทั้งสองมีค่าเท่ากับ 475 mm

แทนค่า ;

$$L_p = 2(475) + 1.57(128 + 100) + \frac{(128 - 100)^2}{4(475)}$$

$$L_p = 1308.37\,\text{mm}$$

เลือกใช้สายพาน $L_p = 1330\,\text{mm}$ (ตารางผนวกที่ ง1)

ตารางผนวกที่ ง1 สมรรถนะในการส่งกำลังของสายพานลิ่มหน้าตัด “A” ต่อเส้น P_R (เป็น kW) สำหรับสายพานยาว L_p= 1732 mm และส่วนโค้งสัมผัส $\alpha = 180°$

d_p(mm)	m_w	ความเร็วรอบของล้อสายพานเล็ก n (rpm)		
		400	700	800
		สมรรถนะในการส่งกำลังต่อเส้น P_R (kW)		
100	1.00	0.56	0.88	0.99
	1.05	0.56	0.90	1.01
	1.20	0.58	0.93	1.04
	1.50	0.60	0.96	1.07
	≥ 300	0.61	0.98	1.09
ตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน N_1				
L_p	1032	1152	1282	1432
N_1	0.89	0.91	0.93	0.96
ความยาวพิตช์ที่มีใช้ $L_p = L_i + 30$ (mm)				
L_i	1250	1270	1041	1060

หาระยะห่างระหว่างศูนย์กลางแนะนำคำนวณได้จากสมการ

$$C = p + \sqrt{p^2 - q} \tag{16}$$

โดยที่

$$p = 0.25L_p - 0.393\left(D_p + d_p\right)$$

$$p = 0.25(1330) - 0.393(128 + 100) = 242.9$$

และ

$$q = 0.125\left(D_p - d_p\right)^2$$

$$q = 0.125\left(128 - 100\right)^2 = 98$$

แทนค่า p และ q ในสมการที่ 8 ;

$$C = 242.9 + \sqrt{242.9^2 - 98}$$

$$C = 485\text{mm}$$ (เลือกใช้ค่า C เดิมซึ่งมีค่าเท่ากับ 475 mm)

ส่วนโค้งสัมผัส

$$\frac{D_p - d_p}{C} = \frac{128 - 100}{475} = 0.059$$

ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส (ตารางผนวกที่ ง2)

$$N_a = 1$$

ตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน (ตารางผนวกที่ ง1)

$$N_1 = 0.94$$

สมรรถนะในการส่งกำลังต่อเส้น (ตารางผนวกที่ ง1)

$$P_R = 0.59$$

ตัวประกอบใช้งาน (ตารางผนวกที่ ง3)

$$N_S = 1$$

จำนวนสายพานที่ต้องใช้

$$Z = \frac{W_p \cdot N_s}{P_R \cdot N_a \cdot N_l} \tag{17}$$

$$Z = \frac{(0.025)(1)}{(1.21)(1)(0.59)} = 0.035 \approx 1 \text{เส้น}$$

ตารางผนวกที่ ง2 ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส N_a สำหรับสายพานลิ่ม

$(D_p - d_p)/C$	ส่วนโค้งสัมผัส $\alpha \approx$	N_a
0	180	1
0.15	170	0.98
0.35	160	0.95
0.5	150	0.92
0.7	140	0.89
0.85	130	0.86
1.0	120	0.82
1.15	110	0.78
1.3	100	0.73
1.45	90	0.68

ตารางผนวกที่ ง3 ตัวประกอบใช้งาน N_S สำหรับสายพานลิ่ม

ชนิดของอุปกรณ์	ชนิดของอุปกรณ์ขับ					
ตัวประกอบใช้งานนี้พิจารณาเฉพาะช่วงเวลาใช้งานและชนิดของอุปกรณ์ขับแต่ไม่เกี่ยวกับสภาวะการทำงานดังนั้นจึงอาจเพิ่มค่าขึ้นได้อีกในกรณีพิเศษ	มอเตอร์กระแสสลับ (AC Motor)			มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor)		
	ชั่วโมงทำงานต่อวัน			ชั่วโมงทำงานต่อวัน		
	≤ 10	10-16	> 16	≤ 10	10-16	> 16
งานเบา : เครื่องกวนของเหลว, เครื่องเป่าลม, เครื่องอัดลมและเครื่องสูบแบบหอยโข่ง, พัดลมที่มีกำลังสูงถึง 7.5 kW, สายพานลำเลียงงานเบา	1	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3

มุมสัมผัสล้อสายพานมอเตอร์

$$\alpha_1 = \pi - 2\sin^{-1}\left(\frac{D_p - d_p}{2C}\right) \tag{18}$$

$$\alpha_1 = \pi - 2\sin^{-1}\left(\frac{128-100}{2(475)}\right) = 176.62^\circ$$

ความเร็วสายพาน

$$V = \pi \cdot d_p \cdot n \tag{19}$$

$$V = \pi \times \left(100\text{mm} \times \frac{1}{1000}\frac{\text{m}}{\text{mm}}\right) \times \left(40\frac{\text{rev}}{\text{min}} \times \frac{1}{60}\frac{\text{min}}{\text{sec}}\right) = 0.2\,\text{m/s}$$

แรงดึงในสายพานขณะส่งกำลัง

$$F = \frac{W_p}{V} \tag{20}$$

$$F = \frac{25W}{0.2m/s} = 125N$$

ตัวประกอบใช้งาน

$$k_1 = 1.3 \text{ (ตารางผนวกที่ ง4)}$$

$$k_2 = 0.217 \text{ (ตารางผนวกที่ ง5)}$$

ตารางผนวกที่ ง4 ตัวประกอบใช้งาน

k_1	สภาวะการทำงาน
1.3	งานเบา ทำงานคงที่
1.5	งานปานกลาง
2.0	งานหนัก แรงกระตุก เปิดปิดบ่อยครั้ง

แรงดึงขั้นต้นในสายพาน

$$F_1 = \left(k_1 F + Z k_2 V^2\right) \sin\frac{\alpha}{2} \tag{21}$$

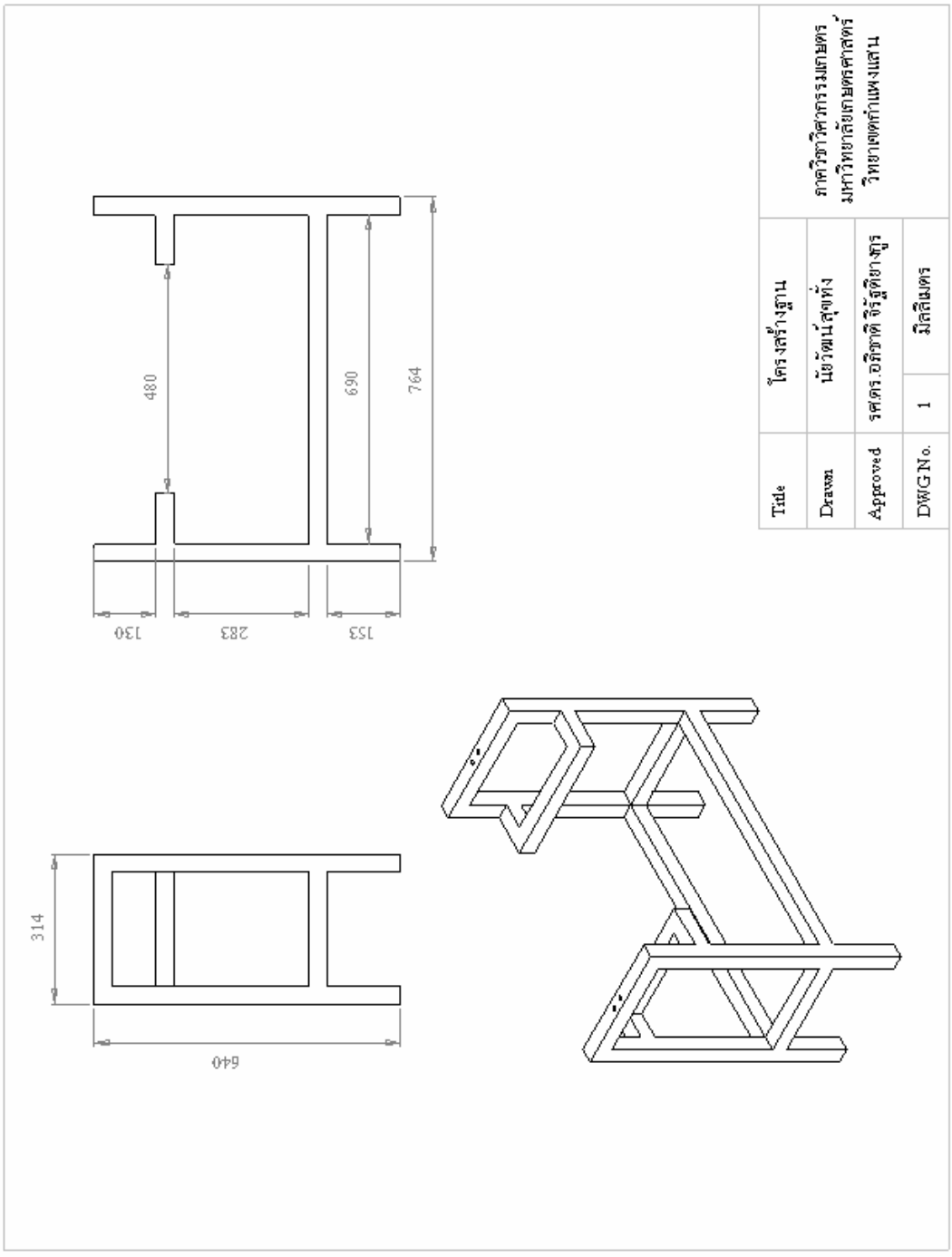
$$F_1 = \left[(1.3)(125) + (1)(0.217)(0.2)^2\right] \sin\frac{176.62}{2} = 162.44N$$

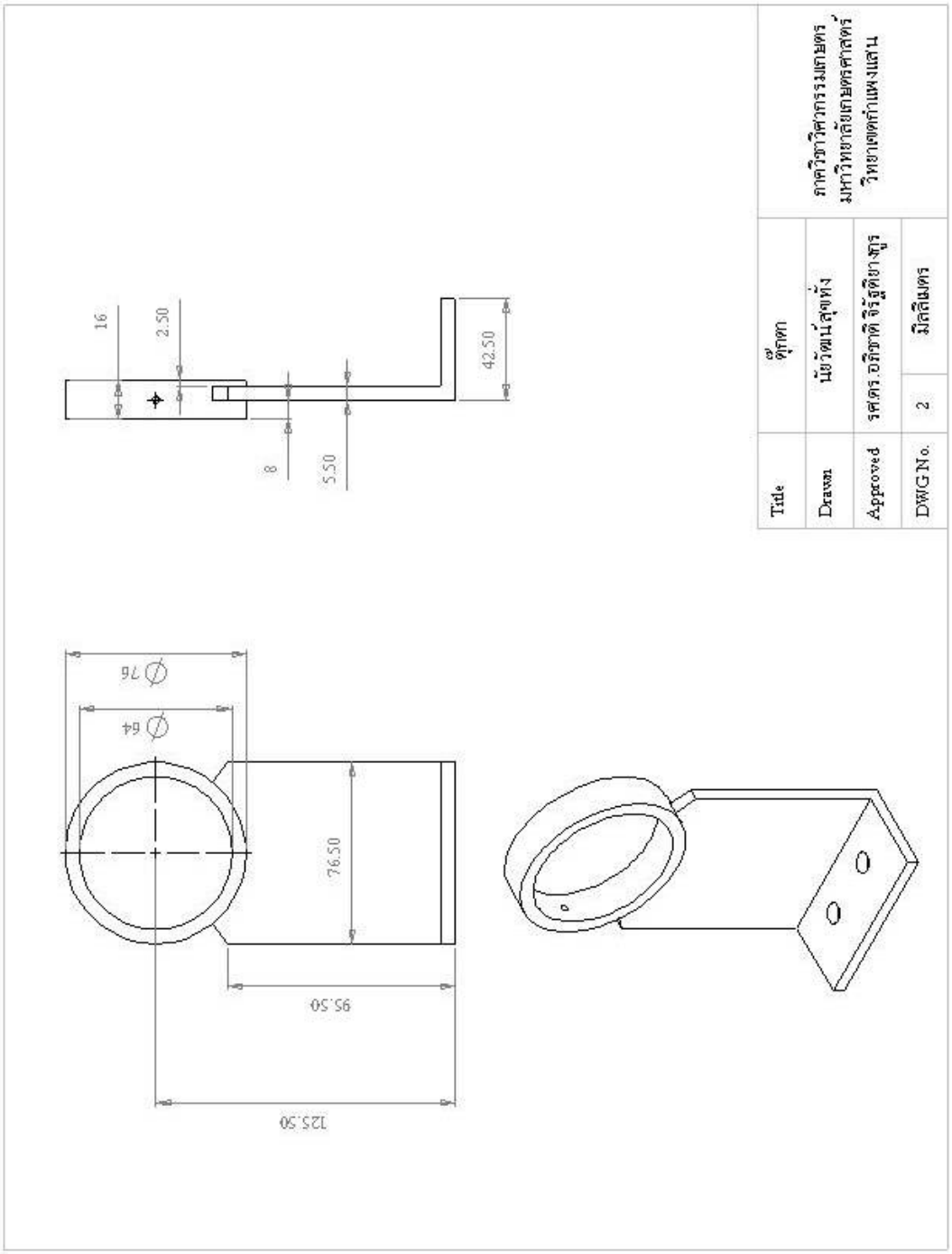
ตารางผนวกที่ ง5 ค่าตัวประกอบ k_2

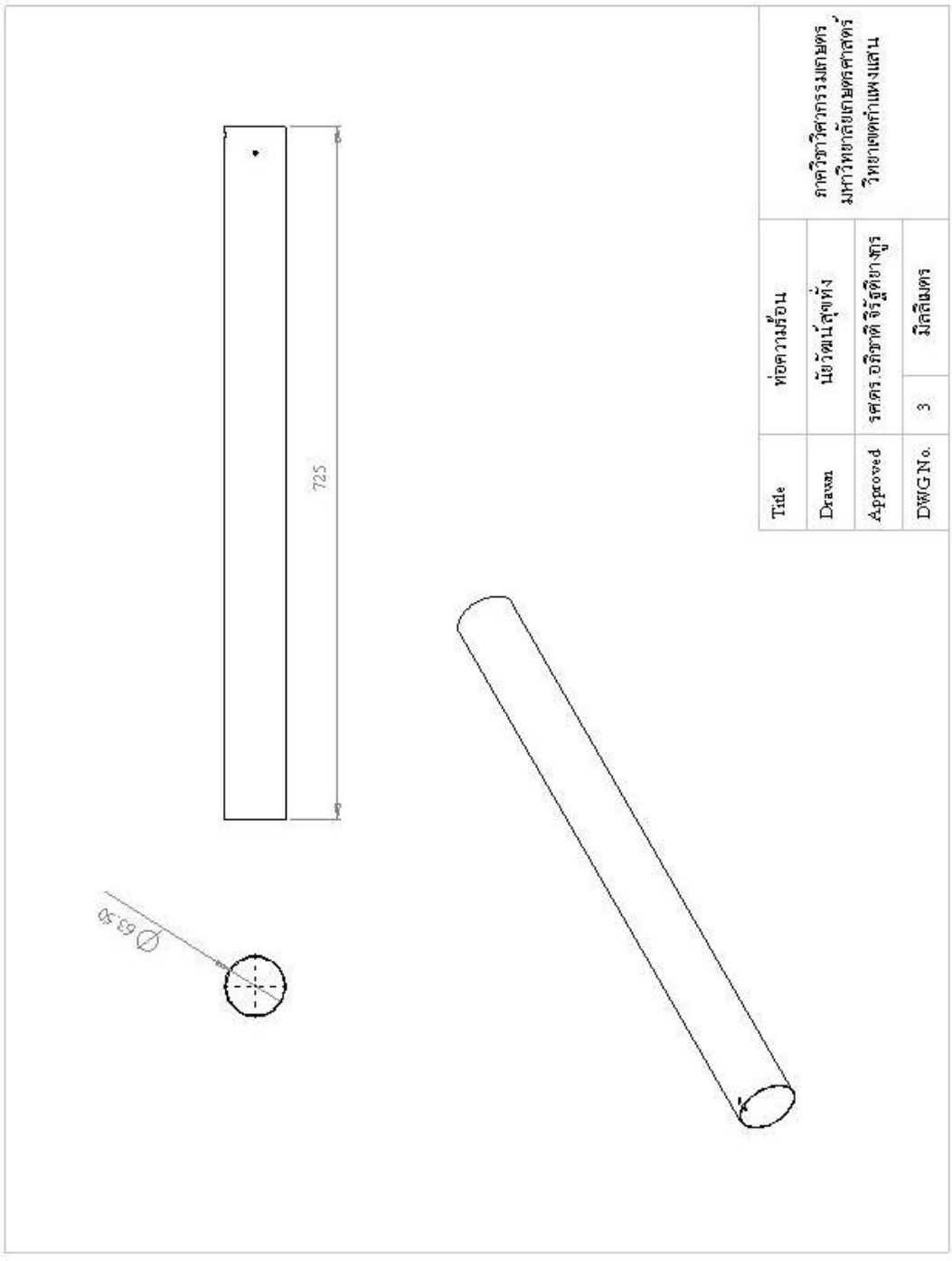
หน้าตัดสายพาน	K_2
Y	0.049
Z	0.126
A	0.217
B	0.385
C	0.637
D	1.332

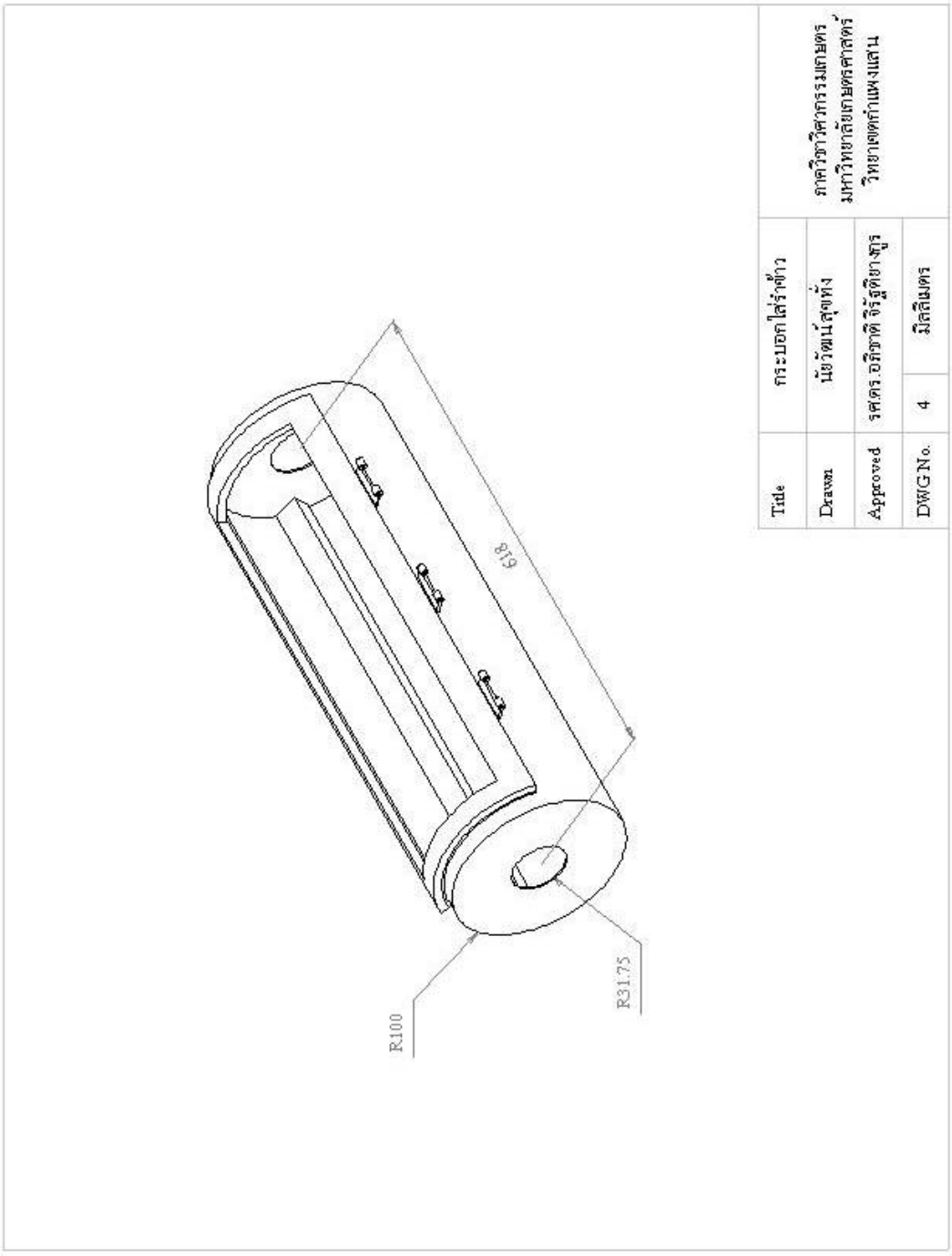
ภาคผนวก จ

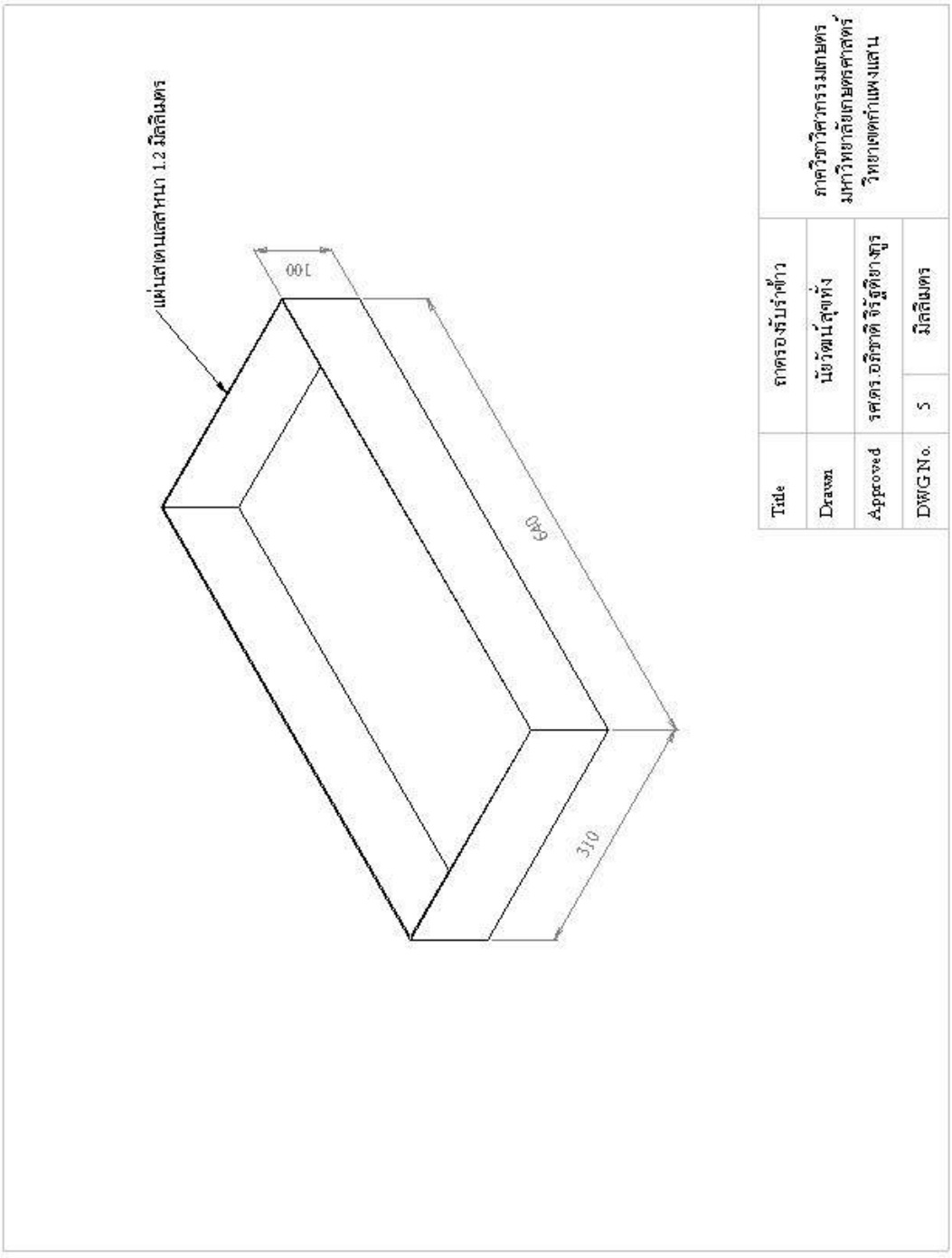
แบบเครื่องให้ความร้อนรำข้าว

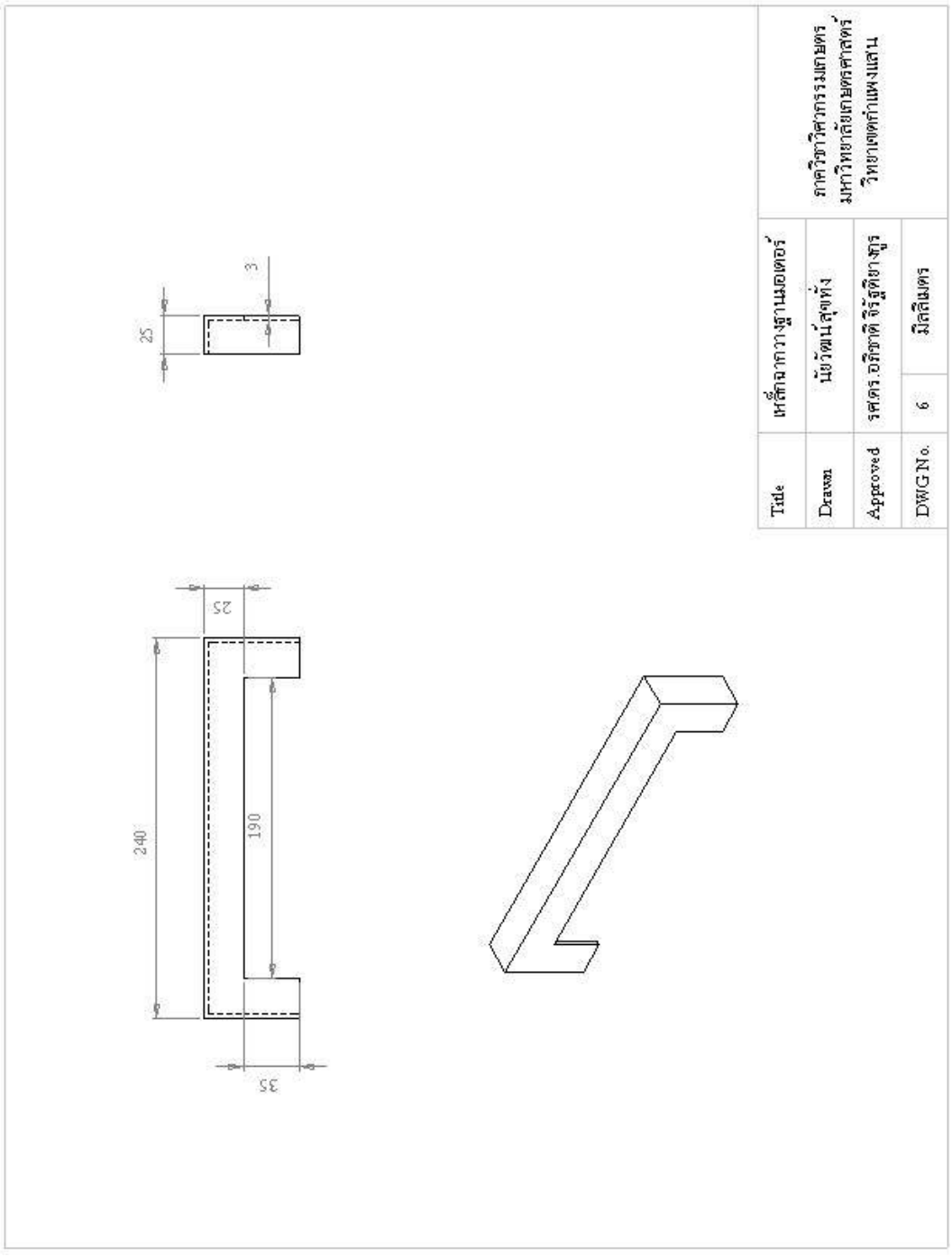

480
690
764
130
283
153
314
640
Title
โครงสร้างฐาน
Drawn
นายวัฒน์สุทัง
Approved
รศดร.อภิชาติ จิรัฐติยาพัฒร
DWG No.
1
มิลลิเมตร
ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน

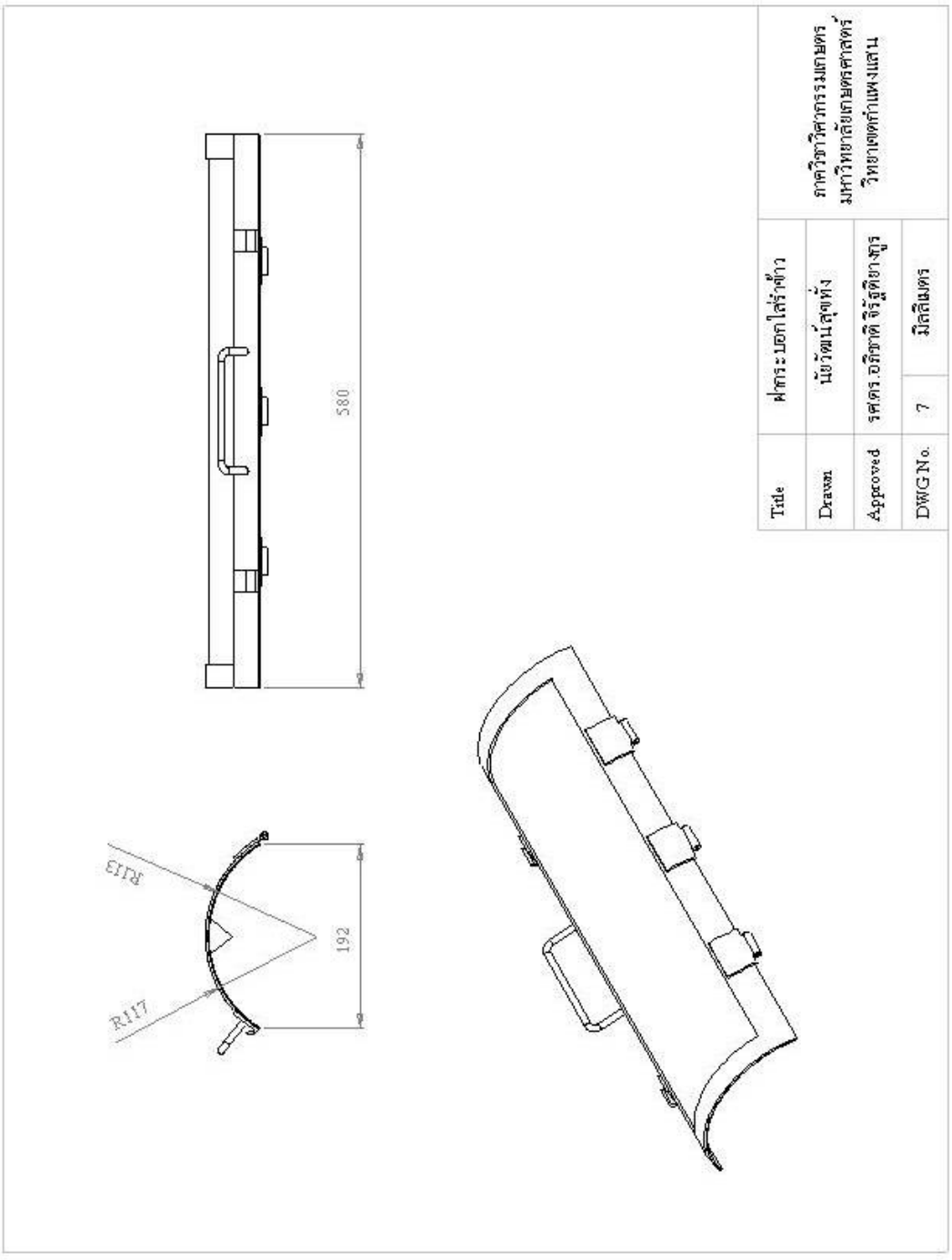

16
2.50
42.50
8
5.50
76
64
76.50
95.50
125.50
Title
Drawn
นายวัฒนา สุขทัง
Approved
รศ.ดร. อภิชาติ จิรัฐติยากุร
DWG No.
2
มิลลิเมตร
ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน

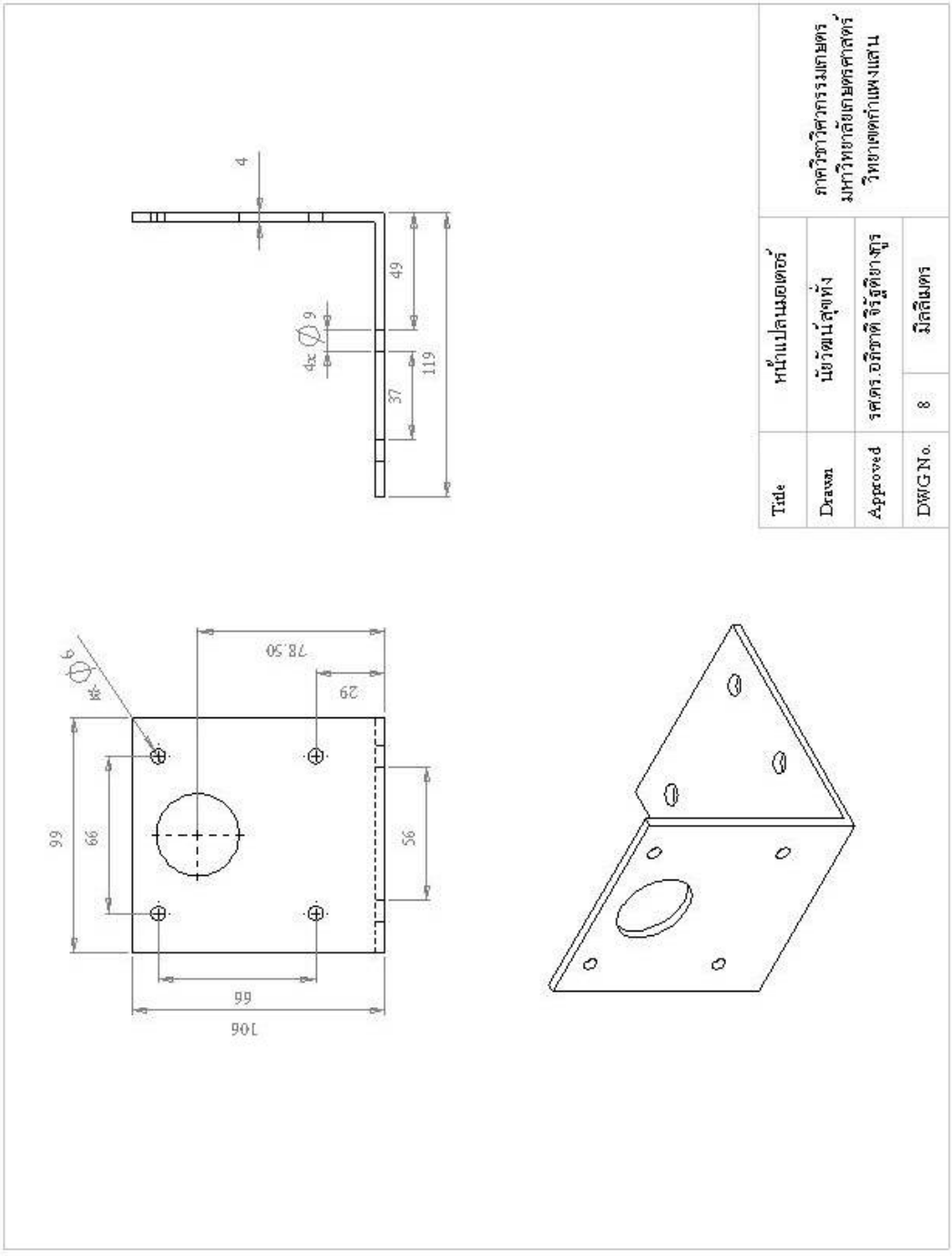

725
Ø 63.50
Title
ท่อความร้อน
Drawn
นายวัฒน์สุขทัง
Approved
รศ.ดร.ธวัชชัย จิรัฐติยาสกุร
DWG No.
3
มิลลิเมตร
ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน

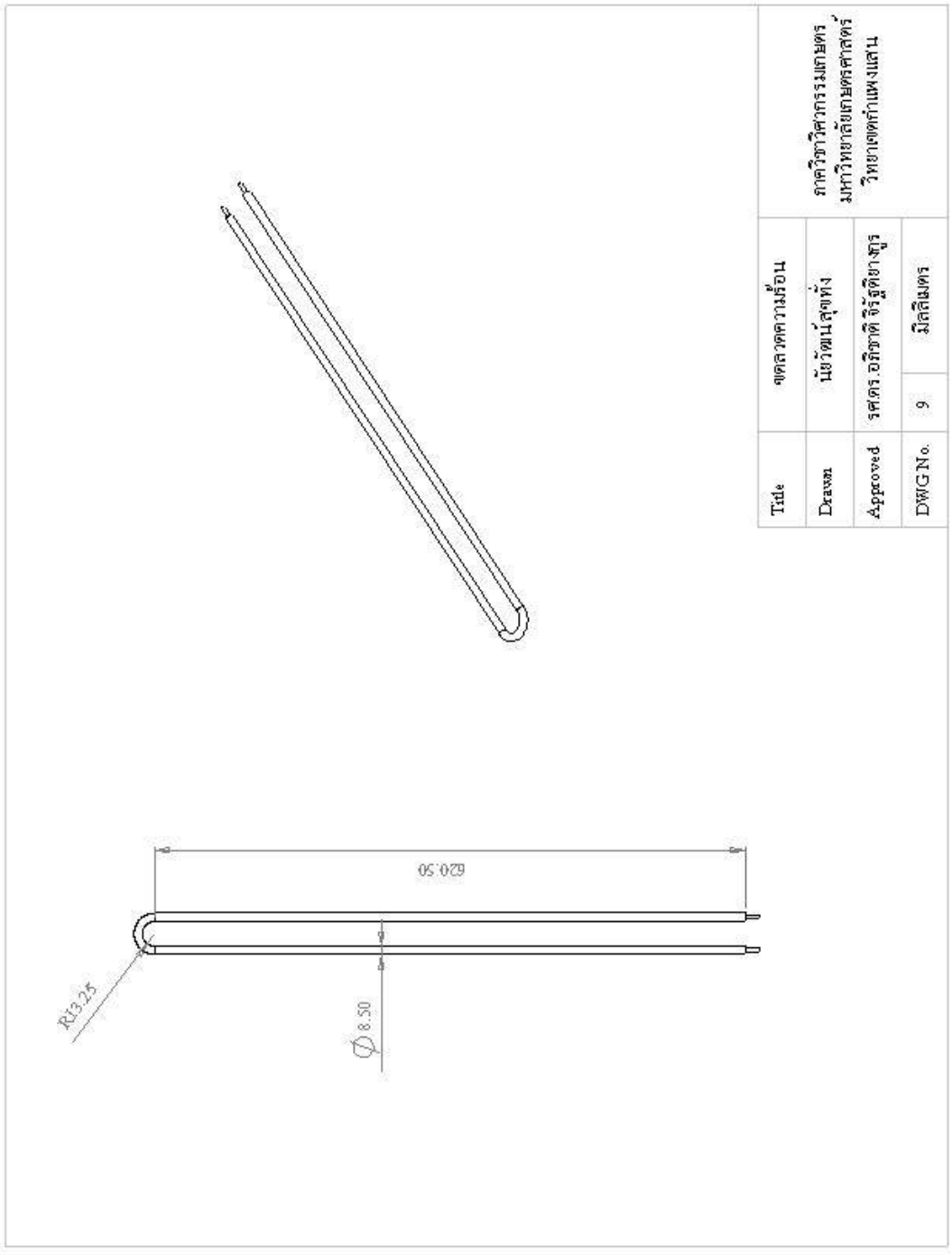

R100
R31.75
618
Title
กระบอกใส่ร่มผ้า
Drawn
นัฐวัฒน์ สุขเพ็ง
Approved
รศ.ดร.อภิชาติ จิรัฐติยากุล
DWG No.
4
มิลลิเมตร
ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน

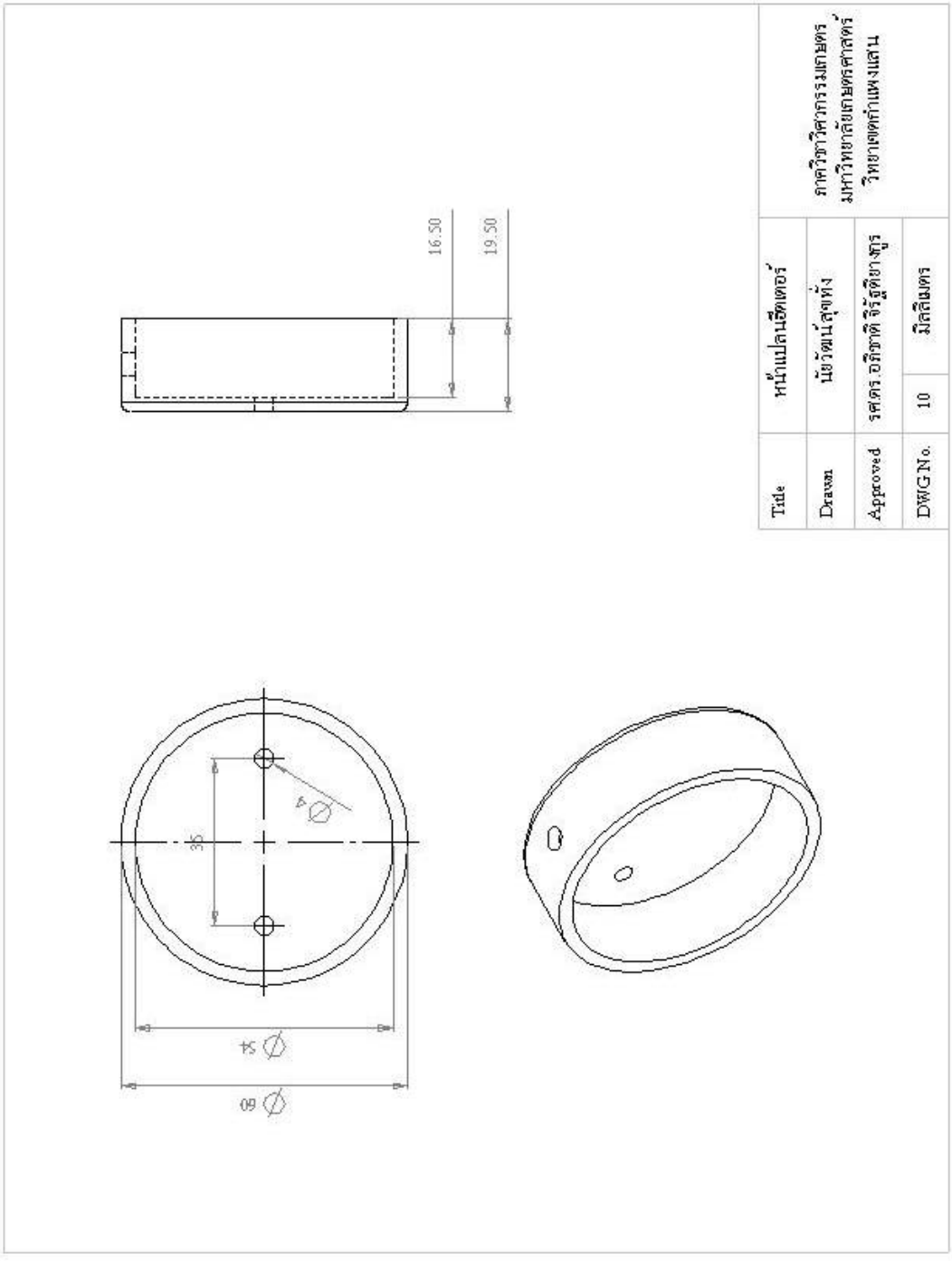

แผ่นสเตนเลสหนา 1.2 มิลลิเมตร
100
640
310
Title
ถาดรองรับร่างกาย
Drawn
นายวัฒน์ลุพงษ์
Approved
รศ.ดร.อภิชาติ จิรัฐยิ่งยง
DWG No.
5
มิลลิเมตร
ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน


3
25
25
240
190
35
Title
เหล็กฉากวางฐานมอเตอร์
Drawn
นายวัฒน์ลุพงษ์
Approved
รศ.ดร.อภิชาติ จิรัฐติยางกูร
DWG No.
6
มิลลิเมตร
ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน


580
R113
R117
192
Title
ฝาครอบกันใส่ด้านล่าง
Drawn
นายวัฒนสุดหงั่ง
Approved
รศ.ดร.อภิชาติ จันรัตนายกุร
DWG No.
7
มิลลิเมตร
ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน


4
49
119
37
4x ∅9
78.50
29
6
45°
99
66
56
66
106
ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน
Title
หน้าแปลนมอเตอร์
Drawn
นิยาพันธ์สุขทัง
Approved
รศ.ดร.อภิชาติ จิรัฐติยากุร
DWG No.
8
มิลลิเมตร


620.50
R13.25
Ø8.50
Title
ท่อสวดความร้อน
Drawn
นายวัฒนัสฐพงศ์
Approved
รศ.ดร.อภิชาติ อิริยสุทิยาสกุร
DWG No.
9
มิลลิเมตร
ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน


16.50
19.50
4
36
54
60
Title
หน้าแปลนซีลเตอร์
Drawn
นายวัฒน์สุขทัง
Approved
รศ.ดร.ธวัชชัย ธีรัฐพิยาสกุร
DWG No.
10
มิลลิเมตร
ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน