สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาผลของการเขย่าต่อการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องฆ่าเชื้อแบบพาสเจอไรซ์

THE STUDY ON THE EFFECT OF SHAKING TOWARDS THE HEAT TRANFER IN THE PASTEURIZED CAN

เกียรติศักดิ์ แรงงาม
ธนพัทธ์ ทิพย์เทียมพงษ์
วสันต์ ปันคำ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 72005
วัน,เดือน,ปี 7 มิ.ย. 2550

b 17761714
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาผลของการเขย่าต่อการถ่ายเทความร้อน
ในกระป๋องฆ่าเชื้อแบบพาสเจอไรซ์

THE STUDY ON THE EFFECT OF SHAKING TOWARDS
THE HEAT TRANFER IN THE PASTEURIZED CAN

ผู้จัดทำ

1. เกียรติศักดิ์ แรงงาม รหัสนักศึกษา 46015563
2. ธนพัทธ์ ทิพย์เทียมพงษ์ รหัสนักศึกษา 46015573
3. วสันต์ ปันคำ รหัสนักศึกษา 46015587

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ สมัคร รักแม่)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาผลของการเขย่าต่อการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องฆ่าเชื้อแบบพาสเจอไรซ์

นาย เกียรติศักดิ์ แรงงาม
นาย ธนพัทธ์ ทิพย์เทียมพงษ์
นาย วสันต์ ปันคำ

อาจารย์ สมัคร รักแม่ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องที่มีการเขย่าเพียงทิศทางเดียวในขณะทำการพาสเจอไรซ์ ที่ใช้น้ำเป็นตัวกลาง โดยศึกษาผลของความถี่ในการเขย่า(f) ระยะแอมปิจูด (λ)และขนาดของกระป๋องว่ามีผลต่อการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องอย่างไร โดยใช้น้ำเปล่าและซอสมะเขือเทศในการทดลองบรรจุลงไปในกระป๋องต่างขนาดกันคือ 84x52 มม. ,51x133 มม. ,84 x 116 มม. ปรับความถี่ 3 ระดับคือ 60ครั้ง/นาที, 140ครั้ง/นาทีและ210 ครั้ง/นาทีและใช้แอมปิจูด 3 ระยะในการทดลองคือ 2, 3 และ4 เซนติเมตร พบว่ามีผลต่อการถ่ายเทความร้อน โดยเมื่อใช้ความถี่ที่เร็วขึ้นจะทำให้อุณหภูมิของน้ำในกระป๋องสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับกระป๋องอยู่นิ่งและเมื่อใช้กระป๋องเล็กความถี่สูงจะพบว่าใช้อุณหภูมิจาก 30 องศาเซลเซียสที่เป็นอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำในกระป๋องนั้นไปจนถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อของกระบวนการฆ่าเชื้อแบบพาสเจอไรซ์นั้นใช้เวลาเพียงไม่กี่นาทีและเร็วกว่าการฆ่าเชื้อแบบพาสเจอไรซ์โดยการนำความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE STUDY ON THE EFFECT OF SHAKING TOWARDS THE HEAT TRANFER IN THE PASTEURIZED CAN

Mr. Kiattisak Reangngram

Mr. Thanapat Tiptiempong

Mr. Wasan Pankham

Samak Rakmae Advisor

2006

Abstract

This project is aimed at studying about the heat transfer in the can which was shaken in one-direction while it was making the pasteurization by using the water as the heating medium. The project was carried out to see how the shaking frequencies (f), the amplitudes (λ) and size of the cans effected to the heat transfer. The experiment was carried out by filling the water and tomato sauce in the three different can sizes : 84×52, 51×133 and 84×116 with the three different frequencies: 60times/1 min, 140times/1 min and 210times/1 min; as well as the three different amplitudes : 2, 3 and 4 cm. It was found that it could effect to the heat transfer. The temperature in the can which used the rapid frequency was higher than the can which didn't move. Moreover, it was found that it was fast when the low and high frequent can with the use of the water to start at 30 °c until up to the pasteurization temperature. It also showed that the convection was faster than the conduction.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในโครงงานนี้ขอขอบพระคุณ อาจารย์สมัคร รักแม่ อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างยิ่งที่ได้ให้คำแนะนำและคอยให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้านเพื่อให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณพี่แมนที่ให้แนวคิดในการทดลองและความรู้ใหม่ๆเพิ่มเติมเสมอ พี่บุญนำ พี่แป้ง ที่ให้ความช่วยเหลือเครื่องมือ อุปกรณ์ในการทดลองทุกอย่าง

ขอขอบคุณเพื่อนๆที่แวะเวียนมาช่วยเหลือเสมอ

ท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ ที่คอยเป็นกำลังใจ ห่วงใย และให้การสนับสนุนข้าพเจ้าจนงานสำเร็จลุล่วง

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ภาชนะบรรจุ	3
2.1 หน้าที่ของภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร	3
2.2 ประเภทของภาชนะบรรจุ	4
2.1.1 ภาชนะบรรจุแข็งตัว(rigid package)	4
2.1.2 ภาชนะบรรจุกึ่งแข็ง(semirigid package)	4
2.1.3 ภาชนะบรรจุอ่อนตัว(flexible package)	4
2.3 การใช้ภาชนะบรรจุ	5
2.4 อาหารในภาชนะบรรจุปิดสนิท	6
2.5 การบรรจุอาหารลงภาชนะ	7
2.5.1 การบรรจุอาหารร้อน	7
2.5.2 การบรรจุอาหารเย็น	7
2.6 หลักการฆ่าเชื้ออาหารกระป๋อง	11
2.6.1 การใช้ความร้อนระดับพาสเจอไรซ์ (Pasteurization)	11
2.6.2 การใช้ความร้อนระดับสเตอริไลส์ (Sterilization)	12
บทที่ 3 หม้อฆ่าเชื้อ	14
3.1 เครื่องฆ่าเชื้อ (Retort)	14
3.2 หลักการถ่ายเทความร้อน	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง 24
4.1 วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง 24
4.2 ขั้นตอนการทดลอง 24
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิจารณ์ 30
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง 44
เอกสารอ้างอิง 46
ภาคผนวก 47
ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 เปรียบเทียบการกระจายความร้อนแบบ ต่างๆในกระป๋อง	18
3.2 ค่าการแพร่กระจายความร้อนของวัสดุชนิดต่างๆ	19
3.3 ตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน	21
3.4 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุต่างๆ	21
3.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการแทรกผ่านความร้อนเข้าสู่ Cold point	23
6.1 แสดงเวลาที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุน้ำจน ถึงอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส (นาที)	45
6.2 แสดงเวลาที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศ จนมีอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส (นาที)	45
ก.1 กราฟแสดงการเปรียบการนำความร้อนในกระป๋องใส่น้ำต่างขนาด	47
ก.2 กราฟแสดงการเปรียบการนำความร้อนในกระป๋องใส่ซอสมะเขือเทศต่างขนาด	48
ก.3 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x52 มม. ที่แอมปิจูด 2 เซนติเมตร ความถี่ต่างๆ	48
ก.4 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x52 มม. ที่แอมปิจูด 3 เซนติเมตร ความถี่ต่างๆ	49
ก.5 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x52 มม. ที่แอมปิจูด 4 เซนติเมตร ความถี่ต่างๆ	49
ก.6 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 51x133 มม. ที่แอมปิจูด 2 เซนติเมตร ความถี่ต่างๆ	50
ก.7 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 51x133 มม. ที่แอมปิจูด 3 เซนติเมตร ความถี่ต่างๆ	50
ก.8 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 51x133 มม. ที่แอมปิจูด 4 เซนติเมตร ความถี่ต่างๆ	51
ก.9 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x116 มม. ที่แอมปิจูด 2 เซนติเมตร ความถี่ต่างๆ	52
ก.10 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x116 มม. ที่แอมปิจูด 3 เซนติเมตร ความถี่ต่างๆ	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตาราง	หน้า
ก.11 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x116 มม. ที่แอมปิจูด 4 เซนติเมตร ความถี่ต่างๆ	54
ก.12 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x52 มม. ที่ความถี่ 60 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด	55
ก.13 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x52 มม. ที่ความถี่ 140 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด	55
ก.14 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x52 มม. ที่ความถี่ 210 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด	55
ก.15 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 51x133 มม. ที่ความถี่ 60 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด	56
ก.16 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 51x133 มม. ที่ความถี่ 140 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด	57
ก.17 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 51x133 มม. ที่ความถี่ 210 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด	58
ก.18 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x116 มม. ที่ความถี่ 60 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด	59
ก.19 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x116 มม. ที่ความถี่ 140 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด	60
ก.20 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x116 มม. ที่ความถี่ 210 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด	61
ก.21 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศ ขนาด 84x52 มม. ที่แอมปิจูด 2 ซม.เปลี่ยนความถี่	62
ก.22 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศ ขนาด 84x52มม. ที่แอมปิจูด 3 ซม.เปลี่ยนความถี่	63
ก.23 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศ ขนาด 84x52มม. ที่แอมปิจูด 4 ซม.เปลี่ยนความถี่	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตาราง	หน้า
ก.24 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศ ขนาด 51x133มม. ที่แอมปิจูด 2 ซม.เปลี่ยนความถี่	65
ก.25 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศ ขนาด 51x133 มม. ที่แอมปิจูด 3 ซม.เปลี่ยนความถี่	66
ก.26 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศ ขนาด 51x133 มม. ที่แอมปิจูด 4 ซม.เปลี่ยนความถี่	67
ก.27 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศ ขนาด 84x116 มม. ที่แอมปิจูด 2 ซม.เปลี่ยนความถี่	68
ก.28 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศ ขนาด 84x116 มม. ที่แอมปิจูด 3 ซม.เปลี่ยนความถี่	69
ก.29 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศ ขนาด 84x116 มม. ที่แอมปิจูด 4 ซม.เปลี่ยนความถี่	70
ก.30 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศ ขนาด 84x52 มม.ที่ความถี่ 60 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด	71
ก.31 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศ ขนาด 84x52 มม.ที่ความถี่ 140 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด	72
ก.32 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศ ขนาด 84x52 มม.ที่ความถี่ 210 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด	73
ก.33 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศ ขนาด 51x133 มม.ที่ความถี่ 60 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด	74
ก.34 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศ ขนาด 51x133 มม.ที่ความถี่ 140 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด	75
ก.35 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศ ขนาด 51x133 มม.ที่ความถี่ 210 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด	76
ก.36 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศ ขนาด 84x116 มม.ที่ความถี่ 60 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด	77
ก.37 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศ ขนาด 84x116 มม.ที่ความถี่ 140 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตาราง	หน้า
ก.38 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศ ขนาด 84x116 มม.ที่ความถี่ 210 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะของกราฟของการแทรกซึมความร้อนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์	10
3.1 ตำแหน่ง Cold point	17
3.2 เส้นกราฟแสดงการแทรกผ่านความร้อน ของ Peas puree ในกระป๋องขนาด 603×700 อุณหภูมิรีทอร์ทเท่ากับ252°F	22
3.3 เส้นกราฟแสดงการแทรกผ่านความร้อนของเม็ดถั่วลันเตาในน้ำเกลือ ในกระป๋องขนาด307×409 อุณหภูมิรีทอร์ทเท่ากับ 252°F	23
4.1 เครื่องช่วยในการเขย่า	26
4.2 นำกระป๋องเปล่ามาเจาะ	27
4.3 เสียบเทอร์โมคับเปิล	27
4.4 นำสายวัดอุณหภูมิเสียบกับกระป๋อง	28
4.5 นำสายวัดอุณหภูมิต่อกับเครื่อง Data logger	28
4.6 นำกระป๋องลงใน Water baht	29
4.7 เปิดเครื่องช่วยเขย่า	29
5.1 กราฟแสดงการเปรียบการนำความร้อนในกระป๋องใส่น้ำต่างขนาด	30
5.2 กราฟแสดงการเปรียบการนำความร้อนในกระป๋องใส่ซอสมะเขือเทศต่างขนาด	30
5.3 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x52 มม. ที่แอมปิจูด 2, 3 และ 4 ซ.ม. ณ.ความถี่ต่างๆ	31
5.4 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 51x133 มม. ที่แอมปิจูด 2, 3 และ 4 ซ.ม.เปลี่ยนความถี่	32
5.5 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x116 มม. ที่แอมปิจูด 2, 3 และ 4 ซ.ม.เปลี่ยนความถี่	33
5.6 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x52 มม. ที่ความถี่ 60 , 140 และ 210 เปลี่ยนแอมปิจูด	34
5.7 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 51x133 มม. ที่ความถี่ 60 , 140 และ 210 ที่เปลี่ยนแอมปิจูด	35
5.8 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x116 มม. ที่ความถี่ 60 140 และ 210 ที่เปลี่ยนแอมปิจูด	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.9 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศ ขนาด 84x52 มม. ที่แอมปิจูด 2, 3 และ 4 ซม.เปลี่ยนความถี่	37
5.10 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศ ขนาด 51x133 มม. ที่แอมปิจูด 2, 3 และ 4 ซ.ม.เปลี่ยนความถี่	38
5.11 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศ ขนาด 84x116 มม.ที่แอมปิจูด 2, 3 และ 4 ซ.ม.เปลี่ยนความถี่	39
5.12 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศ ขนาด 84x52 มม.ที่ความถี่ 60 140 และ 210 เปลี่ยนแอมปิจูด	40
5.13 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศ ขนาด 51x133 มม.ที่ความถี่ 60 140 และ 210 เปลี่ยนแอมปิจูด	41
5.14 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศ ขนาด 84x116 มม. ที่ความถี่ 60 140 และ 210 เปลี่ยนแอมปิจูด	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารมีการเจริญเติบโตและพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วมากทั้งรูปแบบของการผลิตประเภทของอาหาร ลักษณะของอาหารรวมทั้งรูปแบบบรรจุภัณฑ์ที่มีลักษณะต่างกัน เช่น โฟม กระป๋องและ Retort pouch เป็นต้น ซึ่งในการบรรจุแต่ละชนิดมี ข้อดีข้อเสียแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของอาหาร เช่นเครื่องดื่ม หรืออาหารแปรรูปมักจะนิยมบรรจุลงในกระป๋องเพราะเก็บรักษาง่าย ป้องกันการเสียหายได้ดี

ในการฆ่าเชื้อนั้นต้องใช้เวลาและอุณหภูมิรวมถึงความดันที่เหมาะสมต่ออาหารนั้นๆ ในการผลิตอาหาร กระบวนการฆ่าเชื้อในอาหารบางชนิดจำเป็นต้องใช้เวลาในการฆ่าเชื้อนานซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้อาหารที่ฆ่าเชื้อนั้นอาจสูญเสียสภาพความน่ารับประทานได้ เช่น อาจสุกเกินไป สีซีดไป เป็นต้น ปัจจุบันได้มีการพยายามลดเวลาและพลังงานในการฆ่าเชื้อโดยมีการคิดค้นหม้อฆ่าเชื้อแบบหมุนขึ้นแต่จากการค้นคว้าพบว่าการเขย่ากระป๋อง ในขณะทำการฆ่าเชื้อนั้นมีการศึกษาไม่มากนัก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาการถ่ายเทความร้อนภายในกระป๋องที่มีการเขย่าในขณะพาสเจอไรซ์ที่มีน้ำเป็นตัวกลาง เพื่อต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน ให้ความร้อนสามารถผ่านเข้าไปได้อย่างรวดเร็วและทั่วถึง ต้องการขจัดจุดร้อนช้าในอาหารกระป๋อง ทำให้อุณหภูมิอาหารในกระป๋องมีอุณหภูมิสม่ำเสมอช่วยประหยัดพลังงานทั้งยังรักษาคุณภาพของอาหารไว้ได้ดียิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องเมื่อใช้การเขย่าเข้ามาช่วยลดเวลาในการฆ่าเชื้อระดับพาสเจอไรซ์

1.4 ขอบเขตของโครงการ

1. ใช้น้ำเปล่าและซอสมะเขือเทศในการทดลอง
2. ศึกษาที่ความถี่ 3 ระดับคือ 60 140 และ210 ครั้ง/นาที
3. ระยะแอมปิจูด 2 3 และ4 เซนติเมตร
4. กระป๋องถูกเขย่าเพียงทิศทางเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ใช้น้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน

6. ใช้กระป๋องขนาด 84x52 มม. , 51x133 มม. , 84x116 มม.

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนในกระป๋อง

2. ทราบอิทธิพลของความถี่และแอมปิจูดต่อการถ่ายเทความร้อนในกระป๋อง

3. สามารถนำผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้กับการฆ่าเชื้อในน้ำร้อนแบบพาสเจอไรซ์กับน้ำผลไม้ ซอสอื่นๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ภาชนะบรรจุ

2.1 หน้าที่ของภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช(2539)และวารุณี วารัญญานนท์ (2538/1) ได้กล่าวไว้ว่า ภาชนะบรรจุอาหารมีหน้าที่คุ้มครองผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งแบ่งออกเป็นหน้าที่หลักและหน้าที่รอง ดังนี้

หน้าที่หลัก ของภาชนะบรรจุอาหารในปัจจุบันสามารถแบ่งได้เป็น 5 ประการ ดังนี้

1. บรรจุผลิตภัณฑ์ เป็นหน้าที่หลักของภาชนะบรรจุที่มนุษย์ตั้งแต่สมัยดึกดำบรรพ์จนถึงสมัยปัจจุบันต้องการจากภาชนะบรรจุ นั่นคือ ภาชนะบรรจุต้องสามารถบรรจุ ห่อหุ้ม และรวบรวมผลิตภัณฑ์ไว้ด้วยกัน เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการขนย้าย การเก็บรักษาและการจัดการ

2. คุ้มครองผลิตภัณฑ์ ภาชนะบรรจุต้องสามารถคุ้มครองผลิตภัณฑ์จากปัจจัยภายนอกที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ปัจจัยภายนอกเหล่านี้จะแตกต่างกันออกไปตามลักษณะการเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ที่สำคัญ ได้แก่ ก๊าซ ออกซิเจน ไอน้ำ แสง ความร้อน จุลินทรีย์ และแรงกระทำจากภายนอก

3. เอื้ออำนวยต่อการนำผลิตภัณฑ์มาใช้และให้ความสะดวก

4. สื่อสารและให้ข้อมูล ภาชนะบรรจุทำหน้าที่เป็นสื่อสำหรับให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์แก่ผู้บริโภค ซึ่งอาจทำโดยการพิมพ์ข้อความโดยตรงบนภาชนะบรรจุ หรือใช้ฉลาก ข้อมูลที่ต้องระบุบนฉลากหรือภาชนะบรรจุส่วนใหญ่ จะเกี่ยวข้องกับคุณค่าทางอาหารและคำประกาศสรรพคุณ เช่นไขมันต่ำ เกลือต่ำ โปรตีนสูง เป็นต้น เรียกฉลากนี้ว่า ฉลากโภชนาการ

5. ดึงดูดใจผู้บริโภคในทางการตลาดจะให้ความสำคัญต่อหน้าที่นี้มาก ภาชนะบรรจุที่ออกแบบได้เหมาะสมและสวยงาม สามารถเป็นสิ่งจูงใจผู้บริโภคให้ตัดสินในซื้อสินค้านั้นได้

หน้าที่รอง ภาชนะบรรจุนอกจากจะทำหน้าที่หลักทั้ง 5 ประการที่กล่าวมาแล้วทั้ง 5 ประการที่กล่าวมาแล้วบางครั้งยังช่วยทำหน้าที่อื่นได้อีก ซึ่งจัดเป็นหน้าที่รอง หน้าที่รองที่สำคัญ ได้แก่

1. เหมาะสมกับการทำงานของเครื่องจักร ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตแทบทุกชนิดอาศัยเครื่องจักรมากกว่าแรงงานคน เพื่อผลิตสินค้าให้มีมาตรฐานเดียวกันและไม่ควรมีการหยุดเครื่องจักรเพื่อเตรียมภาชนะหรือแยกผลิตภัณฑ์ที่บรรจุเรียบร้อยแล้วออกไปภาชนะบรรจุควรออกแบบให้สอดคล้องกับการทำงานของเครื่อง สามารถเปิดปิดได้โดยอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แสดงเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ ภาชนะบรรจุควรมีลักษณะเด่น ที่ทำให้ผู้บริโภคจดจำผลิตภัณฑ์ได้ และเมื่อนำไปวางเรียงกับผลิตภัณฑ์ของคู่แข่งขัน ผู้บริโภคก็สามารถแยกผลิตภัณฑ์ออกมาได้

3. ป้องกันการปลอมปนผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปจะเป็นหน้าที่ของอุปกรณ์ที่ใช้ในการปิดภาชนะ เช่น ฝาพลาสติกหดตัวรัดฝาขวด ฉลาก เป็นต้น หน้าที่ประการนี้สำคัญมากขึ้น เนื่องจากการแข่งขันทางการค้า ทำให้มีการปลอมปนสินค้าเพื่อหลังผลกำไรสูงขึ้นของผู้ประกอบการบางกลุ่ม

2.2 ประเภทของภาชนะบรรจุ

ประเภทของภาชนะบรรจุอาหารในปัจจุบัน พอจะแบ่งตามคุณสมบัติทางกายภายได้เป็น 3 ประเภทใหญ่

2.2.1 **ภาชนะบรรจุแข็งตัว**(rigid package) ภาชนะบรรจุแข็งตัวหมายถึงภาชนะที่มีรูปทรงแน่นอน มีความคงตัวและมีความแข็งแรงพอสมควร เช่น กระป๋อง ขวดแก้ว ภาชนะเซรามิก เป็นต้น ภาชนะบรรจุแข็งตัวนี้จะป้องกันผลิตภัณฑ์อาหารภายในไม่ให้การเปลี่ยนแปลงจนเกิดการเสื่อมเสียได้ง่ายเนื่องจากสิ่งแวดล้อมภายนอก นอกจากนี้ความแข็งแรงของตัวภาชนะบรรจุเอง ยังอาจทนต่อความดันหรืออุณหภูมิสูงๆได้ตลอดจนป้องการกระแทกได้ด้วย

กระป๋องโลหะสำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งมีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่

1. กระป๋อง 3 ชิ้น ประกอบด้วยตัวกระป๋อง(body) กับฝา (end) อีก 2 ชิ้น ส่วนใหญ่ผลิตจากแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก โดยตัวกระป๋องและฝาอาจจะทำจากแผ่นเหล็กชนิดเดียวกันหรือต่างกันก็ได้

2. กระป๋อง 2 ชิ้น ประกอบด้วยตัวกระป๋องกับฝาอีก 1 ชิ้น ตัวกระป๋องจะไม่มีตะเข็บข้างและก้นกระป๋องจะเป็นชิ้นเดียวกับตัวกระป๋อง นิยมผลิตจากอะลูมิเนียมมากที่สุด

2.2.2 **ภาชนะบรรจุกึ่งแข็ง** (semirigid package) ภาชนะบรรจุกึ่งแข็งหมายถึง ภาชนะบรรจุที่ทำด้วยวัสดุกึ่งแข็งมีความยืดหยุ่นได้พอประมาณในการรับหรือบรรจุได้แก่ขวดและถ้วยพลาสติก กล่องกระดาษ ถาดและหลอดอะลูมิเนียม คุณสมบัติเฉพาะของภาชนะกึ่งแข็งนี้ทั้งทางด้านราคา น้ำหนัก และการให้ความคุ้มครองป้องกันแก่ผลิตภัณฑ์จะมีค่ากลางๆ ระหว่างคุณสมบัติของภาชนะบรรจุแข็งตัวและอ่อนตัว

2.2.3 **ภาชนะบรรจุอ่อนตัว**(flexible package) ภาชนะบรรจุอ่อนตัวหมายถึง ภาชนะบรรจุที่สามารถยืดหยุ่นได้ตามรูปร่าง ลักษณะ ของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ ได้แก่ ถุง หรือแผ่นห่อของ ซึ่งทำจากวัสดุหลายชนิด เช่น กระดาษ พลาสติก แผ่นเปลวอะลูมิเนียม และสารเคลือบต่างๆ ซึ่งปัจจุบันจัดว่า ภาชนะบรรจุอ่อนตัวประเภทนี้เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายที่สุด เนื่องจากมีราคาถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีน้ำหนักเบา และมีรูปแบบและโครงสร้างมากมายให้เลือกเพื่อตรงกับการใช้งาน แม้ว่าคุณสมบัติทางด้านความแข็งแรงและการให้ความคุ้มครองป้องกันผลิตภัณฑ์ของภาชนะบรรจุอ่อนตัวจะด้อยกว่าที่ได้รับจากภาชนะบรรจุแข็งตัวอยู่บ้าง ก็ยังคงสามารถให้ความคุ้มครองผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ ได้เป็นอย่างดีตลอดช่วงเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารนั้นๆ

2.3 การใช้ภาชนะบรรจุ

การใช้ภาชนะบรรจุจะขึ้นอยู่กับการบรรจุเป็นสำคัญ คือ บรรจุอาหารในภาชนะบรรจุก่อนแล้วจึงนำไปทำให้ปราศจากเชื้อหรืออาหารที่ผ่านกระบวนการถนอมอาหารต่างๆ แล้วจึงนำมาบรรจุเพียงอย่างเดียว ซึ่งพอจะแบ่งอาหารออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ 6 กลุ่ม ตามลักษณะของอาหารและการใช้ภาชนะบรรจุ ดังนี้

1. อาหารที่ต้องผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนหลังบรรจุ
2. อาหารแห้ง
3. อาหารแช่เย็นและแช่เยือกแข็ง
4. อาหารฉายรังสี
5. อาหารสด
6. อาหารเหลวบรรจุในสภาพปลอดเชื้อ

โดยจะเลือกเฉพาะกลุ่มที่ 1

การบรรจุอาหารที่ต้องผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนหลังบรรจุ

อาหารในกลุ่มนี้โดยทั่วไป ได้แก่ อาหารกระป๋องและอาหารที่บรรจุในภาชนะขวด ซึ่งโดยทั่วไปจะเข้าใจกันว่า เป็นอาหารที่บรรจุอยู่ในกระป๋องซึ่งผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนสูง แต่ในที่นี้จะรวมถึงภาชนะใด ๆ ก็ได้ที่ปิดสนิทและสามารถให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อได้ ภาชนะบรรจุสำหรับอาหารประเภทนี้ ได้แก่

<u>กระป๋องโลหะ</u> ภาชนะบรรจุจำพวกกระป๋องโลหะนี้มีความสำคัญมากต่ออุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง เมื่อเทียบกับภาชนะบรรจุที่ทำด้วยวัสดุอย่างอื่น เนื่องจากมีความแข็งแรง ป้องกันการเปลี่ยนแปลงของอาหารที่บรรจุอยู่ภายใน อันเนื่องจากแสงแดดและจุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดี และทนต่อความร้อนและความดันสูงในขณะฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในกรรมวิธีการผลิตอาหารกระป๋อง การเลือกใช้กระป๋องให้เหมาะกับอาหารมีหลักเกณฑ์ ดังนี้

1. กระป๋องเคลือบดีบุก ใช้บรรจุอาหารแห้งหรืออาหารที่ไม่เกิดปฏิกิริยากับกระป๋อง ส่วนใหญ่จะใช้บรรจุผลไม้ที่มีส่วนประกอบของสีแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นสีในดอกไม้และผลไม้บางชนิด สารนี้จะให้สีแดงม่วง หรือน้ำเงิน ซึ่งมีในพวกสตรอเบอรีและองุ่น ดังนั้น จึงควรใช้บรรจุผลไม้แห้ง จำพวกสับปะรด ลำไย มะม่วง แอปเปิ้ล เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กระป๋องเคลือบแลคเกอร์ เหมาะสำหรับบรรจุอาหารที่ทำปฏิกิริยากับเหล็กหรือดีบุกได้ ซึ่งจะทำให้คุณภาพอาหารเสียไป เช่น ผลไม้ต่างๆ ผักบางชนิด อาหารจำพวกเนื้อสัตว์ และปลาที่มีสารประกอบของกำมะถัน กระป๋องแลคเกอร์แบ่งออกได้อีก 2 ประเภทคือ

- แลคเกอร์ทดกรด (Acid resistant lacquer) กระป๋องด้านในมีสีทอง ใช้บรรจุผลไม้ที่มีสีจัด และสีละลายน้ำได้ เช่น องุ่น สตรอเบอรี่ หากใช้กระป๋องเคลือบดีบุก ดีบุกที่หลุดออกมาจากกระป๋องจะฟอกสีของผลไม้ทำให้สีของผลไม้ซีดลง

- แลคเกอร์ทนกำมะถัน (sulfur resistant lacquer) กระป๋องด้านในมีสีเทา ใช้บรรจุอาหารที่ความเป็นกรดต่ำ และมีโปรตีนสูง เช่น ถั่ว ข้าวโพด ปลา

ข้อดี ของกระป๋องคือกระป๋องเป็นตัวนำความร้อนที่ดี ทนทาน ไม่แตกง่าย มีน้ำหนักเบา ขนส่งง่าย

ข้อเสีย ของกระป๋องคือมองไม่เห็นอาหารภายในหากไม่เคลือบแลคเกอร์อาจผุกร่อนได้ บางครั้งอาจทำให้อาหารมีกลิ่นโลหะ เมื่อใช้หมดแล้วไม่สามารถนำมาใช้ใหม่ได้ นอกจากนั้นยังต้องมีเครื่องมือมีพิเศษสำหรับผนึกฝาอีกด้วย

2.4 อาหารในภาชนะบรรจุปิดสนิท

อาหารในภาชนะบรรจุปิดสนิท คือ อาหารที่ผ่านกรรมวิธีที่ใช้ทำลายหรือยับยั้งการขยายพันธุ์ของจุลินทรีย์ด้วยความร้อนภายหลังหรือก่อนการบรรจุหรือปิดผนึก ซึ่งเก็บรักษาไว้ในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่เป็นโลหะหรือวัตถุอื่นที่คงรูป สามารถป้องกันมิให้อากาศภายนอกเข้าไปในภาชนะบรรจุ และสามารถเก็บรักษาไว้ได้ในอุณหภูมิปกติ หรือ อาหารในภาชนะบรรจุชนิดลามิเนต (Laminate) ฉาบ เคลือบ อัด หรือ ติดด้วยโลหะหรือสิ่งอื่นใด หรือ อาหารในภาชนะบรรจุที่เป็นขวดแก้วที่ฝามียาง หรือวัสดุอื่นผนึก หรือ อาหารในภาชนะบรรจุอื่น ซึ่งสามารถป้องกันมิให้เกิดความชื้นหรืออากาศผ่านซึมเข้าภายในภาชนะบรรจุได้ในสภาวะปกติและสามารถเก็บรักษาไว้ได้ในอุณหภูมิปกติ

2.4.1 อาหารในภาชนะบรรจุปิดสนิทจำแนกตามค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าแอคติวิตีของน้ำ

- อาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (Low acid food) หมายถึงอาหารที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 4.5 และมีค่าแอคติวิตีของน้ำมากกว่า 0.85

- อาหารที่ปรับสภาพกรด (Acidified food) หมายถึงอาหารที่ตามธรรมชาติของผลิตภัณฑ์มีค่าความเป็นกรด-ด่าง มากกว่า 4.5 แต่ในการผลิตมีการปรับสภาพกรดของอาหาร โดยการลวกหรือแช่ชิ้นอาหารในสารละลายกรด หรือเติมกรด หรือเติมอาหารที่มีความเป็นกรด จนทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่เกิน 4.5 และมีค่าแอคติวิตีของน้ำมากกว่า 0.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อาหารที่มีความเป็นกรด (Acid food) หมายถึง อาหารที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่เกิน 4.5 และมีค่าแอคติวิตีของน้ำมากกว่า 0.85

2.5 การบรรจุอาหารลงภาชนะ

การบรรจุอาหารลงภาชนะทำได้ 2 วิธีคือ การบรรจุอาหารร้อน และการบรรจุอาหารเย็น

2.5.1 การบรรจุอาหารร้อน อาหารบางชนิดจะต้องทำให้สุกแล้วจึงบรรจุลงในภาชนะ บรรจุแล้วนำไปฆ่าเชื้อโดยความร้อน เมื่อตั้งต้นใช้ความร้อนฆ่าเชื้อ อาหารมีอุณหภูมิสูงอยู่แล้วจึงสามารถทำให้ อาหารร้อนขึ้นถึงอุณหภูมิที่ต้องการอย่างรวดเร็ว นอกจากนั้นการบรรจุขณะอาหารร้อนก็เป็นการไล่อากาศ ออกจากภาชนะไปด้วย

2.5.2 การบรรจุอาหารเย็น เป็นวิธีการที่นิยมมากกว่าแม้ว่าจะต้องใช้เวลาให้ความร้อนนานกว่า แต่ก็สะดวกว่าทำด้วยมือได้โดยไม่ต้องอาศัยเครื่องจักร

การบรรจุอาหารไม่ควรบรรจุอาหารมากเกินไปเพราะเมื่อได้รับความร้อนอาหารจะขยายตัว จะต้องเว้นที่ว่างไว้สำหรับอาหารขยายตัวประมาณ 3/16 - 1 นิ้ว แต่ถ้าเว้นที่ว่างมากเกินไป จะต้องเสียเวลาไล่อากาศออก

การผลิตอาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทเป็นวิธีการถนอมอาหารอย่างหนึ่ง ซึ่งมีขั้นตอนในการผลิตดังนี้

<u>การเตรียมอาหาร</u>

อาหารแต่ละอย่างมีกรรมวิธีพิเศษแตกต่างกัน แต่พอจะรวมความได้ว่าต้องมีการปฏิบัติดังนี้ แยกอาหารดีออกมา ตัดส่วนที่ไม่ต้องการทิ้ง แบ่งเกรด แยกขนาด ล้าง ปอกเปลือกหั่นให้ได้ขนาดที่ต้องการ และทำการลวกด้วยความร้อน (Blanching) ในการลวกด้วยความร้อนนี้ นิยมใช้กับอาหารพวกผักและผลไม้ ทำได้โดยลวกด้วยน้ำร้อนหรือใช้ไอน้ำ ซึ่งมีอุณหภูมิระหว่าง 82-93 องศาเซลเซียส ประมาณ 3-5 นาที เพื่อทำให้อ่อนนุ่มบรรจุลงภาชนะได้ง่าย ลดจำนวนจุลินทรีย์ หยุดการทำงานของเอนไซม์ ลดปริมาณแก๊สที่มีในอาหารเนื่องจากกระบวนการหายใจและช่วยรักษาสีของอาหารตามธรรมชาติ

<u>การบรรจุลงกระป๋อง</u>

กระทำด้วยมือและเครื่องจักร จำนวนอาหารที่บรรจุลงในแต่ละกระป๋องจะต้องมีปริมาณหรือน้ำหนักเท่ากันและมีลักษณะเหมือนกัน ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณอาหารที่มีในกระป๋องมีผลต่อการไล่อากาศตรงบริเวณช่องว่าง ซึ่งเหลืออยู่เล็กน้อยเหนืออาหารบรรจุกระป๋องที่เรียกว่า Headspace และมีผลต่อการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ด้วยความร้อน ในกรณีที่ทำการบรรจุอาหารให้แน่นก็ต้องให้มี Headspace เหลือไว้ หรือถ้ามีการเติมเครื่องปรุง (Ingredients) ก็ต้องเติมโดยระมัดระวัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไล่อากาศ

การไล่อากาศจะช่วยทำให้ภายในกระป๋องเป็นสุญญากาศ ทำได้โดยการแช่น้ำร้อน การไล่อากาศด้วยไอน้ำร้อน การใช้เครื่องดูดอากาศออก ซึ่งมักใช้เครื่องที่เรียกว่า Vacuum-closing machine การไล่อากาศเป็นการควบคุมปริมาณอากาศภายในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งจะช่วยชะลอปฏิกิริยาที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์เคมีจำพวกน้ำตาล แป้ง โปรตีน ไขมัน เม็ดสี วิตามิน เกลือแร่ และก๊าซ ออกซิเจนที่เกิดขึ้นกับอาหารภายในบรรจุภัณฑ์ ป้องกันไม่ให้ลักษณะปรากฏและคุณภาพอาหารเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม นอกจากนี้ยังเป็นการควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดที่ต้องการอากาศซึ่งเป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย

การปิดฝากระป๋อง

การปิดฝากระป๋องใช้เครื่องจักรทำให้ตัวกระป๋อง (Can body)และฝา(Lids) เม้มเข้าหากันในลักษณะตะเข็บคู่ (Double seam) เพื่อทำให้บรรจุภัณฑ์อยู่ในสภาวะที่ปิดสนิทรักษาสภาพของผลิตภัณฑ์ภายในไว้ ป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์ปนเปื้อนจากภายนอกเข้ามาทำให้อาหารเสื่อมเสีย หรือทำให้อาหารเป็นพิษ

การฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ด้วยความร้อน

อาหารกระป๋องที่ปิดฝาเสร็จแล้วต้องทำการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ไม่ควรห่างกันมากกว่า ½-1 ชั่วโมง การฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ด้วยความร้อนกระทำได้โดยใช้หม้อฆ่าเชื้อที่เรียกว่า Retort หรือ Pressure Cooker และต้องพยายามรักษาคุณภาพของอาหารไว้ให้ได้มากที่สุด

การทำให้เย็น

หลังจากฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ด้วยความร้อนแล้ว ควรทำให้อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทเย็นทันที ทั้งนี้เนื่องจากถ้าทำให้เย็นช้าจะเปิดโอกาสให้เทอร์โมฟิลิคแบคทีเรียเจริญเติบโตได้การทำให้เย็นมีหลายวิธีด้วยกัน คือ

- ใช้น้ำสะอาดล้างให้เย็นหรือใช้เครื่องฉีดน้ำ (Spray)
- เรียงอาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทในที่ซึ่งมีการถ่ายเทอากาศดี แล้วปล่อยให้ลมทำให้เย็นลง ในกรณีนี้อาจใช้พัดลมช่วยด้วย
- หล่อเย็นโดยแช่ผลิตภัณฑ์ในน้ำที่เติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อก่อน ซึ่งป้องกันการปนเปื้อนจุลินทรีย์จากน้ำหล่อเย็นกลับสู่ผลิตภัณฑ์ และน้ำหล่อเย็นหลังการหล่อเย็นต้องมีคลอรีนหลงเหลือ 0.5-2.0 ppm

การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

สถานที่เก็บรักษาควรมีขนาดใหญ่เพียงพอ มีอากาศถ่ายเทสะดวกมีแสงสว่าง และไม่ห่างจากโรงงานผลิตอาหารกระป๋องมากนัก ถ้าสถานที่เก็บรักษาอยู่ใกล้ทะเลต้องระวังไอระเหยของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเค็มจากทะเลทำให้กระป๋องเกิดสนิม ดังนั้นจึงควรมีระบบทำให้อากาศแห้งและถ่ายเทขจัดความชื้น ไม่ให้มีไอน้ำในที่เก็บ

อาหารกระป๋องที่นำมาเก็บไม่ควรเรียงตั้งบนพื้นซีเมนต์โดยตรง ควรเอาไม้แผ่นปูเสียก่อน ไม้ควรเป็นขนาดหน้า 1 นิ้วขึ้นไป อาหารกระป๋องแต่ละชนิดควรจัดไว้เป็นพวกๆเรียงให้มีช่องว่างเพื่อให้อากาศถ่ายเทได้สะดวก

<u>การฆ่าเชื้อด้วยความร้อน</u>

การฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดขั้นตอนหนึ่งของกระบวนการทำอาหารกระป๋อง ในกรณีที่ต้องการเพียง Pasteurized ผลิตภัณฑ์ก็ใช้หม้อต้มธรรมดาได้ แต่หากต้องการ Sterilized ผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องที่ปิดผนึกแล้วจะส่งเข้ารีทอร์ท (retort) ซึ่งในระบบอุตสาหกรรมจะมี boiler เป็นแหล่งกำเนิดไอน้ำที่ให้พลังงานความร้อน

การให้ความร้อนแก่อาหารกระป๋องนี้ จำเป็นต้องคำนึงถึงอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ โดยพิจารณาอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในรีทอร์ท และอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนแทรกซึมเข้าไปถึงจุด Cold point ของผลิตภัณฑ์ จะเห็นได้ว่า ณ จุดที่มีการให้ความร้อนสมบูรณ์ตามที่กำหนด อุณหภูมิของ retort จะเท่ากับอุณหภูมิที่จุด Cold point ระหว่างที่อาหารกระป๋องอยู่ใน retort นี้จะต้องมีการควบคุมการดำเนินการใช้รีทอร์ท ซึ่งประกอบด้วย

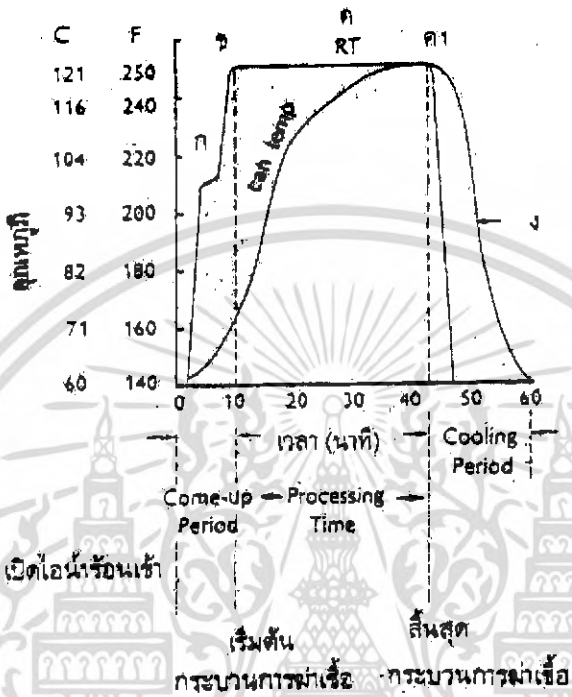
1. **การไล่อากาศ** (Venting) เป็นขั้นตอนเริ่มแรกของการใช้รีทอร์ทจัดว่าเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมากเพราะช่วยให้อุณหภูมิทุกตำแหน่งภายในรีทอร์ทเท่ากัน ซึ่งจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ทุกกระป๋องที่อยู่ตามตำแหน่งต่าง ๆ ของรีทอร์ทสามารถได้รับความร้อนระดับเท่ากัน ความจำเป็นในการไล่อากาศออกจากรีทอร์ทเกิดจากการที่ส่วนผสมของอากาศและไอน้ำมีสมบัติเป็นฉนวนความร้อน ทำให้ประสิทธิภาพของการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ลดลง

การไล่อากาศทำได้โดยใช้ไอน้ำร้อนจากเครื่องกำเนิดไอน้ำร้อนไล่อากาศ ในขณะที่เริ่มเปิดไอน้ำเข้ารีทอร์ท จะต้องเปิดวาล์วไล่อากาศที่ควบคุมท่ออากาศทั้งหมด รวมทั้งวาล์วท่อระบายน้ำและช่องระบายไอน้ำทั้งหมดเพื่อช่วยในการไล่อากาศ ตัวอย่างของอุณหภูมิและเวลาในการไล่อากาศ ดังแสดงในตำแหน่ง n ดังรูปที่ 2.1

ภายหลังจากที่ทำการไล่อากาศออกจากรีทอร์ทแล้วตามกำหนดการและเวลาที่สมบูรณ์แล้ว จึงทำการหรี่วาล์วไล่อากาศจนปิดสนิท ไอน้ำที่ใส่เข้าไปจะทำให้อุณหภูมิของรีทอร์ทถึงอุณหภูมิที่กำหนด สามารถตรวจสอบได้จากอุณหภูมิที่แผ่นบันทึกอุณหภูมิ (Temperature chart) และที่เทอร์โมมิเตอร์แบบปรอทที่วัดอุณหภูมิในรีทอร์ทเปรียบเทียบกันตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. **ช่วงเวลาที่อุณหภูมิในเครื่องฆ่าเชื้อถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อที่กำหนด** (come up time) เป็นช่วงเวลาทั้งหมดนับตั้งแต่เริ่มเปิดไอน้ำเข้ารีทอร์ท ผ่านขั้นตอนไล่อากาศจนอุณหภูมิในรีทอร์ทถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อที่กำหนด ดังแสดงในตำแหน่ง รูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะของกราฟของการแทรกซึมความร้อนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์

can temp. คืออุณหภูมิภายในกระป๋องโดยวัดที่จุดที่ร้อนช้าที่สุด ตำแหน่ง ค1 คือจุดที่มีการให้ความร้อนที่สมบูรณ์ตามที่กำหนด โดยที่อุณหภูมิของ cold point จะเท่ากับอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์

3. **เวลาในการฆ่าเชื้อ** (Process time) ในการฆ่าเชื้อจะต้องผ่านการทดสอบจากผู้เชี่ยวชาญซึ่งกำหนดขึ้นใช้เฉพาะสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท เวลาในการฆ่าเชื้อจะต้องนานพอที่จะทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ให้ลดลงอยู่ในระดับการปลอดเชื้อเชิงการค้า (commercially sterile) ได้ ทั้งนี้ระยะเวลาการฆ่าเชื้อจะสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับอุณหภูมิการฆ่าเชื้อ อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหาร ปริมาตรการบรรจุ และขนาดของกระป๋อง

4. **การทำให้เย็น** (Cooling) เมื่อครบกำหนดเวลาในการให้ความร้อนแล้ว จะต้องทำให้อาหารกระป๋องเย็นลงอย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันไม่ให้อาหารได้รับความร้อนนานเกินไป การลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิอย่างรวดเร็วจะช่วยทำลายจุลินทรีย์ที่ทนร้อนและเจริญได้ที่อุณหภูมิสูงเพราะอุณหภูมิเปลี่ยนอย่างฉับพลัน ซึ่งทำได้โดยการใช้น้ำหรือลมเป่าจนกระป๋องมีอุณหภูมิ 40 – 45 $^{\circ}$ C เพื่อทำให้น้ำที่เกาะข้างกระป๋องแห้งจะได้ไม่เกิดสนิม

2.6 หลักการฆ่าเชื้ออาหารกระป๋อง

การถนอมอาหารโดยใช้ความร้อน การเลือกใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ในการแปรรูปโดยการใช้ความร้อนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ต้องการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ การฆ่าเชื้อโดยการใช้ความร้อนหมายถึง การใช้ความร้อนหรือระดับอุณหภูมิสูงในช่วงเวลาสั้น ๆ เพื่อทำลายสารพิษ จุลินทรีย์ เอ็นไซม์ พยาธิ และแมลงต่าง ๆ ในการแปรรูปและถนอมรักษาอาหาร โดยแบ่งวิธีการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์เป็น 2 วิธีคือ

2.6.1 **การใช้ความร้อนระดับพาสเจอไรซ์** (Pasteurization) เป็นกระบวนการให้ความร้อนที่ไม่รุนแรง โดยอุณหภูมิที่ใช้จะต่ำกว่า 100 $^{\circ}$ C เพื่อยืดอายุของผลิตภัณฑ์อาหารให้นานหลายวัน เช่น นม น้ำผลไม้ วิธีนี้สามารถใช้ในการถนอมอาหารได้ โดยการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ และทำลายจุลินทรีย์ที่มีความทนทานต่อความร้อนต่ำ เช่น แบคทีเรียที่ไม่สร้างสปอร์ ยีสต์ และรา และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณค่าของอาหารน้อยที่สุด แบ่งได้ 2 วิธี

- Low temperature long time (LTLT) เป็นวิธีที่ให้ความร้อนต่ำประมาณ 60 $^{\circ}$ C นาน 30 นาที แล้วทำให้เย็นทันที

- High temperature short time (HTST) เป็นวิธีที่ให้ความร้อนสูงประมาณ 72 $^{\circ}$ C นาน 15 วินาที แล้วทำให้เย็นทันที

<u>ข้อควรพิจารณาในการใช้ความร้อนระดับพาสเจอไรซ์</u>

1. องค์ประกอบของอาหาร
2. pH เกลือ น้ำตาล
3. คุณค่าทางโภชนาการ
4. จำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้น
5. จุลินทรีย์ที่รอดชีวิต (ต้องเก็บรักษาที่อุณภูมิต่ำ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเก็บรักษาอาหารที่ผ่านการพาสเจอไรซ์

1. เก็บในตู้เย็น (4 – 10 °C) เช่นนมพาสเจอไรซ์
2. เติมสารบางชนิด เช่นเติมกรดในน้ำผลไม้
3. ควบคุมสภาพปราศจากอากาศ เช่นบรรจุในสุญญากาศ
4. ดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ เช่นนมข้นหวาน
5. เติมวัตถุกันเสีย เช่น โซเดียมเบนโซเอตในน้ำผลไม้

2.6.2 **การใช้ความร้อนระดับสเตอริไลส์** (Sterilization) เป็นการทำให้อาหารปราศจากเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค และทำลายจุลินทรีย์ หรือสปอร์ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเน่าเสีย ซึ่งสามารถที่จะเจริญเติบโตในอาหารได้ที่อุณหภูมิในการเก็บรักษาตามปกติ โดยไม่ต้องแช่เย็น การใช้ระบบการให้ความร้อนแบบต่อเนื่องโดยการใช้อุณหภูมิสูงและเวลาสั้น (high temperature short time, HTST) หรือ ultra high temperature (UHT) เป็นตัวอย่างของวิธีการฆ่าเชื้อซึ่งทำให้อาหารบรรจุกระป๋องมีคุณภาพที่ดีขึ้นกว่าวิธีการดั้งเดิม ในกระบวนการนี้อาหารจะถูกทำให้ร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วถึง 140 องศาเซลเซียส และคงระยะเวลาไว้เล็กน้อย ก่อนที่จะนำไปบรรจุแบบปลอดเชื้อ (Aseptic packaging) ในส่วนของกระบวนการ UHT นั้นต้องใช้อัตราการทำความร้อนที่รวดเร็ว เพื่อลดเวลาในการใช้อุณหภูมิสูงและทำให้คุณภาพอาหารสูญเสียน้อยที่สุด วิธีการนี้จะทำให้ดีที่สุดเมื่อดำเนินการในระบบต่อเนื่อง (continuous)

การใช้ความร้อนในการสเตอริไลส์อาหาร

กระบวนการสเตอริไลส์ในเชิงการค้า (commercial sterilization) เป็นการใช้ความร้อนเพื่อลดจำนวนของจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียตลอดอายุการเก็บรักษา ผลที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ความร้อนในการแปรรูปหรือถนอมอาหารได้แก่การลดปริมาณจุลินทรีย์และผลจากการที่อาหารมีคุณภาพด้อยลงทั้งทางด้านคุณค่าทางโภชนาการรสชาติและเนื้อสัมผัส กระบวนการให้ความร้อนแบบดั้งเดิมได้แก่ การผลิตอาหารบรรจุกระป๋องซึ่งอาหารจะถูกบรรจุในภาชนะปิดสนิทและนำไปสเตอริไลส์ในหม้อนึ่งภายใต้ความดัน (retorts)โดยส่วนใหญ่ใช้ความร้อนจากไอน้ำ ในกรณีที่อาหารนั้นมีความหนืดต่ำ ความร้อนดังกล่าวจะถูกถ่ายทอดเข้าไปภายในกระป๋องโดยการพา (convective) หรือถ้าอาหารมีลักษณะเป็นของแข็งหรือมีความหนืดสูงความร้อนจะถูกถ่ายทอดเข้าไปภายในกระป๋องโดยการนำ (conduction) ซึ่งการให้ความร้อนวิธีนี้จะต้องสเตอริไลส์ทุกส่วนของอาหาร ซึ่งสามารถทำให้อาหารบางส่วนได้รับความร้อนมากเกินไป (overcooking) ซึ่งเป็นผลมาจากการถ่ายเทความร้อนที่ค่อนข้างช้า ในทางปฏิบัติอาหารบรรจุกระป๋องจะมีคุณสมบัติด้านรสชาติและเนื้อสัมผัสแตกต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปจากอาหารที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (ยกเว้นอาหารบางประเภทที่ผ่านการให้ความร้อนแล้วผู้บริโภคยอมรับสูงกว่า เช่น ถั่วบรรจุกระป๋อง (tinned bean) และซุปมะเขือเทศ เป็นต้น

Holdsworth (1993) รายงานว่าในการปรับปรุงคุณภาพของอาหารบรรจุกระป๋องนั้นสามารถกระทำได้หลายวิธี ได้แก่

1.ทำให้เกิดการหมุนเวียนของอาหารบรรจุกระป๋องภายในหม้อนึ่งความดัน เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการพาความร้อนให้สูงขึ้น

2. ลดขนาดของภาชนะบรรจุลงเพื่อลดระยะทางในการที่ความร้อนจะเข้าไปสู่จุดที่ร้อนช้าที่สุด (Cold point)

3. เปลี่ยนแปลงระบบในการให้ความร้อน เพื่อลดการทำให้สุกมากเกินไป (overcooking) ในชั้นอาหารโดยเฉพาะอาหารที่ติดอยู่กับภาชนะบรรจุด้านใน

4. เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการสเตอริไลส์อาหาร มีการศึกษาพบว่าปฏิกิริยาที่ลดปริมาณสปอร์ของแบคทีเรียลงนั้นมีพลังงานกระตุ้น (activation energy) สูงกว่าปฏิกิริยาที่ทำให้อาหารมีคุณภาพด้อยลง เช่น ในการทำลายสปอร์ของ Clostridium botulinum จะมีค่าพลังงานกระตุ้นประมาณ 300 kJ/mol ในขณะที่พลังงานกระตุ้นเพื่อทำให้เอนไซม์สูญเสียกิจกรรมมีค่าประมาณ 120 kJ/mol ซึ่งหมายความว่าในการผลิตอาหารบรรจุกระป๋องที่มีคุณภาพสูงสุดจะต้องใช้อุณหภูมิสูงสุดเท่าที่จะทำได้ ทำให้ดีที่สุดเมื่อดำเนินการในระบบต่อเนื่อง (continuous) กระบวนการนี้ประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่

1. ส่วนที่ให้ความร้อน (heating system) ซึ่งผลิตภัณฑ์ถูกทำให้ร้อนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ

2. ส่วนที่ควบคุมอุณหภูมิ (holding system) มักจะเป็นท่อที่วางในแนวนอนหรือเอียงเล็กน้อย เพื่อที่จะใช้รักษาหรือคงอุณหภูมิให้นานพอในการสเตอริไลส์ผลิตภัณฑ์อาหาร

3. ส่วนที่ทำให้เย็น (cooling system) เพื่อลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ก่อนการบรรจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
หม้อฆ่าเชื้อ (Retort)

3.1 เครื่องฆ่าเชื้อ (Retort)

คืออุปกรณ์ที่สร้างจากโลหะหนาทนความร้อนมักประกอบขึ้นเป็นรูปทรงกระบอกหรือสี่เหลี่ยมมีฝาครอบปิดสนิทมีล็อคแน่นหนา ส่วนใหญ่ห่อหุ้มด้วยฉนวนใช้สำหรับบรรจุและส่งผ่านกระบวนการให้ความร้อนแก่อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทโดยเฉพาะสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (Low acid foods) เพื่อทำลายจุลินทรีย์สามารถแบ่งออกเป็นประเภทในลักษณะต่างๆได้ดังนี้

ก. การแบ่งตามลักษณะการจัดวางตัว (Retort arrangement) ได้แก่ เครื่องฆ่าเชื้อแบบตั้ง (Vertical) และเครื่องฆ่าเชื้อแบบนอน (Horizontal)

ข. การแบ่งตามลักษณะการเคลื่อนที่ของบรรจุภัณฑ์ภายใน (Container movement) ได้แก่เครื่องฆ่าเชื้อแบบอยู่กับที่ (Stationary) และเครื่องฆ่าเชื้อแบบเคลื่อนที่ (Rotary หรือ Agitating) ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกแบบใดแบบหนึ่งหรือให้มีทั้งสองแบบในเครื่องเดียวกันก็ได้

ค. การแบ่งตามลักษณะความต่อเนื่องในการฆ่าเชื้อ (delivery system) ได้แก่ เครื่องฆ่าเชื้อที่มีการทำงานเป็นชุดไม่ต่อเนื่อง (Batch) และเครื่องฆ่าเชื้อที่มีการทำงานต่อเนื่อง (Continuous)

ง. การแบ่งตามลักษณะการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อ (Heating media) เป็นการแบ่งที่ทำให้

เครื่องแต่ละเครื่องมีลักษณะจำเพาะในการออกแบบ และประเมินประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อต่างกันไปซึ่งแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท คือ Steam โดยการใช้ไอน้ำเพียงอย่างเดียว Full water immersion โดยการใช้น้ำร้อนท่วมบรรจุภัณฑ์ตลอดเวลาฆ่าเชื้อในการรักษาความดันภายในเครื่อง อาจใช้ไอน้ำหรือใช้อากาศก็ได้ ส่วนมากนิยมใช้อากาศเพื่อควบคุมความดันภายในเครื่องให้อุณหภูมิน้ำสูงตามต้องการและเพื่อต่อต้านความดันที่เกิดขึ้นภายในบรรจุภัณฑ์ ไม่ให้ดันจนฉีกขาด ลักษณะการให้ความร้อนกับน้ำสามารถทำได้โดยใช้ไอน้ำฉีดผสมกับน้ำโดยตรงหรือใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนปั๊มน้ำผ่านเพื่อให้น้ำมีอุณหภูมิสูงแล้วปั๊มกลับเข้าสู่ถังฆ่าเชื้อตลอดเวลาต่อเนื่องกันไป Cascade หรือ Shower Water เป็นการใช้น้ำร้อนในการฆ่าเชื้อ โดยให้น้ำร้อนออกเป็นสายจากส่วนบนผ่านบรรจุภัณฑ์ตลอดเวลาเพื่อประหยัดน้ำที่ใช้ แต่ต้องมีการหมุนเวียนน้ำปริมาณมากอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ การให้ความร้อนกับน้ำมักใช้ลักษณะการแลกเปลี่ยนความร้อนและการควบคุมความดันด้วยอากาศ Steam-Air ใช้ไอน้ำในการฆ่าเชื้อในขณะที่มีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัดอากาศเพื่อต่อต้านความดันที่เกิดภายในบรรจุภัณฑ์ที่อุณหภูมิฆ่าเชื้อนั้นๆ ทำให้สามารถใช้ฆ่าเชื้อในอาหารในบรรจุภัณฑ์ได้หลายชนิดมากกว่าเครื่องที่ใช้ไอน้ำเพียงอย่างเดียว การควบคุมอัตราส่วนของไอน้ำต่ออากาศเป็นจุดควบคุมที่สำคัญเพื่อให้ทั้งอุณหภูมิและความดันเป็นไปตามกำหนดการฆ่าเชื้อ ลักษณะที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ การที่ต้องออกแบบให้มีพัดลมหรือกลไกที่ทำให้ไอน้ำและอากาศนั้นผสมกันอย่างสม่ำเสมอและกระจายตัวอย่างทั่วถึง เพื่อให้กระบวนการฆ่าเชื้อได้ประสิทธิภาพ แบ่งตามประเภทตามค่าPHและอุณหภูมิที่ใช้ แบ่งได้ 2 แบบ

- อาหารที่เป็นกรด PH < 4.5 อุณหภูมิที่ใช้ให้ความร้อน T <100 ^{o} C
- อาหารที่เป็นกรด PH > 4.5 อุณหภูมิที่ใช้ให้ความร้อน T >100 ^{o} C

- อาหารที่เป็นกรด PH < 4.5 อุณหภูมิที่ใช้ให้ความร้อน T <100 ^{o} C

อาหารที่เป็นกรดหรือกรดสูง จะใช้กระบวนการพาสเจอไรซ์เป็นการฆ่าเชื้อระบบช้าหรือ Low temperature long time (LTLT) เป็นระบบที่ให้ความร้อนต่ำกว่าจุดเดือด สามารถทำได้ง่ายในครัวเรือน

<u>เครื่องพาสเจอไรซ์แบบหม้อต้ม</u>

นำอาหารที่จะพาสเจอไรซ์ใส่ภาชนะแล้วให้ความร้อนหรือนำอาหารบรรจุขวดก่อนแล้วนำไปตั้งในน้ำร้อน

<u>เครื่องพาสเจอไรซ์แบบอุโมงค์</u>

เป็นระบบสายพานแบบต่อเนื่อง มีการพ่นละอองน้ำซึ่งละเอียดมากเพื่อให้ความร้อนแก่อาหารในบรรจุภัณฑ์จนถึงอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการพาสเจอไรซ์อย่างสมบูรณ์ การทำให้เย็นจะมีละอองน้ำฉีดออกมาเช่นกัน ข้อดีของการพาสเจอไรซ์แบบอุโมงค์คือการให้ความร้อนได้เร็วและใช้เวลาสั้นกว่าเครื่องขนาดเล็ก อุณหภูมิในเครื่องจะค่อยๆเพิ่มขึ้นโดยการลดอากาศ ทำให้เย็นโดยการฉีดละอองน้ำหรือแช่ผลิตภัณฑ์ลงในอ่างน้ำเย็น

- อาหารกรด PH > 4.5 อุณหภูมิที่ใช้ให้ความร้อน T > 100 ^{o} C

หม้อฆ่าเชื้ออาหารกระป๋องประเภทกรดต่ำนั้น แบ่งออกเป็น 2 แบบ

- หม้อฆ่าเชื้อแบบกะ (Batch sterilizers)
- หม้อฆ่าเชื้อแบบต่อเนื่อง (Continuous sterilizers)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 หลักการถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) จัดเป็นหน่วยปฏิบัติการหน่วยหนึ่งที่สำคัญในกระบวนการแปรรูปอาหาร ทั้งนี้กระบวนการแปรรูปอาหารส่วนใหญ่จำเป็นต้องอาศัยการถ่ายเทความร้อน ทั้งในแง่ของการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ เพื่อผลในการฆ่าเชื้อซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยต่อการนำไปบริโภค และในแง่ของการนำความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ เช่นที่เกิดขึ้นในกระบวนการแช่เย็นและแช่แข็ง เป็นต้น อย่างไรก็ตามในที่นี้จะเน้นเฉพาะการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์เท่านั้น

การถ่ายเทความร้อน จะเกิดขึ้นเมื่อส่วนของระบบ 2 ส่วนมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน จากนั้นความร้อนจะถ่ายเทจากที่ที่มีอุณหภูมิสูงไปยังที่ที่มีอุณหภูมิต่ำ การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นได้ 3 วิธี ดังนี้

1. **การนำความร้อน** (conduction) กลไกของการนำความร้อน เกิดจากการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากโมเลกุลที่มีอุณหภูมิสูงไปยังโมเลกุลที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

2. **การพาความร้อน** (convection) การถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยการพาความร้อนเกิดขึ้นระหว่างผิวของแข็งและของไหลในบริเวณใกล้เคียงกันที่มีอุณหภูมิต่างกัน ทั้งนี้ของไหลที่กล่าวถึง ได้แก่ ก๊าซ หรือ ของเหลว เป็นต้น ของไหลนี้เปรียบเสมือนตัวพาความร้อน การพาความร้อน เกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ

- การพาความร้อนแบบบังคับ (forced convection) เกิดขึ้นในกรณีที่ของไหลพาความร้อนผ่านผิวของแข็งด้วยแรงภายนอก เช่น พัดลม เป็นต้น

- การพาความร้อนแบบอิสระ (free convection) เกิดขึ้นในกรณีที่ของไหลพาความร้อนไหลผ่านผิวของของแข็งด้วยแรงลอยตัวที่เกิดขึ้น จากความแตกต่างของความหนาแน่นในของไหลเพราะมีอุณหภูมิต่างกัน

3. **การแผ่รังสี** (radiation) กลไกการถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสี มีความแตกต่างจากการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำและการพาความร้อน เนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนไม่ต้องอาศัยตัวกลาง โดยถ่ายเทความร้อนในรูปของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า การแผ่รังสีที่เกิดในช่วงความยาวช่วงคลื่น 0.1-100 ไมโครเมตรนี้ จัดเป็นรังสีความร้อน (thermal radiation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

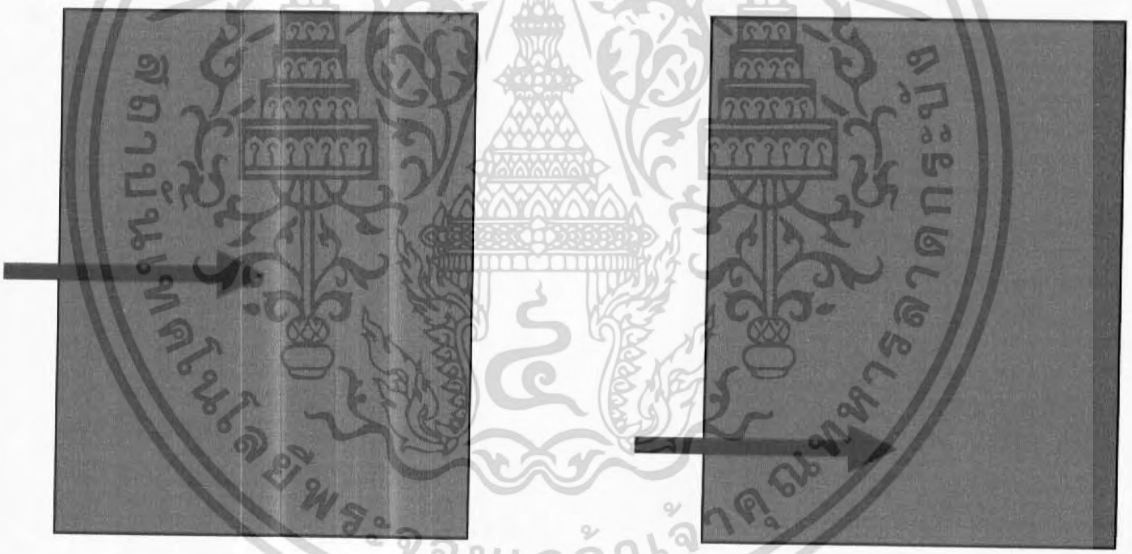
การถ่ายเทความร้อน

- สภาวะคงที่ steady state
  - อุณหภูมิของวัตถุที่ถ่ายเทความร้อนคงที่
  - เช่นอากาศถ่ายเทความร้อนสู่ห้องเย็น

- สภาวะไม่คงที่ unsteady state
  - พบในการแปรรูปอาหาร

อัตราการแทรกผ่านความร้อน (Heat penetration)

- ตำแหน่งที่อุณหภูมิขึ้นช้าที่สุด cold point
- ขึ้นกับชนิดอาหาร
- วิธีการถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 3.1 แสดงตำแหน่ง Cold point

72005
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบการกระจายความร้อนแบบ ต่างๆในกระป๋อง

	นำความร้อน (Pure conduction heating)	พาความร้อน (Pure convection heating)
การเคลื่อนที่ของความร้อนและอาหาร	อาหารที่ไม่มีการเคลื่อนที่หรือมีการเคลื่อนที่น้อยมากระหว่างการให้ความร้อนโดยความร้อนเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลของอาหาร	อาหารมีการเคลื่อนที่โดยผลต่างของอุณหภูมิ (natural convection) หรือการบังคับให้เคลื่อนที่ด้วยการหมุน (force convection)
จุดร้อนช้าที่สุด	มักอยู่ที่จุดกึ่งกลางของกระป๋องถ้ากระป๋องมีลักษณะสมดุล เช่น ทรงกระบอก ,สี่เหลี่ยม ,วงรี	
อัตรา	ช้ากว่าขึ้นกับค่า $\alpha = \frac{K}{\rho Cp}$	เร็วกว่าขึ้นกับความหนืด
อุณหภูมิฆ่าเชื้อที่เหมาะสม	มีอุณหภูมิที่เหมาะสมหนึ่งขึ้นกับค่า D และ Z ของคุณภาพอาหารที่ต้องการรักษาและคุณสมบัติทางความร้อนของอาหาร	อุณหภูมิสูง เวลาสั้น(HTST) ทำให้อาหารคงคุณภาพได้ดี
ตัวอย่างอาหาร	อาหารที่บรรจุแน่น เช่น ปลาทูน่า, ตับบด,อาหารสุนัข	น้ำผลไม้,นม,ซุป

3.2.3 ปัจจัยที่ผลต่อการแทรกผ่านความร้อนในอาหารเข้าไปจุด Cold point

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยที่ผลต่อการแทรกผ่านความร้อนจากหม้อฆ่าเชื้อจะแทรกผ่านเข้าไปในจุดร้อนช้าที่สุดของกระป๋อง ได้ช้าเร็วเพียงใดขึ้น อยู่กับ

<u>คุณสมบัติทางความร้อนของอาหาร</u>

คุณสมบัติที่สำคัญที่มีผลต่ออัตราเร็วของการแทรกผ่านความร้อนในอาหรคือค่าการแพร่กระจายความร้อน(Thermal diffusivity, m^2/s) ใช้อักษรย่อว่า α (อัลฟ่า) ได้มาจากความสัมพันธ์ดังนี้

$$\alpha = \frac{K}{\rho Cp}$$

α = การนำความร้อน (W/ m^2°C)

ρ = ความหนาแน่น (J/Kg °C)

C_p = ความร้อนจำเพาะ (Kg/m^3)

อาหารที่มีค่า α มากจะมีการแทรกผ่านความร้อนเข้าไปยังจุดร้อนช้าที่สุดได้อย่างรวดเร็ว ค่า α เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของอาหารแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมีของอาหาร ปริมาณน้ำ และอาจจะมีค่าแตกต่างกันตามชนิดและสายพันธ์ของอาหาร ค่า α จะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 3.2 ค่าการแพร่กระจายความร้อนของวัสดุชนิดต่างๆ

	$\alpha = (\times 10^{-7} m^2/s)$
มะเขือ	1.48
เนื้อวัว	1.32
มันฝรั่งสด	1.70
มันฝรั่งต้มบด	1.23
น้ำ	1.48
น้ำแข็ง	11.82
เหล็ก	203
อลูมิเนียม	841

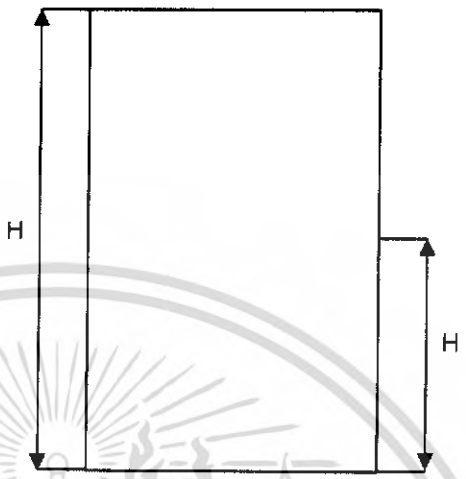
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า α โดยเฉลี่ยของอาหารกระป๋อง (Apparent thermal diffusivity) อาจหาได้จากการศึกษาการแทรกผ่านความร้อนในกระป๋องเมื่อทราบค่า fh โดยค่า α ของอาหารบรรจุกระป๋องรูปทรงกระบอกจะคำนวณได้ จากสมการดังนี้

$$\alpha = 0.3982$$

โดยที่ R = รัศมีของกระป๋อง

H = ครึ่งหนึ่งของความสูงกระป๋อง



ค่า fh เป็นค่าที่บอกว่าอุณหภูมิที่จุดร้อนช้าที่สุดเพิ่มขึ้นเร็วสุดแค่ไหน จะเห็นได้ว่า fh เป็นส่วนกลับของ slope ยิ่ง fh (หน่วยเป็นนาที) มีค่ามากขึ้นก็ต้องใช้เวลาในการทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงขึ้นมากด้วย

ค่า α ที่ได้ จะเป็นคุณสมบัติโดยรวมของเนื้ออาหารประเภทที่บรรจุอยู่กับขนาดกระป๋อง จากสมการความสัมพันธ์ $\alpha = \frac{K}{\rho Cp}$ เราพบว่า ค่า α ของอาหารกระป๋องแปรผันกับค่าความหนาแน่น ρ คือ สัดส่วนของน้ำหนักต่อปริมาตร ดังนั้น ปริมาณน้ำบรรจุ , สัดส่วนของของแข็งของเหลว , ขนาดชิ้นอาหารที่มีผลทำให้ความหนาแน่นของอาหารมากขึ้นมีผลทำให้การแทรกผ่านความร้อนช้าลง

1. **ปริมาณความร้อนของการถ่ายเทความร้อนจากหม้อฆ่าเชื้อผ่านกระป๋องเข้าสู่ผิวอาหาร**

เป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการพาที่มีสมการ

$$Q = UA (T_{out} - T_{wall})$$

Q = ปริมาณความร้อน (W)

A = พื้นที่แรกเปลี่ยนความร้อน (m^2)

T_{ou}= อุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อรอบนอก (°C)

T_{wall} = อุณหภูมิอาหารที่ติดกับกระป๋อง (°C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า U เป็นปัจจัยที่สำคัญมากที่ จะชี้ความร้อนจากหม้อเชื้อ จะสามารถถ่ายเทผลักดันเข้าสู่อาหารภายในกระป๋องได้ช้าเร็วเพียงใด ค่า U ขึ้นกับ

1.1 ตัวกลางถ่ายเทความร้อนที่ใช้ เช่น ไอน้ำอิ่มตัว , น้ำภายใต้ความดัน , ไอน้ำผสม

ตารางที่ 3.3 ตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน

ตัวกลางชนิดต่างๆ	h(W/m^{2}°C)
ไอน้ำบริสุทธิ์กลั่นตัว	>20,000
น้ำร้อนเคลื่อนที่	2,000 – 10,000
อากาศนิ่ง	2.8 - 23
อากาศเคลื่อนที่	11.3 - 55
Steam	
Steam - air	
Water - air	
Water - spray	

ไอน้ำริสุทธ์กลั่นตัวที่ใช้ในหม้อฆ่าเชื้อแบบไอน้ำมีค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดไอน้ำที่มีอากาศผสมทำให้การถ่ายเทความร้อนลดลงดังนั้นในขั้นตอนไล่อากาศต้องมั่นใจว่าอากาศหมดจากหม้อฆ่าเชื้อจริงๆถ้าไล่ไม่หมดและมีอากาศถูกกักอยู่บริเวณใดในหม้อฆ่าเชื้อ จะทำให้กระป๋องบริเวณดังกล่าวได้รับความร้อน เพื่อฆ่าเชื้อไม่เพียงพอ

2.2 ชนิดของภาชนะบรรจุ ภาชนะบรรจุที่ทำจากวัสดุที่นำความร้อนได้ดี มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูง (K) เช่น อลูมิเนียม จะช่วยให้ความร้อนจากภายนอกผ่านเข้าสู่อาหารอย่างรวดเร็วสำหรับภาชนะที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ เช่น แก้ว พลาสติก จะทำให้ความร้อนผ่านช้าลง ยิ่งมีความหนามากยิ่งทำให้ช้ายิ่งขึ้น

ตารางที่ 3.4 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุต่างๆ

วัสดุชนิดต่างๆ	K(W/m°C)
อลูมิเนียม	204
เหล็ก	73
แก้ว	0.78
พลาสติก	0.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

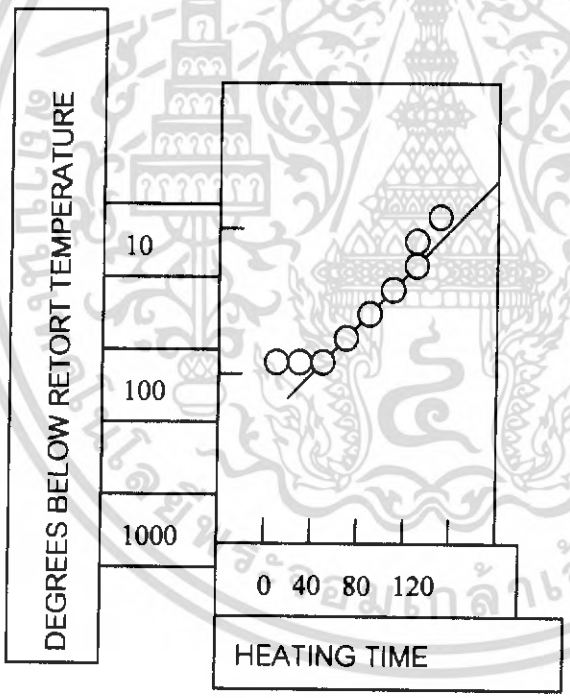
- พื้นที่ผิวของภาชนะบรรจุสำหรับถ่ายเทความร้อนเมื่อเปรียบเทียบภาชนะบรรจุที่มีขนาดบรรจุเดียวกัน ภาชนะที่มีพื้นที่ผิวมากกว่าจะถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าเร็วกว่า

- ภาชนะรูปทรงแบนบาง เช่นกระป๋องทรงเตี้ย, ทรงรี, ทรงสี่เหลี่ยม, retort pouch มีพื้นที่ถ่ายเทความร้อนมากเมื่อเทียบกับต่อหน่วยปริมาตรช่วยให้ปริมาณความร้อนถ่ายเทเข้าสู่ภายในได้มาก

- รูปแบบการจัดเรียงการมองภาชนะในหม้อฆ่าเชื้อมีผลกับพื้นที่ผิวการเรียงตัวซ้อนติดกันทำให้กระป๋องเสียพื้นที่ในการถ่ายเทบริเวณกันและฝากระป๋อง

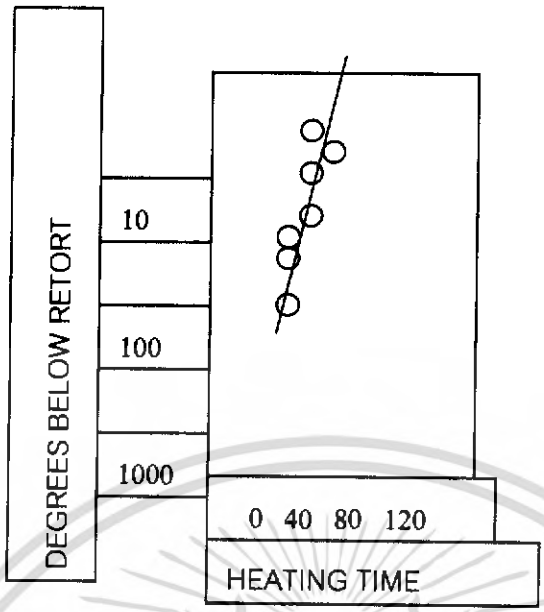
กราฟรูปที่ 3.2

เป็นเส้นกราฟการแทรกผ่านความร้อนของอาหารกระป๋องโดยวัดที่จุดร้อนช้าที่สุดในอาหารต่างชนิดในขนาดการบรรจุต่างกัน แต่ใช้อุณหภูมิของรีทอร์ทเท่ากัน



รูปที่ 3.2 เส้นกราฟแสดงการแทรกผ่านความร้อน ของ Peas puree ในกระป๋องขนาด 603X700 อุณหภูมิรีทอร์ทเท่ากับ252°F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 เส้นกราฟแสดงการแทรกผ่านความร้อนของเม็ดถั่วลันเตาในน้ำเกลือ ในกระป๋องขนาด 307×409 อุณหภูมิรีทอร์ทเท่ากับ 252°F

ตารางที่ 3.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการแทรกผ่านความร้อนเข้าสู่ Cold point

ปัจจัยภายใน(ตัวอาหารเอง)	**ปัจจัยภายนอก**
1. ประเภทอาหาร - ของเหลว, ของแข็ง, ของผสม 2. ชนิด, พันธ์, ฤดูกาล 3. น้ำหนักบรรจุ 4. ขนาด และ รูปร่างของชิ้น การเรียงตัวของชิ้นในกระป๋อง 5. ความเข้มข้น ความหนืด สัดส่วนของของแข็งของเหลวในกระป๋อง 6. Head space 7. วิธีการเตรียมวัตถุดิบก่อนบรรจุกระป๋อง 8. อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหาร	1. ภาชนะบรรจุ - ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุ - รูปร่าง, ขนาด, พื้นที่ผิว 2. รูปแบบ และการเคลื่อนที่ ของตัวกลาง - ไอน้ำบริสุทธิ์ กลั่นตัว - ไอน้ำ ผสมอากาศ - น้ำร้อนนิ่ง หรือ ที่มีการเคลื่อนที่ของอากาศ 3. อุณหภูมิตัวกลาง 4. การจัดเรียงภาชนะบรรจุภายในหม้อฆ่าเชื้อและตำแหน่ง 5. การเคลื่อนที่ของกระป๋อง - Still retort - Agitated retort 6. ตะกร้า, ถาด, Divider ที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

4.1 วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

4.1.1 วัตถุดิบ

- น้ำเปล่า
- ซอสมะเขือเทศ

4.1.2 อุปกรณ์

- เครื่องเขย่า
- เทอร์โมคัปเปิล
- Water bath
- เทอร์โมมิเตอร์
- เครื่อง Data logger รุ่น CTF 5008
- นาฬิกาจับเวลา
- เตาแก๊ส
- หม้อต้ม
- กระป๋องขนาด 84 x 52 มม. , 51 x 133 มม. และ 84 x 116 มม.

4.2 ขั้นตอนการทดลอง

ในการศึกษาผลของการเขย่าที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องฆ่าเชื้อแบบพาสเจอไรซ์ ผู้ศึกษาจะทำการทดลองขนาดของกระป๋องที่ความถี่ในการเขย่า และแอมปิจูดที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องฆ่าเชื้อแบบพาสเจอไรซ์ที่แตกต่างกัน เพื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับการฆ่าเชื้อ ทำให้ใช้เวลาในการฆ่าเชื้อลดลง สามารถรักษาคุณภาพของอาหารไว้ได้

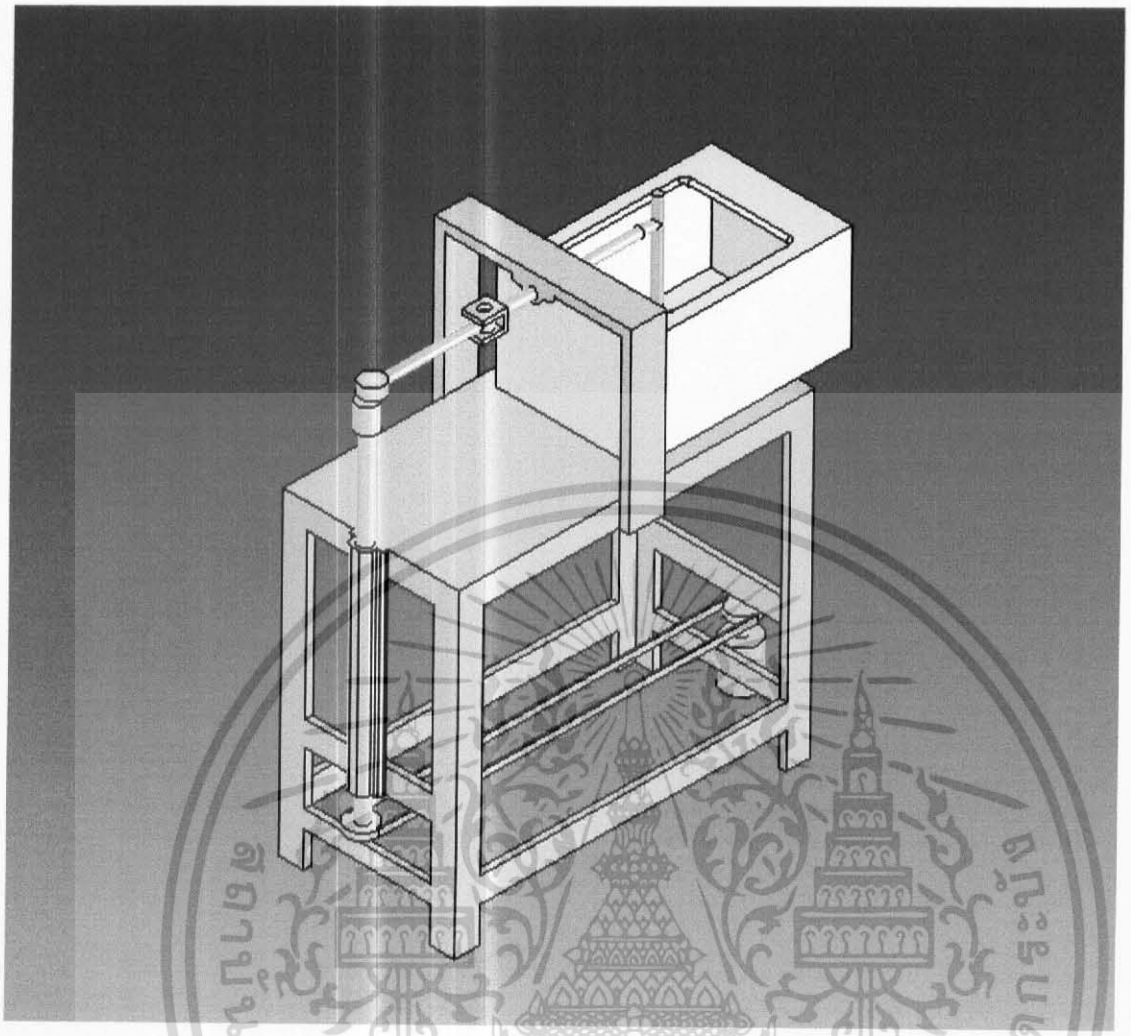
4.2.1 ทำทดลองกับน้ำเปล่าบรรจุกระป๋อง

- นำกระป๋องขนาด84x52 มม.มาเจาะรูแล้วเสียบเทอร์โมคัปเปิลที่ตำแหน่งวัดจากฐานกระป๋องขึ้นมา 1/3 ส่วน
- ใส่น้ำเปล่าเข้าไปในกระป๋องโดยเว้นช่องว่างเหนืออาหาร (headspace) อยู่ในช่วง 1/4 - 3/8 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

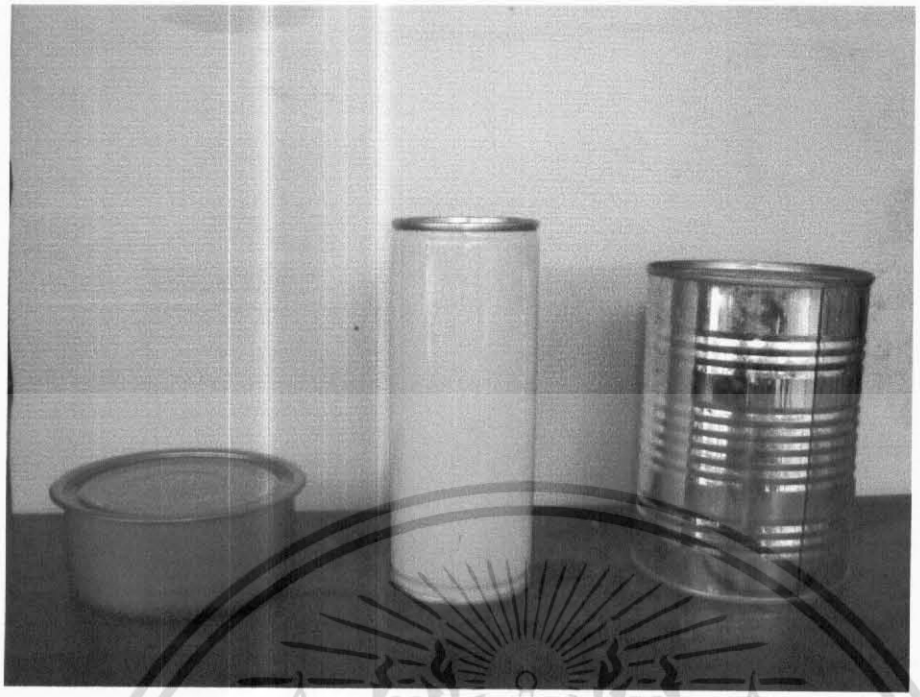
- จากนั้นนำกระป๋องไปปิดฝาด้วยเครื่องปิดฝา
- ตั้งค่า Water Bath ให้คงอุณหภูมิไว้ที่ 80 องศาเซลเซียส
- เสียบสายวัดอุณหภูมิจากกระป๋องต่อเข้ากับเครื่องData logger
- ต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับเครื่องช่วยเขย่าตั้งความเร็วให้ได้ความถี่ในการเขย่า 60 ครั้ง/นาที
- ใส่กระป๋องลงไปในเครื่องช่วยเขย่าเปิดเครื่องทำการเขย่าพร้อมกับวัดค่าอุณหภูมิต่อนาที
- รอจนได้อุณหภูมิพาสเจอไรซ์แล้วหยุดเครื่อง
- เก็บค่าเพื่อนำมาเขียนกราฟและวิเคราะห์
- ทำการทดลองซ้ำสามครั้ง
- จากนั้นเปลี่ยนความถี่ในการเขย่าแอมปิจูดเท่าเดิม
- แล้วทดสอบเหมือนเดิมพร้อมเก็บค่า
- เมื่อเสร็จแล้วจากนั้นให้ทดลองโดยเปลี่ยนแอมปิจูดเป็น 3 และ 4 cm.ตามลำดับ
- และใช้ความถี่ในการทดลองเป็น60 ครั้งต่อนาที 140 ครั้งต่อนาทีและ 210 ครั้งต่อนาที ตามลำดับ
- เปลี่ยนกระป๋องเป็น 51x133 มม.และ84x116 มม.แล้วทำการทดลองซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

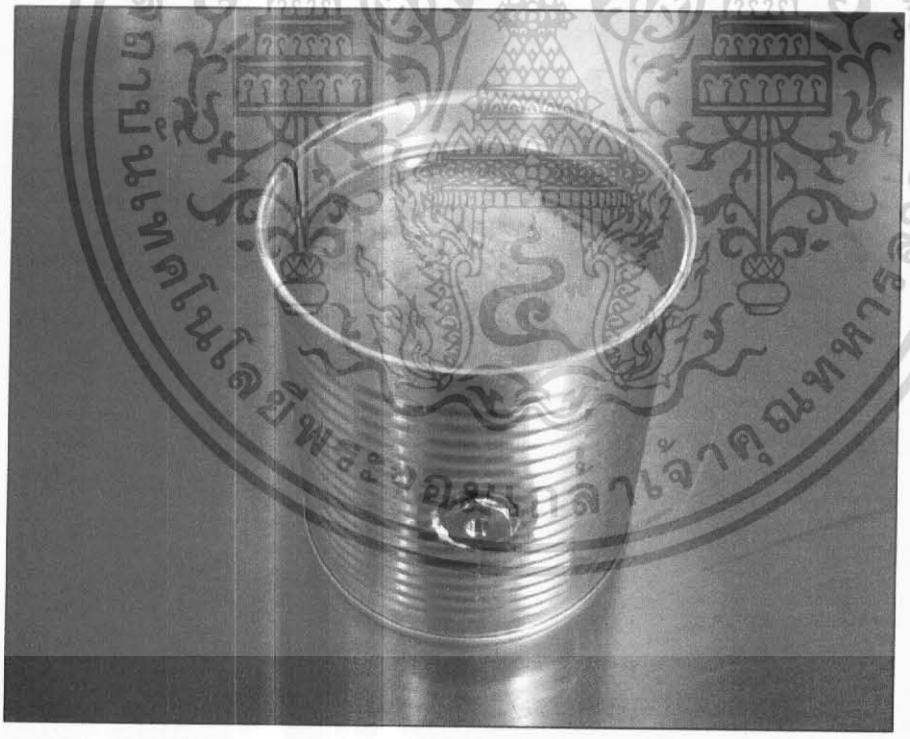


รูปที่ 4.1 เครื่องช่วยในการเขย่าที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

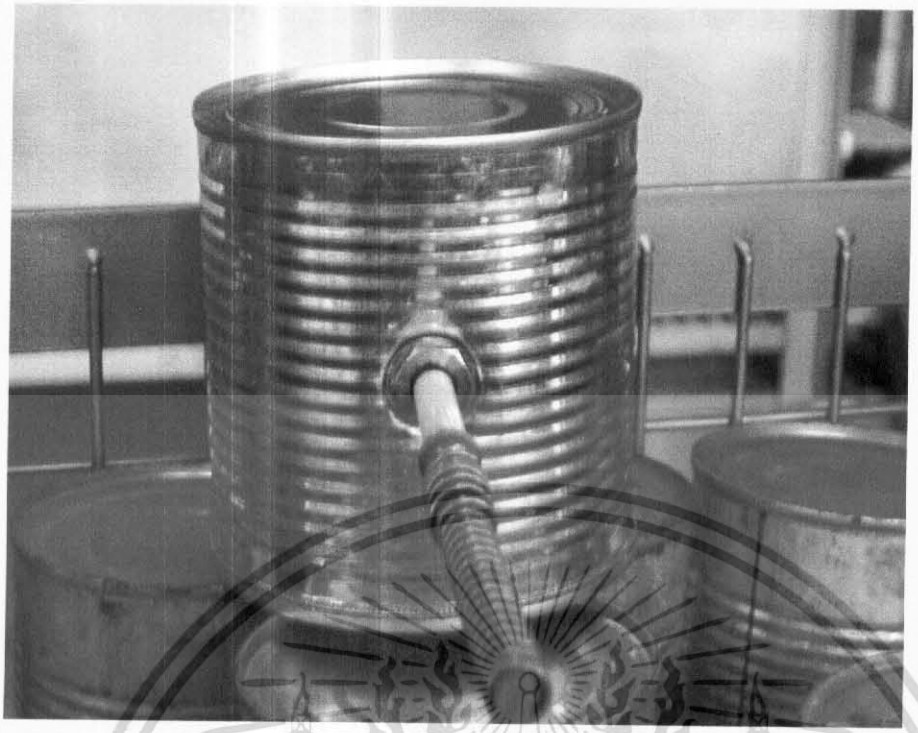


รูปที่ 4.2 นำกระป๋องเปล่ามาเจาะ



รูปที่ 4.3 เสียบเทอร์โมคับเปิล

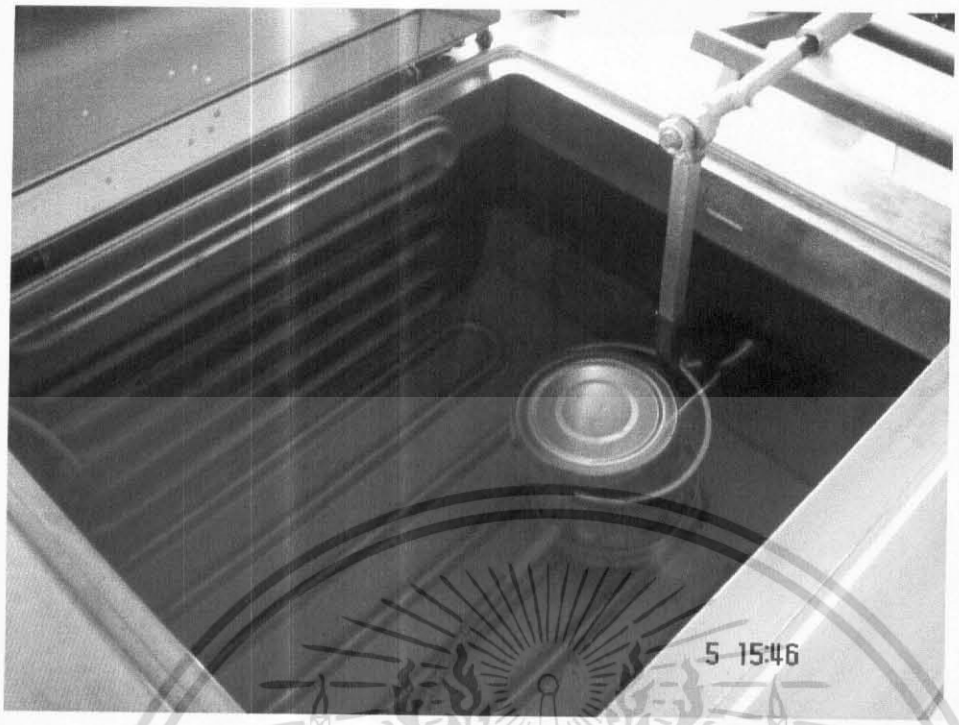
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



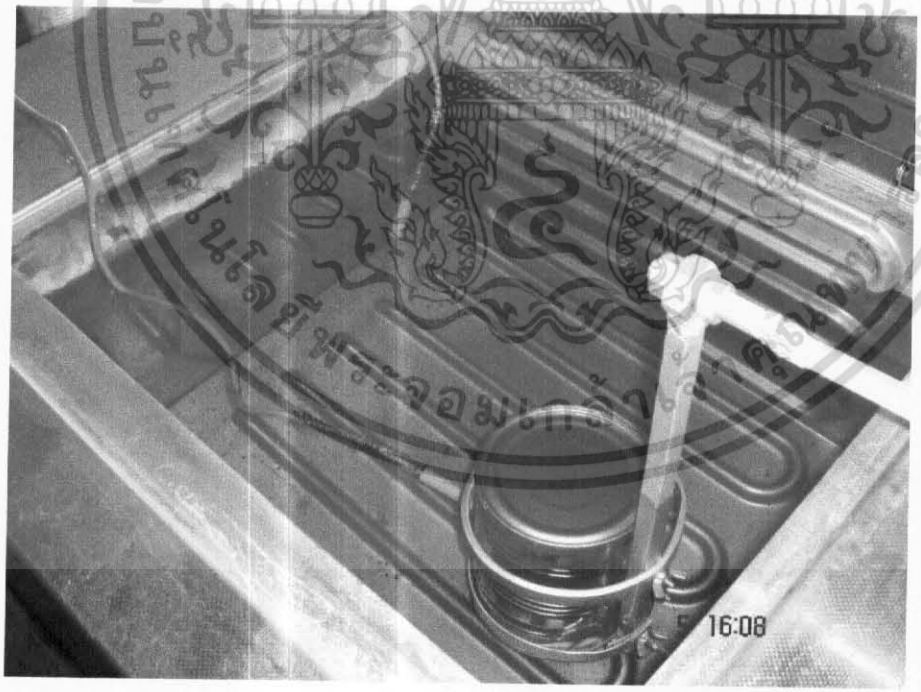
รูปที่ 4.4 นำสายวัดอุณหภูมิเสียบกับกระป๋อง

รูปที่ 4.5 นำสายวัดอุณหภูมิต่อกับเครื่อง Data logger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 นำกระป๋องลงใน Water bath



รูปที่ 4.7 เปิดเครื่องช่วยเขย่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

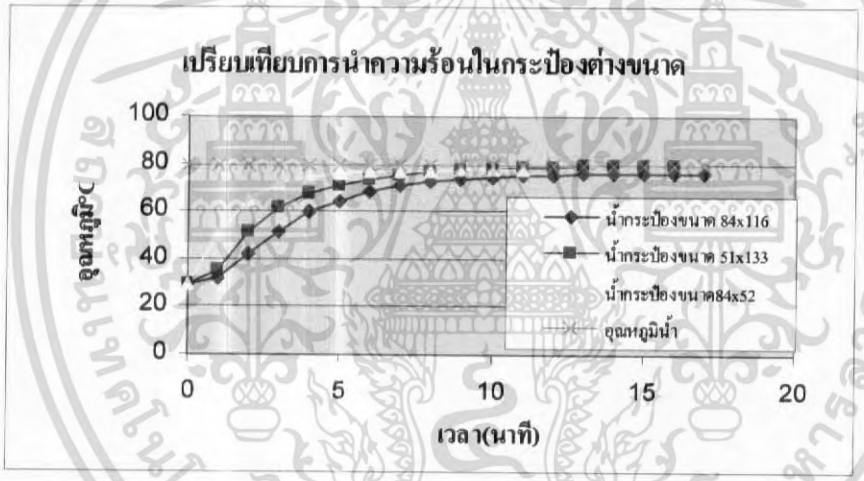
บทที่ 5
ผลการทดลองและวิจารณ์

5.1 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

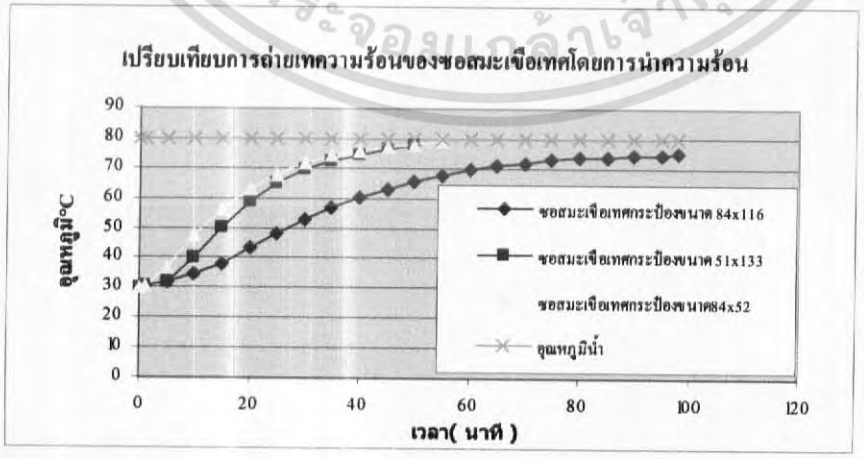
จากการวิเคราะห์กราฟที่เขียนได้จากค่าที่ได้จากการทดลองนั้นจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ขนาดของกระป๋องที่ใช้ในการทดลองและความถี่ในการเขย่ากระป๋องนั้นมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่กระป๋อง

1. ผลของขนาดกระป๋องที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน

กระป๋องที่มีขนาดเล็กการถ่ายเทความร้อนจากอุณหภูมิเริ่มต้นในกระป๋องจนอุณหภูมิภายในกระป๋องมีอุณหภูมิสูงจนถึงอุณหภูมิของการพาสเจอไรซ์นั้นใช้เวลาเพียง3-4 นาที เมื่อเทียบกับกระป๋องถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อนจะใช้เวลานานกว่า



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงการเปรียบการนำความร้อนในกระป๋องใส่น้ำต่างขนาด

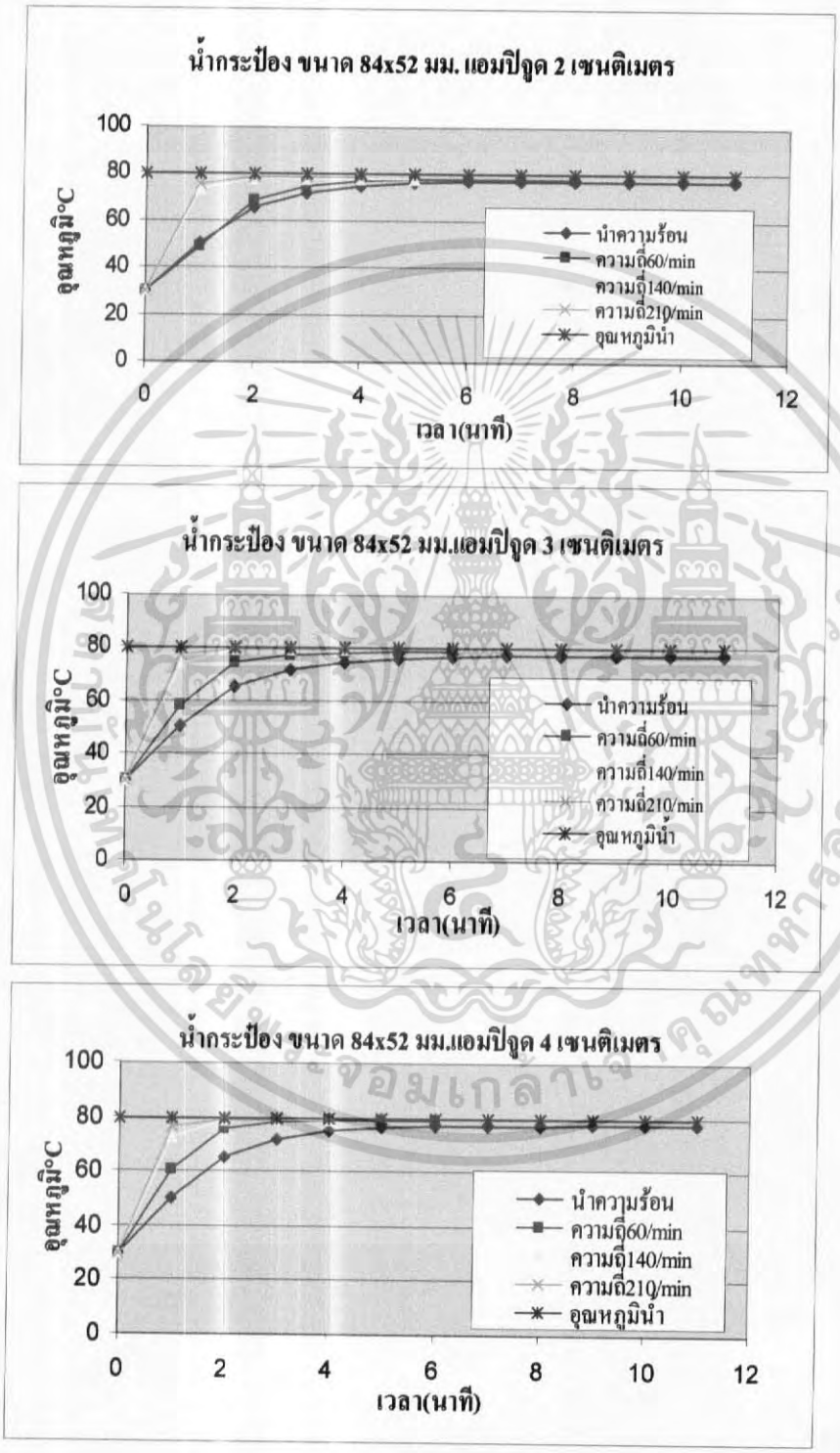


รูปที่ 5.2 กราฟแสดงการเปรียบการนำความร้อนในกระป๋องใส่ซอสมะเขือเทศต่างขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลของความถี่ในการเขย่าที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน

ความถี่ในการเขย่านั้นมีผลต่อเวลาในการถ่ายเทความร้อน จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อเราเพิ่มความถี่ในการเขย่ากระป๋องนั้นการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่กระป๋องจะเป็นไปอย่างรวดเร็วใช้เวลาน้อย

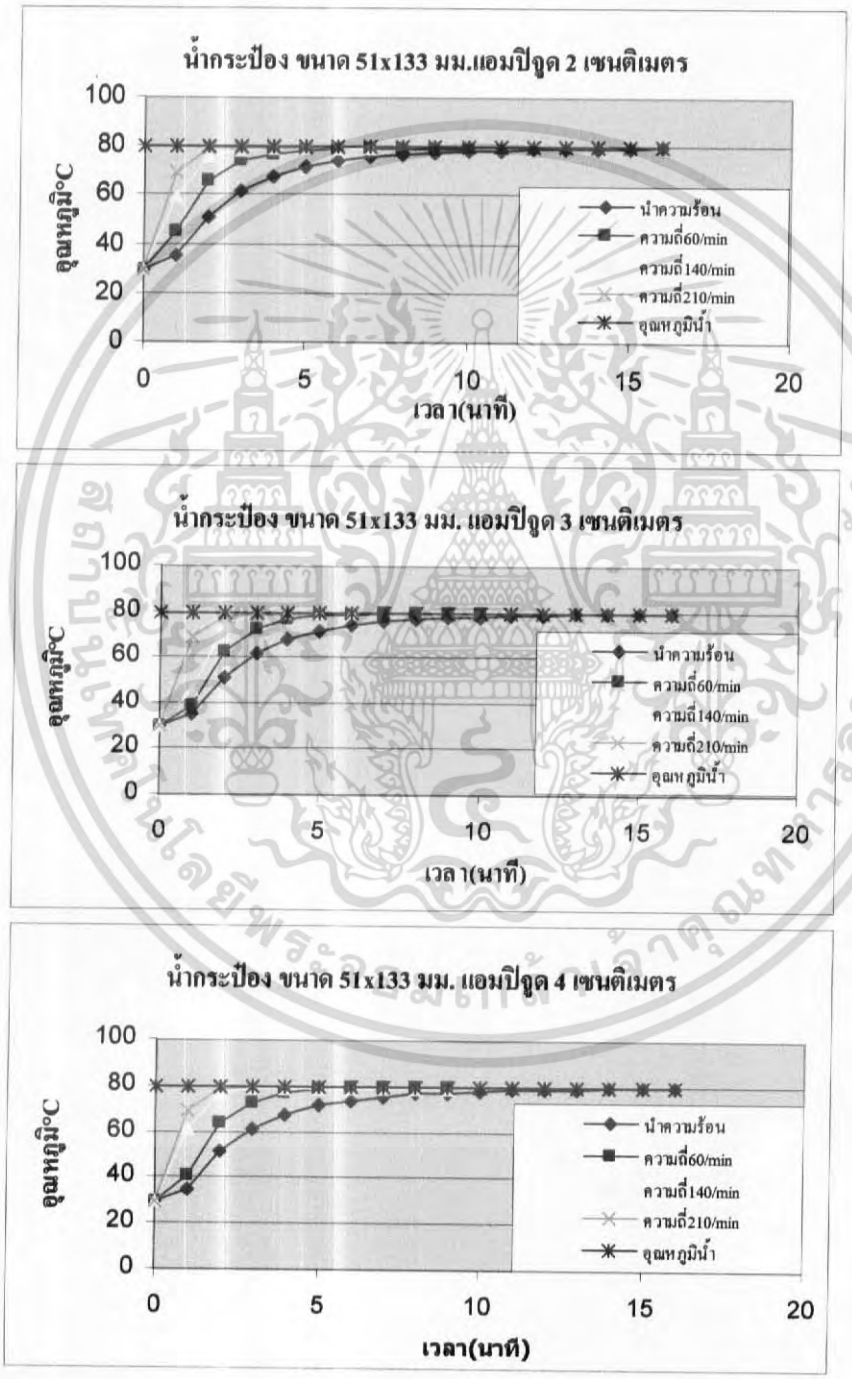


รูปที่ 5.3 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x52 มม. ที่แอมปิจูด 2 3 และ 4ซม. ณ.ความถี่ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

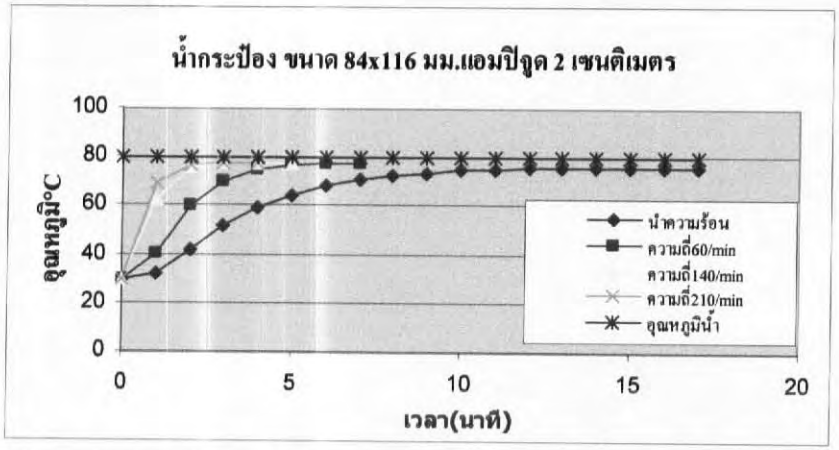
จากกราฟในรูปที่ 5.3 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเปลี่ยนความถี่ในการเขย่ากระป๋องให้เร็วขึ้น อัตราการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x52 มม. จะเพิ่มตามขึ้นด้วย

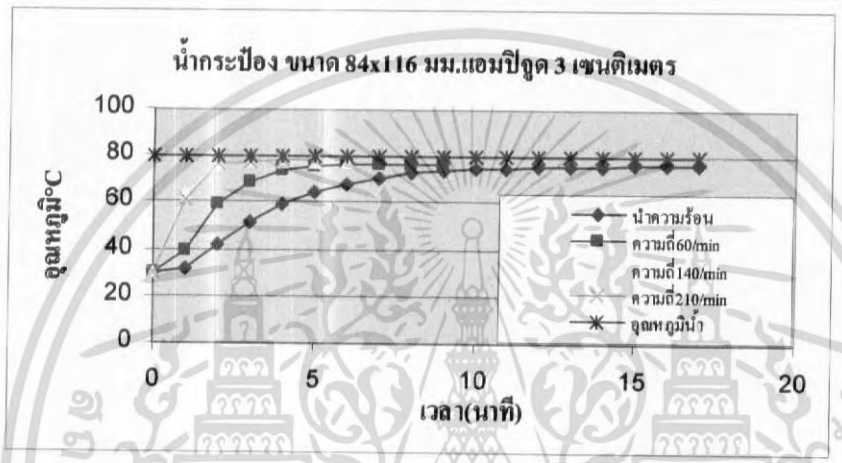
สังเกตได้จากเมื่อใช้ความถี่ในการเขย่าที่ 60 ครั้งต่อนาที การถ่ายเทความร้อนในกระป๋องจะเร็วกว่ากระป๋องที่ไม่มีการเขย่า สำหรับการเขย่าด้วยความถี่ที่ 140และ210 ครั้งต่อนาที พบว่าการถ่ายเทความร้อนของน้ำบรรจุกระป๋องไม่แตกต่างกันกับกระป๋องขนาด 84x52 มม. ก็จะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนเหมือนกับการเขย่าด้วยความถี่ 210 ครั้งต่อนาที

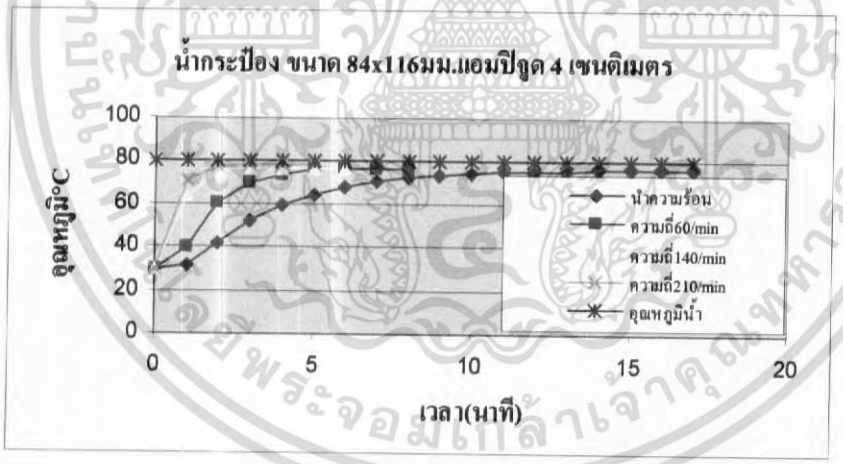


รูปที่ 5.4 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 51x133 มม. แอมปิจูด 2 ,3 และ 4 ซ.ม.เปลี่ยนความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้







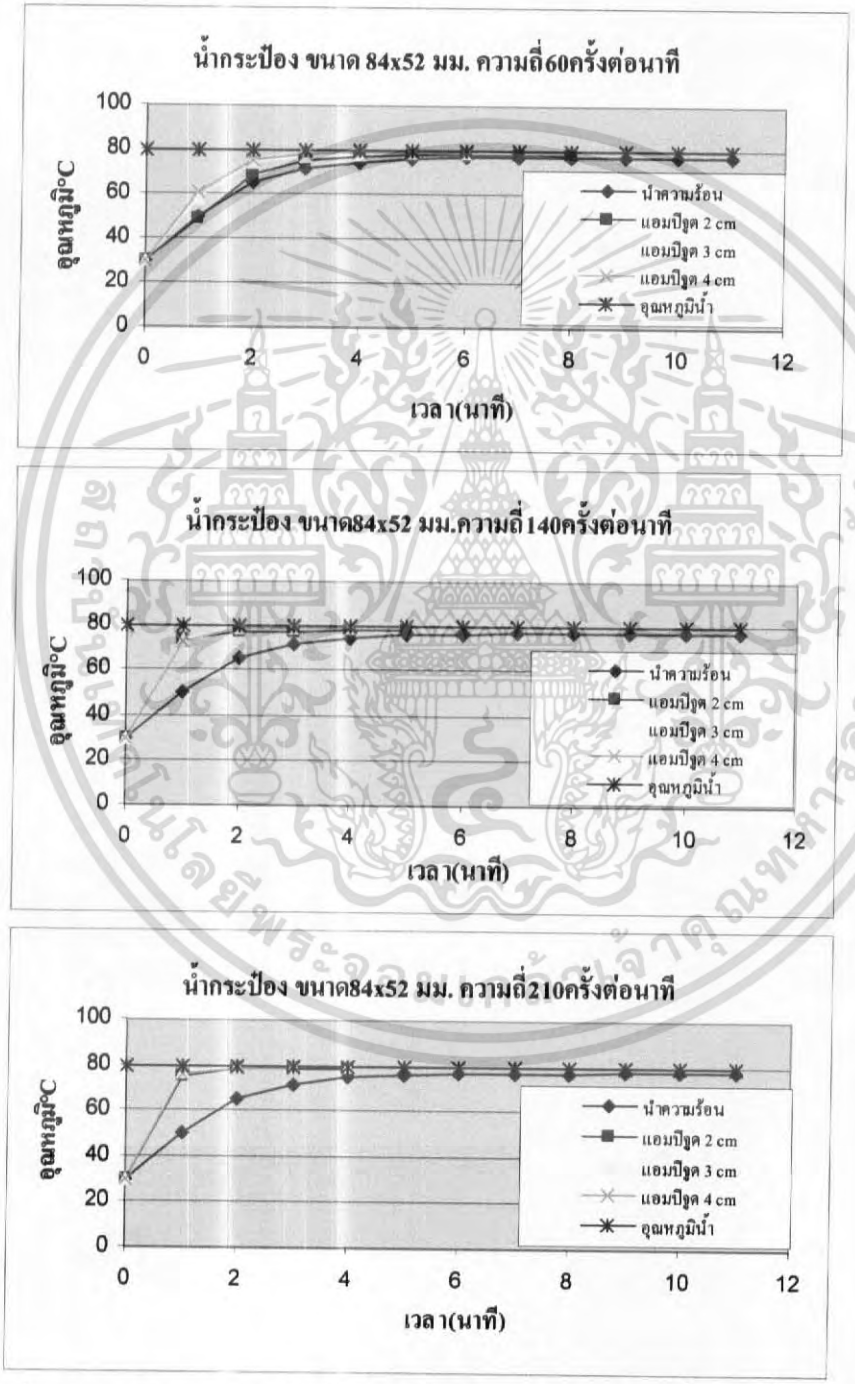
รูปที่ 5.5 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x116 มม. แอมปิจูด 2 , 3 และ 4 ซ.ม.เปลี่ยนความถี่

จากกราฟในรูปที่ 5.5 เมื่อทำการทดลองกับกระป๋องขนาด 51x133 มม.และ 84x116 มม. พบว่าการถ่ายเทความร้อนที่ระยะแอมปิจูดและความถี่ต่างๆ จะให้ผลในลักษณะเดียวกันคือที่ความถี่ 140 และ 210 ครั้งต่อนาที การถ่ายเทความร้อนจะไม่แตกต่างกันและเมื่อทำการเขย่าที่แอมปิจูดมากขึ้นจะทำให้การถ่ายเทความร้อนดีขึ้นดังรูปที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

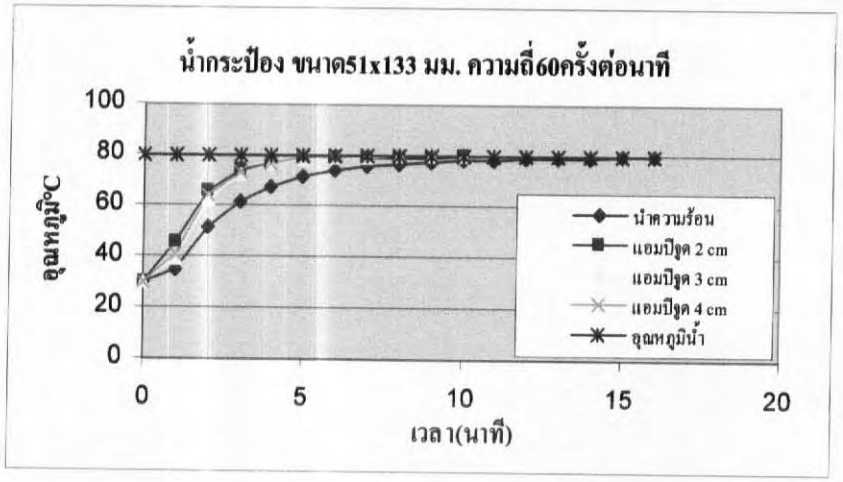
3. ผลของระยะแอมปิจูดที่ใช้ในการเขย่าต่อการถ่ายเทความร้อน

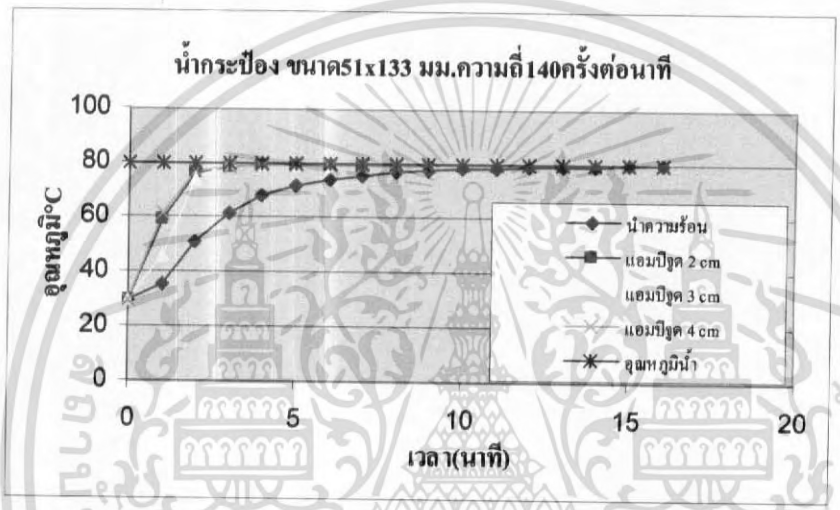
จากการทดลองกับน้ำบรรจุขนาด 84x52 มม. ที่ระยะแอมปิจูด 2 3 และ 4 ซม. ที่ความถี่ทั้ง 3 ระดับแสดงดังรูปที่ 5.6 พบว่าระยะแอมปิจูดที่ความถี่ต่างๆมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนไม่แตกต่างกัน ยกเว้นในกระป๋องขนาด 84x52 มม. (ความถี่ 60 ครั้งที่ระยะแอมปิจูด 2 ซม.) เมื่อทำการทดลองกับกระป๋องขนาด 51x133 มม.และ 84x116 มม. พบว่าระยะแอมปิจูดที่ความถี่ 3 ระดับ ทำให้การถ่ายเทความร้อนไม่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 5.6

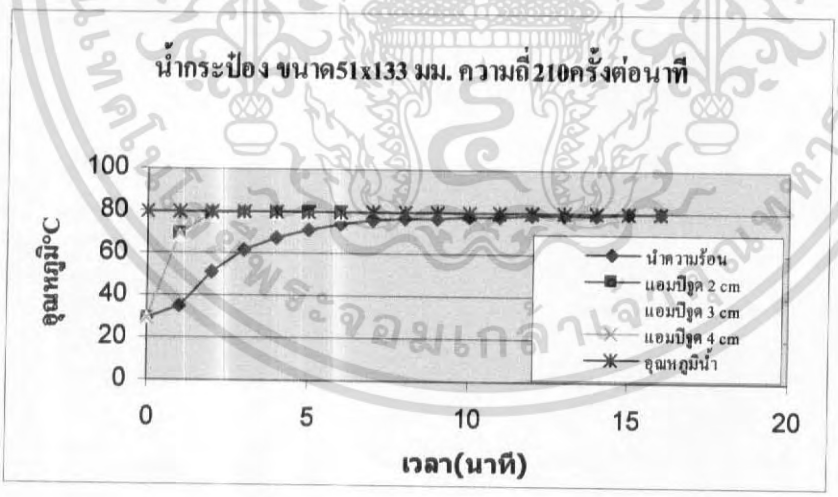


รูปที่ 5.6 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x52 มม.ที่ความถี่ 60 , 140 และ 210 เปลี่ยนแอมปิจูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

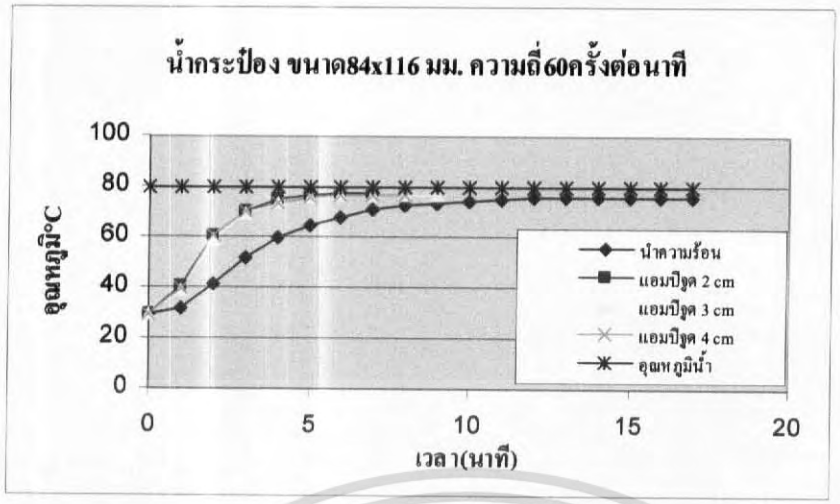


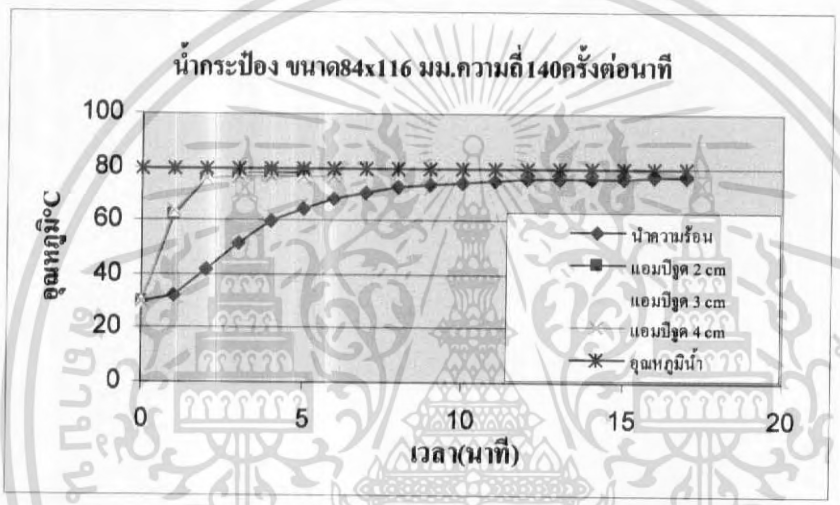


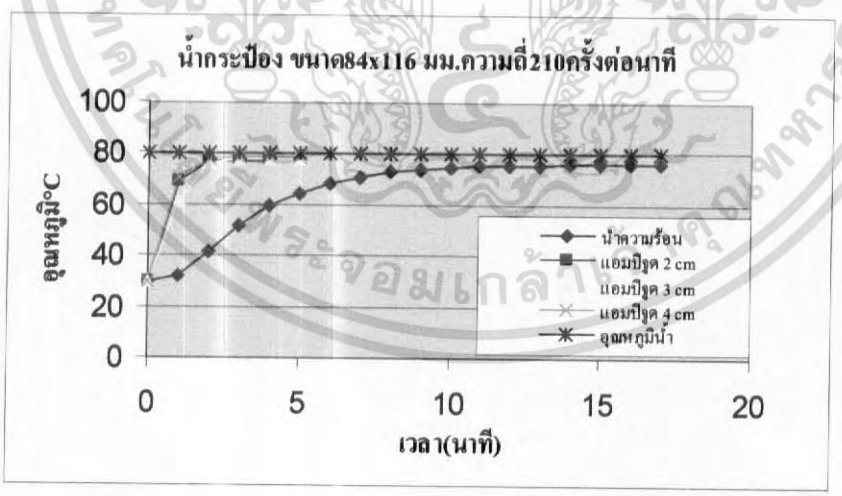


รูปที่ 5.7 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 51x133 มม.ความถี่ 60 , 140 และ 210 ที่เปลี่ยนแอมปิจูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





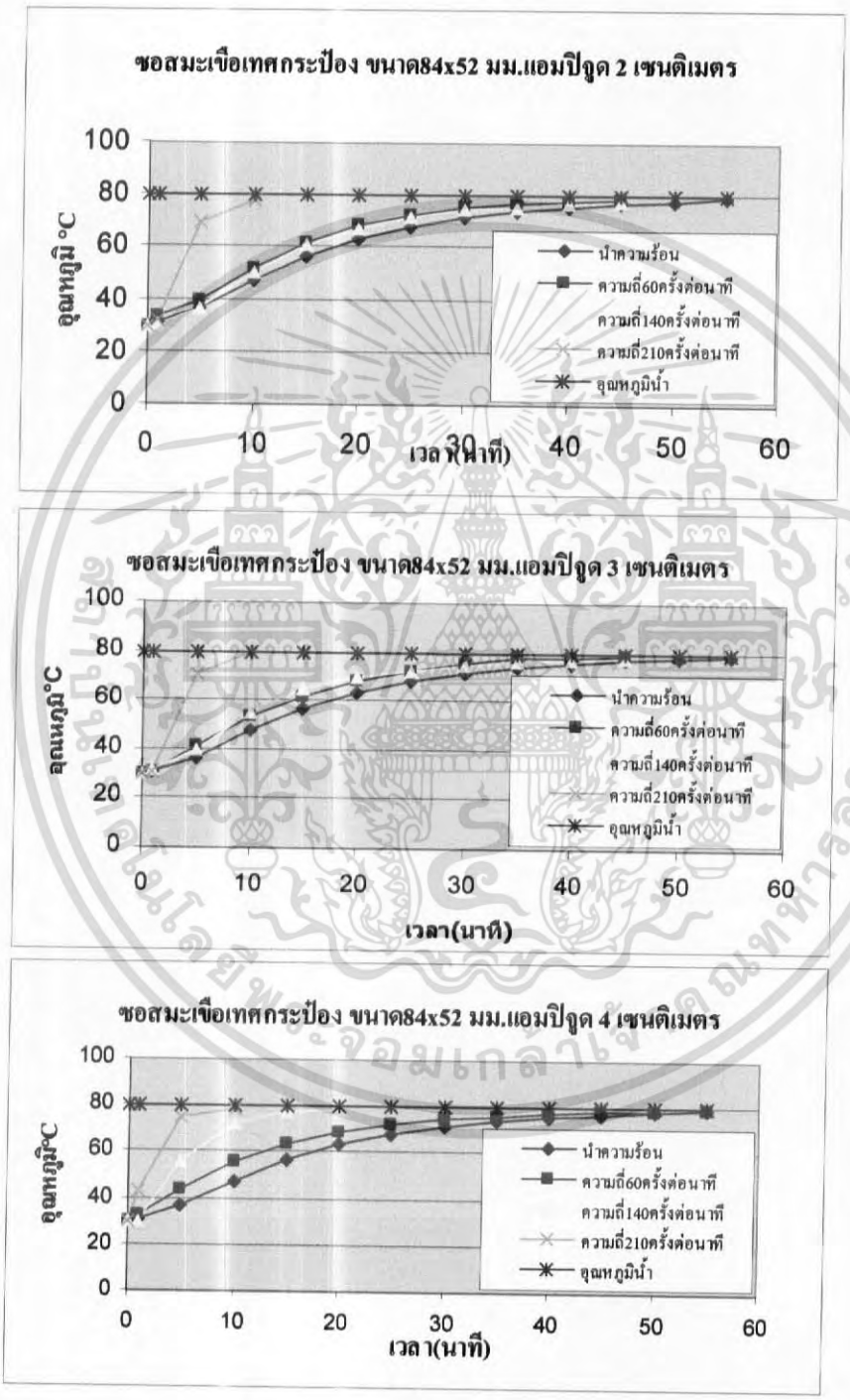


รูปที่ 5.8 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x116 มม.ความถี่ 60 140 และ 210 ที่เปลี่ยนแอมปิจูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ผลของความถี่ในการเขย่าที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนของซอสมะเขือเทศบรรจุกระป๋อง

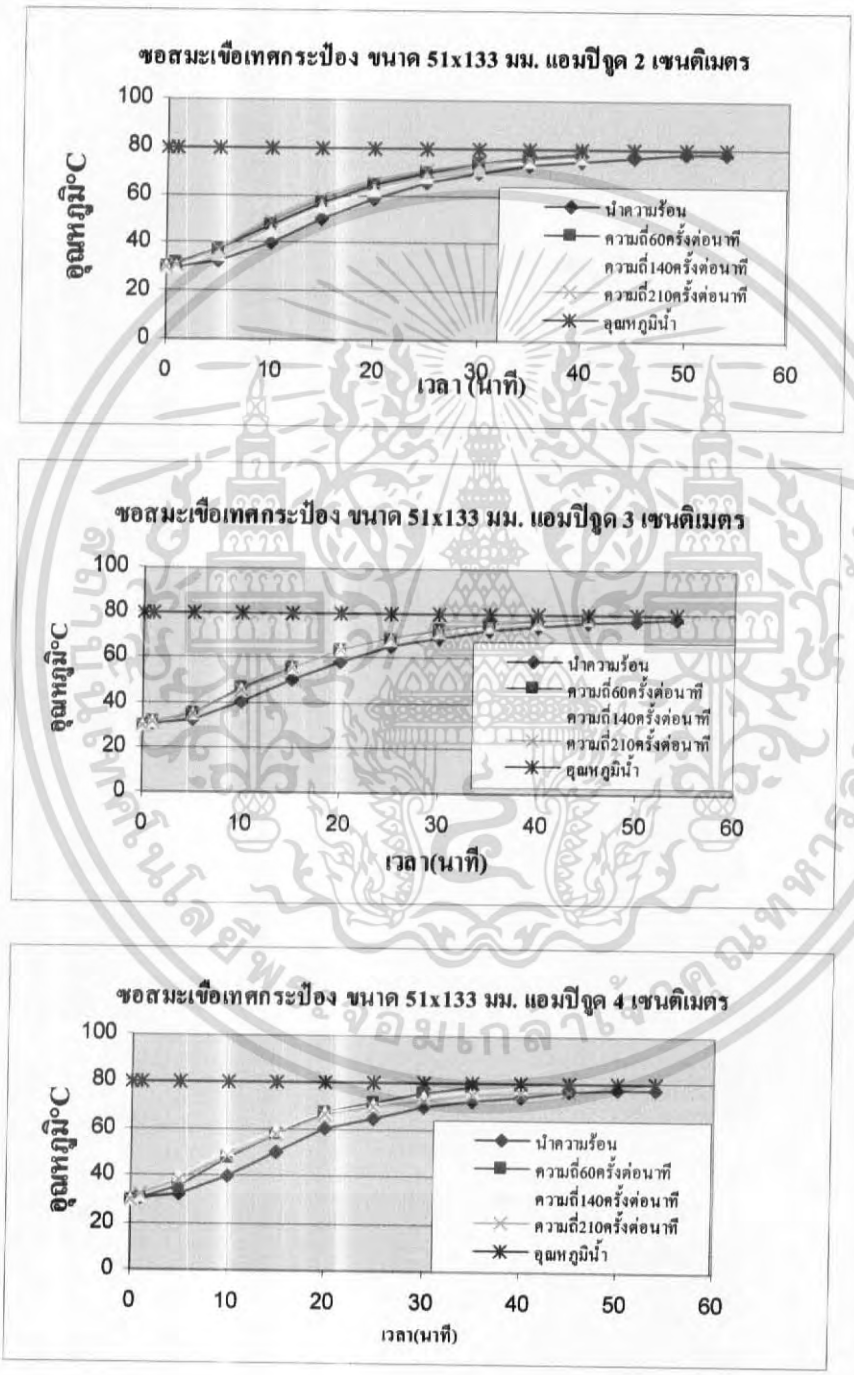
ความถี่ในการเขย่านั้นมีผลต่อเวลาในการถ่ายเทความร้อน จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อเราเพิ่มความถี่ในการเขย่ากระป๋องนั้นการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่กระป๋องจะเป็นไปอย่างรวดเร็วใช้เวลาน้อย



รูปที่ 5.9 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศขนาด 84x52 มม. ที่แอมปิจูด 2 3 และ 4 ซม.เปลี่ยนความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

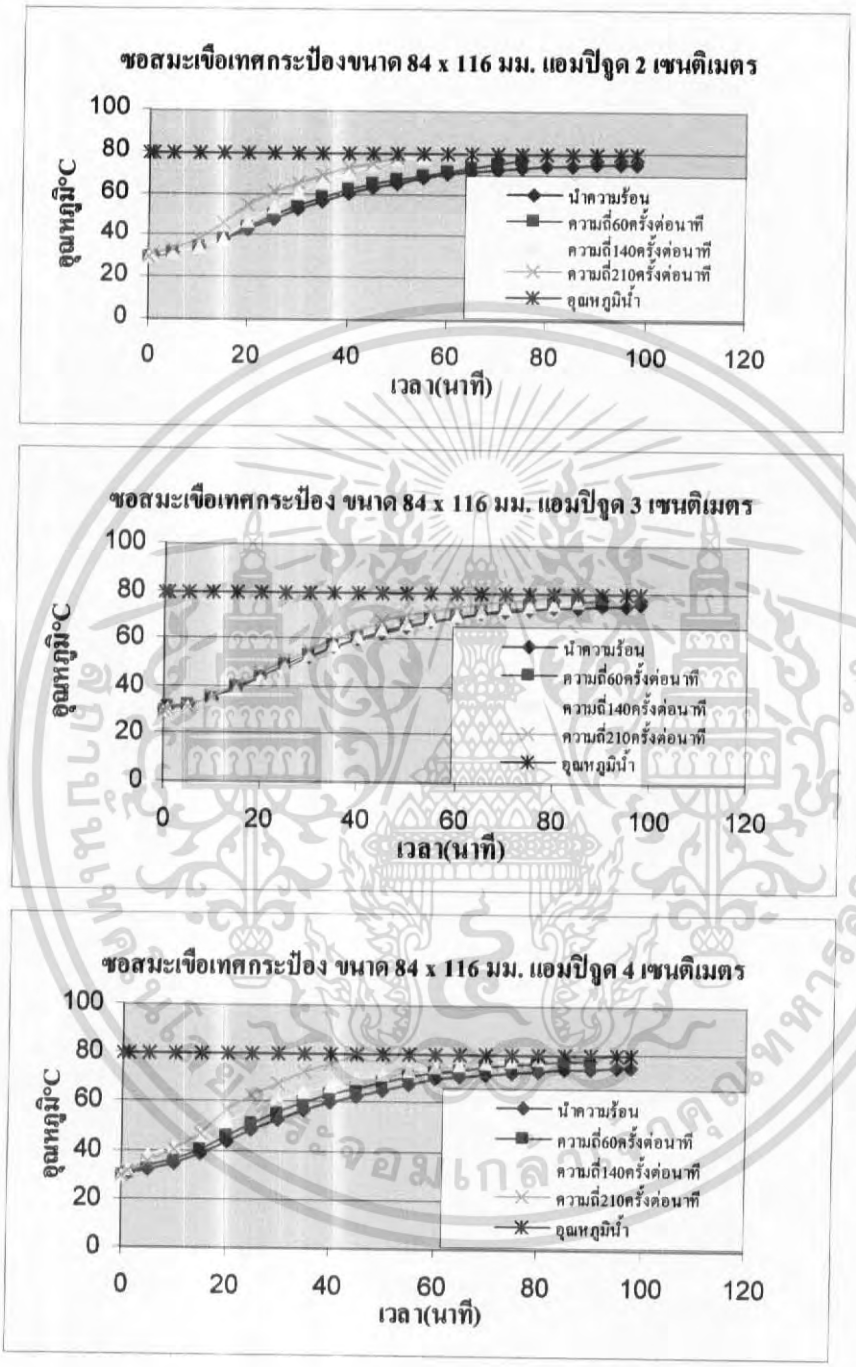
จากรูปที่ 5.9 เป็นผลการทดลองของซอสมะเขือเทศบรรจุกระป๋องขนาด 84x52 มม. ที่ระยะแอมปิจูด 2และ3 ซม. พบว่าความถี่ 60และ140 ครั้ง/นาทีมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนน้อยมาก เพราะอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง เพราะใกล้เคียงกับกระป๋องที่อยู่นิ่ง ในขณะที่ความถี่ 210 ครั้ง/นาที จะทำให้การถ่ายเทความร้อนดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัดและสำหรับที่ระยะแอมปิจูด 4 ซม. พบว่าน้ำ 3 ความถี่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน โดยเมื่อความถี่สูงขึ้นจะทำให้การถ่ายเทความร้อนดีขึ้นด้วย



รูปที่ 5.10 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศขนาด 51x133 มม. ที่แอมปิจูด 2 3 และ 4 ซ.ม.เปลี่ยนความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.10 สำหรับกระป๋องขนาด 51x133 มม. พบว่าความถี่ที่ 3 ระดับ ที่ระยะแอมปิจูดต่างๆจะส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับกระป๋องที่อยู่นิ่ง ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากความถี่และแอมปิจูดยังไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดการผสมภายในกระป๋องได้



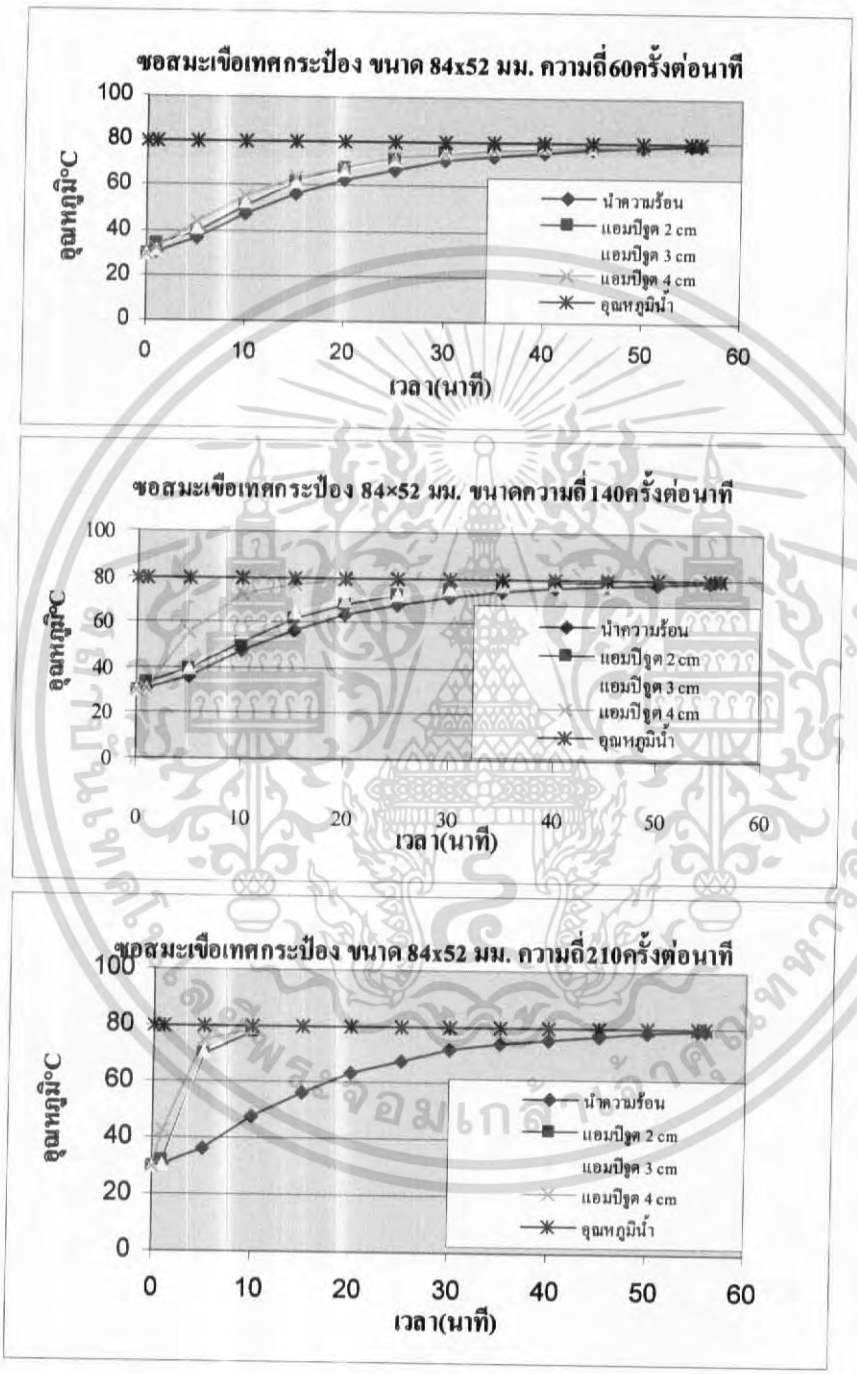
รูปที่ 5.11 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศขนาด 84x116 มม. ที่แอมปิจูด 2 3 และ 4 ซ.ม.เปลี่ยนความถี่

จากรูปที่ 5.11 กราฟแสดงให้เห็นว่าที่ในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศขนาด 84x116 มม. ที่แอมปิจูด 2 3 และ 4 ซ.ม.มีผลต่อความถี่60และ140ครั้งต่อนาทีเพียงเล็กน้อยแต่ในความถี่ที่ 210 ครั้งต่อนาทีจะเห็นได้ชัดว่าการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นได้ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ผลของระยะแอมปิจูดที่ใช้ในการทดลองในการเขย่าที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน

ผลของระยะแอมปิจูดนั้นจากการนำค่าที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟนั้นสังเกตได้ว่าเมื่อเราใช้ความถี่ในการเขย่าเท่าเดิมแต่เปลี่ยนระยะแอมปิจูดนั้นค่าที่ได้ออกมาไม่ต่างกัน จากระยะแอมปิจูดที่ใช้ในการทดลองนั้นมีความต่างกันน้อยเกินไป และซอสมะเขือเทศมีความหนืดมาก

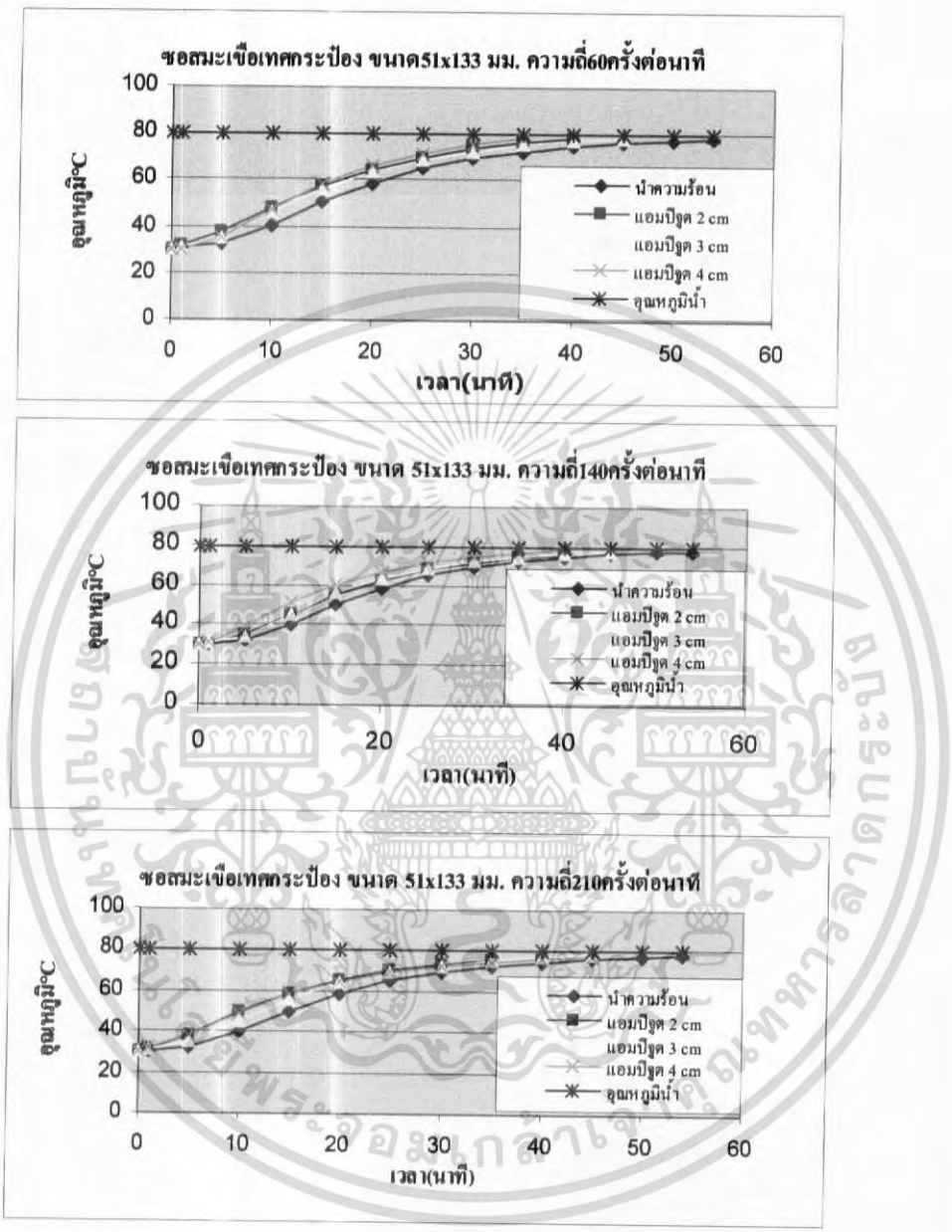


รูปที่ 5.12 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศขนาด 84x52 มม.ที่ความถี่ 60 140 และ 210 เปลี่ยนแอมปิจูด

จากรูปที่ 5.12 ในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศขนาด 84x52 มม.ที่ความถี่ 60 แอมปิจูด 2 , 3 และ 4 มีผลต่อความเร็วในการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกระป๋องที่อยู่นิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

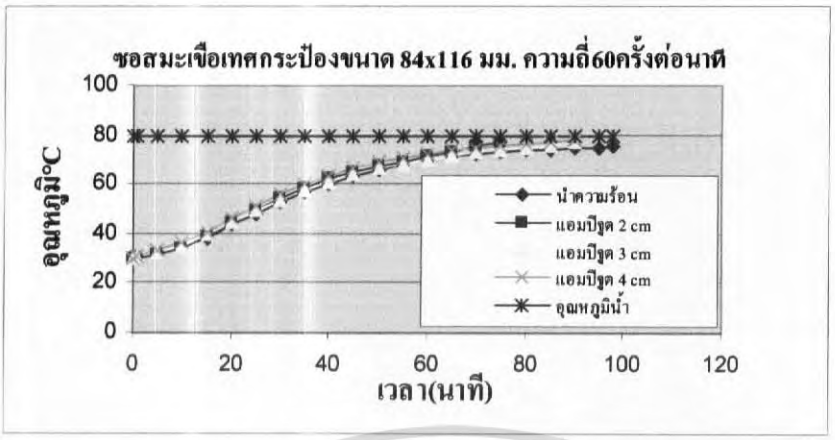
และเมื่อเพิ่มความถี่ที่แอมปิจูดเป็นระยะ 4 ซ.ม. มีผลต่อความร้อนอย่างเห็นได้ชัดและที่ความถี่ 210 ครั้งต่อนาที โดยไม่ขึ้นกับระยะแอมปิจูด จากกราฟแสดงให้เห็นว่าแอมปิจูดมีผลกับการถ่ายเทความร้อนมาก

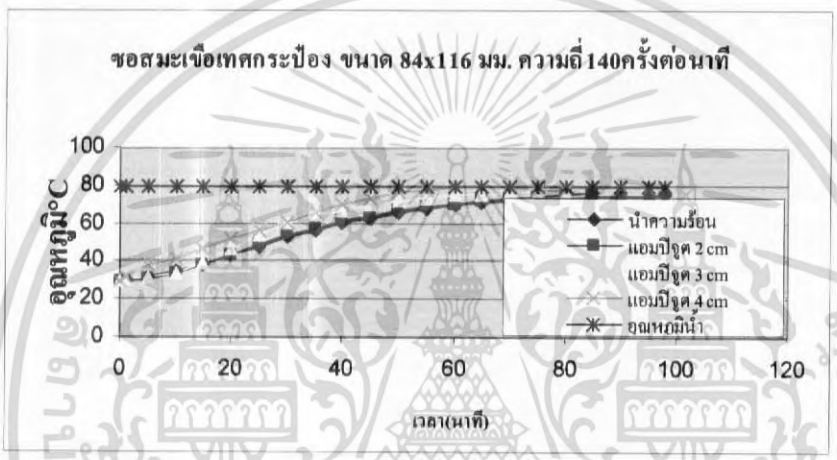


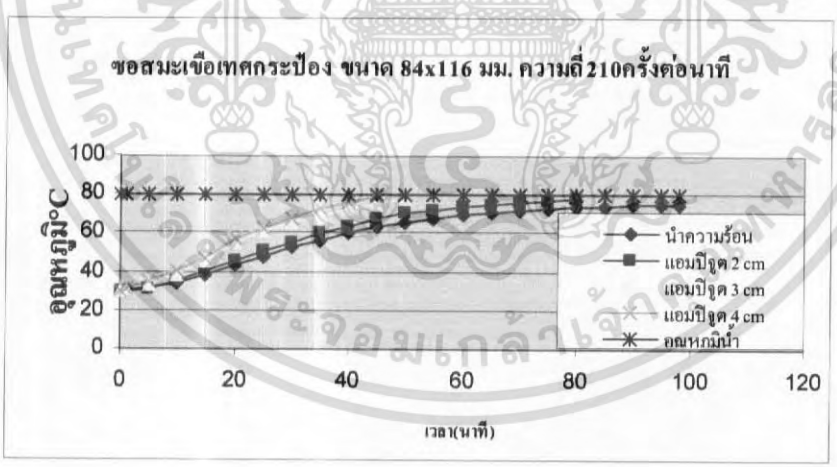
รูปที่ 5.13 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศขนาด 51x133 มม.ที่ความถี่ 60 140 และ 210 เปลี่ยนแอมปิจูด

จากรูปที่ 5.13 สังเกตได้ว่ากระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศขนาด 51x133 มม. เมื่อใช้ความถี่ที่60 , 140และ 210 ครั้งต่อนาทีอัตราการถ่ายเทความร้อนของทั้งสามค่าใกล้เคียงกันมากเกิน แตกต่างกันเพิ่งเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้







รูปที่ 5.14 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศขนาด 84x116 มม.ที่ความถี่ 60 140 และ 210 เปลี่ยนแอมปิจูด

จากรูปที่ 5.14 กระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศขนาด 84x116 มม.ที่ความถี่ 60 ครั้งต่อนาทีแอมปิจูดไม่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากกราฟใกล้เคียงกันมาก ถ้าใช้ความถี่ที่ 140 และ210 ครั้งต่อนาทีตามลำดับ แนวโน้มของกราฟแสดงให้เห็นว่าแอมปิจูดเริ่มมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนมากเป็นลำดับ แต่ก็พบว่าการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นได้เร็วกว่าเดิมเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทั้งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องมาจากขอสมะเขือเทศมีความหนืดมาก การเขย่าที่สภาวะต่างๆข้างต้นไม่สามารถเอาชนะความหนืดหรือความต้านทานการไหลได้ ถ้าหากต้องการให้มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นจะต้องใช้ความถี่หรือแอมปริจูดที่มากกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการทดลอง

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองน้ำบรรจุกระป๋องนำไปเขียนกราฟพบว่าขนาดของกระป๋องที่ใช้ในการทดลองและความถี่ในการเขย่ากระป๋องนั้นมีผลต่อเวลาในการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่กระป๋อง จากตาราง 6.1 จะเห็นว่าเมื่อเราเพิ่มความถี่ในการเขย่ากระป๋องนั้นการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่กระป๋องจะเป็นไปอย่างรวดเร็วใช้เวลาน้อย แต่เมื่อเปลี่ยนระยะแอมปิจูดจะมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนน้อยมาก

จากการทดลองซอสมะเขือเทศบรรจุกระป๋อง ผลต่อการถ่ายเทความร้อนที่ขนาดแตกต่างกัน ถ้าใช้ความถี่ที่60 140 และ210 ครั้งต่อนาทีตามลำดับ จากตาราง 6.2 แนวโน้มของกราฟแสดงให้เห็นว่าแอมปิจูดเริ่มมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนมากเป็นลำดับ แต่ก็พบว่าการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นได้เร็วกว่าเดิมเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องมาจากซอสมะเขือเทศมีความหนืดมาก การเขย่าที่สภาวะต่างๆข้างต้น ไม่สามารถเอาจะความหนืดหรือความต้านทานการไหลได้ ถ้าหากต้องการให้มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นจะต้องใช้ความถี่หรือแอมปริจูดที่มากกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 6.1 แสดงถึงเวลาในสภาวะอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำบรรจุกระป๋องจนถึงอุณหภูมิพาสเจอไรซ์

	นิ่ง	60ครั้งต่อนาที			140ครั้งต่อนาที			210ครั้งต่อนาที		
		แอมปิจูด 2 ซม.	แอมปิจูด 3 ซม.	แอมปิจูด 4 ซม.	แอมปิจูด 2 ซม.	แอมปิจูด 3 ซม.	แอมปิจูด 4 ซม.	แอมปิจูด 2 ซม.	แอมปิจูด 3 ซม.	แอมปิจูด 4 ซม.
น้ำกระป๋องขนาด 84x52 มม.	4	3	2	2	1.5	1.5	1.5	1	0.5	0.5
น้ำกระป๋องขนาด 51x133 มม.	7	3.5	3.5	3.5	1.5	2.5	1.5	1.5	1.5	1.5
น้ำกระป๋องขนาด 84x116 มม.	10	4	4.5	4.5	2	2.5	2	1.5	1.5	1.5

ตาราง 6.2 แสดงถึงเวลาในสภาวะอุณหภูมิเริ่มต้นของซอสมะเขือเทศบรรจุกระป๋องจนถึงอุณหภูมิพาสเจอไรซ์

	นิ่ง	60ครั้งต่อนาที			140ครั้งต่อนาที			210ครั้งต่อนาที		
		แอมปิจูด 2 ซม.	แอมปิจูด 3 ซม.	แอมปิจูด 4 ซม.	แอมปิจูด 2 ซม.	แอมปิจูด 3 ซม.	แอมปิจูด 4 ซม.	แอมปิจูด 2 ซม.	แอมปิจูด 3 ซม.	แอมปิจูด 4 ซม.
ซอสมะเขือเทศกระป๋องขนาด 84x52 มม.	37	29	29	31	32	30	12	7	6	5
ซอสมะเขือเทศกระป๋องขนาด 51x133 มม.	41	32	34	29	37	35	31	30	34	35
ซอสมะเขือเทศกระป๋องขนาด 84x116 มม.	95	70	80	70	46	76	60	45	64	38

เอกสารอ้างอิง

- ดร.ธนะบูลย์ สัจจาอนันตกุล " ชนิดและการใช้งานของหม้อฆ่าเชื้อสำหรับบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว" สัมมนาวิชาการ ปี 2548 คณะอุตสาหกรรมเกษตร ,มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- เมธาณี เปรมศรี, รัตนสินทร์ วรากุล, ศุภชัย สว่างพิทักษ์พรและสัมรี ดะเซ็ง, 2548, การศึกษาและออกแบบหม้อฆ่าเชื้อแบบ Water Spray Retort ขนาดเล็กสำหรับทดสอบคุณภาพบรรจุภัณฑ์. ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, หน้า 2 –15

- วารุณี วารัญนนท์. บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร. เอกสารประกอบการฝึกอบรม เทคนิคการถนอมอาหารและควบคุมคุณภาพ. กรุงเทพฯ : สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร, 2538 หน้า1.

- วิเชียร วรพุทธพร. ภาชนะบรรจุอาหารและการบรรจุ. พิมพ์ครั้งที่ 2. ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2534 หน้า 1, 4, 28.

.- สุโขทัยธรรมาธิราช, มหาวิทยาลัย. การถนอมอาหารและการแปรรูปอาหาร หน่วยที่ 8-15. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2539. หน้า 193-195, 199, 203, 204, 208.

- สุวิช ศิริวัฒนโยธิน "การพัฒนากระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน" ศช.(หน่วยปฏิบัติการวิจัยและพัฒนาวิศวกรรมชีวเคมีและโรงงานต้นแบบ)2547

- สุวิช ศิริวัฒนโยธิน. (2545.) ทำการวิจัยเรื่อง Thermal Processing of Food ศช.(หน่วยปฏิบัติการวิจัยและพัฒนาวิศวกรรมชีวเคมีและโรงงานต้นแบบ)

- สถาบันอาหาร, หลักการผลิตและฆ่าเชื้ออาหารในภาชนะปิดสนิทด้วยความร้อน. กันยายน 2547

- Technical Bulletin " The Food in can is sterile" Tile No 5.022 Date Jan-15-03 http://www.foodqualitynews.com, (14 ธันวาคม 2549)

http://www.swu.ac.th/royal/book5/b5c4t4.html, (14 ธันวาคม 2549)

http://www.zinetec.com, (14 ธันวาคม 2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ตารางผลการทดลอง

ตาราง ก.1 กราฟแสดงการเปรียบการนำความร้อนในกระป๋องใส่น้ำต่างขนาด

เวลา	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
น้ำกระป๋องขนาด84x116	30	32.3	41.9	52.1	59.8	64.6	68.3	70.8	72.9	73.8	74.8
น้ำกระป๋องขนาด51x133	30	35.2	51.3	61.6	67.8	71.4	74.1	75.75	76.8	77.6	78.25
น้ำกระป๋องขนาด84x52	30	50.4	65.6	71.8	74.	76.2	76.9	77.2	77.4	77.5	77.5
อุณหภูมิน้ำ	80.5	80.5	80.5	80.5	80.4	80.4	80.4	80.4	80.3	80.3	80.3

11	12	13	14	15	16	17
75.2	75.7	75.9	76.2	76.3	76.4	76.4
78.55	78.95	79.35	79.45	79.65	79.85	
77.7						
80.3	80.3	80.2	80.2	80.2	80.2	80.2

ตาราง ก.2 กราฟแสดงการเปรียบการนำความร้อนในกระป๋องใส่ซอสมะเขือเทศต่างขนาด

เวลา	0	1	5	10	15	20	25	30	35	40
ซอสมะเขือเทศกระป๋องขนาด 84x116	30	30.8	32.2	34.6	38.5	43.6	48.3	52.8	56.7	60.3
ซอสมะเขือเทศกระป๋องขนาด 51x133	30	30.6	32.5	40.2	50.4	58.8	65.3	69.7	72.7	74.7
ซอสมะเขือเทศกระป๋องขนาด84x52	30	31	36.6	47.5	56.6	63.4	68	71.8	74.3	75.7
อุณหภูมิน้ำ	80.2	80.1	80.2	80.3	80.4	80.2	80.3	80.3	80.3	80.2

50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	98
65.63333	67.9	69.8	71.2	72.2	73.0	73.6	74.1	74.5	74.8	75.4
77.9										
78.23333	79.1									
80.3	80.3	80.4	80.4	80.4	80.4	80.3	80.3	80.2	80.2	80.2

ตาราง ก.3 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x52 มม. ที่แอมปิจูด 2 เซนติเมตร ความถี่ต่างๆ

เวลา	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
นำความร้อน	30	50.4	65.6	71.8	74.8	76.2	76.9	77.2	77.4	77.5	77.5	77.5
ความถี่60ครั้งต่อนาที	30	49.4	68.8	75.1	77.1	77.8	78.0	78.3	78.3			
ความถี่140ครั้งต่อนาที	30	73.6	77.7	77.7	77.9	77.9						
ความถี่210ครั้งต่อนาที	30	75.6	78.6	78.9	79.1							
อุณหภูมิน้ำ	80.2	80.2	80.2	80.3	80.3	80.3	80.2	80.2	80.1	80.1	80.1	80.2

ตาราง ก.4 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x52 มม. ที่แอมปิจูด 3 เซนติเมตร ความถี่ต่างๆ

เวลา	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
น้ำความร้อน	30	50.4	65.6	71.8	74.8	76.2	76.9	77.2	77.4	77.5	77.5	77.5
ความถี่60/min	30	58.1	74.5	77.6	78.5	78.6	78.6					
ความถี่140/min	30	73.8	79.5	79.6	79.5							
ความถี่210/min	30	77.1	79.2	79.6	79.6							
อุณหภูมิน้ำ	80.3	80.3	80.3	80.2	80.2	80.2	80.3	80.3	80.3	80.4	80.4	80.4

ตาราง ก.5 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x52 มม. ที่แอมปิจูด 4 เซนติเมตร ความถี่ต่างๆ

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
น้ำความร้อน	30	50.4	65.7	71.8	74.8	76.2	76.9	77.2	77.4	77.7	77.5	77.5
ความถี่60/min	30	61.1	75.5	78.3	79.1	79.2	79.2					
ความถี่140/min	30	72.6	79.1	79.1	79.2							
ความถี่210/min	30	76.5	78.7	79.1								
อุณหภูมิน้ำ	80.3	80.3	80.3	80.3	80.2	80.2	80.2	80.2	80.2	80.2	80.1	80.1

ตาราง ก.6 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 51x133 มม. ที่แอมปิจูด 2 เซนติเมตร ความถี่ต่างๆ

เวลา	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
น้ำความร้อน	30	35.2	51.4	61.6	67.9	71.5	74.1	75.7	76.7	77.7	78.2	78.5
ความถี่60/min	30	45.8	66.1	74.1	76.9	78.6	79.1	79.3	79.5	79.5	79.6	
ความถี่140/min	30	59.4	76.1	78.5	79.1	79.3	79.5	79.5				
ความถี่210/min	30	69.2	79.0	79.3	79.3	79.6	79.6					
อุณหภูมิน้ำ	80.3	80.3	80.3	80.2	80.2	80.3	80.3	80.4	80.4	80.4	80.5	80.5

ตาราง ก.7 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 51x133 มม. ที่แอมปิจูด 3 เซนติเมตร ความถี่ต่างๆ

เวลา	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
น้ำความร้อน	30	35.2	51.4	61.6	67.9	71.5	74.1	75.7	76.7	77.5	78.2	78.
ความถี่60/min	30	38.9	62.8	72.7	76.7	78.5	79.1	79.4	79.6	79.7	79.7	
ความถี่140/min	30	45.9	73.9	79.7	79.3	79.4	79.5					
ความถี่210/min	30	69.0	78.2	78.8	79.0	79.2	79.4					
อุณหภูมิน้ำ	80.2	80.2	80.2	80.2	80.3	80.3	80.3	80.3	80.2	80.2	80.2	80.2

ตาราง ก.8 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 51x133 มม. ที่แอมปิจูด 4 เซนติเมตร ความถี่ต่างๆ

เวลา	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
น้ำความร้อน	30	35.2	51.4	61.6	67.9	71.5	74.1	75.7	76.7	77.5	78.2	78.5
ความถี่60/min	30	41.0	63.8	73.2	76.9	78.7	79.4	79.7	79.9	79.9		
ความถี่140/min	30	61.3	77.3	78.8	79	79.0	79.1	79.2	79.3	79.3		
ความถี่210/min	30	69.2	79.2	79.5	79.6	79.7	79.7					
อุณหภูมิน้ำ	80.3	80.3	80.3	80.3	80.2	80.2	80.2	80.2	80.2	80.2	80.1	80.1

12	13	14	15	16
78.9	79.3	79.4	79.6	79.8
80.1	80.1.	80.1	80.1	80.1

ตาราง ก.9 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x116 มม. ที่แอมปิจูด 2 เซนติเมตร ความถี่ต่างๆ

เวลา	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
นำความร้อน	30	32.0	41.9	52.1	59.8	64.6	68.3	70.8	72.9	73.8	74.8	75.2
ความถี่60/min	30	40.6	60.5	70.3	74.8	76.6	77.6	77.6				
ความถี่140/min	30	62.5	76	77.7	77.9	77.9						
ความถี่210/min	30	69.2	77.2	77.5	77.5							
อุณหภูมิน้ำ	80.3	80.3	80.3	80.3	80.2	80..2	80..2	80.3	80..3	80.3	80.3	80.2

12	13	14	15	16	17
75.7	75.9	76.2	76.3	76.4	76.4
80.2	80.2	80.1	80.1	80.1	80.1

ตาราง ก.10 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x116 มม. ที่แอมปิจูด 3 เซนติเมตร ความถี่ต่างๆ

เวลา	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
น้ำความร้อน	30	32.0	41.9	52.1	59.8	64.6	68.3	70.8	72.9	73.8	74.8	75.7
ความถี่60/min	30	39.5	59.4	69.7	73.7	76.0	76.5	76.8	76.9	76.9		
ความถี่140/min	30	63.6	76.7	77.8	77.7	77.7	77.7					
ความถี่210/min	30	61.5	76.4	77.7	78.1	78.2						
อุณหภูมิน้ำ	80.3	80.3	80.3	80.3	80.2	80.2	80.2	80.2	80.2	80.3	80.3	80.3

12	13	14	15	16	17
75.7	75.9	76.2	76.3	76.4	76.4
80.3	80.3	80.3	80.4	80.4	80.4

ตาราง ก.11 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x116 มม. ที่แอมปิจูด 4 เซนติเมตร ความถี่ต่างๆ

เวลา	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
น้ำความร้อน	30	32.0	41.9	52.1	59.8	64.6	68.3	70.8	72.9	73.8	74.8	75.2
ความถี่60/min	30	40.1	60.5	70.0	73.9	76.2	76.7	77	77.0			
ความถี่140/min	30	63.9	76.1	76.9	76.6	76.6	76.6					
ความถี่210/min	30	71	77.9	78.5	78.6	78.6						
อุณหภูมิน้ำ	80.2	80.2	80.2	80.2	80.1	80.1	80.1	80.1	80.1	80.2	80.2	80.2

12	13	14	15	16	17
75.7	75.9	76.2	76.3	76.4	76.4
80.2	80.2	80.2	80.3	80.3	80.3

ตาราง ก.15 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 51x133 มม.ที่ความถี่ 60 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด

เวลา	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
น้ำความร้อน	30	35.2	51.4	61.6	67.9	71.5	74.1	75.7	76.7	77.5	78.2	78.5
แอมปิจูด 2 cm	30	45.8	66.1	74.1	76.9	78.6	79.1	79.3	79.5	79.5	79.6	
แอมปิจูด 3 cm	30	38.9	62.8	72.7	76.7	78.5	79.1	79.4	79.6	79.7	79.7	
แอมปิจูด 4 cm	30	41.0	63.8	73.2	76.9	78.7	79.4	79.7	79.9	79.9		
อุณหภูมิน้ำ	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3	80.2	80.2	80.2	80.2	80.1	80.1	80.1

12	13	14	15	16
78.9	79.3	79.4	79.6	79.8
80.1	80.1	80.2	80.2	80.2

ตาราง ก.16 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 51x133 มม.ที่ความถี่ 140 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด

เวลา	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
นำความร้อน	30	35.2	51.4	61.6	67.9	71.5	74.1	75.7	76.7	77.5	78.2	78.5
แอมปิจูด 2 cm	30	59.4	76.1	78.5	79.1	79.3	79.5	79.5				
แอมปิจูด 3 cm	30	45.9	73.9	79.7	79.3	79.4	79.5					
แอมปิจูด 4 cm	30	61.3	77.3	78.8	79	79.0	79.1	79.2	79.3	79.3		
อุณหภูมิน้ำ	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3	80.2	80.2	80.2	80.2	80.3	80.3	80.3

12	13	14	15	16
78.9	79.3	79.4	79.6	79.8
80.3	80.3	80.2	80.2	80.2

ตาราง ก.17 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 51x133 มม.ที่ความถี่ 210 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด

เวลา	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
นำความร้อน	30	35.2	51.4	61.6	67.9	71.5	74.1	75.7	76.7	77.5	78.2	78.5
แอมปิจูด 2 cm	30	69.2	79.0	79.3	79.3	79.6	79.6					
แอมปิจูด 3 cm	30	69.0	78.2	78.8	79.0	79.2	79.4					
แอมปิจูด 4 cm	30	69.2	79.2	79.5	79.6	79.7	79.7					
อุณหภูมิน้ำ	80.4	80.4	80.4	80.4	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3

12	13	14	15	16
78.9	79.3	79.4	79.6	79.8
80.2	80.2	80.2	80.2	80.2

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ตาราง ก.18 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x116 มม.ที่ความถี่ 60 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด

เวลา	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
น้ำความร้อน	30	32.0	41.9	52.1	59.8	64.6	68.3	70.8	72.9	73.8	74.8	75.2
แอมปิจูด 2 cm	30	40.6	60.5	70.3	74.8	76.6	77.6	77.6				
แอมปิจูด 3 cm	30	39.5	59.4	69.2	73.7	76.0	76.5	76.8	76.9	76.9		
แอมปิจูด 4 cm	30	40.1	60.5	70.0	73.9	76.2	76.7	77	77.0			
อุณหภูมิน้ำ	80.2	80.2	80.2	80.2	80.2	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3

12	13	14	15	16	17
75.7	75.9	76.2	76.3	76.4	76.4
80.2	80.2.	80.2	80.2	80.2	80.1

ตาราง ก.19 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x116 มม.ที่ความถี่ 140 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด

เวลา	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
น้ำความร้อน	30	32.0	41.9	52.1	59.8	64.6	68.3	70.8	72.9	73.8	74.8	75.2
แอมปิจูด 2 cm	30	62.5	76	77.7	77.9	77.9						
แอมปิจูด 3 cm	30	63.6	76.7	77.8	77.7	77.7	77.7					
แอมปิจูด 4 cm	30	63.9	76.1	76.9	76.6	76.6	76.6					
อุณหภูมิน้ำ	80.2	80.2	80.2	80.2	80.2	80.2	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3

12	13	14	15	16	17
75.7	75.9	76.2	76.3	76.4	76.4
80.3	80.2	80.2	80.2	80.2	80.2

ตาราง ก.20 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขนาด 84x116 มม.ที่ความถี่ 210 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด

เวลา	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
น้ำความร้อน	30	32.0	41.9	52.1	59.8	64.6	68.3	70.8	72.9	73.8	74.8	75.2
แอมปิจูด 2 cm	30	69.2	77.2	77.5	77.5							
แอมปิจูด 3 cm	30	61.5	76.4	77.7	78.1	78.2						
แอมปิจูด 4 cm	30	71	77.9	78.5	78.6	78.6						
อุณหภูมิน้ำ	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4	80.3	80.3	80.3	80.3.	80.3	80.2	80.2

12	13	14	15	16	17
75.7	75.9	76.2	76.3	76.4	76.4
80.2	80.2	80.2	80.1	80.1	80.1

ตาราง ก.21 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศขนาด 84x52 มม. ที่แอมปิจูด 2ซม.เปลี่ยนความถี่

เวลา	0	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45
น้ำความร้อน	30	31	36.6	47.5	56.6	63.4	68	71.8	74.3	75.7	77.1
ความถี่60ครั้งต่อนาที	30	33.8	39.6	51.7	61.9	68.5	72.4	75.4	77.1	78.1	78.8
ความถี่140ครั้งต่อนาที	30	30.3	36.6	50.1	60.8	67.1	71.9	74.4	75.8	76.8	77.8
ความถี่210ครั้งต่อนาที	30	31.9	69.7	77.9							
อุณหภูมิน้ำ	80.2	80.2	80.2	80.2	80.2	80.3	80.3	80.3	80.3	80.2	80.2

50	55	56
78.2	79.1	79.3
80.2	80.2	80.2

ตาราง ก.22 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศขนาด 84x52มม. ที่แอมปิจูด 3ซม.เปลี่ยนความถี่

เวลา	0	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45
นำความร้อน	30	31	36.6	47.5	56.6	63.4	68	71.8	74.3	75.7	77.1
ความถี่60ครั้งต่อนาที	30	31.3	41.7	53.4	61.9	67.9	72.3	75.4	77.6	78.1	78.8
ความถี่140ครั้งต่อนาที	30	31.4	39.5	55.5	64.6	70.2	72.4	75.1	76.6	77.5	77.8
ความถี่210ครั้งต่อนาที	30	30.8	70.5	79.6							
อุณหภูมิน้ำ	80.2	80.2	80.2	80.2	80.2	80.3	80.3	80.3	80.3	80.2	80.2

50	55	56
78.2	79.1	79.3
80.2	80.1	80.1

ตาราง ก.23 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศขนาด 84x52มม. ที่แอมปิจูด 4ซม.เปลี่ยนความถี่

เวลา	0	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45
น้ำความร้อน	30	31	36.6	47.5	56.6	63.4	68	71.8	74.3	75.7	77.1
ความถี่60ครั้งต่อนาที	30	32.4	43.9	55.8	63.8	68.8	72.5	74.7	76.2	77.4	78.2
ความถี่140ครั้งต่อนาที	30	30.6	55.8	72.4	77.2	78.4					
ความถี่210ครั้งต่อนาที	30	42.9	74.9	78.8							
อุณหภูมิน้ำ	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3	80.2	80.2	80.2	80.2	80.2	80.1

50	55	56
78.2	79.1	79.3
78.7		
80.1	80.1	80.1

ตาราง ก.24 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศขนาด 51x133มม. ที่แอมปิจูด 2ซม.เปลี่ยนความถี่

เวลา	0	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45
น้ำความร้อน	30	30.6	32.5	40.2	50.4	58.8	65.3	69.7	72.7	74.7	76.7
ความถี่60ครั้งต่อนาที	30	31.6	37.6	48.0	57.4	64.5	69.7	73.9	76.4	78.3	
ความถี่140ครั้งต่อนาที	30	30.6	35.3	45.5	55.0	62.5	68.2	71.7	74.4	76.1	
ความถี่210ครั้งต่อนาที	30	31.1	37.9	49.6	58.6	65.9	70.6	73.5	75.8	77.2	
อุณหภูมิน้ำ	80.2	80.2	80.2	80.2	80.2	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3	80.2

50	54
77.9	78.2
80.2	80.2

ตาราง ก.25 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศขนาด 51x133มม. ที่แอมปิจูด 3ซม.เปลี่ยนความถี่

เวลา	0	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45
นำความร้อน	30	30.6	32.5	40.2	50.4	58.8	65.3	69.7	72.7	74.7	76.7
ความถี่60ครั้งต่อนาที	30	31.2	35.4	46.4	56.2	63.6	68.6	72.6	75.5	77.3	78.7
ความถี่140ครั้งต่อนาที	30	31.3	34.7	45.8	56.2	63.6	68.8	72.5	74.9	76.7	77.9
ความถี่210ครั้งต่อนาที	30	31.5	35.2	45.5	55.9	64.3	69.6	72.8	75.5	77.1	78.3
จุดหภูมิน้ำ	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4	80.5

50	54
77.9	78.2
80.5	80.5

ตาราง ก.26 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศขนาด 51x133มม. ที่แอมปิจูด 4ซม.เปลี่ยนความถี่

เวลา	0	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45
นำความร้อน	30	30.6	32.5	40.2	50.4	58.8	65.3	69.	72.7	74.7	76.7
ความถี่60ครั้งต่อนาที	30	30.4	35.7	47.5	58.4	66.4	71.7	75.8	78.5		
ความถี่140ครั้งต่อนาที	30	31.6	39.8	51.3	60.2	66.7	71.3	74.7	77.1	78.5	
ความถี่210ครั้งต่อนาที	30	32.6	38.0	48.9	58.4	65.1	70.0	72.8	74.9	76.3	77.1
อุณหภูมิน้ำ	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3	80.4	80.4	80.4	80.4	80.3	80.3

50	54
77.9	78.2
80.3.	80.3

ตาราง ก.27 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศขนาด 84x116มม. ที่แอมปิจูด 2ซม.เปลี่ยนความถี่

เวลา	0	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45
น้ำความร้อน	30	30.8	32.2	34.6	38.5	43.6	48.3	52.8	56.7	60.3	63.1
ความถี่60ครั้งต่อนาที	30	30.2	31.5	34.3	38.7	44.	49.7	54.6	58.7	62.2	65.2
ความถี่140ครั้งต่อนาที	30	30.4	31.8	34.3	38.9	46.8	54.3	60.4	65.9	70.5	73.9
ความถี่210ครั้งต่อนาที	30	31.5	33.3	38.5	46.3	55	61.5	65.7	69.2	73	75.3
อุณหภูมิน้ำ	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3	80.4	80.4	80.4.	80.4	80.4

50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	98
65.6	67.9	69.8	71.2	72.2	73.0	73.6	74.1	74.5	74.8	75.4
67.6	69.	71.1	73.1	75.2	77.0					
76.5	77.7	79.3	79.9							
78.2										
80.3	80.3	80.3	80.3	80.3	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4

ตาราง ก.28 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศขนาด 84x116มม. ที่แอมปีจูด 3ซม.เปลี่ยนความถี่

เวลา	0	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45
นำความร้อน	30	30.8	32.2	34.6	38.5	43.6	48.3	52.8	56.7	60.3	63.1
ความถี่60ครั้งต่อนาที	30	31.2	32.1	34.8	39.5	44.4	49.4	53.7	57.6	61.1	63.8
ความถี่140ครั้งต่อนาที	30	30.1	31.3	34.4	38.2	43.3	48.6	53.7	57.3	61.3	64.1
ความถี่210ครั้งต่อนาที	30	30.2	31.7	35.3	40.3	45.7	50.5	55.4	60.2	63.9	67.6
อุณหภูมิน้ำ	80.1	80.1	80.1	80.2	80.2	80.2	80.2	80.3	80.3	80.3	80.3

50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	98
65.6	67.9	69.8	71.2	72.2	73.0	73.6	74.1	74.5	74.8	75.4
66.3	68.3	70.1	71.7	73.0	74.1	75.0	75.9	76.8		
66.6	68.9	70.7	72.3	73.7	74.8	75.8	76.4			
70.5	72.2	73.8	75.3	76.3	77.4	78.4				
80.3	80.2	80.2	80.2	80.2	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3

ตาราง ก.29 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศขนาด 84x116มม. ที่แอมปิจูด 4ซม.เปลี่ยนความถี่

เวลา	0	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45
นำความร้อน	30	30.8	32.2	34.6	38.5	43.6	48.3	52.8	56.7	60.3	63.1
ความถี่60ครั้งต่อนาที	30	30.5	33.6	36.4	40.8	46.2	51.4	56.2	60.2	63.6	66.5
ความถี่140ครั้งต่อนาที	30	32.1	37.8	41.7	46.3	51.7	56.7	60.8	64.3	67.3	69.9
ความถี่210ครั้งต่อนาที	30	31.7	35.4	40.3	47.3	57.4	62.7	68.0	73.1	76.2	79.2
อุณหภูมิน้ำ	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4

50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	98
65.6	67.9	69.	71.2	72.2	73.0	73.6	74.1	74.5	74.8	75.4
68.9	70.8	72.3	73.7	75.0	75.8	76.7	77.3	77.7		
71.8	73.5	75.1	76.0	76.7	77.6	78.1				
80.5	80.5	80.5	80.5	80.5	80.5	80.5	80.5	80.4	80.4	80.4

ตาราง ก.30 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศขนาด 84x52 มม.ที่ความถี่ 60 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด

เวลา	0	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45
น้ำความร้อน	30	31	36.	47.5	56.6	63.4	68	71.8	74.3	75.7	77.1
แอมปิจูด 2 cm	30	30.7	36.6	50.1	60.8	67.1	71.9	74.4	75.8	76.8	77.8
แอมปิจูด 3 cm	30	31.3	41.7	53.4	61.9	67.9	72.3	75.4	77.6	78.1	78.8
แอมปิจูด 4 cm	30	32.4	43.9	55.8	63.8	68.8	72.5	74.7	76.2	77.4	78.2
อุณหภูมิน้ำ	80.2	80.2	80.2	80.2	80.2	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3	80.4

50	55	56
78.2	79.1	79.3
78.7		
80.4	80.4	80.4

ตาราง ก.31 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศขนาด 84x52 มม.ที่ความถี่ 140 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด

เวลา	0	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	56
น้ำความร้อน	30	31	36.6	47.5	56.6	63.4	68	71.8	74.3	75.7	77.1	78.2	79.1	79.3
แอมปิจูด 2 cm	30	33.8	39.6	51.7	61.9	68.5	72.4	75.4	77.1	78.1	78.8			
แอมปิจูด 3 cm	30	31.4	39.5	55.5	64.6	70.2	72.4	75.1	76.6	77.5	77.8			
แอมปิจูด 4 cm	30	30.6	55.8	72.4	77.2	78.4								
อุณหภูมิน้ำ	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4	80.5	80.5	80.5	80.5	80.5	80.4	80.4	80.4	80.4

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง หรือเผยแพร่ในรูปแบบใดๆ โดยไม่ได้รับอนุญาต

ตาราง ก.32 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศขนาด 84x52 มม.ที่ความถี่ 210 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด

เวลา	0	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45
น้ำความร้อน	30	31	36.6	47.5	56.6	63.4	68	71.8	74.3	75.7	77.1
แอมปิจูด 2 cm	30	31.9	69.7	77.9							
แอมปิจูด 3 cm	30	30.8	70.5	79.6							
แอมปิจูด 4 cm	30	42.9	74.9	78.8							
อุณหภูมิน้ำ	80.2	80.2	80.2	80.2	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3	80.4	80.4

50	55	56
78.2	79.1	79.3
80.4	80.4	80.4

ตาราง ก.33 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศขนาด 51x133 มม.ที่ความถี่ 60 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด

เวลา	0	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	54
น้ำความร้อน	30	30.6	32.5	40.2	50.4	58.8	65.3	69.7	72.7	74.4	76.7	77.9	78.2
แอมปิจูด 2 cm	30	31.6	37.6	48.0	57.7	64.5	69.7	73.9	76.4	78.3			
แอมปิจูด 3 cm	30	31.2	35.4	46.5	56.2	63.6	68.6	72.6	75.5	77.3	78.7		
แอมปิจูด 4 cm	30	30.4	35.7	47.5	58.4	66.4	71.7	75.8	78.5				
อุณหภูมิน้ำ	80.2	80.2	80.2	80.2	80.2	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3	80.2	80.2	80.2

ตาราง ก.34 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศขนาด 51x133 มม.ที่ความถี่ 140 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด

เวลา	0	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	54
นำความร้อน	30	30.6	32.5	40.2	50.4	58.8	65.3	69.7	72.7	74.7	76.7	77.9	78.2
แอมปิจูด 2 cm	30	30.6	35.3	45.5	55.0	62.5	68.2	71.7	74.4	76.1			
แอมปิจูด 3 cm	30	31.3	34.7	45.8	56.2	63.6	68.8	72.5	74.9	76.7	77.9		
แอมปิจูด 4 cm	30	31.6	39.8	51.3	60.2	66.7	71.3	74.7	77.1	78.5			
อุณหภูมิน้ำ	80.3	80.3	80.3	80.3	80.2	80.2	80.2	80.2	80.1	80.1	80.1	80.1	80.1

ตาราง ก.35 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศขนาด 51x133 มม.ที่ความถี่ 210 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด

เวลา	0	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45
นำความร้อน	30	30.6	32.5	40.2	50.4	58.8	65.3	69.7	72.7	74.7	76.7
แอมปิจูด 2 cm	30	31.1	37.9	49.6	58.6	65.9	70.6	73.5	75.8	77.2	
แอมปิจูด 3 cm	30	31.5	35.2	45.5	55.9	64.3	69.6	72.8	75.5	77.1	78.3
แอมปิจูด 4 cm	30	32.6	38.0	48.9	58.4	65.1	70.0	72.8	74.9	76.3	77.1
อุณหภูมิน้ำ	80.3	80.3	80.3	80.3	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4	80.3

50	54
77.9	78.2
80.3	80.3

ตาราง ก.36 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศขนาด 84x116 มม.ที่ความถี่ 60 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด

เวลา	0	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45
นำความร้อน	30	30.8	32.2	34.6	38.5	43.6	48.3	52.8	56.7	60.3	63.1
แอมปิจูด 2 cm	30	30.2	31.5	34.3	38.7	44.5	49.	54.6	58.7	62.2	65.2
แอมปิจูด 3 cm	30	31.2	32.1	34.8	39.5	44.4	49.4	53.7	57.6	61.1	63.8
แอมปิจูด 4 cm	30	30.5	33.6	36.4	40.8	46.2	51.4	56.2	60.2	63.6	66.5
อุณหภูมิน้ำ	80.3	80.3	80.3	80.3	80.2	80.2	80.2	80.1	80.1	80.1	80.2

50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	98
65.63333	67.9	69.8	71.2	72.2	73.0	73.6	74.1	74.5	74.8	75.4
67.6	69.3	71.1	73.1	75.2	77.0					
66.33333	68.3	70.1	71.7	73.0	74.1	75.0	75.9	76.8		
68.9	70.8	72.3	73.7	75.0	75.8	76.7	77.3	77.7		
80.2	80.2	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3

ตาราง ก.37 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศขนาด 84x116 มม.ที่ความถี่ 140 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด

เวลา	0	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45
นำความร้อน	30	30.8	32.2	34.6	38.5	43.6	48.3	52.8	56.7	60.3	63.1
แอมปิจูด 2 cm	30	30.1	31.3	34.4	38.2	43.3	48.6	53.7	57.7	61.3	64.1
แอมปิจูด 3 cm	30	30.4	31.8	34.3	38.9	46.8	54.3	60.8	64.3	67.3	69.9
แอมปิจูด 4 cm	30	32.1	37.8	41.7	46.3	51.7	56.	60.4	65.9	70.5	73.9
อุณหภูมิน้ำ	80.2	80.2	80.2	80.2	80.3	80.3	80.3	80.3	80.4	80.4	80.4

50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	98
65.6	67.9	69.8	71.2	72.2	73.0	73.6	74.1	74.5	74.83	75.4
66.6	68.9	70.7	72.3	73.7	74.8	75.8	76.4			
71.8	73.5	75.1	76.0	76.7	77.6	78.1				
76.5	77.	79.3	79.9		77.6	78.1				
80.4	80.2	80.2	80.2	80.2	80.2	80.2	80.1	80.1	80.1	80.1

ตาราง ก.38 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องบรรจุซอสมะเขือเทศขนาด 84x116 มม.ที่ความถี่ 210 ครั้งต่อนาทีเปลี่ยนแอมปิจูด

เวลา	0	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45
น้ำความร้อน	30	30.8	32.2	34.6	38.5	43.6	48.3	52.8	56.7	60.3	63.1
แอมปิจูด 2 cm	30	30.2	31.7	35.3	40.3	45.7	50.5	55.4	60.2	63.9	67.6
แอมปิจูด 3 cm	30	31.5	33.3	38.5	46.3	55	61.5	65.7	69.2	73	75.3
แอมปิจูด 4 cm	30	31.7	35.4	40.3	47.3	57.4	62.7	68.0	73.1	76.2	79.2
อุณหภูมิน้ำ	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3	80.2	80.2	80.2	80.2	80.1	80.1

50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	98
65.6	67.9	69.8	71.2	72.2	73.0	73.6	74.1	74.5	74.8	75.4
70.5	72.2	73.8	75.3	76.3	77.4	78.4				
78.2										
80.1	80.2	80.2	80.2	80.2	80.2	80.2	80.3	80.3	80.3	80.3