

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**การศึกษาและออกแบบหม้อฆ่าเชื้อแบบ Water Spray Retort ขนาดเล็ก
สำหรับทดสอบคุณภาพบรรจุภัณฑ์**

Study and Design Laboratory Water Spray Retort for pouch testing



ปฏิญานพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2548

ภาควิชา วิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาและออกแบบหม้อฆ่าเชื้อแบบ Water Spray Retort ขนาดเล็ก

สำหรับทดสอบคุณภาพบรรจุภัณฑ์

ผู้จัดทำ

ว่าที่ ร.ต.เมธาณี เปรมศรี

นายรัตน์สินทร์ วรากุล

นายศุภชัย สว่างพิทักษ์พร

นายสัมฤทธิ์ ดะเซ็ง

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์สมักร รักแม่)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์เจษฎา ชัยโฉม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาและออกแบบหม้อน้ำเชื้อแบบ Water Spray Retort ขนาดเล็ก สำหรับทดสอบคุณภาพบรรจุภัณฑ์

ว่าที่ ร.ต.เมธาณี เปรมศรี

นายรัตนสินทร์ วรากุล

นายศุภชัย สว่างพิทักษ์พร

นายสัมริ คะเซ็ง

อาจารย์สมัคร รักแม่ อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์เจษฎา ชัยโถม อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างหม้อน้ำเชื้อแบบ Water Spray Retort สำหรับทดสอบคุณภาพบรรจุภัณฑ์หรือผลิตภัณฑ์เบื้องต้น โดยเฉพาะลักษณะทางกายภาพของบรรจุภัณฑ์หรือผลิตภัณฑ์หลังผ่านกระบวนการให้ความร้อน โดยออกแบบให้สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกและไม่ต้องใช้เครื่องกำเนิดไอน้ำ (Boiler) ในการให้ความร้อน โดย Retort มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 เซนติเมตร หนา 3 มิลลิเมตร ใช้ปั้มน้ำขนาด 0.75 แรงม้า ควบคุมอัตราการไหลด้วย Inverter ใช้ขดลวดความร้อน (Heater) ขนาด 1 กิโลวัตต์ จำนวน 4 ตัว เป็นแหล่งให้พลังงานความร้อน ควบคุมอุณหภูมิด้วยชุด Temperature Controller ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ (Plate Exchanger) ในการลดอุณหภูมิ (cooling) น้ำในระบบ ใช้ปั้ลมเพื่อสร้างแรงดัน โดยมี Regulator และ Safety Valve เป็นตัวควบคุมความดันภายในหม้อน้ำเชื้อ (Retort) ซึ่งเครื่องที่สร้างใช้น้ำในการหมุนเวียนในระบบ 12 ลิตร ด้วยอัตราการไหล 32 ลิตร/นาที มีเวลาช่วง come-up time 30 นาที ควบคุมอุณหภูมิในช่วง processing time ได้สูงถึง 140°C ช่วงเวลา cooling time ควบคุมได้โดยการปรับอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นซึ่งที่ 5 ลิตร/นาที ใช้เวลาในการลดอุณหภูมิ (cooling) จาก 121°C - 45°C เป็นเวลา 12 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study and Design Laboratory Water Spray Retort for pouch testing

Water Spray Retort

Maethanee Praemsri

Rattanasin Warakul

Suppachai Sawangpitakporn

Samri Daseng

Samak Rakmae and

Jedsada Chaishome Advisor

2005

Abstract

The project was aimed at design the laboratory water spray retort for pre-testing packages (retort pouch) or physical properties of products after thermal processing. This retort was designed to movable and using heaters for the heating source. The chamber of retort has 37 cm. diameter, 50 cm. length and 3 mm. thickness. The quantity of water that used in retort was 12 liters and circulated, 32 liter/min, by 0.75 Hp. Pump through the 4 kW. heater then sprayed at the outlets that equipped with 2 spray headers in the chamber. The temperature controller was used to control temperature while the pressure from air compressor that used to add pressure to the retort was control by the pressure regulator and the releasing valve. In the ending process cooling time was controlled by the cooling water flow rate at the plate heat exchanger. The come-up time was 30 minute, temperature raised 30°C to 140 °C, and the cooling time was 12 minute.

กิตติกรรมประกาศ

ด้วยความอนุเคราะห์ของทุกคน โครงการนี้จึงสำเร็จได้ด้วยดี คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์สมิทร รักแม่ และอาจารย์เจษฎา ชัยโสม อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้ความช่วยเหลือ กระตุ้นให้เรา มีความกระตือรือร้นในการทำงาน ให้อำนาจการวางแผนในการทำงานและคอยห่วงใย เราตลอดเวลาโดยไม่เว้นในวันหยุดราชการ

ขอขอบคุณทุกท่านที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือตลอดมา พี่แมน พี่บุญนา พี่เป็ง ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ทั้งกำลังใจและทุนทรัพย์จนปริญญาบัตรนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สัญลักษณ์	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.4 ขอบเขตของโครงการ	2
บทที่ 2 อุปกรณ์ (Retort pouch)	
2.1 ลักษณะทั่วไปของรีทอร์ทเพาซ์	3
2.2 รูปแบบโครงสร้างของ Retort pouch	4
2.3 หลักการนำเชื้ออาหารกระป๋องและบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว	5
2.4 องค์ประกอบคุณสมบัติและคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหาร	7
2.5 การศึกษาประสิทธิภาพเครื่องนำเชื้อ	8
2.6 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น	10
2.7 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	11
บทที่ 3 หม้อนำเชื้อ (Retort)	
3.1 การแบ่งลักษณะของ Retort	14
3.2 การเปรียบเทียบระบบของ Retort	16
3.3 การศึกษาอัตราการแทรกผ่านความร้อน	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การออกแบบและการคำนวณ	
4.1 ถึงความดัน	20
4.2 การคำนวณหาผลลวดความร้อน	23
บทที่ 5 การคำนวณและการออกแบบ	
5.1 การคำนวณหาความหนาของถัง	24
5.2 การคำนวณหาขนาดของขดลวดความร้อน	24
5.3 การออกแบบหม้อฆ่าเชื้อ	25
5.4 แบบและส่วนประกอบของ Water Spray Retort	26
บทที่ 6 วิธีทดลองและผลการทดลอง	
6.1 วัตถุประสงค์	34
6.2 วัสดุอุปกรณ์การทดลอง	34
6.3 ขั้นตอนการทดลอง	34
6.4 การตรวจวัดอุณหภูมิภายใน Water Spray Retort	38
เอกสารอ้างอิง	41
ภาคผนวก ก	43
ภาคผนวก ข	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของรีทอร์ทเพาซ์โดยทั่วไป	4
รูปที่ 2.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นในอุตสาหกรรม	10
รูปที่ 2.3 การไหลของความร้อนผ่านผนังกันราบ	12
รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขนาน	12
รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทาง	13
รูปที่ 4.1 ความเค้นที่กระทำบนชิ้นส่วนของผนัง	21
รูปที่ 4.2 ความเค้นหลัก	21
รูปที่ 4.3 แรงที่ขนานกับแนวแกน Z	21
รูปที่ 4.4 แรงที่กระทำบนหน้าตัดของผนัง	22
รูปที่ 4.5 วงกลมเมอร์	23
รูปที่ 5.1 Water Spray Retort	26
รูปที่ 5.2 โครงสร้าง	27
รูปที่ 5.3 ด้านหน้าของโครงสร้าง	27
รูปที่ 5.4 ชุดอุปกรณ์และส่วนของถัง	28
รูปที่ 5.5 ชุดให้พลังงานความร้อน	30
รูปที่ 5.6 รูป Plate exchanger จริงที่ใช้	31
รูปที่ 5.7 ส่วนประกอบของ Plate exchanger	31
รูปที่ 5.8 ภาพจริงด้านหน้าของเครื่อง	32
รูปที่ 5.9 ภาพจริงของชุดให้ความร้อน	32
รูปที่ 5.10 ภาพจริงของชุดลดอุณหภูมิ (Cooling)	33
รูปที่ 5.11 ภาพจริงด้านขวาของเครื่อง	33
รูปที่ 6.1 กราฟกระบวนการทำงานที่สภาวะที่ 1	35
รูปที่ 6.2 สภาพของรีทอร์ทเพาซ์หลังจากการทดลองในสภาวะที่ 1	36
รูปที่ 6.3 กราฟกระบวนการทำงานที่สภาวะที่ 2	36
รูปที่ 6.4 สภาพของรีทอร์ทเพาซ์หลังจากการทดลองในสภาวะที่ 2	37
รูปที่ 6.5 กราฟกระบวนการทำงานที่สภาวะที่ 3	37
รูปที่ 6.6 สภาพของรีทอร์ทเพาซ์หลังจากการทดลองในสภาวะที่ 3	38
รูปที่ 6.7 การตรวจวัดอุณหภูมิที่จุดต่างๆในสภาวะที่ 1	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 6.8 การตรวจวัดอุณหภูมิที่จุดต่างๆในสภาวะที่ 2	39
รูปที่ 6.9 การตรวจวัดอุณหภูมิที่จุดต่างๆในสภาวะที่ 3	39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า	
ตารางที่ 1	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของตัวกลางความร้อนชนิดต่างๆ	16
ตารางที่ 5.1	รายการขึ้นส่วนของถัง	29
ตารางที่ 5.2	รายการขึ้นส่วนของชุดสร้างความร้อน	30
ตารางที่ 5.3	รายการขึ้นส่วนของชุดให้ความร้อน	31
ตารางที่ ก.1	การตรวจวัดอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ที่สภาวะที่ 1	43
ตารางที่ ก.2	การตรวจวัดอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ที่สภาวะที่ 2	47
ตารางที่ ก.3	การตรวจวัดอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ที่สภาวะที่ 3	50
ตารางที่ ข.1	คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าที่ชุบแข็งได้	54
ตารางที่ ข.2	น้ำอิมิตัว – อุณหภูมิ	55
ตารางที่ ข.3	ค่าความปลอดภัย	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์

a_w	Water activity
x_m	ความหนาของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน
x_1, x_2	ความหนาของคราบตะกรันด้านร้อนและด้านเย็น
T_{hi}	อุณหภูมิเข้าของเหลวด้านร้อน, °C
T_{ci}	อุณหภูมิเข้าของเหลวด้านเย็น, °C
T_{ho}	อุณหภูมิออกของเหลวด้านร้อน, °C
T_{co}	อุณหภูมิออกของเหลวด้านเย็น, °C
P_w	กำลังงานที่ใช้, watt
m	มวล, kg
L	ลิตร
V	ปริมาณ, ลิตร
ρ_{water}	ความหนาแน่นของน้ำ
C_p	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ, kJ/kg.k
t_r	เวลา, Sec
T	อุณหภูมิ, °C
ΔT	ผลต่างของอุณหภูมิ
τ	ความเค้นเฉือน
τ_{max}	ความเค้นเฉือนสูงสุด
σ	ค่าความเค้น, N/mm ²
σ_1	ความเค้นตามแนวเส้นรอบวง
σ_2	ความเค้นตามแนวความยาว
P	ความดัน, bar
r	รัศมี, mm
t	ความหนาของถัง, mm
N	ค่าความปลอดภัย
A	พื้นที่, m ²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

จากอดีตมาจนถึงปัจจุบันวิวัฒนาการด้านอาหารมีการเจริญและพัฒนาขึ้นอย่างมากทั้งรูปแบบของการผลิตประเภทของอาหาร ลักษณะของอาหารรวมทั้งรูปแบบบรรจุภัณฑ์ที่มีลักษณะต่างๆ เช่น การบรรจุในกระป๋อง โฟม Retort pouch เป็นต้น ซึ่งในการบรรจุแต่ละชนิดมีลักษณะข้อดี ข้อเสีย ที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของอาหารที่บรรจุ ซึ่งในปัจจุบันมีการบรรจุในรีทอร์ทแพคเกจเป็นที่นิยมเป็นอย่างมากและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในหลายๆประเทศ ทำให้ต้องมีอุตสาหกรรมที่ผลิตรีทอร์ทแพคเกจขึ้นเพื่อป้อนให้อุตสาหกรรมอาหาร ดังนั้นในการควบคุมคุณภาพของรีทอร์ทแพคเกจบริษัทผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์จะต้องมีการทดสอบก่อน เพื่อให้แน่ใจว่าจะสามารถนำไปบรรจุอาหารได้โดยไม่เกิดความเสียหายได้ในภายหลัง

แต่ในการทดสอบแต่ละครั้งต้องมีการสูญเสียค่าใช้จ่ายหลายอย่าง เช่นจะต้องมีการซื้อหม้อฆ่าเชื้อ (Retort) สำหรับรีทอร์ทแพคเกจเครื่องกำเนิดไอน้ำ (boiler) สำหรับกำเนิดไอน้ำให้หม้อฆ่าเชื้อ (Retort) ค่าไฟและค่าใช้จ่ายอื่นๆ อีกรวมทั้งขนาดของหม้อฆ่าเชื้อ (Retort) ที่ใช้ทดสอบก็ไม่เหมาะสมกับขนาดของการทดสอบด้วย ทำให้ต้องคิดสร้างเครื่องทดสอบรีทอร์ทแพคเกจขึ้นเพื่อให้สามารถที่จะประหยัดค่าใช้จ่ายในแต่ละครั้ง ลดขนาดให้เหมาะสมกับการทดสอบ ประหยัดอุปกรณ์ต่างๆ ลง

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและสร้างหม้อฆ่าเชื้อแบบ Water Spray Retort เพื่อใช้สำหรับทดสอบบรรจุภัณฑ์และผลิตภัณฑ์หลังผ่านกระบวนการให้ความร้อน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้หม้อฆ่าเชื้อขนาดเล็กที่สามารถทดสอบบรรจุภัณฑ์หรือผลิตภัณฑ์ ซึ่งลดค่าใช้จ่ายในการลงทุนและดำเนินการ
2. เป็นแนวทางในการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ได้หม้อฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

1.4 ขอบเขตของโครงการงาน

1. สามารถสร้างสภาวะต่างๆเพื่อใช้ในการทดสอบและสามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เราต้องการได้
2. สามารถควบคุมความดันให้เหมาะสมกับการแปรผันของอุณหภูมิที่ 121°C, 140°C
3. สามารถควบคุมความดันและอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 121°C ที่ความดัน 1.5, 2 บาร์และที่ 140°C ที่ความดัน 3 บาร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ถุงบรรจุภัณฑ์ (Retort Pouch)

2.1 ลักษณะทั่วไปของรีทอร์ทเพาซ์[8]

รีทอร์ทเพาซ์(Retort pouch) หรือถุงคัมฆ่าเชื้อเป็นบรรจุภัณฑ์พลาสติกลามิเนตแบบยืดหยุ่น ซึ่งกำลังได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบันและมีแนวโน้มของการใช้เพิ่มขึ้นในอนาคตซึ่งรีทอร์ทเพาซ์มีคุณสมบัติเด่น คือ มีความยืดหยุ่นและทนต่ออุณหภูมิสูงๆ ได้ดี สามารถใช้บรรจุอาหารได้หลายชนิด ผลิตจากพลาสติกลามิเนตกับอะลูมิเนียมฟอยล์หรือพลาสติกกับพลาสติก สามารถทนต่ออุณหภูมิที่ใช้ฆ่าเชื้อได้และยังสามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพอาหารด้าน กลิ่น สี รส จากความชื้นจากก๊าซออกซิเจนและการปนเปื้อนของจุลินทรีย์เมื่อนำมาเก็บที่อุณหภูมิห้องนอกจากนี้ยังมีน้ำหนักเบา ไม่ยุบหรือบวม ไม่เกิดสนิม และที่สำคัญคือ สามารถใช้กับเตาไมโครเวฟได้

ขนาดบรรจุของรีทอร์ทเพาซ์ที่ออกสู่ตลาดในปัจจุบันมีทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ขนาดเล็กสำหรับการขายปลีก มีความจุ 4, 8 และ 16 ออนซ์ ส่วนขนาดใหญ่สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม มีความจุ 32 ออนซ์ สำหรับประเทศไทยแม้ว่าการใช้รีทอร์ทเพาซ์จะยังไม่แพร่หลายมากนักในขณะนี้ เนื่องจากต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูง แต่ก็มีแนวโน้มที่ดีในอนาคตเพื่อสนองตอบต่อการขยายตัวของอุตสาหกรรมอาหารในประเทศไทยซึ่งนับวันจะก้าวหน้ายิ่งขึ้น การแข่งขันทางเทคโนโลยีโดยเฉพาะในด้านการบรรจุภัณฑ์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารของไทยสามารถแข่งขันในตลาดโลกได้

เมื่อผลิตออกมาเป็นถุงตาม โครงสร้างที่ต้องการทำการบรรจุอาหารลงในถุงแล้วจึงอากาศที่เหลือออกก่อนปิดผนึกปากถุงด้วยความร้อน หลังจากนั้นจึงทำการฆ่าเชื้อภายใต้ความดันระหว่าง 25-30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ถ้าใช้ความดันมากกว่านี้จะมีผลทำให้รอยปิดผนึกของถุงแตกได้ การฆ่าเชื้อดังกล่าวมีการใช้กันอยู่ 3 วิธีคือ ใช้น้ำ – อากาศ ใอน้ำ – อากาศ และรังสีไมโครเวฟ

2.2 รูปแบบโครงสร้างของรีทอร์ทเพาซ์[7]

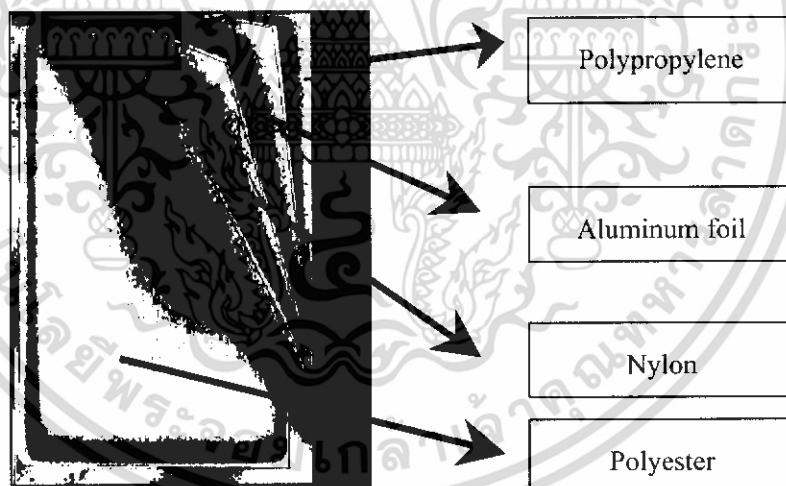
รีทอร์ทเพาซ์ส่วนใหญ่ประกอบด้วยวัสดุ 4 ชั้นอัดติดกันดังนี้

ชั้นที่ 1 เป็นพลาสติกชนิดพอลิเอสเตอร์ (polyester) มีความหนาประมาณ 12 ไมครอน มีสมบัติแข็งแรงทนทาน ต้านทานแรงกระแทกได้ดี ทนต่ออุณหภูมิสูงมีความเหนียวไม่ฉีกขาดง่าย และสามารถพิมพ์ข้อความหรือภาพกราฟิกได้โดยไม่หลุดลอก

ชั้นที่ 2 เป็นพลาสติกชนิดไนลอน (nylon) มีความหนา 15-25 ไมครอน มีสมบัติป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี แต่ป้องกันไอน้ำได้ปานกลาง

ชั้นที่ 3 เป็นชั้นของอะลูมิเนียมฟอยล์ (aluminum foil) มีความหนา 7 - 9 ไมครอน ชั้นนี้มีสมบัติป้องกันแสงอากาศหรือจุลินทรีย์และกลิ่นได้ดีและยังเป็นตัวนำความร้อนที่ดี เพราะมีพื้นที่ผิวมากกว่ากระป๋องหรือขวดแก้ว ทำให้ใช้ความร้อนในขณะแปรรูปน้อยกว่า

ชั้นที่ 4 เป็นพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน (polypropylene) เป็นชั้นที่อยู่ใตสุด มีความหนา 70 - 100 ไมครอน มีสมบัติป้องกันการรั่วซึมมีความแข็งแรงและมีความยืดหยุ่นสูง สามารถปิดผนึกได้ดี แต่เนื่องจากต้องสัมผัสกับอาหารจึงไม่ควรทำปฏิกิริยากับอาหาร



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของรีทอร์ทเพาซ์โดยทั่วไป

บางครั้งเราจะเห็นรีทอร์ทเพาซ์มีลักษณะใส(foil-free-pouch) เนื่องจากมีการใช้พลาสติกอื่นซึ่งมีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้ดี เช่น พอลิไวนิลิดีนคลอไรด์หรือเอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์ โคพอลิเมอร์ (EVOH) แทนการใช้อะลูมิเนียมฟอยล์ โดยระหว่างชั้นของพลาสติกแต่ละชั้นจะมีชั้นของกาวเป็นตัวทำหน้าที่ยึดพลาสติกแต่ละชั้นให้ติดกัน

2.3 หลักการฆ่าเชื้ออาหารกระป๋องและในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว [3]

อุตสาหกรรมการผลิตอาหารกระป๋องและภาชนะบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว (Semi-rigid flexible containers) เป็นการผลิตอาหารสำเร็จรูปบรรจุในภาชนะปิดสนิท (Hermetically sealed container) อากาศแทรกผ่านเข้าออกไม่ได้ มีการใช้ความร้อนไปฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ก่อนหรือหลังการบรรจุและปิดผนึกสนิทเป็นวิธีการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์แบบ การฆ่าเชื้อทางการค้า (Commercial sterilization) ในขณะเดียวกันยังคงรักษาคุณลักษณะที่ดีและคงคุณค่าทางอาหาร ทำให้สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารนั้นไว้ได้นาน โดยไม่เน่าเสียที่อุณหภูมิเก็บรักษาปกติ

การใช้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์และสปอร์ในผลิตภัณฑ์อาหารที่บรรจุภาชนะปิดสนิท ปรากฏว่าค่าความเป็นกรดค่า (pH value) ของอาหารมีความสำคัญมากต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และสปอร์ โดยเฉพาะในการผลิตอาหารสำเร็จรูปในภาชนะปิดสนิทนี้ จะคำนึงถึงเชื้อจุลินทรีย์ที่สำคัญและทำให้อาหารกระป๋องเป็นพิษและเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ คือ เชื้อจุลินทรีย์ *Clostridium botulinum* เนื่องจากสปอร์ของเชื้อนี้สามารถเจริญในสภาวะที่ไม่มีอากาศที่อุณหภูมิห้องปกติ เช่นเดียวกับสภาพภายในผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋อง แต่สปอร์เชื้อจุลินทรีย์นี้ไม่สามารถเจริญในอาหารที่มีค่าความเป็นกรดค่าต่ำกว่า 4.6 เพราะสภาพอาหารที่เป็นกรดไม่เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์ประเภทนี้ ดังนั้นระดับค่าความเป็นกรดค่าที่ 4.6 จึงนำมาใช้เป็นแนวทางในการกำหนดกรรมวิธีการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหารในภาชนะปิดสนิทเพื่อการเก็บถนอมรักษา โดยสามารถแบ่งกรรมวิธีการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์เป็น 2 กรรมวิธี คือ

1. Pasteurization เป็นกรรมวิธีการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิค่าในช่วงอุณหภูมิ น้ำเดือดที่ประมาณ 100°C เพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ (Vegetative cell) โดยให้ความร้อนที่ความดันบรรยากาศปกติ แก่ผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปประเภทเป็นกรดและผลิตภัณฑ์ที่ถูกปรับค่าความเป็นกรดค่าให้เป็นกรด มีค่าความเป็นกรดค่าต่ำกว่า 4.6 ได้แก่ สับปะรดกระป๋อง มะเขือเทศกระป๋อง ถั่วไข่กระป๋อง เป็นต้น

2. Sterilization เป็นกรรมวิธีการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 100°C เป็นการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์อาหารที่อุณหภูมิสูงภายใต้ความดัน ทำให้เชื้อจุลินทรีย์และสปอร์ถูกทำลายให้ได้ ผลิตภัณฑ์อาหารที่ปลอดเชื้อ สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน และเป็นการใช้วิธีการฆ่าเชื้อแบบทางการค้าใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารในภาชนะปิดสนิทประเภทกรดต่ำ (Low Acid Canned Food :LACF) ที่มีค่าความเป็นกรดค่าของอาหารสูงกว่า 4.6 และมีค่า Water activity (a_w) มากกว่า 0.85 เช่น ผลิตภัณฑ์ปลากระป๋อง หน่อไม้ ข้าวโพดอ่อนบรรจุกระป๋อง เป็นต้น

กรรมวิธีการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหารบรรจุในภาชนะปิดสนิทแบบ Sterilization รูปแบบทางการค้านี้ต้องใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงพอและในระยะเวลาที่เหมาะสม ได้แก่ อุณหภูมิ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงสูงกว่า 100°C เป็นอุณหภูมิสูงภายใต้ความดันไอน้ำหรืออุณหภูมิน้ำร้อนภายใต้ความกดดันสูง การกำหนดอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม สำหรับการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหารจะแตกต่างกันไปโดยขึ้นกับความสามารถทนความร้อนของจุลินทรีย์ในอาหาร คุณลักษณะและคุณสมบัติของอาหารที่มีผลต่ออัตราการแทรกผ่านของความร้อนเข้าไปในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยคำนึงถึงการรักษาคุณสมบัติคุณลักษณะที่ดีของอาหารให้ผู้บริโภคยอมรับ นอกจากนี้ยังต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ และกรรมวิธีการผลิตที่ดีเรียกว่า GMP (Good Manufacturing Practice) ในการผลิตอาหารบรรจุในภาชนะปิดสนิทประเภทกรดต่ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ด้วยความร้อนหลังการบรรจุแล้วปิดผนึกสนิท

การใช้ความร้อนไปทำลายเชื้อจุลินทรีย์และสปอร์ที่อุณหภูมิสูงในระยะเวลาที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับความสามารถทนความร้อนของเชื้อจุลินทรีย์และสปอร์ที่มีอยู่ในอาหาร คุณลักษณะ คุณลักษณะของอาหาร และระยะเวลาที่ความร้อนแทรกผ่าน (Heat penetration) เข้าไปใจกลางจุดร้อนช้าที่สุดของผลิตภัณฑ์อาหารในภาชนะปิดสนิทนั้น โดยคำนึงถึงการรักษาคุณสมบัติและคุณลักษณะที่ดีของอาหารให้ผู้บริโภคยอมรับ กำหนดการให้ความร้อนเพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์และสปอร์ในผลิตภัณฑ์อาหารนี้จึงเป็นการผลิตที่กำหนด (Scheduled process) มีจุดประสงค์ให้ผลิตภัณฑ์ได้รับการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์เป็นแบบเชิงการค้าอย่างเพียงพอ

ในการศึกษาและกำหนดกรรมวิธีการผลิต โดยการให้ความร้อนไปทำลายจุลินทรีย์และสปอร์ในผลิตภัณฑ์อาหารบรรจุในภาชนะปิดสนิทให้มั่นใจว่าผลิตภัณฑ์อาหารนั้นได้รับการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์แบบเชิงการค้าอย่างเพียงพอ โดยมีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงดังนี้

1. คุณสมบัติการต้านทานความร้อนของเชื้อจุลินทรีย์และสปอร์ที่ปนเปื้อนในอาหาร
2. การศึกษาอัตราการแทรกผ่านของความร้อนที่ไปยังจุดร้อนช้าที่สุดของผลิตภัณฑ์อาหารในสภาวะการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์เหมือนการผลิตจริง
3. องค์ประกอบ คุณสมบัติ และคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหาร คุณสมบัติการต้านทานความร้อนของจุลินทรีย์ (Heat resistance of microbiats)

การต้านทานความร้อนของจุลินทรีย์และสปอร์ของผลิตภัณฑ์อาหารขึ้นกับสภาพความเป็นกรดต่าง (pH value) ของอาหาร จุลินทรีย์ที่สร้างสปอร์ส่วนมากมีความต้านทานความร้อนสูงสุดในสภาวะเป็นกลาง และจะมีความต้านทานความร้อนต่ำสุดเมื่ออยู่ในสภาวะมีค่า pH ต่ำเป็นกรด คืออาหารยังมีฤทธิ์เป็นกรดมาก จุลินทรีย์และสปอร์จะถูกทำลายด้วยความร้อนง่าย

2.4 องค์ประกอบคุณสมบัติและคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหาร[3]

ในการกำหนดกรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารในภาชนะปิดสนิทต้องคำนึงถึงองค์ประกอบคุณสมบัติและคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารที่คาดว่าเป็นปัจจัยวิกฤต (Critical factor) ที่ต้องควบคุมซึ่งอาจมีผลต่ออัตราการแทรกผ่านของความร้อนและการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหารที่ทดสอบได้แก่

1. วัตถุดิบ

- ขนาดชิ้นเนื้ออาหาร
- ความหนาแน่นการบรรจุ
- การอ่อนแก้ววัตถุดิบ
- ปริมาณแข็งในวัตถุดิบ
- การเติมสารเพิ่มความข้นหนืด เช่น เพคติน แป้งดัดแปร
- ปริมาณสารละลาย เกลือ น้ำตาล น้ำมัน ไขมัน
- การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของวัตถุดิบตามฤดูกาล
- ปริมาณจุลินทรีย์ในอาหารหรือคุณภาพอาหารก่อนฆ่าเชื้อ

2. การเตรียมวัตถุดิบ เช่น การลวก การตัดแต่งวัตถุดิบ หรือใช้วัตถุดิบแช่แข็ง

3. การบรรจุ เช่น การใช้เครื่องบรรจุ ขนาดน้ำหนักบรรจุ การจัดวางตำแหน่งอาหารในภาชนะบรรจุ ช่องว่างเหนืออาหาร ความเป็นสูญญากาศในภาชนะ

4. ความล่าช้าหลังการบรรจุหรือปิดผนึกสนิท

5. กรรมวิธีการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ เช่น

- ลักษณะการวางผลิตภัณฑ์อาหารในเครื่องฆ่าเชื้อ
- ช่วงเวลา Come up time
- ตำแหน่งผลิตภัณฑ์อาหารในเครื่องฆ่าเชื้อ
- ชนิด ประเภทเครื่องฆ่าเชื้อ (การเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์ในเครื่องฆ่าเชื้อ)
- ประสิทธิภาพของเครื่องฆ่าเชื้อ (ประเภทพลังงานความร้อน)
- การลดอุณหภูมิผลิตภัณฑ์อาหารหลังฆ่าเชื้อ

6. ค่าความเป็นกรดต่าง (pH value) ของผลิตภัณฑ์ทั้งก่อนและหลังการฆ่าเชื้อ

ผลจากการศึกษาข้อมูลการต้านทานความร้อนของจุลินทรีย์และการศึกษาอัตราการแทรกผ่านของความร้อน และการควบคุมปัจจัยวิกฤตต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์อาหารในภาชนะปิดสนิทที่มีผลเกี่ยวข้องต่อการศึกษาอัตราการแทรกผ่านความร้อน โดยทำการทดสอบจนมั่นใจในผลการศึกษาที่ได้ทำให้ได้ข้อมูลในการกำหนดอุณหภูมิและระยะเวลาที่เพียงพอในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การศึกษาประสิทธิภาพเครื่องฆ่าเชื้อ[3]

เนื่องจากการปฏิบัติการใช้เครื่องฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในแต่ละประเภทจะแตกต่างกัน ดังนั้นในการใช้งานต้องมีการควบคุมตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่อง เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าในขณะที่ปฏิบัติการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหารทั่วทั้งภายในเครื่องฆ่าเชื้อ ในสถานะที่ทำให้พลังงานความร้อนไปทำลายเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหาร การให้ความร้อนนี้ต้องมีอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดช่วงเวลาฆ่าเชื้อ (Processing time) และมีอุณหภูมิที่เท่ากับกับอุณหภูมิฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่กำหนด จึงต้องมีการปฏิบัติการศึกษาทดสอบการกระจายตัวของความร้อนภายในเครื่องฆ่าเชื้อ (Heat distribution) เป็นการศึกษาทดสอบวัดค่าอุณหภูมิตามบริเวณต่างๆ ภายในเครื่องฆ่าเชื้อทั่วตลอดทั้งเครื่อง เพื่อศึกษาการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อจุดประสงค์ในการทำลายจุลินทรีย์ตลอดขบวนการฆ่าเชื้อ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาที่กำหนด ตามข้อกำหนดการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์และต้องมีการตรวจสอบควบคุมให้ผลิตภัณฑ์อาหารนั้นผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อตามข้อกำหนดให้ถูกต้องเพียงพอเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่มั่นใจได้ในความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

ข้อดีและข้อเสียสำหรับบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัวเมื่อเทียบกับกระป๋องบรรจุอาหาร

การใช้บรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัวได้ถูกพัฒนามาใช้แทนที่กระป๋องและโลหะที่บรรจุอาหาร เมื่อมีการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียที่มีผลต่อผู้ผลิต ตัวแทนจำหน่ายและผู้บริโภคดังนี้

ข้อดีของบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว

- เหมาะกับผลิตภัณฑ์อาหารที่เป็นของเหลว มีชิ้นส่วนอาหารอ่อนนุ่ม ไม่มีส่วนกระดูกของแข็ง เพราะทำให้มีปัญหาการทิ่มแทงภาชนะบรรจุ
- ลดพื้นที่ในการเก็บคงคลังในรูปภาชนะบรรจุเปล่า และผลิตภัณฑ์ได้ดี ทำให้ประหยัดค่าเก็บรักษา ค่าสร้างโกดังเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋อง
- ลดน้ำหนักในการขนส่ง ทำให้สะดวกในการขนย้าย ขนถ่าย และส่งกระจายสู่ผู้บริโภค สามารถนำติดตัวไปบริโภคได้ง่าย
- ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ เนื่องจากสารโลหะหนัก และไม่มีปัญหาการสึกกร่อนเป็นสนิมกับภาชนะบรรจุ
- อายุการเก็บรักษาใกล้เคียงอาหารกระป๋อง โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์บรรจุในภาชนะบรรจุที่มีลามิเนตด้วยอลูมิเนียมฟอยล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อาหารมีคุณภาพที่ดีในด้านรสสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการดีกว่า เป็นผลจากการใช้เวลาในการฆ่าเชื้อสั้นกว่าการผลิตอาหารกระป๋องและสามารถนำมาอุ่นทานได้ง่ายด้วย เครื่องไมโครเวฟ ในกรณีเป็นภาชนะพลาสติก

- พลังงานในการผลิตภาชนะบรรจุน้อยกว่าในกระบวนการผลิตสามารถเปลี่ยนขนาดบรรจุได้ง่าย รวดเร็ว

- สามารถพิมพ์บนภาชนะให้สีสันสวยงาม สะดุดตา ช่วยผลทางด้านการตลาด

- สะดวกในการผลิตตามความต้องการของผู้บริโภคในรูปการบรรจุหลากหลาย เช่น การบรรจุข้าว แยก ผัก สามารถแยกส่วนใส่ในชุดเดียวกัน ไม่มีปฏิกิริยาระหว่างภาชนะบรรจุกับอาหาร

ข้อเสียเมื่อเทียบกับการผลิตอาหารกระป๋อง

- อัตรากำลังการผลิตต่ำกว่าการผลิตกระป๋องและยุ่งยากมากกว่า โดยเฉพาะเครื่องบรรจุและปิดผนึกสนิทบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัว

- มีอัตราการสูญเสียระหว่างขนถ่ายขนส่งสูง เพราะการแตกกระแทกกระแทก มีรอยขีดข่วนฉีกขาดง่าย

- กรรมวิธีการฆ่าเชื้อยุ่งยากกว่า จึงต้องใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ ทำให้ค่าใช้จ่ายลงทุนในส่วนระบบนี้สูงมาก

- ต้องเน้นการตรวจสอบควบคุมคุณภาพภาชนะบรรจุมาก การตรวจสอบรอยรั่วของการปิดผนึกจะยากกว่าตรวจตะเข็บกระป๋อง สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์มากกว่า

- ข้อจำกัดสำหรับบรรจุภัณฑ์ขนาดใหญ่การฆ่าเชื้อยังคงใช้เวลานาน จึงมีผลเสียต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหาร

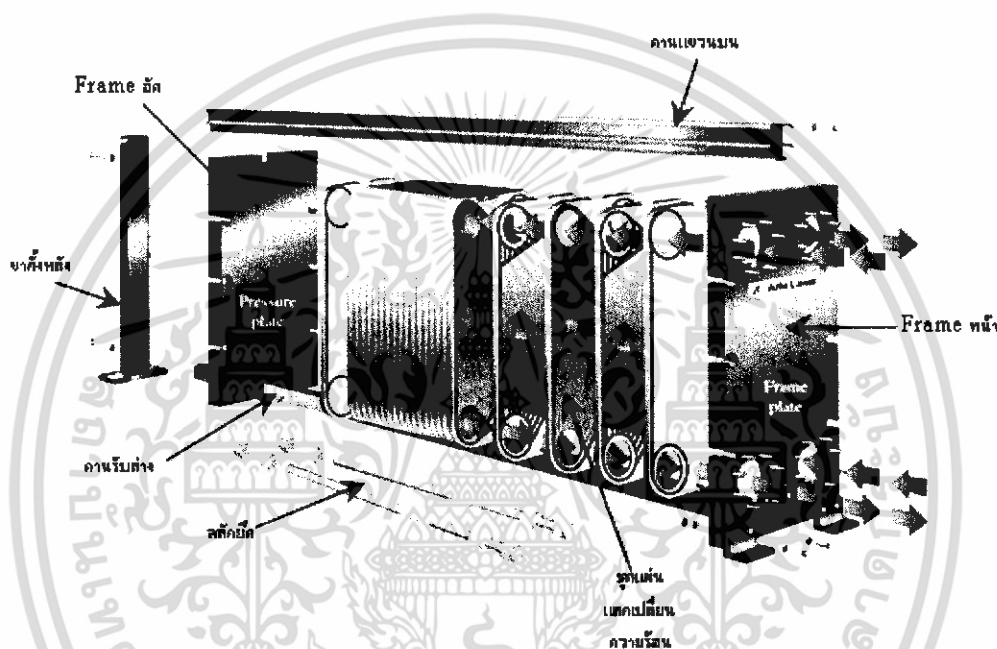
- ค่าใช้จ่ายในการลงทุนด้านเครื่องจักรในการผลิตสูงกว่าแบบผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องที่อัตราการผลิตสูงๆ

- ต้องมีการอบรมและโฆษณา พนักงานขายและผู้บริโภคเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ให้ระวังในการใช้บริโภค การขนย้ายมิให้เกิดความเสียหายต่อบรรจุภัณฑ์

2.6 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate heat Exchanger) [1]

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของเหลวให้ถึงอุณหภูมิที่ต้องการ โดยการแลกเปลี่ยนกับตัวกลางความร้อนหรือความเย็น

ส่วนประกอบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นแสดงไว้ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้



รูปที่ 2.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นในอุตสาหกรรม

2.6.1 แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (Plate)

เป็นแผ่นโลหะบางขึ้นรูปเป็นลอน ลูกฟูก รอยหยัก ทำหน้าที่เป็นตัวกลางสำหรับแลกเปลี่ยนความร้อนของของเหลวสองชนิด โดยลักษณะดังกล่าวจะก่อให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วน และทนความดันได้สูง อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของการถ่ายเทความร้อน ทำให้อุณหภูมิของของเหลวได้รับความร้อนอย่างทั่วถึง แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารทำจากสแตนเลส ไททานเนียม มีรูปแบบขนาดตั้งแต่เล็กถึงใหญ่โดยต่อกันเป็นชุดการกำหนดจำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหล คุณสมบัติทางกายภาพของของไหล ความดันและอุณหภูมิเข้า-ออกที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 โครง (Frame)

ประกอบด้วย โครงหน้า โครงอัด โครงระหว่างกลาง คานแขวนบน คานรับล่างและขาตั้ง หลัง ทำหน้าที่ยึดแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนให้ติดกัน วัสดุที่ใช้ ได้แก่ โลหะไร้สนิมหรือโลหะเคลือบด้วยสีป้องกันสนิม

2.6.3 สลักยึด (Tightening Bolts)

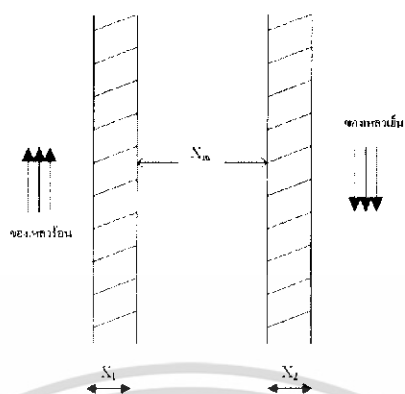
เพื่อยึดแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนให้ติดกับโครง นิยมทำจากโลหะไร้สนิม

2.6.4 ปะเก็น (Gasket)

ยึดอยู่รอบแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อป้องกันไม่ให้ของเหลวทั้งสองชนิดรั่วไหลและป้องกันของเหลวรั่วไหลสู่ภายนอก ทั้งยังทำหน้าที่บังคับทิศทางการไหลของของเหลวได้ วัสดุที่ใช้ทำปะเก็นที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับนำไปใช้ เช่น Nitrile stdparacril ใช้กับน้ำและอาหารเหลวที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบ EPDM ใช้กับสารเคมีและไอน้ำ โดยที่ไม่ใช้กับอาหารเหลวที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบและ FPM-Fluorelastomers ใช้กับน้ำมันพืชที่อุณหภูมิสูง

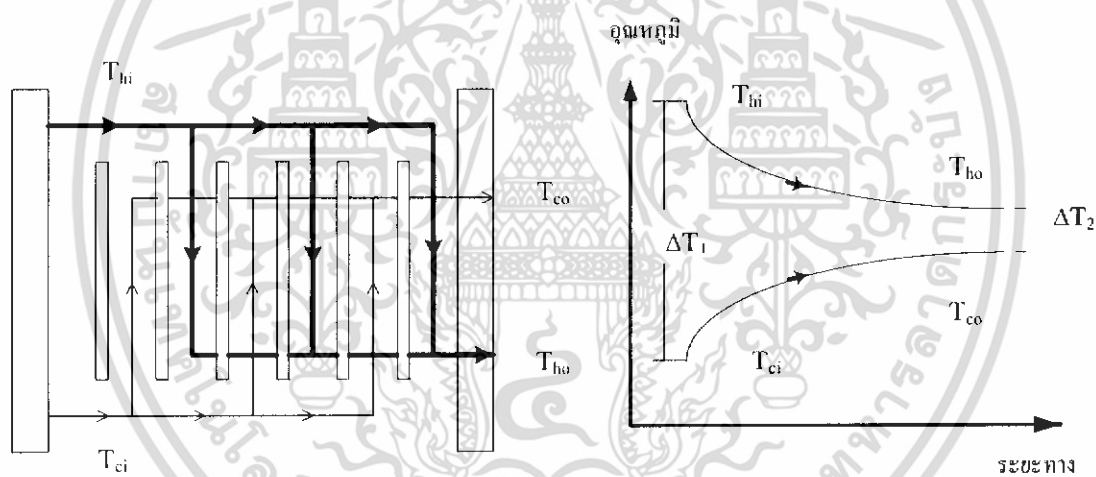
2.7 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Heat Transfer Coefficient) [1]

การถ่ายเทความร้อนรวมแสดงได้ชัดเจนในรูปที่ 2.3 โดยของเหลวร้อนจะถูกกั้นโดยผนังโลหะออกจากของเหลวเย็นจะมีการถ่ายเทความร้อน จากของเหลวร้อนไปสู่ของเหลวเย็นโดยกระบวนการถ่ายเทความร้อนที่เกี่ยวข้อง คือ การพาความร้อนจากของเหลวร้อนไปสู่คราบตะกรันด้านที่ 1 การนำความร้อนผ่านชั้นของคราบตะกรันด้านที่ 1 การนำความร้อนผ่านผนังแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน การนำความร้อนผ่านผนังของคราบตะกรันด้านที่ 2 และการพาความร้อนจากชั้นของคราบตะกรันด้านที่ 2 ไปสู่ของเหลวเย็น ดังนั้นถ้าคราบตะกรันมีการจับตัวกันหนามากขึ้นแล้วมีผลทำให้การถ่ายความร้อนลดลงความต้านทานการไหลเพิ่มขึ้น ระบบจะสูญเสียพลังงานมากในการถ่ายเทความร้อนจากของเหลวร้อนไปสู่ของเหลวเย็น



รูปที่ 2.3 การไหลของความร้อนผ่านผนังกั้นراب

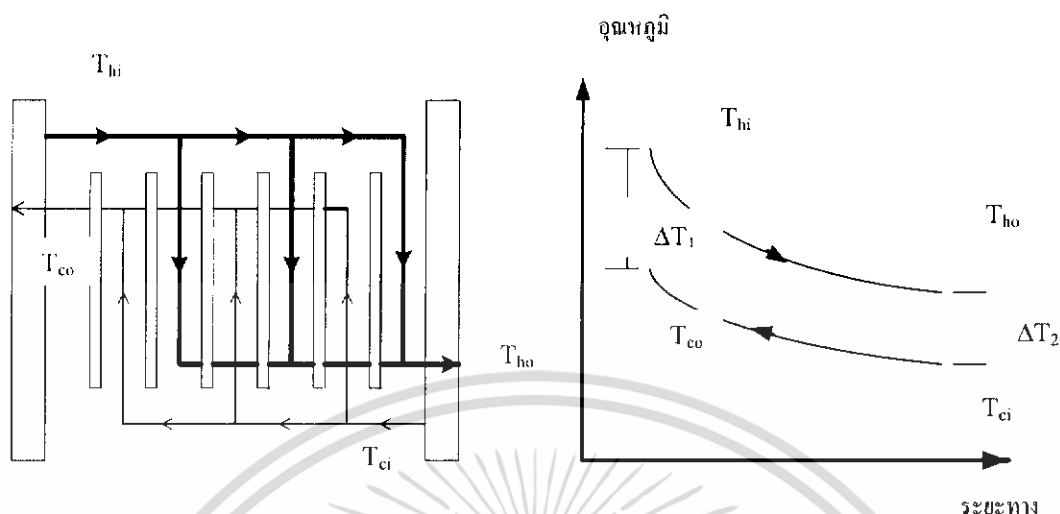
โดยที่ X_m คือ ความหนาของแผ่นกระจกเปลี่ยนความร้อน
 X_1, X_2 คือ ความหนาของกรอบตะกรันด้านร้อนและด้านเย็น



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขนาน

เมื่อ T_{hi} คือ อุณหภูมิเข้าของเหลวด้านร้อน (°C)
 T_{ci} คือ อุณหภูมิเข้าของเหลวด้านเย็น (°C)
 T_{ho} คือ อุณหภูมิออกของเหลวด้านร้อน (°C)
 T_{co} คือ อุณหภูมิออกของเหลวด้านร้อน (°C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทาง

รูป 2.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของของไหลตามระยะทางของการไหลสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขนาน ของไหลที่ให้ความร้อนไหลเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิ T_1 และไหลออกจากเครื่องที่อุณหภูมิ T_2 หลังจากถ่ายเทความร้อนให้กับของไหลเย็น ในขณะเดียวกัน ของไหลที่รับความร้อนไหลเข้าเครื่องที่อุณหภูมิ t_1 และไหลออกจากเครื่องที่อุณหภูมิ t_2 ในกรณีนี้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของของไหล ($T_1 - t_1$) ที่ทางเข้าจะใหญ่กว่าผลต่าง ($T_2 - t_2$) ที่ไหลออกมาก

รูป 2.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามระยะทางของการไหลสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งการไหลเป็นแบบสวนทาง ในกรณีนี้ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของของไหลที่ปลายด้านอุณหภูมิสูงคือ ($T_1 - t_2$) และผลต่างที่ปลายด้านอุณหภูมิต่ำคือ ($T_2 - t_1$)

บทที่ 3

หม้อฆ่าเชื้อ (Retort)

3.1 การแบ่งลักษณะของ Retort สามารถแบ่งในลักษณะต่าง ๆ ได้ คือ [2]

3.1.1 การแบ่งตามลักษณะการจัดวางตัว คือ Vertical และ Horizontal สำหรับเครื่องฆ่าเชื้อ สำหรับรีทอร์ทเพาซ์ส่วนมากมักเป็นแบบการจัดวางตัวในลักษณะนอน คือ Horizontal arrangement

3.1.2 การแบ่งตามลักษณะการเคลื่อนที่ของรีทอร์ทเพาซ์ภายใน คือ Stationary และ Rotary ซึ่งผู้ประกอบการสามารถเลือกแบบใดแบบหนึ่งหรือให้มีทั้ง 2 แบบในเครื่องเดียวกันก็ได้ โดยทั่วไปเครื่องฆ่าเชื้อสำหรับรีทอร์ทเพาซ์มักมีความสามารถทั้ง 2 แบบ คือ จัดวางให้รีทอร์ทเพาซ์อยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ขณะฆ่าเชื้อได้ การเคลื่อนที่หรือหมุนของรีทอร์ทเพาซ์ภายในเครื่องฆ่าเชื้อมีทั้งในลักษณะ end over หรือ side over side

3.1.3 การแบ่งตามลักษณะความต่อเนื่องในการฆ่าเชื้อคือแบบ Batch หรือ Continuous โดยมากเครื่องฆ่าเชื้อสำหรับรีทอร์ทเพาซ์มักนิยมแบบ Batch เป็นการฆ่าเชื้อที่สะดวกมากกว่าแบบการฆ่าเชื้อต่อเนื่อง

3.1.4 การแบ่งตามลักษณะการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อ (Heating Media) ซึ่งเป็นการแบ่งที่ทำให้เครื่องแต่ละเครื่องมีลักษณะจำเพาะในการออกแบบและประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อต่างกัน ไป Retort ที่ใช้สำหรับรีทอร์ทเพาซ์สามารถแบ่งตามลักษณะ heating media ได้เป็น

3.1.4.1 แบบใช้น้ำ (Steam) เพียงอย่างเดียว ได้แก่ เครื่องฆ่าเชื้อที่ใช้ปกติตามโรงงานผลิตอาหารกระป๋องทั่วไป ทั้งนี้ต้องเป็นเครื่องที่สามารถควบคุมปริมาณไอน้ำ (สัมพันธ์กับอุณหภูมิและความดัน) ได้ละเอียดแม่นยำ รวมทั้งมีความสามารถในการทำเย็นแบบ Pressure cooling ไอน้ำที่ต้องการใช้คือ dry saturated steam (ในการปฏิบัติมักเป็น wet saturated steam) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการใช้ความร้อนแฝง (latent heat of vaporization) สูง อย่างไรก็ตามปัญหาที่พบคือ Retort นี้ ไม่สามารถใช้กับอาหารทุกชนิดในรีทอร์ทเพาซ์การเลือกใช้จะถูกบังคับ (limit) ด้วยคุณลักษณะของอาหารภายใน กล่าวคือ steam retort เหมาะสมกับเฉพาะอาหารที่

- บรรจุในภาชนะ semi rigid เช่น heavy wall plastic can (หนา 0.045 – 0.080 นิ้ว) ที่มีฝาปิดแบบโลหะด้วยลักษณะ double seam
- อาหารแห้ง ที่ไม่มีน้ำหรือน้ำเกลือ หรือน้ำมัน ปริมาณมากบรรจุอยู่ในรีทอร์ทเพาซ์

- อาหารที่ระหว่งการฆ่าเชื้อไม่เกิดความดันขึ้นภายในรีทอร์ทเพาซ์สูงเกินกว่าความดันภายใน retort ซึ่งเกิดจากแรงดันไอน้ำที่ใช้ ณ อุณหภูมิฆ่าเชื่อนั้น เช่น อุณหภูมิฆ่าเชื้อ 120°C สัมพันธ์หรือก่อให้เกิดแรงดันภายในเครื่อง 15 lb/in² (psig)

3.1.4.2 แบบให้น้ำร้อนท่วมรีทอร์ทเพาซ์ตลอดระยะเวลาฆ่าเชื้อ (Full Water Immersion Heating) retort ลักษณะนี้สามารถฆ่าเชื้อได้ที่อุณหภูมิต่ำเช่น 100°C ในลักษณะ pasteurization จนถึงความร้อนสูง เช่น 125°C เพื่อการ sterilization ซึ่งจำเป็นต้องมีการอัดความดันภายในเครื่องระหว่างการฆ่าเชื้อ เพื่อให้มีน้ำร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 100°C ได้ ในการรักษาความดันภายในเครื่องอาจใช้ไอน้ำ (saturated steam) หรืออาจใช้อากาศก็ได้ส่วนมากนิยมใช้อากาศเพื่อควบคุมความดันภายในเครื่องให้อุณหภูมิสูงตามต้องการและเพื่อต่อต้านความดันที่เกิดภายในรีทอร์ทเพาซ์ไม่ให้ดันรีทอร์ทเพาซ์ฉีกขาด ลักษณะการให้ความร้อนกับน้ำสามารถทำได้โดยใช้ไอน้ำฉีดผสมกับน้ำเข้าโดยตรง (steam injection) ภายใน retort หรือใช้เครื่อง heat exchanger โดยปั๊มน้ำผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้มีน้ำมีอุณหภูมิสูงแล้วปั๊มกลับเข้าสู่ถังฆ่าเชื้อตลอดเวลาต่อเนื่องไป

3.1.4.3 แบบใช้น้ำร้อน (Cascade หรือ Shower Water Heating) เป็นการใช้น้ำร้อนในการฆ่าเชื้อ โดยให้น้ำร้อนออกเป็นสายจากส่วนบน retort ผ่านรีทอร์ทเพาซ์ตลอดเวลา ทั้งนี้เพื่อเป็นการประหยัดน้ำที่ใช้ แต่ขณะเดียวกันต้องมีการหมุนเวียนของน้ำ (circulation) ปริมาณมากอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ การให้ความร้อนแก่น้ำมักใช้ลักษณะ heat exchanger และควบคุมความดันด้วยอากาศใน retort แบบนี้สามารถควบคุมความดันได้ดีกว่าและมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิไม่ฉับพลัน เช่น แบบ full water immersion รวมถึงอาจมีการใช้น้ำที่ฆ่าเชื้อเป็นน้ำหล่อเย็นได้ในภายหลัง อย่างไรก็ตามหากไม่มีการออกแบบที่ดีแล้วอาจก่อให้เกิดปัญหาในด้านความสม่ำเสมอของอุณหภูมิรีทอร์ทเพาซ์ตลอดทั้ง retort ระหว่างการฆ่าเชื้อ (temperature uniformity)

3.1.4.4 Steam – Air Heating เป็น retort ที่มีการออกแบบเฉพาะให้ใช้ไอน้ำในการฆ่าเชื้อ และขณะเดียวกันก็มีการอัดอากาศเข้าในเครื่องพร้อมกัน เพื่อต่อต้านความดันที่เกิดภายในรีทอร์ทเพาซ์ที่อุณหภูมิการฆ่าเชื่อนั้นๆ ทำให้สามารถใช้ฆ่าเชื้ออาหารในรีทอร์ทเพาซ์ได้หลากหลายมากกว่าเครื่องที่ใช้ไอน้ำ (steam retort) เพียงอย่างเดียว การควบคุมอัตราส่วนของไอน้ำต่ออากาศ (steam-air mixture ratio) เป็นจุดควบคุมที่สำคัญเพื่อให้ทั้งอุณหภูมิและความดันเป็นไปตามกำหนดการฆ่าเชื้ออย่างถูกต้องอัตราส่วนที่นิยมใช้ คือ saturated steam/air เป็น 75/25 เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการส่งผ่านความร้อนสูง และควบคุมความดันในช่วงทั่วไปสำหรับรีทอร์ทเพาซ์ได้ ลักษณะที่สำคัญอีกประการคือ การที่ต้องออกแบบให้มีพัดลมหรือกลไกที่ทำให้ไอน้ำและอากาศนั้นผสมกันอย่างสม่ำเสมอและกระจายตัวอย่างทั่วถึงไปทั่ว Retort ซึ่งหากมีการออกแบบและควบคุมทั้ง 2 จุดให้ดีแล้ว steam – air retort จะลดปัญหาการใช้น้ำปริมาณมาก ลดปัญหาการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว (less thermal shock) และมีช่วงเวลาการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำให้ขึ้นสู่อุณหภูมิมาเชื้อ (come - up time) เร็วกว่าเมื่อเทียบกับ full water immersion retort

3.2 การเปรียบเทียบระบบ Retort และปัจจัยที่ควรคำนึงในการฆ่าเชื้ออาหารในรีทอร์ทเพาซ์ [2]

3.2.1 เมื่อเปรียบเทียบในด้านของ heating media แล้ว ดังในตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนโดยรวม (overall heat transfer coefficient) ของตัวกลางให้ความร้อนชนิดต่าง ๆ ซึ่งจะเห็นว่า ไอน้ำมีประสิทธิภาพสูงที่สุดรองลงมาคือ น้ำ และ steam/air ที่ 75/25 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการใช้ไอน้ำโดยไม่มี การควบคุมความดันภายใน retort เพิ่มเติมจะจำกัดการใช้ได้กับอาหารบางประเภทเท่านั้นดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นหากพิจารณาในด้านของปริมาณความร้อนในการฆ่าเชื้อแล้ว water retort จะมีความดันสูงกว่าและมีการควบคุมอุณหภูมิและความดันให้มีความสม่ำเสมอของอุณหภูมิได้ง่ายกว่า steam - air แต่ทั้งนี้ในการเลือกซื้อหรือใช้จำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยอื่นๆอีกเป็นอันมาก โดยเฉพาะการออกแบบเครื่องจากผู้ผลิตแต่ละราย

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของตัวกลางความร้อนชนิดต่างๆ

ตัวกลาง	Btu/Hr/°F/Sq.Ft. of Heating Surface
Steam	170
Water	105
Steam - air (75/25%)	87.5
Air (100%)	2.96

Theoretical calculations based on pouches 5 x 7 inch filled with water. Assume $H_o = H_i$ (outside = inside temperature of foil) Work by I.J. Pflug project 1K 6433240587 for Natick

3.2.2 เมื่อพิจารณาในเรื่องของการฆ่าเชื้อโดยให้รีทอร์ทเพาซ์อยู่นิ่งขณะฆ่าเชื้อ เปรียบเทียบกับการหมุน (rotary) ของรีทอร์ทเพาซ์แล้ว เป็นที่ทราบดีว่าจุดเด่นของระบบ rotary ที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนให้อาหารได้ดีขึ้น (สำหรับอาหารชั้นเหลวที่มี headspace ในการบรรจุ) ทำให้ประหยัดเวลาในการฆ่าเชื้อ หรือได้ค่า F_0 เท่ากันในเวลาสั้นขึ้น รวมทั้งได้อาหารที่มีคุณภาพด้านสีและความสม่ำเสมอของเนื้ออาหารดีขึ้น อย่างไรก็ตามในกรณีของรีทอร์ทเพาซ์แล้ว มีข้อสังเกตและพึงระวังในการฆ่าเชื้อแบบ rotary คือ ความเข้มแข็งของรอยปิดผนึกของรีทอร์ทเพาซ์ (seal strength) จะลดต่ำลงอย่างมากเมื่อรอยปิดผนึกนั้นอยู่ในสภาพอุณหภูมิสูงที่อุณหภูมิการฆ่าเชื้อ 121°C ค่าเฉลี่ยของความเข้มแข็งของรอยปิดผนึกรีทอร์ทเพาซ์จะเหลืออีกประมาณ 7 psi และเมื่อทำให้รีทอร์ทเพาซ์นั้นเย็นกลับไปอุณหภูมิห้อง (หลังการฆ่าเชื้อ 30 นาที) จะพบว่าความเข้มแข็งของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอยปิดผนึกคืนกลับมาเพียง 90% ของความแข็งแรงก่อนการฆ่าเชื้อ ดังนั้นในการใช้ระบบ rotary หรือรีทอร์ทแพชจะต้องเพิ่มความระมัดระวังในเรื่องการปิดผนึกที่ถูกต้องและสะอาด

การควบคุมความดัน Retort ให้ถูกต้องตลอดช่วงการฆ่าเชื้อและทำเย็น และการระมัดระวังความสมบูรณ์ของรีทอร์ทแพช (pouch integrity) มิให้เกิดรอยบุชชิตหรือปริระหว่งการเคลื่อนย้ายและระหว่งการหมุนภายใน retort

3.2.3 ความหนาของรีทอร์ทแพชซึ่งจะมีผลต่อค่า Heating slope factor (f_h) ในการฆ่าเชื้อซึ่งมีผลต่อการฆ่าเชื้อ (การคำนวณค่า F_0) อาหารภายในสำหรับรีทอร์ทแพชที่มีความหนาไม่เกิน $1 \frac{1}{2}$ นิ้ว ซึ่ง f_h จะมีความสัมพันธ์กับความหนา คือ $f_h = 24.2 t^2$ เมื่อ t = ความหนาของรีทอร์ทแพชโดยความหนาของรีทอร์ทแพชจะขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ คือ

- 1) น้ำหนักบรรจุ (fill weight)
- 2) อากาศที่เหลือในรีทอร์ทแพช (residual air)
- 3) ตำแหน่งต่าง ๆ ตามรูปร่างของรีทอร์ทแพชเช่น standup pouch
- 4) ขนาดของ รีทอร์ทแพช ที่ใช้
- 5) ความสม่ำเสมอของพื้นผิวหน้าของรีทอร์ทแพช (surface) ซึ่งขึ้นกับลักษณะและขนาด

ของชิ้นอาหารภายใน การบังคับรูปร่างของรีทอร์ทแพชขณะฆ่าเชื้อ (confinement of Pouch) สำหรับในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการบังคับรูปร่างของรีทอร์ทแพชเท่านั้น เนื่องจากเกี่ยวพันถึงการออกแบบชั้นวาง (racking system) ที่ใช้ใน retort ต่าง ๆ ในการออกแบบชั้นวางสำหรับ รีทอร์ทแพช จะต้องพิจารณาถึง

ก. การออกแบบให้มีช่องเปิด (Holes or openings) มากพอที่ให้ตัวกลางให้ความร้อนเคลื่อนสัมผัสกับรีทอร์ทแพชได้สม่ำเสมอและมากพอ ในทางปฏิบัติชั้นวางสำหรับรีทอร์ทแพช มักออกแบบให้มีช่องเปิด 40 – 50% ของพื้นที่ ช่องเปิดที่มากจะทำให้สามารถมีพื้นที่ผิวที่ให้ตัวกลางสัมผัสกับรีทอร์ทแพชเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อได้ดีขึ้น

ข. การออกแบบให้มีช่องทาง (Channel) สำหรับตัวกลางให้ความร้อนไหลผ่านชั้นของ pouch แต่ละชั้นได้อย่างทั่วถึง เพื่อให้ตัวกลางให้ความร้อนสัมผัสพื้นผิวของ pouch ได้โดยรอบ โดยหลีกเลี่ยงการที่รีทอร์ทแพชแต่ละรีทอร์ทแพชจะสัมผัสกัน (pouch to pouch contact) การออกแบบให้มีช่องทางไหลของตัวกลางโดยรอบรีทอร์ทแพชจะเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อและลดเวลาการฆ่าเชื้อลง พร้อมทั้งทำให้รีทอร์ทแพชแต่ละรีทอร์ทแพชได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอใกล้เคียงกันทุกส่วนของรีทอร์ทแพชและทุกรีทอร์ทแพชซึ่งการออกแบบให้มีช่องทางไหลของตัวกลางให้ความร้อนนี้สามารถออกแบบควบคู่ไปกับการบังคับรูปร่างของรีทอร์ทแพชได้

ค. การออกแบบให้มีชั้นแผ่นกัน (ที่มีช่องเปิด) ที่บังคับรูปร่าง (confinement) ของรีทอร์ท เพาะไม่ให้โป่งพอง เนื่องจากการบรรจุที่มากเกินไปหรือจากอากาศที่เหลืออยู่ในรีทอร์ทเพาะรวมทั้ง เป็นการบังคับให้รีทอร์ทเพาะมีความหนาที่สม่ำเสมอใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาการฆ่าเชื้อทุก รีทอร์ทเพาะไม่ให้ความหนาเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิและความดันภายใน retort อีกทั้งยังช่วย รักษารูปร่างของรีทอร์ทเพาะ ไม่ให้เกิดเบี้ยวเสียรูปร่างระหว่างฆ่าเชื้อและที่สำคัญคือเป็นการลด ความเครียดที่เกิดขึ้นกับผิวและรอยปิดผนึก (ซึ่งหากเกิดการเปลี่ยนรูปร่างของรีทอร์ทเพาะ ที่อุณหภูมิสูงอาจทำให้รอยปิดผนึกปริหรือรั่วซึมได้ง่าย) เพื่อความปลอดภัยป้องกันการรั่วซึมของ รีทอร์ทเพาะ

ง. การออกแบบให้มีช่องหรือรูปร่างของชั้นวางแต่ละชั้นที่เหมาะสมกับรูปร่างและขนาด ของรีทอร์ทเพาะ เพื่อเป็นการป้องกันการยับเคลื่อนที่ของรีทอร์ทเพาะขณะอยู่ใน Retort ซึ่ง อาจทำให้เกิดการชูดริคเป็นตำหนิต่อผิวและรอยปิดผนึกของรีทอร์ทเพาะ อันมีผลกระทบต่อทั้ง ความปลอดภัยและคุณภาพของอาหารภายใน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีการหมุน (rotary) ขณะ ทำการฆ่าเชื้อ

จ. วัสดุที่ใช้ทำชั้นวาง มีการใช้เหล็กปลอดสนิม (Stainless steel) อลูมิเนียมแบบหนา (heavy gauge aluminum) และพลาสติกทนร้อน (High density polypropylene rack)

3.3 การศึกษาอัตราการแทรกผ่านความร้อน (Heat penetration test) [3]

การกำหนดการให้ความร้อนไปทำลายจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหาร ในขณะปิดสนิทต้อง ศึกษาข้อมูลอัตราการแทรกผ่านความร้อนเข้าสู่ภายในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งมีการถ่ายเทความร้อนไป ยังจุดต่างๆ ในผลิตภัณฑ์อาหารไม่เท่ากัน ดังนั้นการศึกษาจึงต้องมีการศึกษาวัดอุณหภูมิจากจุดที่ได้ รับความร้อนช้าที่สุดของผลิตภัณฑ์อาหารนั้นขณะที่อาหารได้รับการถ่ายเทความร้อนในระหว่าง การฆ่าเชื้อจุลินทรีย์นั้น จะมีลักษณะการถ่ายเทความร้อนเข้าไปในผลิตภัณฑ์มี 3 รูปลักษณะคือ

- การนำความร้อน (Conduction heating)
- การพาความร้อน (Convection heating)
- การถ่ายเทความร้อนแบบผสม (Complex heating)

ในการศึกษาอัตราการแทรกผ่านความร้อนในผลิตภัณฑ์อาหารในขณะบรรจุปิดสนิทต้อง คำนึงถึง

- ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำการศึกษามีองค์ประกอบ คุณสมบัติ ลักษณะการ บรรจุและน้ำหนักบรรจุตรงกับผลิตภัณฑ์ผลิตจริง
- การติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์อาหารต้องวัดที่ตำแหน่งร้อนช้าที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตรวจสอบเครื่องฆ่าเชื้อ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความดันอยู่ในสภาพใช้งานได้ตามปกติ
- มีการบันทึกอุณหภูมิเริ่มต้น (Initial Temperature) ของผลิตภัณฑ์หลังจากเขย่าให้ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารมีอุณหภูมิสม่ำเสมอเท่ากัน
- บันทึกขั้นตอนต่าง ๆ ในขบวนการฆ่าเชื้อเหมือนการผลิตจริง เช่น ช่วงเวลาไล่อากาศ ช่วงเวลา Come up time เวลาฆ่าเชื้อและเวลา cooling เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบและการคำนวณ

การออกแบบหม้อฆ่าเชื้อสำหรับบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวขนาดเล็กในการออกแบบหม้อฆ่านี้ ให้ทำการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานของเครื่อง โดยใช้พื้นฐานทางด้านการคำนวณและหลักการในการเลือกใช้วัสดุสำหรับทำชิ้นส่วนตามความเหมาะสมและเพื่อความปลอดภัยการใช้เครื่องในงานลักษณะต่าง ๆ ซึ่งในที่นี้จะทำการคำนวณของชิ้นส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ถึงความดันและขดลวดความร้อน (Heater) แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดคำนวณประมาณ ดังนั้นขนาดของหม้อรีทอร์ท ขดลวดความร้อน และระบบควบคุม จึงมีการคำนวณเพื่อใช้สำหรับการทดลองในงานวิจัยนี้เท่านั้น ไม่สามารถอ้างอิงเพื่อใช้ในการผลิตในเชิงการค้าได้

4.1 ถึงความดัน

ในการเลือกใช้วัสดุที่ใช้ในการทำถึงความดันนั้น โดยจะพิจารณาถึงความปลอดภัย ดังนั้นในการออกแบบถึงความดันจึงเลือกใช้ถึงความดันที่มีอยู่ในห้องตลาดทั่วไป โดยจะพิจารณาเลือกได้จาก

1. ความหนาของถัง
2. ความดันที่ถังนั้นสามารถรับได้
3. วัสดุที่ใช้ทำถัง

สำหรับทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบถังนั้น จะใช้ทฤษฎีของความเค้นในถึงความดันซึ่งมีผนังบางในการวิเคราะห์ความเค้นในระนาบสำหรับถึงความดันผนังบาง เนื่องจากผนังบางมีความสามารถในการรับแรงดันน้อย ดังนั้นเราจะถือว่าแรงภายในที่กระทำบนผนังมีทิศทางสัมผัสกับผิวของถัง (รูปที่ 4.1) ความเค้นที่กระทำบนชิ้นส่วนของผนังจึงอยู่ในระนาบที่สัมผัสกับผิวของถัง ในการวิเคราะห์ความเค้นในถึงความดันผนังบางมี 2 ชนิด ซึ่งพบมากที่สุดนั่นคือ ถึงความดันทรงกระบอกและถึงความดันทรงกลม

โดยถึงความดันทรงกระบอกที่มีรัศมี r ความหนาของผนังคือ t โดยบรรจุของเหลวภายใต้ความดัน (รูปที่ 4.2) ความเค้นที่กระทำบนชิ้นส่วนเล็กๆ ในผนังเป็นความเค้นในแนวตั้งฉาก σ_1 และ σ_2 (รูปที่ 4.2) จึงเป็นความเค้นหลัก ความเค้น σ_1 เรียกว่า ความเค้นตามแนวเส้นรอบวง ความเค้น σ_2 เรียกว่า ความเค้นตามแนวความยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ความเค้นที่กระทำบนชิ้นส่วนของผนัง



รูปที่ 4.2 ความเค้นหลัก

รูปที่ 4.3 แรงที่ขนานกับแนวแกน Z

ในการวิเคราะห์ค่าความเค้นตามแนวเส้นรอบวง σ_1 นั้น ระนาบ xy และระนาบอีก 2 ระนาบซึ่งขนานกับระนาบ yz และมีระยะห่างกันเท่ากับ Δx (รูปที่ 4.3) แรงที่ขนานกับระนาบแนวแกน z ประกอบไปด้วยแรงภายในเล็กๆ $\sigma_1 dA$ บนหน้าตัดของผนัง และแรงดันเล็กๆ $p dA$ โดย p คือ ความดันเกจ (Gage Pressure) ผลลัพธ์ของแรงภายใน $\sigma_1 dA$ จะมีค่าเท่ากับผลคูณระหว่าง σ_1 และพื้นที่หน้าตัด $2r\Delta x$ ของผนัง ส่วนผลลัพธ์ของแรงดัน $p dA$ จะมีค่าเท่ากับผลคูณระหว่าง p และพื้นที่ $2r\Delta x$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

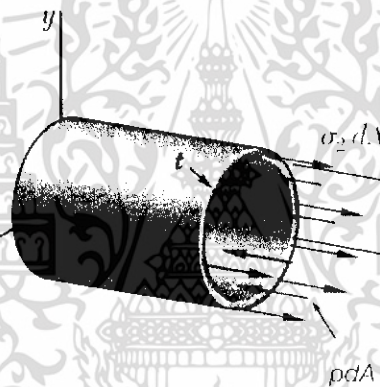
จากสมการสมดุล $\sum F_z = 0$

$$\sigma_1(2t\Delta x) - p(2r\Delta x) = 0 \quad 4.1$$

แก้สมการเพื่อหาค่าความเค้นตามเส้นรอบวง

$$\sigma_1 = \frac{pr}{t} \quad 4.2$$

ในการหาค่าของความเค้นตามแนวความยาว σ_2 จากรูป 4.4 แรงที่กระทำบนชิ้นส่วนนี้จะประกอบไปด้วยแรงภายในเล็กๆ $\sigma_2 dA$ และแรงดันเล็กๆ $p dA$ ซึ่งกระทำบนของเหลวที่อยู่ในชิ้นส่วนนี้เนื่องจากพื้นที่ของของเหลวคือ πr^2 และพื้นที่หน้าตัดของผนังจะได้จากผลคูณระหว่างความยาวเส้นรอบวง $2\pi r$ ของทรงกระบอกและความหนา t ของผนัง



รูปที่ 4.4 แรงที่กระทำบนหน้าตัดของผนัง

จากสมการสมดุล

$$\sum F_z = 0$$

$$\sigma_2(2\pi r t) - p(\pi r^2) = 0 \quad 4.3$$

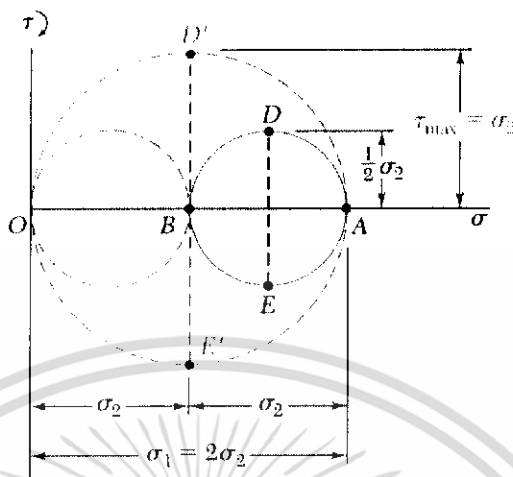
แก้สมการเพื่อหาความเค้น

$$\sigma_2 = \frac{pr}{2t} \quad 4.4$$

จากสมการที่ 4.2 และ 4.4 จะได้ว่าความเค้นตามแนวเส้นรอบวง σ_1 จะมีค่าเป็น 2 เท่าของความเค้นตามแนวความยาว σ_2

$$\sigma_1 = 2\sigma_2 \quad 4.5$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 วงกลมมอร์จุด A และ B

เขียนวงกลมของมอร์ผ่านจุด A และ B ซึ่งก็คือค่าความเค้นหลัก σ_1 และ σ_2 และเนื่องจากความเค้นเฉือนสูงสุดในระนาบจะมีค่าเท่ากับรัศมีของวงกลมนี้ ดังนั้น

$$\tau_{\max(\text{inplane})} = \frac{1}{2}\sigma_2 = \frac{pr}{4t} \tag{4.6}$$

4.2 การคำนวณหาขดลวดความร้อน

ในการคำนวณขดลวดความร้อนนั้นสามารถคำนวณได้จาก

$$P_w = \frac{mc_p \Delta T}{t_r} \tag{4.7}$$

โดย

P_w = กำลังที่ใช้ (watt)

m = mass water (kg)

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg.k)

t_r = เวลาที่ใช้(sec)

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การคำนวณและการออกแบบ

5.1 การคำนวณหาความหนาของถัง

ในงานวิจัยนี้ต้องการให้หม้อรีทอร์ทสามารถวางอุณหภูมิ x ได้ ดังนั้นจึงทำการคำนวณและพบว่า รัศมีที่เหมาะสม คือ 150-200 มิลลิเมตร และจากการสำรวจถึงความดันที่มีจำหน่ายก็พบว่า มีรัศมี 184 มิลลิเมตร จึงนำมาใช้ในการคำนวณ จากการคำนวณหาความหนาของถังพบว่าความหนาที่ได้คือ 0.68 มิลลิเมตร แต่เนื่องจากถังที่มีจำหน่ายมีความหนา 3 มิลลิเมตร ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกถัง $r = 184$ มิลลิเมตร $t = 3$ มิลลิเมตร

จากสมการที่ 4.2

$$\sigma_1 = \frac{pr}{t}$$

กำหนดให้

$p =$ ความดันที่ใช้ออกแบบ 5 (bar)

$r =$ รัศมีของถัง (mm)

$t =$ ความหนาของถัง (mm)

Safety factor (N) = 4

จะได้

$$t = \frac{5 \times 101325 \times 184 \times 4}{78 \times 6.895 \times 1.01325 \times 10^6}$$

$$t = 0.68 \text{ mm}$$

5.2 การคำนวณหาขนาดของ ขดลวดความร้อน

การคำนวณหาขนาดของขดลวดความร้อน (Heater) ได้จากการประมาณน้ำที่มีในระบบ 12 ลิตร เวลาที่ต้องการใช้ 20 นาที และช่วงอุณหภูมิ (30-121°C) ซึ่งจากการคำนวณจะได้กำลังของขดลวดความร้อน - 3.77 kw โดยจะเลือกใช้ขดลวดความร้อน (Heater) ขนาด 1 kw จำนวน 4 ตัว อย่างไรก็ตามการคำนวณนี้ไม่ได้คำนึงถึงการสูญเสียความร้อนต่างๆ ในการใช้งานจริงรายงานนี้เวลาอาจจะไม่ได้ตามต้องการ แต่เนื่องจากงบประมาณมีจำกัด ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ขนาดดังกล่าว

จากสมการที่ 4.7

$$P_w = mc_p \Delta T / t_r$$

กำหนดให้

$$m = Vx\rho_{water}$$

$$m = 12Lx\left(\frac{0.983kg}{1L}\right)$$

$$c_p = \text{ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg.k)}$$

$$t_r = 20 \text{ นาที}$$

$$\Delta T = \text{ความแตกต่างของอุณหภูมิ (k)}$$

ดังนั้นจะได้กำลังของขดลวดความร้อน (Heater)

$$P_w = \frac{12x0.983x4.218x(121-30)}{20x60}$$

$$P_w = 3.77 \text{ kw}$$

5.3 การออกแบบหม้อน้ำเชื้อ

5.3.1 หลักการออกแบบถัง

ในการออกแบบลักษณะของการจัดวางถังโดยมีหลักในการพิจารณาด้วยกันดังนี้

1. เนื้อที่ในการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลองต้องพอเพียง
2. สามารถดูแล ซ่อมแซม และทำความสะอาดได้ง่าย
3. มีความสะดวกในการใช้งาน

โดยในการพิจารณานั้นพบว่าการจัดวางถังมีอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะคือ

- แนวตั้ง
- แนวนอน

จากข้อกำหนดต่างๆ ได้ระบุไว้ทราบว่าถังในลักษณะแนวนอนมีลักษณะตรงตามที่ เราได้กำหนดไว้ ดังนั้นจึงออกแบบถังในลักษณะแนวนอน

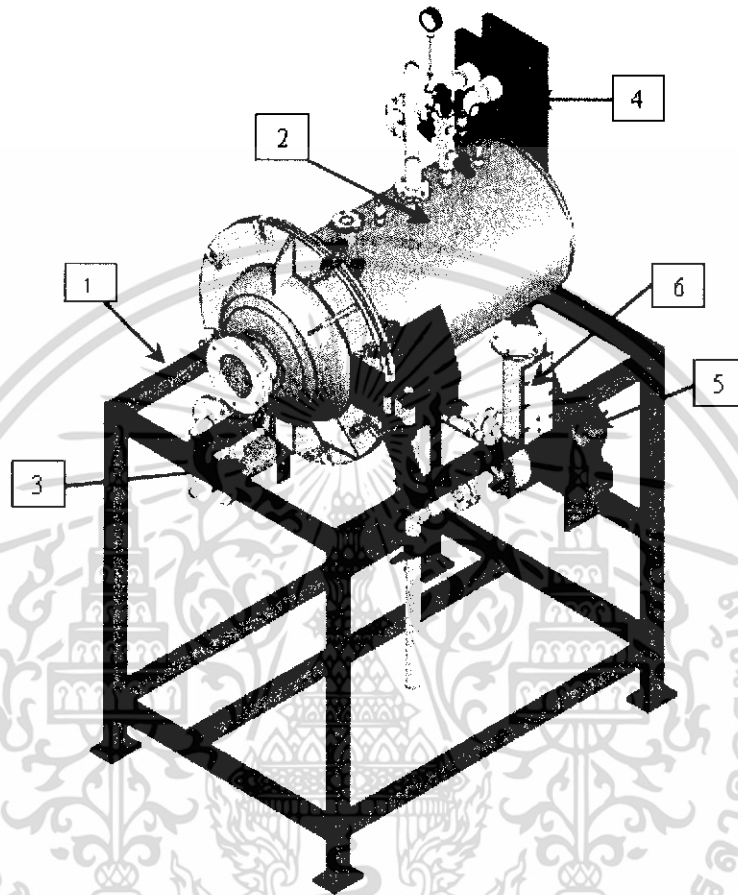
5.3.2 หลักการออกแบบขดลวดความร้อน (Heater)

การออกแบบและติดตั้งขดลวดความร้อน (Heater) มีหลักในการพิจารณาดังนี้

1. ต้องการให้น้ำได้สัมผัสกับขดลวดความร้อน ได้ทั่วถึงและมีความสม่ำเสมอของอุณหภูมิ
2. มีความแข็งแรงและสะดวกต่อการบำรุงรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 แบบและส่วนประกอบของ Water Spray Retort



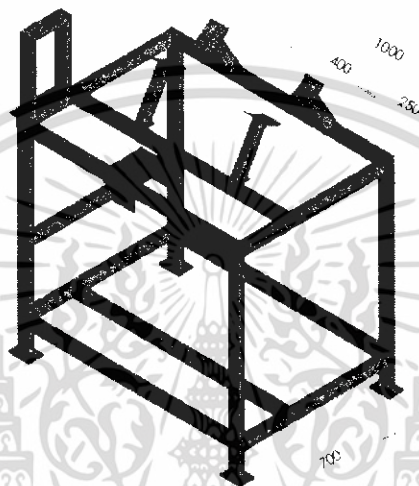
รูปที่ 5.1 Water Spray Retort

1. โครง
2. ถัง Water Spray Retort
3. ชุดท่อลดอุณหภูมิ
4. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Plate Exchanger
5. ปั๊มน้ำ
6. ชุดที่ระดับน้ำภายในถัง

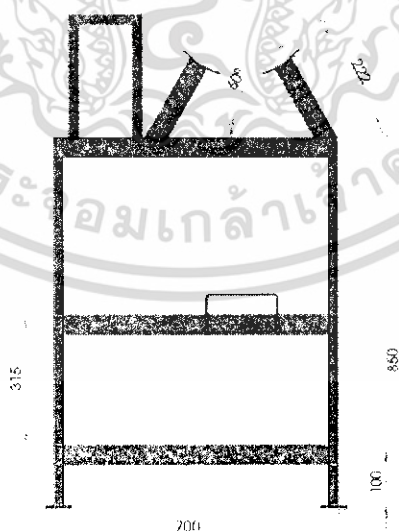
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.1 โครง

ส่วนประกอบต่าง ๆ นำมาประกอบกันภายในโครงสร้างดังภาพ โดยมีขนาด(กxยxส):
700x1000x850 มิลลิเมตร ทำจากเหล็กกล่องขนาด 1 นิ้ว x 2 นิ้ว และหนา 2 มิลลิเมตร



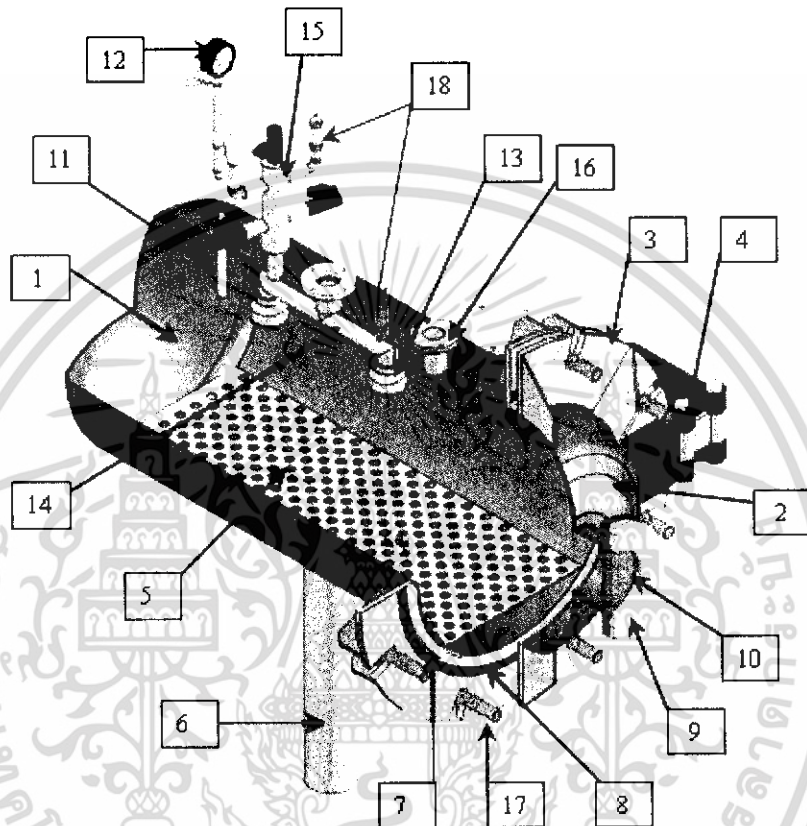
รูปที่ 5.2 โครงสร้าง



รูปที่ 5.3 ด้านหน้าของโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2 ถังน้ำเชื่อมแบบ Water Spray Retort



รูปที่ 5.4 ชุดอุปกรณ์และส่วนของถัง

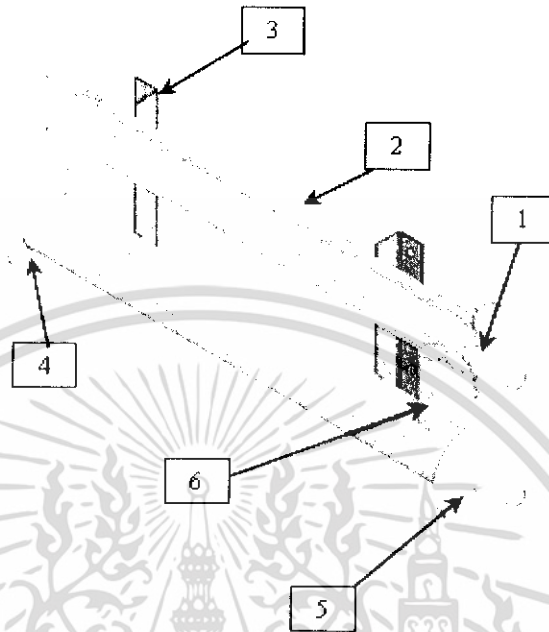
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 รายการชิ้นส่วนของถัง

หมายเลข	ชื่อชิ้นงาน	จำนวน ชิ้น	รายละเอียดปลีกย่อย
1	ถัง	1	Ø 370 mm ยาว 650 mm หนา 3 mm
2	ฝาถัง	1	Ø 370 mm หนา 3 mm
3	หน้าแปลน	2	Øใน 376 mm Øนอก 570 mm
4	บานพับ	1	
5	ตะแกรง	1	กว้าง 250 mm ยาว 650 mm
6	ท่อน้ำ	1	Ø 72 mm ยาว 400 mm
7	ขอบกวด seal	1	Øใน 380 mm Øนอก 400 mm สูง 10 mm
8	ขอบกัน seal	1	Øใน 410 mm Øนอก 430 mm สูง 10 mm
9	หน้าแปลนกระฉก	1	Øใน 100 mm Øนอก 180 mm หนา 12 mm
10	กระฉก	1	Ø120 หนา 12 mm
11	thermocouple	1	มาตรฐาน
12	Pressure Gauge	1	มาตรฐาน
13	หัว spray	2	มาตรฐาน
14	ท่อน้ำ spray	1	Øใน 1 นิ้ว
15	ท่อลม	1	
16	ท่อต่ออุปกรณ์	1	
17	สกรู	8	M20 mm
18	Safety Valve	2	มาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.3 ชุดท่อขดลวดความร้อน



รูปที่ 5.5 ชุดให้พลังงานความร้อน

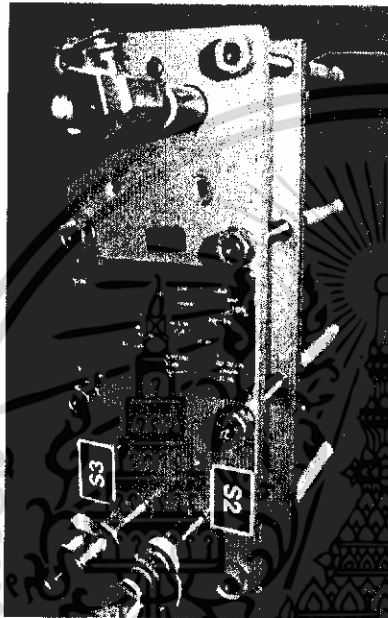
ตารางที่ 5.2 รายการชิ้นส่วนของชุดสร้างความร้อน

หมายเลข	ชื่อชิ้นงาน	จำนวน ชิ้น	รายละเอียดปลีกย่อย
1	ขดลวดความร้อน	4	มาตรฐาน
2	ท่อน้ำ	2	Ø 72 mm ยาว 650 mm
3	เหล็กยึดท่อขดลวด	2	
4	หน้าแปลนใน	4	Øใน 64 mm Øนอก 120 mmหนา 7 mm
5	หน้าแปลนนอก	4	Øใน 26 mm Øนอก 120 mmหนา 7 mm
6	ท่อน้ำ	1	Øใน 1 นิ้ว

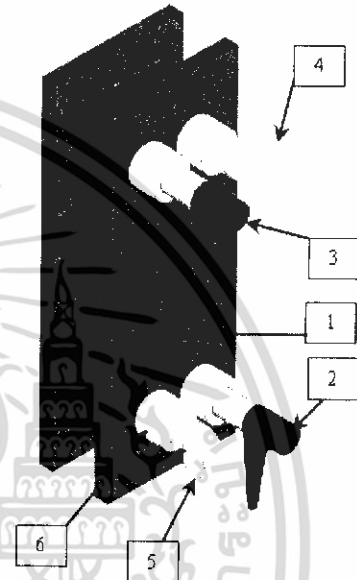
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.4 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Plate Exchanger

เนื่องจากวิธีการลดอุณหภูมิในระบบใช้การลดอุณหภูมิด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Plate Exchanger ซึ่งเป็นอุปกรณ์มาตรฐาน ดังนั้นในแบบจึงอธิบายเฉพาะวิธีการยึด Plate Exchanger และวิธีการต่อท่อน้ำต่างๆ ที่ใช้ในโครงการเท่านั้น



รูปที่ 5.6 รูป Plate exchanger จริงที่ใช้

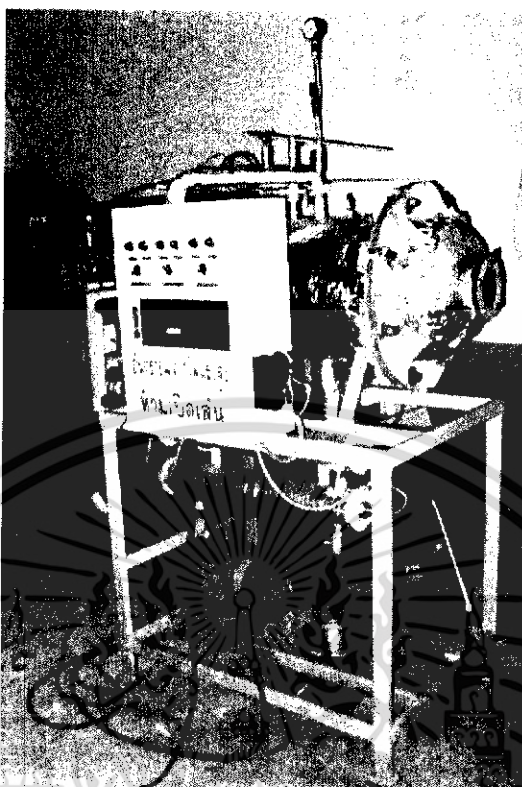


รูปที่ 5.7 ส่วนประกอบของ Plate exchanger

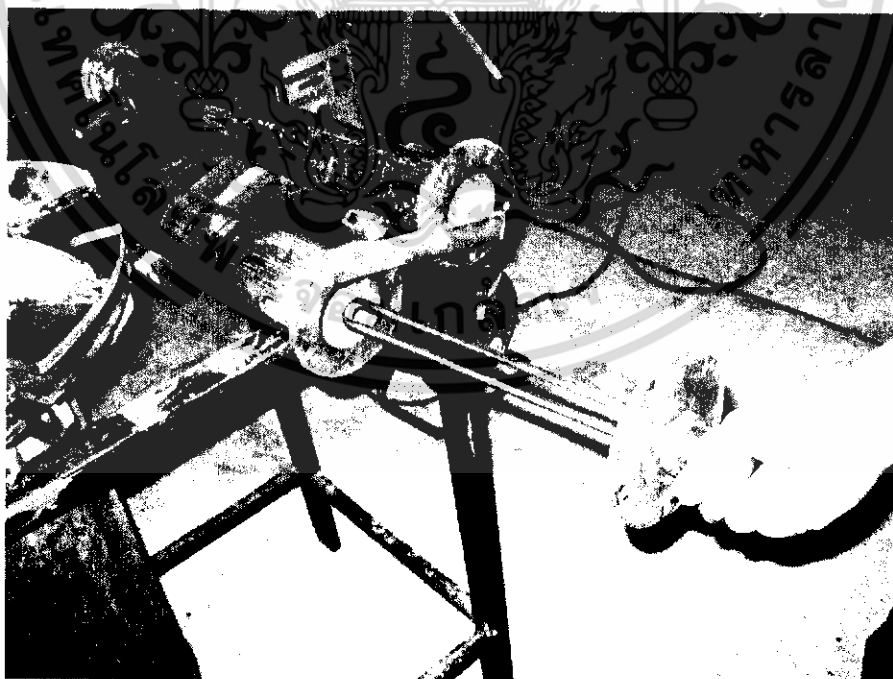
ตารางที่ 5.3 รายการชิ้นส่วนของชุดให้ความร้อน

หมายเลข	ชื่อชิ้นงาน	จำนวน ชิ้น	รายละเอียดปลีกย่อย
1	Plate Exchanger	1 ชุด	มาตรฐาน
2	ท่อน้ำร้อนเข้า	1	Ø 1 นิ้ว
3	ท่อน้ำร้อนออก	1	Ø 1 นิ้ว
4	ท่อน้ำเย็นเข้า	1	Ø 1 นิ้ว
5	ท่อน้ำเย็นออก	1	Ø 1 นิ้ว
6	เกลียวต่อท่อ	4	Ø 1.2 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

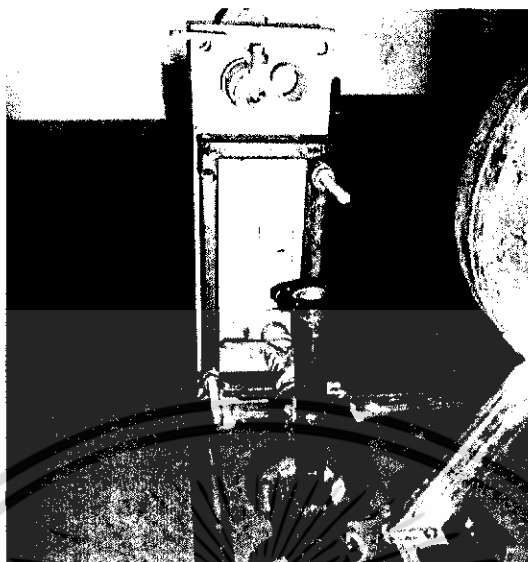


รูปที่ 5.8 ภาพจริงด้านหน้าของเครื่อง

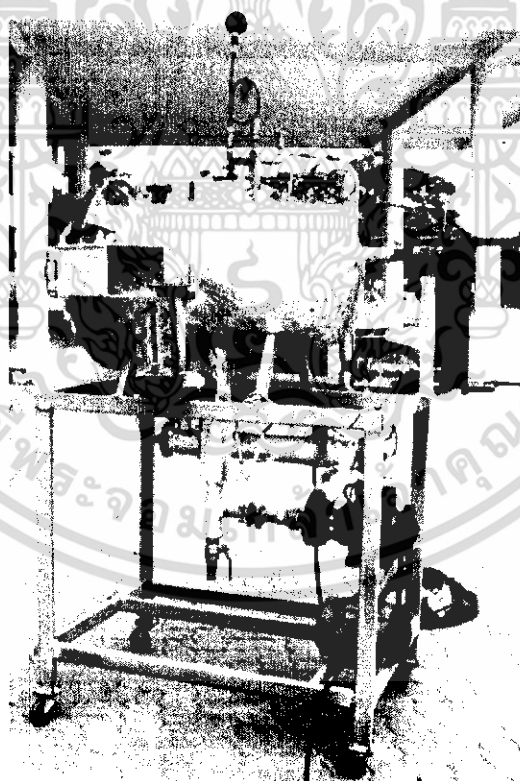


รูปที่ 5.9 ภาพจริงของชุดให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 ภาพจริงของชุดลดอุณหภูมิ(Cooling)



รูปที่ 5.11 ภาพจริงด้านขวาของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

วิธีทดลองและผลการทดลอง

ในการออกแบบเครื่องหม้อฆ่าเชื้อแบบ Water Spray Retort ผู้ออกแบบจะทำการทดลองเพื่อศึกษาการควบคุมความดันและอุณหภูมิ แนวโน้มของอุณหภูมิและความดันที่เครื่องนี้สามารถสร้างและควบคุมได้ตามสภาวะที่กำหนดไว้หรือไม่ และถ้าต้องการนำเครื่องนี้ไปใช้ในการทดลองกระบวนการฆ่าเชื้อของอาหารจะสามารถทำได้ตามที่เรากำหนดได้หรือไม่ โดยผลการทดลองและข้อมูลต่างๆ รวมถึงข้อบกพร่องของเครื่องจะถูกนำมาปรับปรุงพัฒนาเครื่องให้ดีขึ้น

6.1 วัตถุประสงค์การทดลอง

1. เพื่อศึกษาการกระจายของอุณหภูมิที่จุดต่างๆภายใน Retort
2. ศึกษาการควบคุมอุณหภูมิและความดันในระบบที่สภาวะต่างๆ
3. ศึกษาผลที่เกิดขึ้นกับรีทอร์ทเพาซ์ที่สภาวะการทดลองต่างๆ
4. เพื่อศึกษาการคงตัวของอุณหภูมิและความดันตามสภาวะต่างๆ ในช่วง process time ตามที่กำหนด

6.2 วัสดุอุปกรณ์การทดลอง

1. Inverter 1 เครื่อง
2. ปั๊มลม 1 เครื่อง
3. Pouch 6 ถุงต่อ 1 การทดลอง
4. Data looker 1 เครื่อง

6.3 ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองเครื่อง จะแบ่งสภาวะของการทดลองออกเป็น 3 สภาวะ โดยในการทดลองทั้ง 3 สภาวนั้นสามารถศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิได้จาก Data Looker และการคงตัวของความดันในช่วง process time ตามสภาวะของการทดลองนั้นๆ ได้ โดยในขั้นตอนของการทดลองมีดังนี้

1. เตรียมตัวอย่างการทดลอง พร้อมทั้งจัดตำแหน่งของรีทอร์ทเพาซ์ที่ใช้ในการทดลอง รวมทั้งจัดระบบของเครื่องให้พร้อมที่จะทดลอง

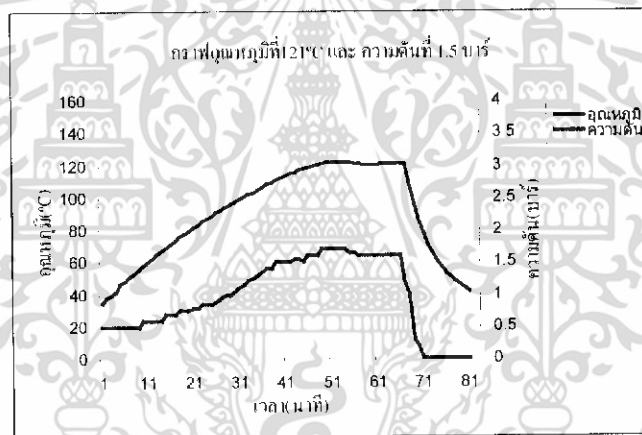
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เปิดปั๊มน้ำให้ทำงาน เพื่อหมุนเวียนน้ำภายในระบบ
3. เปิดสวิตช์ต่างๆของเครื่องให้ทำงานพร้อมทั้ง set อุณหภูมิที่เราต้องการจะควบคุม
4. ทำการจดบันทึกความดันและอุณหภูมิที่เวลาต่างๆ จนจบกระบวนการทดลอง
5. พอถึงช่วงเวลา cooling ทำการ cooling อุณหภูมิของน้ำภายในระบบให้ลดลง จนถึงอุณหภูมิ 45 °C ก็ถือว่าสิ้นสุดกระบวนการทดลอง

โดยสถานะในการทดลองมีดังนี้

สถานะที่ 1 จำลองสถานะที่ 121 °C ความดันที่ 1.5 บาร์

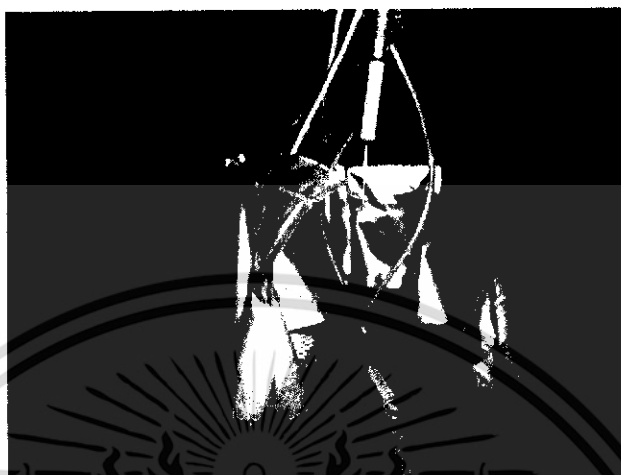
ผลการทดลอง



รูปที่ 6.1 กราฟกระบวนการทำงานที่สถานะที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

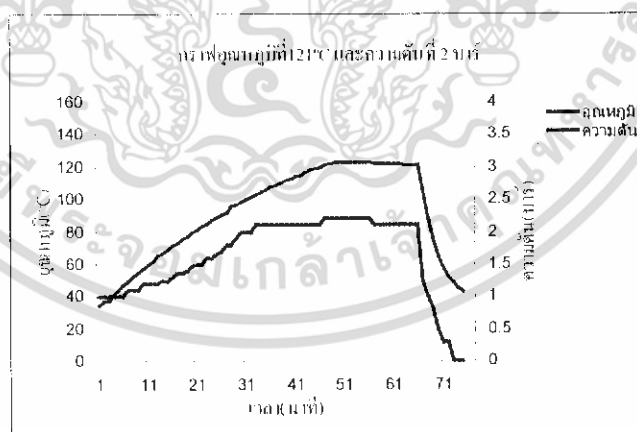
ลักษณะของรีทอร์ทเพาช์ที่ออกจากเครื่อง



รูปที่ 6.2 สภาพของรีทอร์ทเพาช์หลังจากการทดลองในสภาวะที่ 1

สภาวะที่ 2 จำลองสภาวะที่ 121 °C ความดันที่ 2 บาร์

ผลการทดลอง



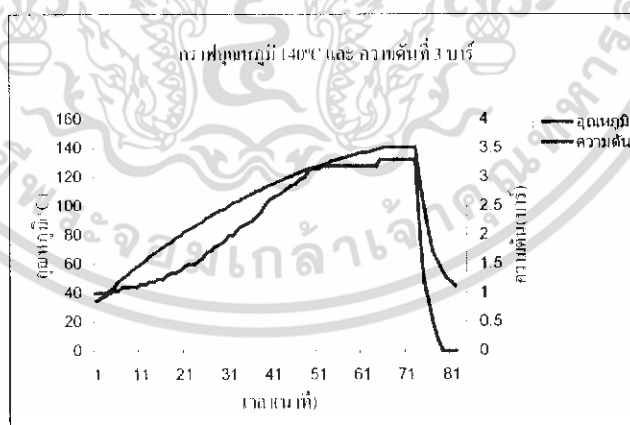
รูปที่ 6.3 กราฟกระบวนการทำงานที่สภาวะที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของรีทอร์ทแพคเกจที่ออกจากเครื่อง



รูปที่ 6.4 สภาพของรีทอร์ทแพคเกจหลังจากการทดลองในสภาวะที่ 2
สภาวะที่ 3 จำลองสภาวะที่ 140 °C ความดันที่ 3 บาร์ โดยมีความดันเริ่มต้นที่ 1 บาร์
ผลการทดลอง



รูปที่ 6.5 กราฟกระบวนการทำงานที่สภาวะที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของรีทอร์ทแพคเกจที่ออกจากเครื่อง

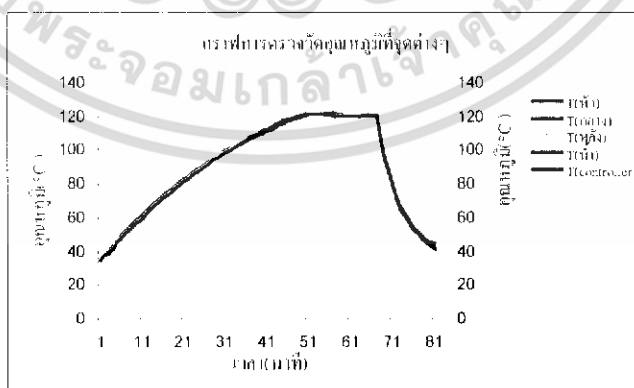


รูปที่ 6.6 สภาพของรีทอร์ทแพคเกจหลังจากการทดลองในสภาวะที่ 3

6.4 การตรวจวัดอุณหภูมิภายใน Water Spray Retort

ในการตรวจวัดการกระจายตัวของอุณหภูมิภายใน Water Spray Retort โดยใช้ Data Locker เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิภายใน Water Spray Retort โดยทำการวัดตำแหน่งอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ จำนวน 5 จุด

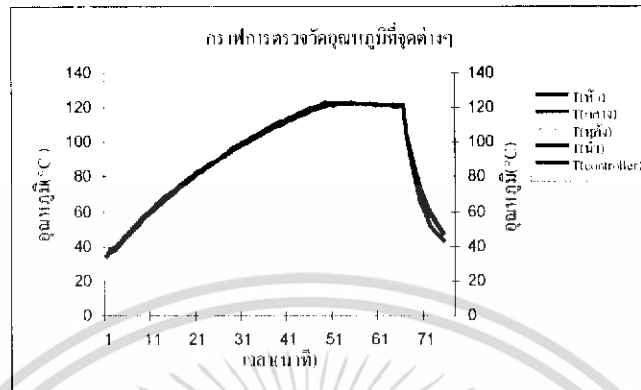
6.4.1 สภาวะที่ 1 จำลองสภาวะที่ 121 °C ความดันที่ 1.5 บาร์



รูปที่ 6.7 การตรวจวัดอุณหภูมิที่จุดต่างๆ ในสภาวะที่ 1

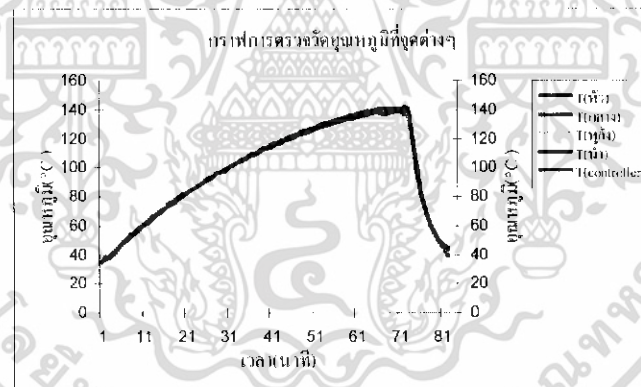
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4.2 สภาวะที่ 2 จำลองสภาวะที่ 121 °C ความดันที่ 2 บาร์



รูปที่ 6.8 การตรวจวัดอุณหภูมิที่จุดต่างๆ ในสภาวะที่ 2

6.4.3 สภาวะที่ 3 จำลองสภาวะที่ 140 °C ความดันที่ 3 บาร์ โดยมีความดันเริ่มต้นที่ 1 บาร์



รูปที่ 6.9 การตรวจวัดอุณหภูมิที่จุดต่างๆ ในสภาวะที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองทั้ง 3 กราฟ จะเห็นทั้งการควบคุมความดันเริ่มต้นไม่มีผลต่อช่วง Come-up time คือ ใช้เวลาประมาณ 30 นาที ในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำในระบบจาก 35-121°C และในช่วง Processing Time สามารถรักษาอุณหภูมิในช่วง $121 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ ในช่วง Cooling Time ทั้ง 3 สภาวะ มีการลดลงของอุณหภูมิไม่ต่างกัน โดยมีเวลาในการ Cooling 12 นาที จาก 121 ถึง 32°C สำหรับการเปลี่ยนแปลงความดันทั้ง 3 สภาวะพบว่า ไม่มีผลต่ออัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ ซึ่งสภาวะที่ตั้งได้กล่าวถึงแม้ว่าจะมีความแปรปรวนของอุณหภูมิและความดันอยู่บ้าง แต่ก็สามารถใช้ทดสอบบรรจุภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากสามารถสร้างความดันและอุณหภูมิพร้อมทั้งสามารถควบคุมระยะเวลา cooling เพื่อทดสอบลักษณะของบรรจุภัณฑ์ได้

ข้อเสนอแนะ

ถ้าต้องการลดเวลาในช่วง Come up time ให้น้อยลง และเพิ่มช่วงของอุณหภูมิให้มากขึ้น ควรเพิ่มขนาดขดลวดความร้อน (Heater) ให้มากขึ้น และในการควบคุมความดันควรเป็นแบบ automatic เพื่อให้ความดันมีความแม่นยำมากขึ้น ในส่วนของอุปกรณ์ ข้อต่อ และซีลต่างๆ ควรเป็นแบบที่สามารถทนความร้อนได้

เอกสารอ้างอิง

- 1 นายวัลย์ สายเสน, บงกชธรรม พบศิริรัฐ โสภณ, วาริรัตน์ ทรงคำ, 2547, โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น, ปรินญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, หน้า 2-3, 11-12.
- 2 เอกสารประกอบการฝึกอบรม-สัมมนาวิชาการด้านอุตสาหกรรมอาหาร, “ชนิดและการใช้งานของหม้อฆ่าเชื้อสำหรับบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว”, สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 84-94.
- 3 วราทิพย์ สมบุญญฤทธิ, “บรรจุภัณฑ์อ่อนตัวสำหรับอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ”, สถาบันวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ, กรมประมง, หน้า 2-3, 61-75,
- 4 รุ่งสุรีย์ ใจเดือนแก้ว, 2545, กลศาสตร์ของวัสดุ, สำนักพิมพ์ท็อป, หน้า 211-213
- 5 วรวิทย์ อิงภากรณ์ และ ชาญ ถนังงาน, 2536, การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1, ซีเอ็ดยูเคชั่น, หน้า 24-43, 345
- 6 Holman, J.P., 1988, Thermodynamics, McGRAW-HILL, pp.723
- 7 มรุยา. สถาบันอาหาร, <http://www.nfi.or.th/nfi/home>, [20 สิงหาคม 2548]
- 8 บุญกร ประดิษฐ์นิยกุล, www.mew6.com/composer/package, [20 สิงหาคม 2548]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
ตารางผลการทดลอง

ตาราง ก.1 การตรวจวัดอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ที่สภาวะที่ 1

เวลา (นาทึ)	อุณหภูมิ (หน้า)	อุณหภูมิ (กลาง)	อุณหภูมิ (หลัง)	อุณหภูมิ (น้ำ)	อุณหภูมิ controller	ความดัน (บาร์)
0	35	35	35	35	35	0.5
1	38.2	38.3	38.3	38.3	38	0.5
2	40.1	39.3	40.4	39.5	39.5	0.5
3	43.4	43.2	43.6	42.9	41.7	0.5
4	46.3	46.2	46.4	45.9	46.5	0.5
5	49.1	49.2	49.3	48.8	48.2	0.5
6	51.8	51.9	52	51.5	50.6	0.5
7	54.3	54.5	54.4	54.1	52.9	0.5
8	56.9	57	56.4	56.6	55.2	0.5
9	59.3	59.5	59.5	59.1	57.9	0.6
10	61.7	61.9	61.7	61.5	60.2	0.6
11	64	64.2	64.3	63.8	62.6	0.6
12	66.3	66.5	66.5	66.1	64.9	0.6
13	68.5	68.7	68.6	68.3	67.3	0.6
14	70.7	70.8	70.8	70.4	69.3	0.7
15	72.8	72.9	73.1	72.6	71.6	0.7
16	74.9	75	75.1	74.6	73.6	0.7
17	77	77	77.1	76.6	75.8	0.75
18	78.9	79	79.1	78.6	77.8	0.75
19	80.8	80.9	81	80.5	79.5	0.75
20	82.7	82.7	82.8	82.4	81.4	0.8
21	84.5	84.5	84.6	84.1	83.2	0.8
22	86.3	86.3	86.4	86	85.2	0.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.1 (ต่อ) การตรวจวัดอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ที่สภาวะที่ 1

23	88.1	88.1	88.2	87.8	87	0.85
24	89.9	89.9	90	89.5	88.8	0.85
25	91.5	91.5	91.6	91.2	90.7	0.9
26	93.2	93.2	93.3	92.9	92.3	0.95
27	94.8	94.8	94.9	94.5	94.1	1
28	96.5	96.4	96.6	96.2	95.7	1
29	98	98	98.1	97.7	97.3	1.05
30	99.5	99.5	99.6	99.2	99	1.1
31	101	101	101.1	100.7	100.4	1.15
32	102.4	102.3	102.4	102.1	102	1.2
33	103.7	103.7	103.8	103.5	103.3	1.25
34	104.5	104.5	104.6	104.3	104.8	1.3
35	105.8	105.9	106	105.5	106.2	1.35
36	107.1	107	107.1	106.8	108.2	1.4
37	108.3	108.3	108.2	107.8	109.6	1.4
38	109.4	109.5	109.6	109.2	110.7	1.5
39	110.6	110.7	110.7	110.4	112.2	1.5
40	111.8	111.9	111.8	111.5	113.4	1.5
41	112.8	112.9	112.8	112.5	114.7	1.5
42	114	113.9	114	113.7	115.8	1.55
43	115.2	115.1	115.3	115	116.9	1.55
44	116.5	116.3	116.5	116.2	118	1.5
45	117.6	117.7	117.8	117.4	118.9	1.6
46	118.7	118.7	118.6	118.3	119.8	1.6
47	119.1	119	119.2	119	120.7	1.6
48	120	119.9	120.1	119.9	121.5	1.7
49	120.8	120.8	120.9	120.7	122	1.7
50	121.6	121.5	121.7	121.5	122.1	1.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.1 (ต่อ) การตรวจวัดอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ที่สภาวะที่ 1

51	122.1	122	122.2	122	122.1	1.7
52	122.3	122.2	122.4	122.2	122	1.7
53	122.3	122.2	122.4	122.2	121.8	1.7
54	122.1	122.1	122.2	122.1	121.6	1.65
55	122	121.9	122	121.9	121.4	1.65
56	121.7	121.7	121.7	121.7	120.9	1.6
57	121.5	121.4	121.5	121.5	120.7	1.6
58	121	121	121.1	121	120.6	1.6
59	120.9	120.8	120.9	120.8	120.6	1.6
60	120.8	120.7	120.8	120.8	120.7	1.6
61	120.8	120.6	120.8	120.7	120.8	1.6
62	120.8	120.7	120.9	120.7	120.9	1.6
63	120.9	120.8	121	120.8	121	1.6
64	121	120.8	121	120.9	121	1.6
65	121	120.9	121.1	121	121.1	1.6
66	121.1	121.1	121.2	121.1	121	1.2
67	106.1	107.4	106	109.2	108	1
68	95.7	97.6	95.5	98.4	95	0.3
69	86.2	87.5	85.9	88.6	86.4	0.2
70	78.2	79.2	78.1	80.2	78.4	0
71	71.6	72.1	71.2	73.2	71	0
72	66.1	66.3	65.7	67.3	65.5	0
73	61.4	61.4	60.9	62.2	60.5	0
74	57.5	57.4	56.9	58.2	56.7	0
75	54.1	54.1	53.8	54.9	53.4	0
76	51.5	51.3	51	51.9	50.8	0
77	49.1	48.8	48.6	49.4	48.2	0
78	47	46.8	46.6	47.3	46	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.1 (ต่อ) การตรวจวัดอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ที่สภาวะที่ 1

79	45.3	45.1	44.9	45.5	44.3	0
80	44.8	44.4	44.5	44.6	42.2	0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.2 การตรวจวัดอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ที่สภาวะที่ 2

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (หน้า)	อุณหภูมิ (กลาง)	อุณหภูมิ (หลัง)	อุณหภูมิ (น้ำ)	อุณหภูมิ controller	ความดัน (บาร์)
0	35	35	35	35	35	1
1	38.2	38.4	38.3	38	36.9	1
2	39.3	39.5	39.4	39.4	38.1	1
3	42.5	42.4	42.8	42	41.4	1
4	45.6	45.6	46	45.2	44.2	1
5	48.6	48.6	49	48.2	46.9	1
6	51.5	51.5	51.7	51.1	49.7	1.1
7	54.1	54.2	54.4	53.8	52.6	1.1
8	56.7	56.9	57.1	56.4	55.2	1.1
9	59.2	59.4	59.6	59.1	57.9	1.2
10	61.7	61.9	62.1	61.5	60.2	1.2
11	63.9	64.1	64.4	63.8	62.6	1.2
12	66.2	66.4	66.7	66.1	65.1	1.2
13	68.4	68.7	68.9	68.3	67.3	1.25
14	70.5	70.8	71.1	70.4	69.4	1.25
15	72.6	72.9	73.2	72.5	71.5	1.3
16	74.7	74.9	75.2	74.5	73.6	1.35
17	76.7	76.9	77.2	76.5	75.7	1.35
18	78.7	78.9	79.2	78.5	77.6	1.4
19	80.5	80.7	81.1	80.4	79.6	1.45
20	82.4	82.6	82.9	82.3	81.5	1.5
21	84.2	84.5	84.8	84.1	83.5	1.5
22	86.1	86.2	86.6	85.9	85.4	1.6
23	87.9	88	88.4	87.7	87.2	1.6
24	89.6	89.7	90	89.4	88.9	1.65
25	91.2	91.3	91.6	91	90.8	1.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.2 (ต่อ) การตรวจวัดอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ที่สภาวะที่ 2

26	92.8	93	93.3	92.7	92.4	1.8
27	94.4	94.6	94.9	94.3	95.8	1.8
28	96	96.2	96.5	95.9	97.3	1.9
29	97.6	97.7	98	97.5	98.8	2
30	99.1	99.2	99.6	99	100.4	2
31	100.5	100.6	101	100.4	102	2
32	102	102	102.4	101.8	103.4	2.1
33	103.4	103.5	103.8	103.3	104.8	2.1
34	104.8	104.9	105.2	104.7	106.4	2.1
35	106.2	106.3	106.6	106.1	107.7	2.1
36	107.5	107.6	107.9	107.5	109.1	2.1
37	108.8	108.9	109.2	108.8	110.4	2.1
38	110.1	110.1	110.4	110	111.7	2.1
39	111.3	111.3	111.6	111.2	112.9	2.1
40	112.5	112.5	112.8	112.4	114.2	2.1
41	113.7	113.7	114	113.6	115.3	2.1
42	114.9	114.9	115.2	114.8	116.7	2.1
43	116.1	116.1	116.3	116	117.9	2.1
44	117.2	117.2	117.5	117.1	119.1	2.1
45	118.4	118.4	118.7	118.3	120	2.1
46	119.3	119.3	119.5	119.3	121.1	2.2
47	120.2	120.2	120.4	120.2	121.9	2.2
48	121.1	121.1	121.3	121.1	122.8	2.2
49	121.7	121.8	121.8	121.7	122.9	2.2
50	121.9	121.9	122.1	121.9	123	2.2
51	122	122.2	122.1	122.1	122.9	2.2
52	122.2	122.2	122.3	122.2	122.9	2.2
53	122.1	122.3	122.1	122.3	122.8	2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.2 (ต่อ) การตรวจวัดอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ที่สภาวะที่ 2

54	122.2	122.2	122.4	122.2	122.7	2.2
55	122	122.3	122	122.3	122.6	2.2
56	122.2	122.1	122.4	122.2	122.4	2.1
57	121.8	122.1	121.9	122.2	122.3	2.1
58	122	122	122.2	122	122.2	2.1
59	121.6	121.9	121.6	121.9	122	2.1
60	121.8	121.7	121.9	121.7	121.9	2.1
61	121.4	121.6	122.4	121.6	121.8	2.1
62	121.3	121.5	121.5	121.5	121.7	2.1
63	121.2	121.3	121.4	121.3	121.6	2.1
64	121.3	121.4	121.4	121.2	121.4	2.1
65	121.4	121.3	121.5	121.3	121.3	2.1
66	101.7	103.6	101.7	104.6	104.5	1.25
67	89.3	91.1	89.3	92.5	87.7	1
68	79.3	80.2	79.2	81.4	74.5	0.8
69	71.3	71.7	70.9	72.8	64.8	0.5
70	64.7	64.9	64.4	65.9	57.9	0.3
71	59.5	59.4	59.1	60.3	52.4	0.3
72	55	54.9	54.6	55.7	48.8	0
73	51.2	51.2	50.6	52	46.1	0
74	47.5	47.1	46.8	47.8	43.7	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.3 การตรวจวัดอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ที่สภาวะที่ 3

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (หน้า)	อุณหภูมิ (กลาง)	อุณหภูมิ (หลัง)	อุณหภูมิ (น้ำ)	อุณหภูมิ controller	ความดัน (บาร์)
0	35	35	35	35	35	1
1	38.2	38.4	38.3	37.8	36.9	1
2	39.1	38.9	39.4	38.5	38	1
3	42.3	42.2	42.6	41.8	41.6	1
4	45.2	45.3	45.6	44.8	44.6	1.05
5	48.2	48.2	48.6	47.8	47.5	1.05
6	50.9	51.1	51.4	50.6	50.2	1.1
7	53.6	53.8	54.1	53.3	52.9	1.1
8	56.2	56.4	56.7	55.9	55.4	1.1
9	58.6	58.9	59.2	58.5	58	1.1
10	61.1	61.4	61.6	60.9	60.4	1.15
11	63.5	63.8	64.1	63.3	62.8	1.15
12	65.9	66.1	66.4	65.6	65.1	1.2
13	68.2	68.4	68.7	67.9	67.8	1.2
14	70.5	70.6	70.9	70.2	69.7	1.25
15	72.7	72.8	73	72.4	71.9	1.25
16	74.8	75	75.3	74.5	74	1.3
17	77	77	77.4	76.7	76	1.35
18	79	79.1	79.4	78.7	78.2	1.35
19	80.9	81	81.4	80.7	80.3	1.4
20	83	83	83.4	82.6	82.3	1.45
21	84.9	84.9	85.4	84.6	84.3	1.5
22	86.9	86.9	87.2	86.5	86.3	1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.3 (ต่อ) การตรวจวัดอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ที่สภาวะที่ 3

23	88.6	88.7	89.1	88.3	88.1	1.55
24	90.5	90.5	90.8	90.1	90	1.6
25	92.3	92.2	92.6	91.9	91.8	1.7
26	93.9	93.9	94.4	93.6	93.6	1.75
27	95.6	95.6	96.1	95.4	95.4	1.8
28	97.3	97.4	97.8	97.1	97.1	1.85
29	99.1	99	99.5	98.8	98	1.9
30	100.6	100.6	101	100.3	100.6	2
31	102.2	102.1	102.6	101.9	102.3	2
32	103.8	103.7	104.1	103.4	103.9	2.1
33	105.4	105.2	105.7	104.9	105.5	2.15
34	106.9	106.7	107.2	106.5	107.1	2.2
35	108.4	108.2	108.7	107.9	108.6	2.25
36	109.9	109.7	110.1	109.4	110.1	2.3
37	111.3	111	111.4	110.8	111.6	2.4
38	112.6	112.4	112.8	112.2	113.1	2.5
39	113.9	113.7	114.1	113.4	114.4	2.6
40	115.1	114.9	115.3	114.7	115.8	2.65
41	116.4	116.2	116.5	116	117.1	2.7
42	117.6	117.4	117.7	117.2	118.4	2.75
43	118.8	118.7	119	118.4	119.7	2.8
44	120	119.9	120.1	119.7	121	2.85
45	121.2	121	121.3	120.8	122.2	2.9
46	122.3	122.1	122.5	121.9	123.4	2.95
47	123.5	123.3	123.5	123.1	124.8	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.3 (ต่อ) การตรวจวัดอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ที่สภาวะที่ 3

48	124.6	124.4	124.7	124.2	125.8	3.1
49	125.6	125.4	125.7	125.2	126.9	3.15
50	126.6	126.5	126.7	126.2	127.9	3.15
51	127.6	127.4	127.7	127.2	129.1	3.2
52	128.5	128.4	128.7	128.2	130	3.2
53	129.5	129.4	129.7	129.2	131.1	3.2
54	130.4	130.3	130.6	130.1	132.1	3.2
55	131.3	131.2	131.4	131	133	3.2
56	132.1	132	132.2	131.8	133.8	3.2
57	132.8	132.7	132.9	132.5	134.5	3.2
58	133.6	133.4	133.6	133.3	135.6	3.2
59	134.4	134.2	134.4	134	136.2	3.2
60	135.1	134.9	135.1	134.8	137	3.2
61	135.8	135.7	135.8	135.6	137.8	3.2
62	136.6	136.4	136.6	136.3	138.6	3.2
63	137.3	137.1	137.3	137.1	139.3	3.2
64	138	137.8	138	137.8	140.1	3.3
65	138.6	138.4	138.6	138.4	140.6	3.3
66	137.1	137.3	137	137.4	140.8	3.3
67	137.9	137.5	137.6	137.3	141	3.3
68	138.6	138.3	138.5	138.3	141	3.3
69	138.9	138.7	138.8	138.7	140.9	3.3
70	139.3	139	139.2	139	140.8	3.3
71	138.3	138.6	138.1	137.7	141.1	3.3
72	138.5	138.2	138.4	138.1	141	3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.3 (ต่อ) การตรวจวัดอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ที่สภาวะที่ 3

73	110.4	115.1	110.6	119.9	116.7	2
74	94.3	97.9	94.2	98.6	99.8	1.2
75	79.1	81.6	79.1	82.5	80.9	0.8
76	68.8	69.8	68	70.6	68.9	0.5
77	60.3	61.4	59.9	61.9	61.5	0.2
78	55.6	54.8	53.8	55.3	54.7	0
79	49.6	49.7	49.1	50.3	50.5	0
80	46.2	45.9	45.5	46.4	47.5	0
81	39.5	43.7	42.5	44.7	45	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ตาราง ข.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าที่ชุบแข็งได้

AISI Type	Tensile Strength, ksi	Yield Point, ksi	Elongation in 2 in., %	Reduction of Area, %	Impact Strength, (Izod), ft-lb	Hardness		Machining
						Case (Brinell)	Case (Rockwell)	
Plain Carbon, Carburized Steels								
C1015	73	46	30	71	93	149	C62 (.048")	ไม่พอใช้
C1020	75	46	31	71	93	156	C62 (.046")	ไม่พอใช้
C1022	83	47	27	66	81	163	C62 (.046")	ดี
C1117	97	59	23	53	33	192	C65 (.045")	ดีมากถึงดีเลิศ
C1118	113	77	17	45	16	229	C61 (.065")	ดีมากถึงดีเลิศ
Plain Carbon, Hardened Steels								
C1030	122-75	93-58	18-33	48-71	8-100	495-179		พอใช้ถึงดี
C1040	113-89	86-62	19-33	48-68	36-72	262-1e3		พอใช้ถึงดี
C1050	143-96	108-61	10-30	42-63	16-53	321-192		พอใช้ถึงดี
C1060	160-103	112-68	12-28	40-60	14-23	321-212		ต้องแอนนีส
C1080	190-117	142-70	12-24	35-51	10-22	388-223		ต้องแอนนีส
C1095	188-190	120-74	10-26	30-53	5-6	401-229		ต้องแอนนีส
C1137	158-87	138-60	6-28	22-70	10-90	352-174		ดีถึงดีมาก
C1141	237-94	188-68	7-28	58-63	9-81	461-192		ดีถึงดีมาก
C1144	128-97	91-68	17-24	35-59	7-62	277-201		ดีถึงดีมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.2 น้ำอ้อมตัว -- อุณหภูมิ

PROPERTIES OF WATER: SATURATION TEMPERATURE TABLE (SI UNITS)

v in cm^3/g , $1 \text{ cm}^3/\text{g} = 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$, h and u in kJ/kg ; s in $\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$; p in bars, $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$

Temp. T , $^{\circ}\text{C}$	Press. p , bars /	Specific Volume		Internal Energy		Enthalpy			Entropy	
		Sat. Liquid v_f	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Sat. Vapor s_g
0	0.006 11	1.0002	206 278	-0.03	2375.4	-0.02	2501.4	2501.3	-0.0001	9.1565
5	0.008 72	1.0001	147 120	20.97	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	9.0257
10	0.012 28	1.0004	106 379	42.00	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	0.1510	8.9008
15	0.017 05	1.0009	77 926	62.99	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	0.2245	8.7814
20	0.023 39	1.0018	57 791	83.95	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	0.2966	8.6672
25	0.031 69	1.0029	43 360	104.88	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	0.3674	8.5580
30	0.042 46	1.0043	32 894	125.78	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	0.4369	8.4533
35	0.056 28	1.0060	25 216	146.67	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	0.5053	8.3531
40	0.073 84	1.0078	19 523	167.56	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	0.5725	8.2570
45	0.095 93	1.0099	15 258	188.44	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	0.6387	8.1648
50	0.1235	1.0121	12 032	209.32	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	0.7038	8.0763
55	0.1576	1.0146	9568	230.21	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	0.7679	7.9913
60	0.1994	1.0172	7671	251.11	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	0.8312	7.9096
65	0.2503	1.0199	6197	272.02	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	0.8935	7.8310
70	0.3119	1.0228	5042	292.95	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	0.9549	7.7553
75	0.3858	1.0259	4131	313.90	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	7.6824
80	0.4739	1.0291	3407	334.86	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	7.6122
85	0.5783	1.0325	2828	355.84	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	7.5445
90	0.7014	1.0360	2361	376.85	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	7.4791
95	0.8455	1.0397	1982	397.88	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	7.4159
100	1.014	1.0435	1673	418.94	2506.5	419.04	2257.0	2676.1	1.3069	7.3549
110	1.433	1.0516	1210	461.14	2518.1	461.30	2230.2	2691.5	1.4185	7.2387
120	1.985	1.0603	891.9	503.50	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5276	7.1296
130	2.701	1.0697	668.5	546.02	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	7.0269
140	3.613	1.0797	508.9	588.74	2550.0	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	6.9299
150	4.758	1.0905	392.8	631.68	2559.5	632.20	2114.3	2746.5	1.8418	6.8379
160	6.178	1.1020	307.1	674.86	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	6.7502
170	7.917	1.1143	242.8	718.33	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	6.6663
180	10.02	1.1274	194.1	762.09	2583.7	763.22	2015.0	2778.2	2.1396	6.5857
190	12.54	1.1414	156.5	806.19	2590.0	807.62	1978.8	2786.4	2.2359	6.5079
200	15.54	1.1565	127.4	850.65	2595.3	852.45	1940.7	2793.2	2.3309	6.4323
210	19.06	1.1726	104.4	895.53	2599.5	897.76	1900.7	2798.5	2.4248	6.3585
220	23.18	1.1900	86.19	940.87	2602.4	943.62	1858.5	2802.1	2.5178	6.2861
230	27.95	1.2088	71.58	986.74	2603.9	990.12	1813.8	2804.0	2.6099	6.2146
240	33.44	1.2291	59.76	1033.2	2604.0	1037.3	1766.5	2803.8	2.7015	6.1437
250	39.73	1.2512	50.13	1080.4	2602.4	1085.4	1716.2	2801.5	2.7927	6.0730
260	46.88	1.2755	42.21	1128.4	2599.0	1134.4	1662.5	2796.9	2.8838	6.0019
270	54.99	1.3023	35.64	1177.4	2593.7	1184.5	1605.2	2789.7	2.9751	5.9301
280	64.12	1.3321	30.17	1227.5	2586.1	1236.0	1543.6	2779.6	3.0668	5.8571
290	74.36	1.3656	25.57	1278.9	2576.0	1289.1	1477.1	2766.2	3.1594	5.7821
300	85.81	1.4036	21.67	1332.0	2563.0	1344.0	1404.9	2749.0	3.2534	5.7045
320	112.7	1.4988	15.49	1444.6	2525.5	1461.5	1238.6	2700.1	3.4480	5.5362
340	145.9	1.6379	10.80	1570.3	2464.6	1594.2	1027.9	2622.0	3.6594	5.3357
360	186.5	1.8925	6.945	1752.2	2351.1	1760.5	720.5	2481.0	3.9147	5.0526
374.14	220.9	3.155	3.155	2029.6	2029.6	2099.3	0	2099.3	4.4298	4.4298

Source: Abridged from Keenan, J. H., F. G. Keyes, P. G. Hill, and J. G. Moore, "Steam Tables," John Wiley & Sons, Inc., New York, 1969.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.3 ค่าความปลอดภัย

ชนิดของแรง	เหล็กเหนียวและ โลหะเหนียว		เหล็กหล่อและ โลหะ เปราะ
	N_y	N_u	N_u
แรงอยู่นิ่ง	1.5-2	3-4	5-6
แรงซ้ำทิศทางเดียวหรือ แรงกระแทกเล็กน้อย	3	6	7-8
แรงซ้ำสองทิศทางหรือ แรงกระแทกเล็กน้อย	4	8	10-12
แรงกระแทกอย่างหนัก	5-7	10-15	15-20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้