

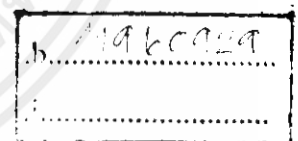
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและพัฒนาหม้อน้ำเชื้อแบบเขย่า

DESIGN AND DEVELOPMENT OF THE SHAKING RETORT

กฤตา ดวงแข
จันทร์ทนา อัครภาณุมาศ
ปรัชญ์ มีพรปัญญาเลิศ

เลขหมู่.....83040
เลขทะเบียน.....
วันเดือนปี..... 31 ก.ค. 2551



**ปฏิญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและพัฒนาหม้อนำเชื้อแบบเขย่า

DESIGN AND DEVELOPMENT OF THE SHAKING RETORT

ผู้จัดทำ

1. นางสาวกศุภา ดวงแข รหัสนักศึกษา 47010055
2. นางสาวจันทร์ทมา อัสวภาณูมาศ รหัสนักศึกษา 47010096
3. นายปรัชญ์ มีพรปัญญาเลิศ รหัสนักศึกษา 47010431



อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์สมักร รักแม่)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและพัฒนาหม้อฆ่าเชื้อแบบเขย่า

นางสาวกศุศา	ดวงแข	47010055
นางสาวจันทร์ทนา	อัสวภาณมาศ	47010096
นายปรัชญ์	มีพรปัญญาเลิศ	47010431
อาจารย์สมักร	รักแม่	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2550		

บทคัดย่อ

โครงการออกแบบและพัฒนาหม้อฆ่าเชื้อแบบเขย่า มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาหม้อฆ่าเชื้อที่มีอยู่ในอุตสาหกรรมอาหารเป็นหม้อฆ่าเชื้อแบบเขย่า หลักการทำงานของเครื่องนี้ทำงาน โดยการส่งกำลังจากมอเตอร์โดยผ่านสายพาน ซึ่งสายพานส่งกำลังไปที่เพลลา เพื่อขับให้ลูกเบี้ยวที่ติดอยู่กับเพลลา ภายในหม้อฆ่าเชื้อส่งแรงไปยังตะกร้า ซึ่งภายใต้ตะกร้าจะมีสปริงรองรับอยู่ ขณะที่ลูกเบี้ยวส่งแรงไปยังตะกร้า ตะกร้าจะรับแรงและกดให้สปริงยุบตัวลง เมื่อลูกเบี้ยวหมุนผ่านตะกร้า สปริงจะดันให้ตะกร้ากลับสู่ตำแหน่งเดิมซึ่งเป็นหลักการที่ทำให้เกิดการเขย่าภายในหม้อฆ่าเชื้อ จากนั้นจึงทดลองเพื่อตรวจสอบตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง ได้แก่ ความเร็วรอบในการส่งกำลังมอเตอร์ไปยังสายพาน จากการทดลองที่น้ำหนัก 300 กิโลกรัมต่อตะกร้า พบว่าต้องใช้ความเร็วรอบในการส่งกำลังเท่ากับ 118 รอบ/นาที ซึ่งจะส่งผลให้สปริงสามารถยุบและยืดออกเป็นจังหวะเดียวกับการที่ลูกเบี้ยวส่งแรงมากระทบตะกร้าอีกครั้งในรอบต่อไป โดยการคัดแปลงเพื่อให้ใช้กับหม้อฆ่าเชื้อทั่วไปทำได้โดยการคัดแปลงที่ด้านหลังของหม้อฆ่าเชื้อเพื่อให้เพลลาส่งกำลังเข้าไป และส่วนของตะกร้าจะเพิ่มตะกร้าชั้นนอก ซึ่งตะกร้าชั้นนอกมีการติดสปริงทั้ง 4 มุม โดยมุมที่ติดสปริงนั้นจะพอดีกับมุมของตะกร้าชั้นใน ส่วนตะกร้าชั้นในคัดแปลงเพิ่มจากตะกร้าที่มีอยู่ โดยการติดฝาที่ตะกร้าเพื่อรองรับการส่งแรงที่มาจากลูกเบี้ยว บริเวณส่วนท้ายของหม้อฆ่าเชื้อที่มีการเจาะรูสามารถป้องกันการรั่วไหลได้โดยใช้ปะเก็นซีล (Packing Seal) โดยเลือกใช้ปะเก็นซีลชนิด PTFE (Polytetrafluoroethylene)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND DEVELOPMENT OF THE SHAKING RETORT

Ms. Kusa Duangkhae 47010055

Ms. Jantana Asawapanumas 47010096

Mr. Prach Meponpunyalert 47010431

Mr. Samak Rakmae Advisor

Academic Year 2007

ABSTRACT

The objective of this project was to design and develop the still retorts to the shaking retorts. The principal mechanic of shaking was used by the eccentric roller that mounted on the shaft and was driven by the motor from the outside. The baskets were pressed down 1 centimeter by the eccentric roller against the 4 springs that mounted at the bottom of baskets. The frequency of pressing or shaking was controlled by the speed of motor. This mechanic principle was experimented by investigating the shaking frequency that affected to the efficiency of shaking. The results from 300 kg loading per basket revealed that the maximum frequency was 118 rpm but it will be higher when lower loading. The regular retort had modified at the end of retort to attached shaft and power system. The Polytetrafluoroethylene (PTFE) packing seal was used to prevent the leakage of the retort pressure. In basket part, the inner basket was placed inside the outer basket with attached the 4 springs to push the inner basket up to the original position.

กิตติกรรมประกาศ

ด้วยความอนุเคราะห์ของทุกคน โครงการนี้จึงสำเร็จได้ด้วยดีคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ
 อาจารย์สมัคร รักแม่ อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้ความช่วยเหลือ กระตุ้นให้เรามีความกระตือรือร้น
 ในการทำงาน ให้รู้จักการวางแผนและคอยท้วงติงเราตลอดเวลาโดยไม่เว้นวันหยุดราชการ

คณาจารย์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือตลอดมา พี่แมน พี่บุญนำ พี่ต๋ม พี่นุ้ย ที่ให้ความ
 ช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้โอกาสในการศึกษา และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา และสุดท้ายนี้
 ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่สำหรับความช่วยเหลือ คำแนะนำปรึกษา และกำลังใจที่มีให้กันเสมอมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VIII
รายการสัญลักษณ์	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.4 ขอบเขตของโครงการ	2
บทที่ 2 หม้อฆ่าเชื้อ	3
2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของหม้อฆ่าเชื้อ	3
2.2 การแบ่งลักษณะของหม้อฆ่าเชื้อสามารถแบ่งตามลักษณะต่างๆ	3
2.3 ส่วนประกอบของหม้อฆ่าเชื้อ	7
2.4 การใช้หม้อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารกระป๋อง	13
2.5 อัตราการแทรกผ่านความร้อน	14
2.6 ตรวจเอกสาร	18
บทที่ 3 การดัดแปลงเพื่อนำไปใช้งานจริงกับหม้อฆ่าเชื้อ	19
3.1 เฟลา	19
3.2 ตะกร้า	19
3.3 ลูกเบียร์ทรงกลม	20
3.4 โซ่	21
3.5 Packing Seal	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ทฤษฎีรายการคำนวณ	22
4.1 เฟลา	22
4.2 แบร์ริง	23
4.3 สายพาน	24
4.4 สปริง	27
4.5 มอเตอร์	29
4.6 โช้	31
4.7 Packing Seal	33
บทที่ 5 การคำนวณและการออกแบบ	35
5.1 การคำนวณและการออกแบบเฟลา	35
5.2 การคำนวณและการออกแบบสายพาน	38
5.3 คำนวณหาระยะยวบตัวของสปริง	41
5.4 การคำนวณหาขนาดมอเตอร์	41
5.5 แบบและส่วนประกอบของหม้อฆ่าเชื้อแบบเขย่า	42
บทที่ 6 วิธีทดลองและผลการทดลอง	49
6.1 อุปกรณ์ที่ใช้	49
6.2 วิธีการทดลอง	49
6.3 ผลการทดลอง	49
บทที่ 7 บทวิจารณ์และสรุปผล	51
เอกสารอ้างอิง	52
ภาคผนวก ก	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 หม้อฆ่าเชื้อแบบแนวนอน และแนวตั้ง	3
รูปที่ 2.2 หม้อฆ่าเชื้อแบบอาหารกระป๋องหมุนแกว่ง	4
รูปที่ 2.3 หม้อฆ่าเชื้อแบบใช้ไอน้ำและอากาศร้อนผสมกัน	5
รูปที่ 2.4 หม้อฆ่าเชื้อแบบให้ความร้อนท่วมบรรจุภัณฑ์ตลอดเวลาในการฆ่าเชื้อ	6
รูปที่ 2.5 หม้อฆ่าเชื้อแบบใช้น้ำร้อนภายใต้ความดันสูง	6
รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของหม้อฆ่าเชื้อแบบแนวนอน	8
รูปที่ 2.7 รูปแบบของวาล์วที่ใช้กับหม้อฆ่าเชื้อ	10
รูปที่ 2.8 อุปกรณ์ประกอบหม้อฆ่าเชื้อ	13
รูปที่ 2.7 แสดงการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อน	17
รูปที่ 2.8 แสดงการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน	17
รูปที่ 2.9 เปรียบเวลาที่ในกระบวนการฆ่าเชื้อของหม้อฆ่าเชื้อแบบต่าง	18
รูปที่ 3.1 เพลที่ใช้ในการออกแบบ	19
รูปที่ 3.2 ตะกร้าชั้นใน	19
รูปที่ 3.3 ตะกร้าชั้นนอก	20
รูปที่ 3.4 ลูกเบียร์ทรงกลม	21
รูปที่ 3.5 หม้อฆ่าเชื้อแบบเขย่า	21
รูปที่ 4.1 ประเภทของโรตลิงแบร์ริง	23
รูปที่ 4.2 สายพานแบน	24
รูปที่ 4.3 สายพานลิ้ม	24
รูปที่ 4.4 ไทม์มิงเบลท์	25
รูปที่ 4.5 หน้าตัดสายพานลิ้มและล้อสายพาน	25
รูปที่ 4.6 สปริง	27
รูป 4.7 โซ่ลูกกลิ้ง	31
รูป 4.8 โซ่โบลต์	32
รูปที่ 4.9 โซ่ฟัน	32
รูปที่ 4.10 Pacing Seal	33
รูปที่ 4.11 PTFE Braided Packing	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 4.12 ปะเก็นเชือกเกรไฟท์	34
รูป 4.13 ปะเก็นเชือก Carbon and Graphite	34
รูปที่ 5.1 แรงที่ลูกเบี้ยวกระทำต่อฝาตะกร้าตามแนวแกน	35
รูปที่ 5.2 free body diagram ของเพลลา	36
รูปที่ 5.3 ส่วนที่รับแรงมากที่สุดของเพลลา	36
รูปที่ 5.4 ระยะที่ลูกเบี้ยวกดตะกร้า	41
รูปที่ 5.5 แสดงลักษณะของเครื่องจักรจำลองการเขย่าในหม้อฆ่าเชื้อ	42
รูปที่ 5.6 โครงสร้าง	43
รูปที่ 5.7 ตะกร้าชั้นนอก	44
รูปที่ 5.8 ตะกร้าชั้นใน	45
รูปที่ 5.9 อุปกรณ์ส่งกำลังและอื่น ๆ	46
รูปที่ 5.10 ภาพจริงด้านหน้าของเครื่องจำลองการเขย่าในหม้อฆ่าเชื้อ	47
รูปที่ 5.11 ภาพจริงด้านหลังของเครื่องจำลองการเขย่าในหม้อฆ่าเชื้อ	47
รูปที่ 5.12 ภาพจริงของตะกร้า	48
รูปที่ 5.13 ภาพจริงของสปริงที่ใช้ในเครื่องจำลองการเขย่าในหม้อฆ่าเชื้อ	48
รูปที่ 6.1 การเคลื่อนที่วัสดุชิ้นเล็กๆในแนวนอน	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงระยะเวลาในการฆ่าเชื้อโดยเปรียบเทียบระหว่าง หม้อฆ่าเชื้อแบบหยดนิ่ง หม้อฆ่าเชื้อแบบหมุนและหม้อฆ่าเชื้อแบบเขย่า	18
ตารางที่ 5.1 ชั้นส่วนของโครง	43
ตารางที่ 5.2 แสดงชั้นส่วนของตะกร้านอก	44
ตารางที่ 5.3 แสดงรายการชั้นส่วนของตะกร้าชั้นนอก	45
ตาราง 5.4 แสดงอุปกรณ์รายการชั้นส่วนและอุปกรณ์ส่งกำลัง	46
ตาราง ก.1 ขนาดระบุของเพลามาตรฐาน ISO/R775-1969	54
ตาราง ก.2 ค่าตัวประกอบความถี่	54
ตาราง ก.3 ขนาดเส้นรอบวงภายในของสายพานรูปตัววีขนาดต่าง ๆ	54
ตาราง ก.4 อัตราการส่งกำลังของสายพานรูปตัววีขนาดมาตรฐาน	55
ตาราง ก.5 แฟกเตอร์แก้มุม โอบสำหรับสายพานรูปตัววี, K_1	56
ตาราง ก.6 แฟกเตอร์แก้ความยาวของสายพาน K_2	56
ตาราง ก.7 แฟกเตอร์การใช้งาน, K_3 สำหรับชุดขับเคลื่อนด้วยสายพานรูปตัววี	57
ตาราง ก.8 แฟกเตอร์สำหรับสายพานรูปตัววี	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์

เพลลา

d	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
C_t	ค่าตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด
C_m	ค่าตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด
τ_d	ค่าความเค้นเฉือนใช้งาน
T	โมเมนต์บิด
M	โมเมนต์ดัด

สายพานลึ้ม

L_p	ความยาวของสายพาน
C	ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของพูเลย์ตัวใหญ่กับพูเลย์ตัวเล็ก
D	เส้นผ่านศูนย์กลางของพูเลย์ตัวใหญ่
d	เส้นผ่านศูนย์กลางของพูเลย์ตัวเล็ก
T	แรงดึงในสายพาน
F	แรงดึงในสายพานขณะส่งกำลัง
K_b	แฟกเตอร์แก้ไขสำหรับสายพานลึ้ม
H_a	กำลังส่งที่ยอมรับต่อสายพาน 1 เส้น
K_1	แฟกเตอร์มุมโอบ
K_2	แฟกเตอร์แก้ไขความยาวของสายพาน
H_{lab}	อัตราส่งกำลัง
K_s	ค่า factor การใช้งาน

สปริง

F	แรงที่ใช้ในการกดสปริง
k	ค่านิจสปริง
x	ระยะยุบตัวของสปริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารในประเทศไทยได้มีผู้ประกอบการเป็นจำนวนมากที่ใช้หม้อฆ่าเชื้อเป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการผลิต โดยส่วนใหญ่ผู้นั้นจะใช้หม้อฆ่าเชื้อในการฆ่าเชื้อก่อนการวางจำหน่าย ซึ่งถือว่าเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมเพื่อใช้ในการถนอมอาหารในอุตสาหกรรมอาหาร โดยหม้อฆ่าเชื้อจะให้ความร้อนที่เพียงพอต่อการทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค และเป็นสาเหตุของการเน่าเสียของอาหาร ซึ่งอาหารแต่ละประเภทก็จะใช้เวลาในการฆ่าเชื้อที่แตกต่างกัน ในกระบวนการผลิตอาหารนั้นผู้ผลิตมักจะต้องการให้เวลาที่ใช้ในการผลิตแต่ละครั้งต้องใช้เวลาที่น้อยที่สุด คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดีและสม่ำเสมอ ดังนั้นการใช้เวลาในการฆ่าเชื้อเพื่อให้อาหารมีคุณภาพดีและสม่ำเสมอในช่วงหลังจากที่เข้าหม้อฆ่าเชื้อแล้วจึงเป็นปัญหาที่สำคัญในกระบวนการผลิต

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น จึงเป็นจุดเริ่มต้นทำให้เกิดแนวคิดในการออกแบบหม้อฆ่าเชื้อให้เป็นหม้อฆ่าเชื้อแบบเขย่าขึ้นมา เพื่อลดเวลาในการฆ่าเชื้อและประหยัดพลังงาน โดยในการออกแบบจะเน้นพัฒนาหม้อฆ่าเชื้อที่มีอยู่ในปัจจุบันให้เป็นหม้อฆ่าเชื้อแบบเขย่า

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและคิดแปลงหม้อฆ่าเชื้อที่มีอยู่ในปัจจุบันให้มีระบบเขย่าในขณะที่ทำการฆ่าเชื้อ
2. ออกแบบและพัฒนาหม้อฆ่าเชื้อแบบเขย่าให้สามารถใช้งานได้จริง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดเวลาในการฆ่าเชื้อลง เนื่องจากการเขย่าเป็นผลทำให้ความร้อนเกิดการส่งผ่านเข้าสู่อาหารได้รวดเร็วกว่าการฆ่าเชื้อแบบอยู่กับที่
2. ช่วยให้อาหารมีคุณภาพดีและสม่ำเสมอ โดยทั่วไปเหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้วยความร้อน ดังนั้นการเขย่าจะช่วยให้เกิดการเคลื่อนที่ของอาหารภายในภาชนะบรรจุทำให้การกระจายความร้อนของอาหารภายในภาชนะเกิดได้รวดเร็วและสม่ำเสมอ
3. ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารเนื่องจากความร้อนที่แตกต่างกันของใจกลางอาหารและที่สัมผัสกับภาชนะบรรจุ
4. ประหยัดพลังงานที่ใช้ เนื่องจากเวลาการฆ่าเชื้อลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตโครงการ

1. ศึกษาและออกแบบหม้อฆ่าเชื้อแบบเขย่า โดยมีสมมติฐานเพื่อตัดแปลงหม้อฆ่าเชื้อที่มีอยู่ในปัจจุบันให้เป็นหม้อฆ่าเชื้อแบบเขย่า
2. ออกแบบขนาดตะกร้าเพื่อรองรับน้ำหนักได้สูงสุด 300 Kg
3. ออกแบบและพัฒนาหม้อฆ่าเชื้อแบบเขย่าให้สามารถใช้งานได้จริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หม้อฆ่าเชื้อ (Retort)

2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของหม้อฆ่าเชื้อ [1]

หม้อฆ่าเชื้อคืออุปกรณ์ที่สร้างจากโลหะหนาทนความร้อน มักประกอบขึ้นเป็นรูปทรงกระบอก มีฝาครอบปิดสนิทและมีที่ล็อกแน่นหนา ส่วนใหญ่หล่อหุ้มด้วยฉนวน ใช้สำหรับบรรจุและส่งผ่านกระบวนการให้ความร้อนแก่อาหารในภาชนะที่ปิดสนิท โดยเฉพาะสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความเป็นกรดต่ำเพื่อทำลายจุลินทรีย์

2.2 การแบ่งลักษณะของหม้อฆ่าเชื้อสามารถแบ่งตามลักษณะต่าง ๆ ได้ดังนี้ [2]

หม้อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารกระป๋องสามารถแบ่งตามลักษณะการทำงานได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.2.1 หม้อฆ่าเชื้อที่มีการทำงานเป็นชุดหรือรุ่นไม่ต่อเนื่อง (Batch retort system) ซึ่งสามารถแบ่งย่อยประเภทลงมาได้อีก ได้แก่

2.2.1.1 การแบ่งตามลักษณะการจัดวางตัว (Retort arrangement) ได้แก่ หม้อฆ่าเชื้อแบบวางแนวตั้ง (Vertical) และหม้อฆ่าเชื้อแบบวางแนวนอน (Horizontal)



รูปที่ 2.1 หม้อฆ่าเชื้อแบบแนวนอน และแนวตั้ง

2.2.1.2 การแบ่งตามลักษณะการเคลื่อนที่ของบรรจุภัณฑ์ภายใน (Container movement) ได้แก่ หม้อฆ่าเชื้อแบบอาหารกระป๋องอยู่กับที่ (Stationary) และหม้อฆ่าเชื้อแบบอาหารกระป๋องหมุนแกว่ง (Rotary หรือ Agitating)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หม้อฆ่าเชื้อแบบหมุนแกว่งสามารถทำงานได้ด้วยความดันบรรยากาศ หรือออกแบบให้สามารถฆ่าเชื้อได้ภายใต้ความดันสูง โดยจะมีโครงสร้างทรงกระบอกโดยด้านในที่ติดกับผิวเครื่อง (Shell) จะประกอบด้วยเกลียวนาร่องรูปตัวที (Spiral T) เพื่อให้การเคลื่อนไปตามเกลียวจากทางเข้าด้านหนึ่งสู่ทางออกอีกด้านหนึ่ง ขณะที่ภายในเครื่องจะมีแกนหมุน (Rotating reel) รูปทรงกระบอกตามความยาวเครื่อง โดยจะมีแถบเหล็กกั้นในแนวตั้งฉากกับผิวทรงกระบอกเป็นร่อง (Step) รอบแกนหมุน เพื่อพยุงกระป๋องให้อยู่ในแต่ละร่องโดยรอบผิวของแกนหมุน เมื่อเครื่องเริ่มหมุนกระป๋องซึ่งวางนอนอยู่ในแต่ละร่องจะถูกพาให้เคลื่อนที่ไปในลักษณะวงกลมตามผิวด้านในของเครื่อง และในขณะเดียวกันก็จะถูกนาร่องให้เคลื่อนที่ไปตามเกลียวตัวที เคลื่อนที่จากปลายด้านหนึ่งของเครื่องไปสู่อีกด้านหนึ่งตามความยาวเครื่อง โดยหม้อฆ่าเชื้อแบบอาหารกระป๋องหมุนแกว่งมีข้อดี คือ

- 1) **ประหยัดเวลาในการฆ่าเชื้อ** เนื่องจากการหมุนทำให้เกิดการส่งผ่านความร้อนเข้าสู่อาหารได้เร็วกว่าปกติ ทำให้สามารถฆ่าเชื้อที่ค่า F_0 ตามต้องการได้โดยใช้เวลาน้อยกว่าหม้อฆ่าเชื้อแบบอยู่นิ่ง นอกจากนี้ยังทำให้สามารถผลิตอาหารได้มากขึ้นในเวลาจำกัดที่เท่าเดิม
- 2) **ช่วยให้อาหารมีคุณภาพดีและสม่ำเสมอ** โดยทั่วไปหม้อฆ่าเชื้อแบบอาหารกระป๋องหมุนแกว่งนิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะชั้นหนืดส่งผ่านความร้อนได้ช้า หรือใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้วยความร้อน ดังนั้นการหมุนจะช่วยให้เกิดการเคลื่อนที่ของอาหารภายในภาชนะบรรจุทำให้การกระจายความร้อนของอาหารภายในภาชนะสามารถเกิดขึ้นได้เร็วและสม่ำเสมอ ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารเนื่องจากความร้อนที่แตกต่างกันของอาหารที่ใจกลาง และที่สัมผัสผิวภาชนะบรรจุ (Temperature gradient in container)
- 3) **ประหยัดพลังงานที่ใช้** เนื่องจากการลดเวลาฆ่าเชื้อลงนั้น จัดว่าเป็นการใช้พลังงานไอน้ำหรือน้ำร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ



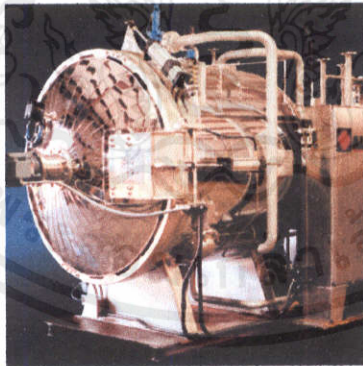
รูปที่ 2.2 หม้อฆ่าเชื้อแบบอาหารกระป๋องหมุนแกว่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.3 หม้อฆ่าเชื้อแบ่งตามลักษณะการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ เป็นการแบ่งที่ทำให้เครื่องแต่ละเครื่องมีลักษณะจำเพาะในการออกแบบ และประเมินประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อที่แตกต่างกันออกไป ได้แก่

1) **แบบใช้ไอน้ำอิ่มตัว (Steam)** เมื่อไอน้ำอิ่มตัวกลั่นตัวลงที่ด้านนอกจะมีการถ่ายเทความร้อนแฝงไปยังอาหาร ถ้ามีอากาศอยู่ในหม้อฆ่าเชื้ออากาศนี้จะรวมตัวเป็นฉนวนฟิล์มอยู่รอบๆ กระจ่างและขัดขวางการควบแน่นของไอน้ำอิ่มตัว จึงต้องกำจัดอากาศภายในหม้อฆ่าเชื้อทั้งหมดออกไปก่อน โดยการแทนที่ด้วยไอน้ำ หลังการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนจะเป็นการหล่อเย็นในบรรจุภัณฑ์ด้วยน้ำเย็น ไอน้ำจะควบแน่นอย่างรวดเร็ว ส่วนอาหารจะเย็นลงอย่างช้าๆ แต่ความดันภายในบรรจุภัณฑ์จะยังคงสูงอยู่ ความดันอากาศที่ยังสูงนี้จะป้องกันแรงดันที่รอยปิดผนึก เมื่ออาหารเย็นลงต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ความดันอากาศจะลดลงและเย็นลงจนกระทั่งอุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมินี้บรรจุภัณฑ์จะแห้งเองเพื่อป้องกันสนิม และผลากจะติดแน่นเร็วขึ้น

2) **แบบใช้ไอน้ำและอากาศร้อนผสมกัน (Steam-Air heating)** เป็นการใช้ไอน้ำในการฆ่าเชื้อในขณะที่มีการอัดอากาศ เพื่อต่อต้านความดันที่เกิดขึ้นภายในบรรจุภัณฑ์ที่อุณหภูมิฆ่าเชื่อนั้นๆ ทำให้สามารถใช้ฆ่าเชื้อในอาหารในบรรจุภัณฑ์ได้หลายชนิดมากกว่าเครื่องที่ใช้ไอน้ำเพียงอย่างเดียว การควบคุมอัตราส่วนของไอน้ำต่ออากาศเป็นจุดควบคุมที่สำคัญ เพื่อให้ทั้งอุณหภูมิและความดันเป็นไปตามกำหนดการฆ่าเชื้อ ลักษณะที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ การที่ต้องการออกแบบให้มีพัดลมหรือกลไกที่ทำให้ไอน้ำและอากาศนั้นผสมกันอย่างสม่ำเสมอและกระจายตัวอย่างทั่วถึง

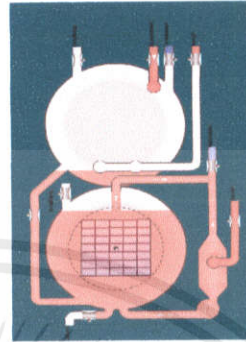
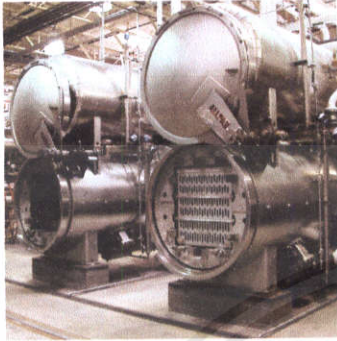


รูปที่ 2.3 หม้อฆ่าเชื้อแบบใช้ไอน้ำและอากาศร้อนผสมกัน

3) **แบบให้ความร้อนท่วมบรรจุภัณฑ์ตลอดเวลาในการฆ่าเชื้อ (Full water immersion)** หม้อฆ่าเชื้อประเภทนี้จะใช้น้ำร้อนเป็นตัวกลางให้ความร้อน (Heating Media) โดยน้ำร้อนจะท่วมบรรจุภัณฑ์ตลอดเวลาการฆ่าเชื้อ ดังนั้นจึงสามารถใช้ได้ทั้งการฆ่าเชื้อแบบพาสเจอร์ไรซ์ ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 100°C และแบบสเตอริไลซ์ ที่มีอุณหภูมิสูง เช่น ที่อุณหภูมิ 125°C โดยการอัดความดันเข้าไปในหม้อฆ่าเชื้อ การอัดความดันอาจใช้ไอน้ำอิ่มตัว (Saturated Steam) หรือใช้อากาศก็ได้ แต่ส่วนใหญ่นิยมใช้อากาศในการควบคุม

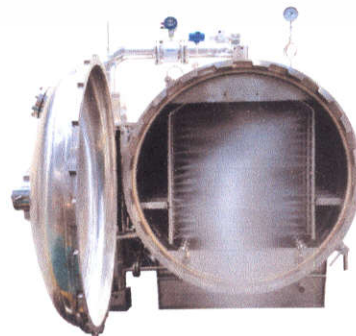
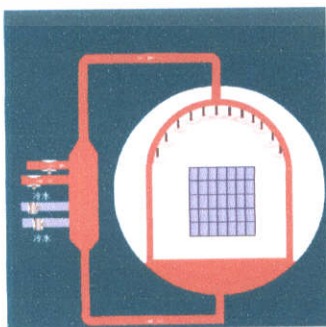
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อนุญาดเห็นาไปไซบะระยชนดานการค้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันภายในหม้อฆ่าเชื้อ ส่วนวิธีการทำน้ำร้อนอาจใช้ไอน้ำฉีดเข้าผสมกับน้ำโดยตรง (Steam injection) หรือใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) โดยปั๊มน้ำผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหมุนวนภายในหม้อฆ่าเชื้อตลอดเวลา



รูปที่ 2.4 หม้อฆ่าเชื้อแบบให้ความร้อนท่วมบรรจุภัณฑ์ตลอดเวลาในการฆ่าเชื้อ

4) แบบใช้น้ำร้อนภายใต้ความดันสูง (Cascade หรือ Shower Water หรือ Raining water retort) หม้อฆ่าเชื้อประเภทนี้ใช้น้ำร้อนเป็นตัวกลางให้ความร้อน แต่เพื่อเป็นการประหยัดน้ำจึงออกแบบให้น้ำตกลงมาเป็นสายผ่านอาหารที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ตลอดเวลา และต้องมีการหมุนเวียนน้ำด้วยปั๊มน้ำ การทำน้ำร้อนมีทั้งระบบพ่นไอน้ำผสมกับน้ำโดยตรง แต่โดยทั่วไปมักใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งอยู่ภายนอกหม้อฆ่าเชื้อและควบคุมความดันด้วยอากาศอัด ซึ่งควบคุมได้ง่ายกว่าเครื่องฆ่าเชื้อแบบน้ำท่วม อุณหภูมิน้ำจะค่อยสูงขึ้นจากการปั๊มน้ำหมุนเวียนผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้สามารถลดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิลงอย่างฉับพลันได้ (Thermal Shock) อย่างไรก็ตามหากออกแบบไม่ดีพออาจก่อให้เกิดปัญหาการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ไม่สม่ำเสมอขึ้นได้ ดังนั้นจึงต้องมีการจัดเรียงภาชนะบรรจุโดยใช้แผ่นกั้น และเรียงสลับเพื่อให้น้ำร้อนสัมผัสกับภาชนะบรรจุได้อย่างทั่วถึงและเพื่อความปลอดภัย อุณหภูมิน้ำร้อนต้องวัดอุณหภูมิน้ำขาออก สิ่งสำคัญอีกประการที่ต้องพิจารณา คือ อัตราการไหลของน้ำร้อนและความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านภาชนะบรรจุ เพราะถ้าอัตราการไหลต่ำเกินไปอุณหภูมิภายในหม้อฆ่าเชื้อจะแตกต่างกันมาก โอกาสที่การฆ่าเชื้อไม่สมบูรณ์ก็อาจจะเกิดตามมา



รูปที่ 2.5 หม้อฆ่าเชื้อแบบใช้น้ำร้อนภายใต้ความดันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 เครื่องฆ่าเชื้อที่มีการทำงานต่อเนื่อง (Continuous retort system) มีลักษณะการทำงานใช้สายพานนำผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องเคลื่อนตัวเข้าเครื่องฆ่าเชื้อผ่านขั้นตอนการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์แล้วจึงนำออกจากเครื่องอัตโนมัติ เครื่องฆ่าเชื้อประเภทนี้จะมีกำลังการผลิตสูง แต่มีข้อจำกัดเรื่องขนาดของกระป๋องและต้นทุนค่าเครื่องฆ่าเชื้อสูงมาก

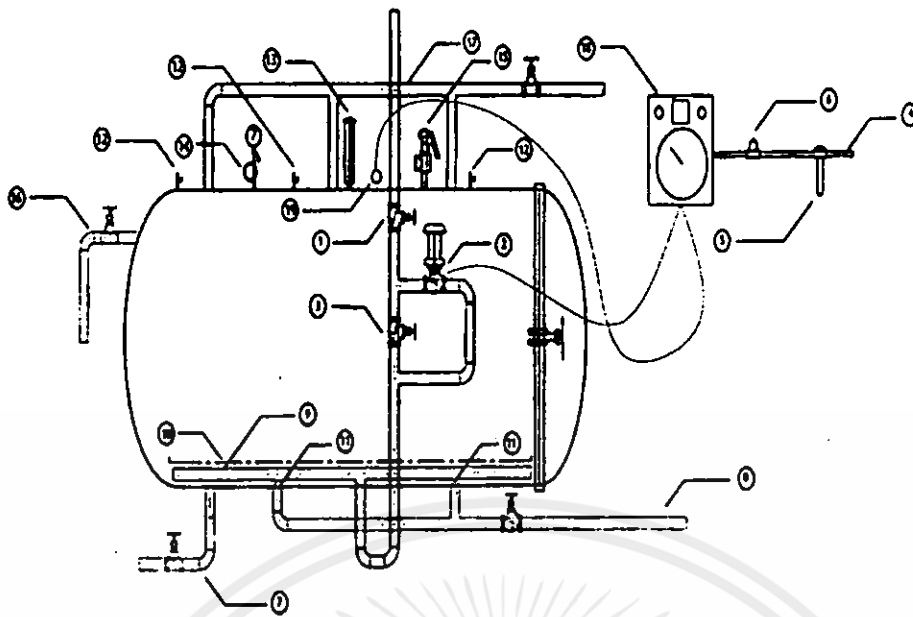
ดังนั้นในประเภทเครื่องฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารกระป๋องส่วนมากมีลักษณะการทำงานเป็นชุดหรือรุ่นไม่ต่อเนื่องรูปแบบวางแนวนอน สามารถผลิตขึ้นใช้ได้เองภายในประเทศ ใช้พลังงานไอน้ำอิมตัวเป็นแหล่งให้ความร้อนไปฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องประเภทกรดต่ำ เพราะผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องประเภทนี้มีสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ จึงต้องมีการควบคุมให้ผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์เพื่อเกิดความมั่นใจให้ได้ ผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค

2.3 ส่วนประกอบของหม้อฆ่าเชื้อ [2]

ส่วนประกอบของหม้อฆ่าเชื้อ ได้แก่

2.3.1 ท่อไอน้ำเข้า (Steam inlet) เป็นท่อไอน้ำต่อจากท่อพักไอน้ำที่บริเวณติดตั้งหม้อฆ่าเชื้อ ท่อไอน้ำเข้าเครื่องฆ่าเชื้อไม่ควรยาวและมีส่วนหักงอมากเกินไป ควรเดินท่อให้ตรงและสั้นที่สุดเพื่อลดแรงเสียดทานที่ทำให้เกิดความดันลดต่ำลงภายในเส้นท่อ และควรหุ้มฉนวนกันความร้อนท่อไอน้ำทั้งหมด ท่อไอน้ำเข้าต้องมีขนาดใหญ่เพื่อให้ไอน้ำเข้าสู่ภายในหม้อฆ่าเชื้อมีความดันมากเพียงพอในการไล่อากาศออกจากหม้อฆ่าเชื้อ ได้สมบูรณ์ ท่อไอน้ำเข้าต้องอยู่ตรงข้ามกับท่อทางระบายอากาศออกจากหม้อฆ่าเชื้อ

ในกรณีหม้อฆ่าเชื้อแบบวางนอนซึ่งมีความยาวมาก (มากกว่า 9 เมตร) ควรต่อท่อไอน้ำขนาดใหญ่เข้าหม้อฆ่าเชื้อ หรือมีท่อไอน้ำเข้า 2 ทางเข้า หรือท่อไอน้ำเข้าแบ่งย่อยก่อนเข้าหม้อฆ่าเชื้อ



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของหม้อน้ำเชื้อแบบแนวนอน

- | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| 1. ท่อไอน้ำเข้า | 11. ที่กำบังน้ำเข้า |
| 2. วาล์วควบคุมไอน้ำอัตโนมัติ | 12. ช่องระบายไอน้ำ |
| 3. ท่อไอน้ำเบี่ยง | 13. เทอร์โมมิเตอร์ |
| 4. ท่ออัดอากาศสำหรับอุปกรณ์บันทึก | 14. มาตรวัดความดัน |
| 5. อุปกรณ์กรองอากาศ | 15. วาล์วนิรภัย |
| 6. อุปกรณ์ควบคุมความดันอากาศอัด | 16. ท่อน้ำล้น |
| 7. ท่อระบายอากาศ | 17. ท่อไล่อากาศ |
| 8. ท่อน้ำเข้า | 18. เครื่องควบคุมและบันทึกอุณหภูมิ |
| 9. ท่อกระจายไอน้ำ | 19. อุปกรณ์ส่งสัญญาณวัดอุณหภูมิ |
| 10. ที่รองรับตะกร้าใส่กระป๋อง | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 วาล์วควบคุมไอน้ำอัตโนมัติ (Steam control valve) เพื่อควบคุมไอน้ำเข้าหม้อฆ่าเชื้อ โดยต่อเชื่อมโยงกับเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ควรเป็นวาล์วควบคุมด้วยระบบการทำงาน โดยความดันของอากาศอัด (Air to open type) หรือระบบไฟฟ้าแบบอัตโนมัติที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเพื่อสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในหม้อฆ่าเชื้อให้คงที่ตามความต้องการ

2.3.3 ท่อไอน้ำเบี่ยง (Steam bypass) เป็นท่อต่อคร่อมขนานไปท่อไอน้ำเข้าที่ติดตั้งวาล์วควบคุมไอน้ำอัตโนมัติ เป็นท่อไอน้ำที่มีวาล์วปิดเปิดแบบโกล์บวาล์วบังคับด้วยมือ ควบคุมไอน้ำให้ไหลผ่านใช้งานเมื่ออุปกรณ์วาล์วควบคุมไอน้ำอัตโนมัติขัดข้อง หรือมีเหตุขัดข้องทางไฟฟ้าหรือแหล่งจ่ายความดันอากาศอัด หรือเปิดใช้เพื่อร่นระยะเวลาในการไล่อากาศออกจากหม้อฆ่าเชื้อให้เร็วขึ้น ในกรณีใช้วาล์วควบคุมไอน้ำอัตโนมัติขนาดเล็กกว่าท่อไอน้ำเข้าหม้อฆ่าเชื้อ แต่ต้องมีพนักงานควบคุมดูแลตลอดเวลาขณะเปิดวาล์วท่อไอน้ำเบี่ยงนี้

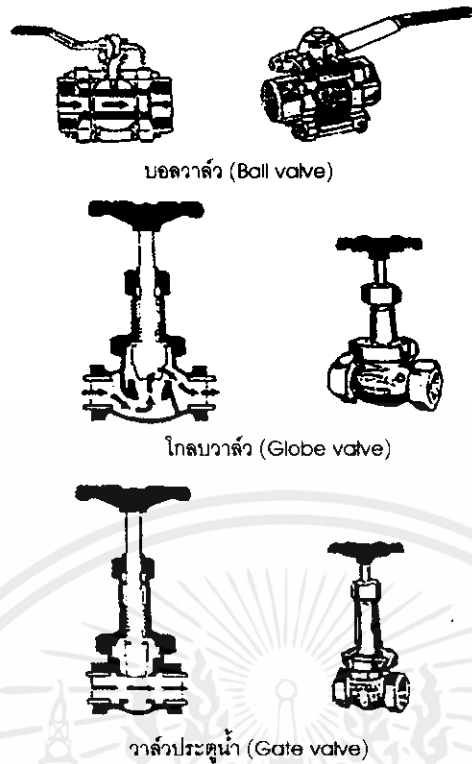
2.3.4 ท่ออัดอากาศสำหรับอุปกรณ์ควบคุมและบันทึกอุณหภูมิ (Compressed air inlet) เนื่องจากอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมินี้ใช้ร่วมกับวาล์วควบคุมไอน้ำอัตโนมัติที่มีการบังคับปิดเปิดวาล์วด้วยอากาศอัด จึงต้องมีท่ออัดอากาศเพื่อจ่ายอากาศอัดใช้ในระบบ

2.3.5 อุปกรณ์กรองอากาศ (Air filter) ติดตั้งที่ท่ออัดอากาศสำหรับอุปกรณ์ควบคุมและบันทึกอุณหภูมิเพื่อใช้กรองฝุ่นผง ละอองสิ่งสกปรกที่อาจติดไปกับอากาศอัดเข้าสู่อุปกรณ์ควบคุมและบันทึกอุณหภูมิ เป็นผลให้ระบบเสียหายได้

2.3.6 อุปกรณ์ควบคุมความดันอากาศอัด (Pressure regulator) ใช้ควบคุมความดันของอากาศอัดโดยอัตโนมัติ เพื่อให้ได้ความดันของอากาศอัดอยู่ในช่วงความดันที่เหมาะสมต่อการใช้งานของอุปกรณ์ควบคุมและบันทึกอุณหภูมิ

2.3.7 ท่อระบายน้ำ (Drain) ทำหน้าที่ระบายน้ำที่ใช้ในการหล่อเย็นผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องออกจากหม้อฆ่าเชื้อเมื่อสิ้นสุดกระบวนการฆ่าเชื้อแล้ว ดังนั้นท่อระบายน้ำควรมีขนาดใหญ่เพียงพอในการระบายน้ำออกจากหม้อฆ่าเชื้อได้รวดเร็ว โดยทั่วไปมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อมามากกว่า 5 เซนติเมตร และติดตั้งวาล์วควบคุมการปิดเปิดด้วยวาล์วประตุน้ำหรือวาล์วประเภทอื่นที่เหมาะสม

2.3.8 ท่อน้ำเข้า (Water inlet) เป็นท่อน้ำเข้าหม้อฆ่าเชื้อในการปฏิบัติการทำให้อาหารกระป๋องเย็นตัวลงหลังจากการฆ่าเชื้ออุณหภูมิด้วยความร้อนแล้ว ควรให้น้ำเข้าหม้อฆ่าเชื้อให้อาหารกระป๋องเย็นตัวลงได้รวดเร็ว ท่อน้ำเข้าต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอ โดยทั่วไปมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 3.8-5 เซนติเมตร และติดตั้งวาล์วควบคุมการปิดเปิดด้วยวาล์วประเภทโกล์บวาล์ว เมื่อปิดแล้วต้องไม่มีน้ำรั่วไหลเข้าเครื่องในขณะปฏิบัติการฆ่าเชื้อ



รูปที่ 2.7 รูปแบบของวาล์วที่ใช้กับหม้อฆ่าเชื้อ

2.3.9 ท่อกระจายน้ำ (Steam spreader) เป็นท่ออุปกรณ์กระจายน้ำไอน้ำติดตั้งภายในหม้อฆ่าเชื้อต่อจากท่อไอน้ำเข้าบริเวณตอนกลางหม้อฆ่าเชื้อ ปลายเป็นปีกจะติดตั้งเป็นรูปกากบาทสำหรับหม้อฆ่าเชื้อแนวตั้ง หรือเป็นท่อวางตามยาวตลอดขนานกับความยาวหม้อฆ่าเชื้อแนวนอน เพื่อให้ไอน้ำกระจายออกทั่วตลอดตามความยาวของท่อกระจายไอน้ำนี้ จำนวนรูและขนาดของรูต้องสัมพันธ์กันกับขนาดของท่อไอน้ำเข้าหม้อฆ่าเชื้อ ซึ่งมีข้อแนะนำกำหนดให้พื้นที่ของรูกระจายไอน้ำทั้งหมดรวมกันเท่ากับ $1\frac{1}{2}$ ถึง 2 เท่าของพื้นที่หน้าตัดของท่อไอน้ำเข้า ขนาดของรูกระจายไอน้ำควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูมากกว่า 5 มิลลิเมตร ($\frac{3}{16}$ นิ้ว) แนวเจาะรูมีระยะห่างรูต่อรูเท่าๆ กันตลอดความยาวของท่อกระจายไอน้ำที่วางยาวตลอดส่วนล่างของหม้อฆ่าเชื้อ แนวเจาะรูที่ส่วนบนของท่อกระจายไอน้ำนี้รับมุม 90 องศาจากศูนย์กลางของท่อ โดยอยู่ในแนวรูทั้งสองแนวทำมุมข้างละ 45 องศากับแนวกึ่งกลางท่อกระจายไอน้ำ

2.3.10 ที่รองรับตะกร้า หรือตะแกรงใส่อาหารกระป๋อง (Crate support) เป็นอุปกรณ์ภายในหม้อฆ่าเชื้อ ลักษณะเป็นรางรองรับตะกร้าบรรจุอาหารกระป๋องสำหรับหม้อฆ่าเชื้อประเภทอยู่กับที่ลักษณะวางแนวนอน แต่ถ้าเป็นหม้อฆ่าเชื้อลักษณะวางแนวตั้งจะมีอุปกรณ์รองรับตะกร้าที่บรรจุอาหารกระป๋องที่บริเวณส่วนล่างของหม้อฆ่าเชื้อ เพื่อไม่ให้ตะกร้าหรือตะแกรงที่บรรจุอาหารกระป๋องวางกดทับลงบนท่อกระจายไอน้ำของหม้อฆ่าเชื้อจนเกิดการเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.11 ที่กำบังน้ำเข้า (Water baffle) เป็นอุปกรณ์ขวางกั้นทางเข้าของน้ำหล่อเย็นผลิตภัณฑ์ อาหาร กระจก ป้องกันเพื่อกระจายน้ำหล่อเย็นและป้องกันไม่ให้เกิดภาวะสูญญากาศบริเวณน้ำเข้าหม้อฆ่าเชื้อจนทำให้เกิดปัญหาแก่ผลิตภัณฑ์อาหารกระจกป้องกันในบริเวณนั้น

2.3.12 ช่องระบายไอน้ำ หรือรูระบายไอน้ำ (Bleeder) เป็นรูเปิดขนาด 3-6 มิลลิเมตร (1/8-1/4 นิ้ว) ให้ไอน้ำไหลระบายผ่านออกจากหม้อฆ่าเชื้อได้สะดวกตลอดเวลา เพื่อให้เกิดการหมุนเวียนไอน้ำภายในหม้อฆ่าเชื้อ ดังนั้นต้องเปิดกว้างเต็มที่ตลอดเวลาปฏิบัติการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังสามารถช่วยไล่อากาศที่อาจแทรกอยู่ในไอน้ำระบายออกจากหม้อฆ่าเชื้อ ผู้ควบคุมหม้อฆ่าเชื้อต้องสังเกตเห็นการระบายไอน้ำออกเครื่องได้ชัดเจน ช่องระบายไอน้ำจะติดตั้งอยู่ส่วนบนสุดของหม้อฆ่าเชื้อตรงข้ามทางไอน้ำเข้าและอาจติดตั้งอยู่ส่วนอื่นๆ ตามความจำเป็นในการระบายไอน้ำหมุนเวียนภายในหม้อฆ่าเชื้อได้ดี อุณหภูมิฆ่าเชื้อจะสม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งหม้อฆ่าเชื้อ

นอกจากนี้มีการติดตั้งช่องระบายไอน้ำที่บริเวณส่วนล่างของหม้อฆ่าเชื้อเพื่อระบายไอน้ำกลับตัวออกจากบริเวณส่วนล่างของหม้อฆ่าเชื้อ และยังมีติดตั้งช่องระบายไอน้ำที่บริเวณติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ และอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่ส่วนล่างของช่องเปิดด้านข้างของหม้อฆ่าเชื้อเพื่อให้วัดอุณหภูมิได้ถูกต้อง

2.3.13 เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิของหม้อฆ่าเชื้อต้องเป็นชนิดปรอทแท่งแก้ว มีขีดแบ่งละเอียดถึง 0.5 องศาเซลเซียส และมีช่วงสเกลไม่เกิน 4 องศาเซลเซียสต่อเซนติเมตร มีความยาวช่วงสเกลวัดไม่ต่ำกว่า 152 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) ต้องติดตั้งที่หม้อฆ่าเชื้อทุกเครื่องในตำแหน่งที่ผู้ควบคุมหม้อฆ่าเชื้อสามารถอ่านค่าอุณหภูมิได้ง่ายชัดเจนการติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์กับตัวเครื่องฆ่าเชื้อโดยตรงหรือติดตั้งที่ช่องเปิดด้านข้างของหม้อฆ่าเชื้อที่มีช่องระบายไอน้ำหรือรูระบายไอน้ำมีขนาดอย่างน้อย 2 มิลลิเมตร (1/16 นิ้ว) อยู่ในตำแหน่งระบายไอน้ำไหลผ่านแท่งกระเปาะเทอร์โมมิเตอร์ระบายออกจากหม้อฆ่าเชื้อตลอดเวลาปฏิบัติการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์

2.3.14 มาตรวัดความดัน (Pressure gauge) หม้อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารกระจกควรติดตั้งมาตรวัดความดันภายในหม้อฆ่าเชื้อที่มีช่วงการวัดความดันระหว่าง 0-3 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (0-40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) หน้าปัดมีขนาดใหญ่เหมาะสม คือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8-10 เซนติเมตร (3-4 นิ้ว) ติดตั้งในตำแหน่งที่ผู้ควบคุมหม้อฆ่าเชื้อสามารถมองเห็นได้ง่าย ชัดเจน การติดตั้งกับหม้อฆ่าเชื้อผ่านอุปกรณ์ไซฟอน (Gauge siphon) หรือหางหมู เพื่อป้องกันความเสียหายต่อมาตรวัดความดัน ต้องมีการทดสอบความถูกต้องเที่ยงตรงอย่างน้อยปีละครั้ง

2.3.15 วาล์วนิรภัย (Safety valve) เป็นวาล์วที่ติดตั้งกับหม้อฆ่าเชื้อโดยตรงเพื่อป้องกันความดันไอน้ำที่อยู่ภายในหม้อฆ่าเชื้อสูงเกินค่าความปลอดภัย โดยทำการระบายความดันที่สูงเกินกำหนดความปลอดภัยนี้ออกจากหม้อฆ่าเชื้ออย่างรวดเร็ว อัตโนมัต จึงต้องมีการทดสอบการทำงานของวาล์วนิรภัยเป็นครั้งคราวเพื่อให้มั่นใจว่าวาล์วทำงานได้ตามข้อกำหนด

2.3.16 ท่อน้ำล้น (Overflow) เป็นท่อระบายน้ำหล่อเย็นผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องในส่วนที่ท่วมล้น ในการปฏิบัติการทำให้อาหารกระป๋องเย็นตัวลงในหม้อฆ่าเชื้อให้ระบายน้ำหล่อเย็นล้นออกจากส่วนบน ของผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋อง ควรติดตั้งวาล์วปิดเปิดประเภทวาล์วประคบน้ำหรือวาล์วประเภทอื่นที่ เหมาะสม

2.3.17 ท่อไล่อากาศ (Vent) เป็นท่อทางระบายอากาศใช้ในการไล่อากาศออกจากหม้อฆ่าเชื้อ เป็น ช่องทางออกขนาดใหญ่เพียงพอให้ใช้ความดันไอน้ำขับเคลื่อนอากาศภายในหม้อฆ่าเชื้อให้ระบายออกไปสู่ บรรยากาศโดยตรง ท่อไล่อากาศจึงอยู่ตรงข้ามกับท่อไอน้ำเข้าหม้อฆ่าเชื้อเสมอ บางครั้งมีการใช้ท่อร่วมทาง ระบายอากาศ (Vent manifold) โดยการต่อท่อไล่อากาศหลายท่อของหม้อฆ่าเชื้อต่อรวมกับท่อรวมขนาดใหญ่ เดียวกัน ได้มีข้อกำหนดให้พื้นที่หน้าตัดของท่อรวมใหญ่ต้องมีพื้นที่เท่ากับหรือใหญ่กว่าพื้นที่หน้าตัด ของท่อไล่อากาศทุกท่อรวมกัน และท่อรวมนี้ต้องสั้นสุด ห้ามต่อรวมท่อไล่อากาศและท่อรวมไล่อากาศเข้า เข้ากับทางระบายน้ำ และในกรณีมีการติดตั้งวาล์วปิดเปิดท่อไล่อากาศหรือท่อรวม ไล่อากาศต้องติดตั้งวาล์ว ประเภทวาล์วประคบน้ำหรือวาล์วประเภทอื่นที่เหมาะสมเพื่อให้เปิดระบายอากาศได้รวดเร็วไม่มีการกีดขวาง การไล่อากาศออกจากหม้อฆ่าเชื้อ

2.3.18 เครื่องควบคุม และบันทึกอุณหภูมิภายในหม้อฆ่าเชื้อ (Temperature controller and recorder) เป็นอุปกรณ์ต่อรวมกับวาล์วควบคุมการไหลของไอน้ำ และอุปกรณ์วัดอุณหภูมิของหม้อฆ่าเชื้อ ทำการควบคุมอุณหภูมิภายในหม้อฆ่าเชื้อให้คงที่ สม่ำเสมอในช่วงเวลาและอุณหภูมิที่กำหนด เป็นอุปกรณ์ที่ ใช้ควบคุมวัดและบันทึกอุณหภูมิ และสามารถบันทึกช่วงเวลามาฆ่าเชื้อได้ มีกระดาษกราฟบันทึกอุณหภูมิ

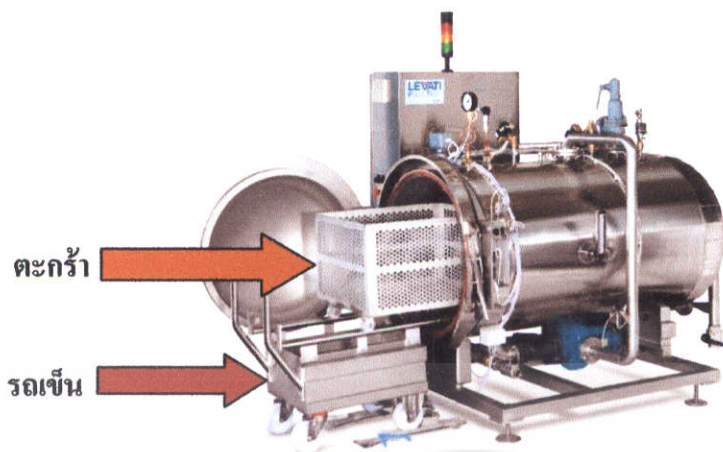
2.3.19 อุปกรณ์ส่งสัญญาณวัดอุณหภูมิ (Temperature sensor) เป็นสายส่งสัญญาณวัดค่าอุณหภูมิ ภายในหม้อฆ่าเชื้อ ส่งไปที่อุปกรณ์เครื่องควบคุมอุณหภูมิสัญญาณจะถูกแปลงให้เป็นความดันอากาศอัด ไป ควบคุมการปิดเปิดวาล์วควบคุมไอน้ำให้ปิดเปิดตามต้องการ

นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบกับหม้อฆ่าเชื้อ ได้แก่

2.3.20 นาฬิกาจับเวลามาฆ่าเชื้อ (Clock or timing device) ใช้สำหรับจับเวลามาฆ่าเชื้อ อ่านเวลาได้ง่าย บอกเวลาแม่นยำ เป็นแบบตัวเลขหรือแบบเข็มก็ได้

2.3.21 รถเข็น, ตะกร้า หรือตะแกรงบรรจุอาหารกระป๋อง (Crate, basket, or tray) ทำด้วยโลหะ เป็นเหล็กไร้สนิม หรืออะลูมิเนียมเป็นเส้นแบนหรือกลมหรืออาจเป็นแผ่นเหล็ก ไร้สนิมเจาะรูพรุนประกอบ ขึ้นเป็นรถเข็น หรือตะกร้า

2.3.22 แผ่นกั้นแบ่งระหว่างชั้นกระป๋อง (Divider plate) อาจมีการใช้แผ่นกั้นชั้นวางอาหารกระป๋อง ภายในตะกร้าหรือรถเข็นที่บรรจุอาหารกระป๋องส่วนมากทำจากพลาสติกทนร้อนประเภทโพลีโพรไพลีน นำมาเจาะรูพรุน



รูปที่ 2.8 อุปกรณ์ประกอบหม้อฆ่าเชื้อ

2.4 การใช้หม้อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารกระป๋อง [2]

ขั้นตอนการใช้เครื่องฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารกระป๋องด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงภายใต้ความดันไอน้ำจะประกอบด้วย

2.4.1 การไล่อากาศ (Venting) เป็นขั้นตอนที่ช่วยให้อุณหภูมิทุกตำแหน่งภายในหม้อฆ่าเชื้อเท่ากัน เมื่อเปิดไอน้ำอ้อมตัวเข้าภายในเครื่องฆ่าเชื้อ มีอากาศอยู่รอบๆอาหารกระป๋องทำให้ความร้อนกระจายไม่สม่ำเสมอเพราะความร้อนจากไอน้ำจะถ่ายเทความร้อนที่สะสมอยู่ให้แก่อากาศที่อยู่ในลักษณะเป็นฉนวนห่อหุ้มอาหารกระป๋องภายในเครื่องฆ่าเชื้อไว้ เมื่อไอน้ำถ่ายเทความร้อนแล้วกลั่นตัวเป็นหยดน้ำไหลลงส่วนล่างของเครื่องฆ่าเชื้อ ดังนั้นในช่วงการไล่อากาศตอนแรกเมื่อเริ่มเปิดไอน้ำเข้าเครื่องฆ่าเชื้อจะมีไอน้ำกลั่นตัวปริมาณมากไหลออกทางท่อระบายน้ำที่ส่วนล่างของเครื่องฆ่าเชื้อ และอาจมีน้ำกลั่นตัวของไอน้ำที่ตกค้างอยู่ในท่อ ไอน้ำไหลรวมออกมา จึงต้องเปิดทางระบายน้ำไว้จนกว่าจะแน่ใจว่าน้ำกลั่นตัวถูกระบายออกจากเครื่องฆ่าเชื้อได้ก่อนที่จะปิดท่อทางระบายน้ำ เหลือไว้แต่ช่องระบายไอน้ำที่บริเวณส่วนล่างของเครื่องฆ่าเชื้อหรือมีการติดตั้งอุปกรณ์ดักน้ำกลั่นตัวจากไอน้ำไว้ที่ท่อทางระบายน้ำเพื่อระบายน้ำกลั่นตัวของไอน้ำออกจากเครื่องฆ่าเชื้อได้โดยอัตโนมัติ

2.4.2 ช่วงเวลาที่อุณหภูมิในเครื่องฆ่าเชื้อถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อที่กำหนด (Come-up time) เป็นช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มเปิดไอน้ำเข้าเครื่องฆ่าเชื้อผ่านขั้นตอนการไล่อากาศจนถึงอุณหภูมิภายในเครื่องฆ่าเชื้อสูงขึ้นถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อที่กำหนด ในทางปฏิบัติเมื่อเปิดไอน้ำเข้าเครื่องฆ่าเชื้อไล่อากาศออกจากเครื่องฆ่าเชื้อจะมีน้ำกลั่นตัวระบายออกจากเครื่องฆ่าเชื้อมากซึ่งต้องระบายออกให้หมดก่อนจึงจะปิดท่อทางระบายน้ำ เป็นผลให้อุณหภูมิในเครื่องฆ่าเชื้อสูงขึ้นจนถึงเวลาและถึงอุณหภูมิการไล่อากาศที่เป็นข้อกำหนดที่ตั้งไว้จึงปิดวาล์วท่อทางระบายอากาศทั้งหมด อุณหภูมิภายในเครื่องฆ่าเชื้อจะสูงขึ้นรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อที่กำหนดจึงเริ่มเข้าช่วงเวลาฆ่าเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 ช่วงเวลาฆ่าเชื้อ (Process timing) เมื่ออุณหภูมิในเครื่องฆ่าเชื้อสูงขึ้นถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อที่กำหนดและคงที่สม่ำเสมอ โดยการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอทในแทงก์แก้วของเครื่องฆ่าเชื้อ จึงเริ่มทำการจับเวลาฆ่าเชื้อ ในการกำหนดเวลาฆ่าเชื้อที่เหมาะสมสำหรับการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องขึ้นกับการทนความร้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร และคุณสมบัติคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องและการศึกษาอัตราการแทรกผ่านความร้อนเข้าไปในอาหารกระป๋องที่จุ่มร้อนซ้ำที่สุดโดยคำนึงถึงการรักษาคุณภาพ คุณลักษณะที่ดีและคุณค่าทางอาหารให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

2.4.4 การทำให้อาหารกระป๋องเย็น (Cooling) เมื่อครบกำหนดเวลาฆ่าเชื้อแล้วผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องต้องทำให้เย็นลงโดยเร็วด้วยน้ำสะอาดที่มีคลอรีนอิสระ 0.5-1 ส่วนในล้านส่วน การทำให้อาหารกระป๋องเย็นลงเพื่อหยุดยั้งการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื่องจากความร้อนสะสม และต้องทำให้อาหารกระป๋องเย็นลงเพียงพอที่ขยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ประเภททนร้อนที่อาจทนได้ที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารกระป๋องเป็นการฆ่าเชื้อทางการค้าอุณหภูมิของอาหารต้องทำให้ลดต่ำลงที่อุณหภูมิต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียส แล้วนำมาเป่าลมให้แห้งเพื่อไม่ให้อาหารกระป๋องเป็นสนิม ช่วยระบายความร้อนและลดอุณหภูมิของอาหารให้เย็นลงอาหารไม่สุกเกินไปทำให้คงคุณลักษณะที่ดี คงคุณค่าทางอาหารไว้

2.5 อัตราการแทรกผ่านความร้อน (Rate of heat penetration) [3]

ความร้อนจะถ่ายเทจากไอน้ำหรือน้ำผ่านภาชนะเข้าสู่อาหาร ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยทั่วไปจะสูงมากและไม่ใช่ว่าปัจจัยที่จำกัดการถ่ายเทความร้อน แต่ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการแทรกผ่านความร้อนไปสู่อาหารมีดังต่อไปนี้

2.5.1 องค์ประกอบและคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหาร

ของเหลวหรืออาหารบางชนิด เช่น เมล็ดถั่วลิสงในน้ำเกลือ จะเกิดการถ่ายเทความร้อน โดยการพาความร้อนมากกว่าการนำความร้อนซึ่งเกิดในอาหารแข็ง อาหารมีการนำความร้อนต่ำซึ่งเป็นข้อจำกัดที่สำคัญในการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อนในอาหาร องค์ประกอบและธรรมชาติของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยเฉพาะปริมาณกรดหรือ pH มีผลต่อปริมาณความร้อนที่ต้องการในการฆ่าเชื้อมาก ปัจจัยเหล่านี้ได้แก่

2.5.1.1 ค่า pH

ค่า pH ของอาหารกระป๋องเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อชนิดของจุลินทรีย์ที่จะเจริญได้ และปริมาณความร้อนที่ต้องการในการฆ่าเชื้อ อาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (pH สูงกว่า 4.5) จะต้องการความร้อนมากกว่าอาหารที่มีความเป็นกรดสูง (pH ต่ำกว่า 4.5)

2.5.1.2 ค่า a_w

ค่า a_w แสดงปริมาณน้ำในอาหารที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้หรือเพียงพอที่จะเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ อาหารกระป๋องส่วนใหญ่มีค่า $a_w > 0.98$ ดังนั้นจุลินทรีย์และสปอร์จึงสามารถเจริญได้ดี

ถ้า $a_w < 0.95$ เชื้อจุลินทรีย์เช่น *Staphylococcus aureus* จะถูกยับยั้งและทำให้และทำให้ความต้องการความร้อนในการฆ่าเชื้อน้อยลง

2.5.1.3 น้ำหนักบรรจุ (fill weight)

ถ้าบรรจุภัณฑ์มีน้ำหนักที่มากเกินไปจะทำให้อัตราการแทรกผ่านความร้อนลดลง โดยในการทดลองจะใช้น้ำหนักบรรจุที่มากที่สุดที่จะเกิดขึ้นในการผลิตจริง

2.5.1.4 ขนาดชิ้นอาหาร

ขนาดชิ้นอาหารหรือที่เรียกว่า “cut” และการเรียงตัวของอาหารในกระป๋องชิ้นอาหารที่มีขนาดใหญ่จะใช้เวลาในการฆ่าเชื้อมากกว่าชิ้นอาหารที่มีขนาดเล็ก อย่างไรก็ตามต้องคำนึงด้วยว่าอาหารที่มีขนาดเล็กนั้นมีแนวโน้มที่จะตกลงมาอัดแน่นที่บริเวณก้นกระป๋อง หรืออาหารที่เรียงตัวตามแนวนอนหรือแนวตั้งจะมีการเคลื่อนที่ของของเหลวยากต่างกัน

2.5.1.5 ความข้นหนืด (viscosity/consistency)

ความข้นหนืดมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน และระดับของผสมที่ข่องว่าเนื้ออาหารการใส่แป็งมากเกินไปหรือใส่แป็งผิดประเภทอาจทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง ซึ่งเกิดปัญหาการให้ความร้อนไม่เพียงพอได้

2.5.1.6 การดูดคืนน้ำ (rehydration)

สปอร์อาจจะเจริญได้ถ้าอาหารและองค์ประกอบดูดคืนน้ำได้ไม่เพียงพอในระหว่างการแปรรูป ในความร้อนแห้งสปอร์เหล่านี้จะทนความร้อนได้นานกว่าในความร้อนชื้น ดังนั้นจำเป็นต้องกำหนดมาตรฐานของขนาดและความหนาแน่นของส่วนผสมแห้ง

2.5.1.7 วัตถุดิบเสีย

วัตถุดิบเสียและสารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และสปอร์ เช่น กลีโกลิโคไลต์ ไนโตรที่ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อหมัก ใ้กรอก

2.5.1.8 อัตราส่วนของของแข็งต่อของเหลวที่บรรจุ

อัตราส่วนของของแข็งต่อของเหลวที่บรรจุก็มีผลต่อปริมาณความร้อนที่ต้องการในการฆ่าเชื้อเช่นเดียวกัน โดยการบรรจุของแข็งมากเกินไปจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนช้าลง

2.5.1.9 การเตรียมวัตถุดิบ

การเตรียมวัตถุดิบ เช่น การลวก การแช่ในน้ำหรือสารละลายก่อนหรือไม่

2.5.1.10 ช่องว่างเหนืออาหารในกระป๋อง

ถ้าช่องว่างเหนืออาหารกระป๋องนี้มีไม่เพียงพอ อาจจะทำให้การหมุนเวียนของอาหารในกระป๋องไม่ดีเท่าที่ควร และอาจการให้ความร้อนอาจทำได้ไม่ทั่วถึง

2.5.2 ขนาดของบรรจุภัณฑ์

การส่งผ่านความร้อนไปยังจุดกึ่งกลางในบรรจุภัณฑ์ขนาดเล็กจะทำได้เร็วกว่าในบรรจุภัณฑ์ขนาดใหญ่กว่า

2.5.3 การหมุนกระป๋องในแนวแกน

การหมุนกระป๋องในแกนนอนหรือแกนตั้ง จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการพาความร้อนและเพิ่มอัตราการแทรกผ่านความร้อนในอาหารที่มีความหนืดหรืออาหารกึ่งแข็ง เช่น เมล็ดถั่วในซอสมะเขือเทศ

2.5.4 อุณหภูมิของเครื่องฆ่าเชื้อ

ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอาหารและตัวกลางให้ความร้อนที่สูงกว่าจะให้การแทรกผ่านความร้อนที่เร็วกว่า

2.5.5 ลักษณะรูปร่างของบรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์ที่มีลักษณะสูงจะส่งเสริมให้เกิดการพาความร้อนดีขึ้นในอาหารที่ได้รับความร้อนโดยการพา

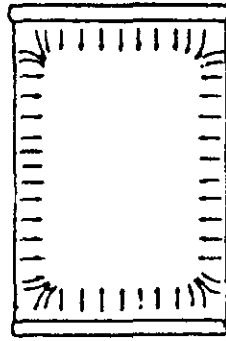
2.5.6 ชนิดของบรรจุภัณฑ์

การส่งผ่านความร้อนผ่านโลหะจะเร็วกว่าการส่งผ่านแก้วหรือพลาสติก เนื่องจากความแตกต่างเรื่องคุณสมบัติการนำความร้อน

นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ เช่น การเรียงกระป๋องเครื่องฆ่าเชื้อ วิธีการทำให้เย็นอุณหภูมิและความดันของอากาศหรือน้ำเย็น ตำแหน่งของตู้ควบคุมความร้อนในกระป๋อง การดูแลกระป๋องหลังปิดฝาแล้ว เวลาที่ใช้กว่าเครื่องฆ่าเชื้อจะมีอุณหภูมิถึงอุณหภูมิที่กำหนดหรือ CUT (come-up time) การควบคุมอุณหภูมิของเครื่องฆ่าเชื้อ

อัตราเร็วที่ปริมาณความร้อนแทรกผ่านไปยังจุดที่ร้อนซ้ำที่สุดของอาหารกระป๋องขึ้นอยู่กับลักษณะการถ่ายเทความร้อนของอาหารนั้นๆ การถ่ายเทความร้อนในอาหารจะซับซ้อนและมีผลต่อเวลาในการฆ่าเชื้อ ดังนั้นการแบ่งประเภทอาหารตามลักษณะทางความร้อนจะช่วยพิจารณาได้ดังนี้

1) อาหารที่ถ่ายเทความร้อนแบบการนำ (conductive heating packs) ความร้อนจะถูกถ่ายเทในทิศทางผ่านผนังกระป๋องแล้วผ่านโมเลกุลของอาหารที่ไม่เคลื่อนที่ จุดร้อนซ้ำที่สุดจะอยู่กึ่งกลางกระป๋องการถ่ายเทความร้อนแบบนี้จะถ่ายเทได้ช้ากว่าแบบการพาความร้อน



รูปที่ 2.7 แสดงการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อน

2) อาหารที่ถ่ายเทความร้อนแบบการพา (convective heating packs) ความร้อนจะถูกถ่ายเทโดยโมเลกุลของอาหารจะเคลื่อนที่ไปด้วย เช่นอาหารเหลวที่มีความชื้นหนืดต่ำหรือผลิตภัณฑ์ที่มีชิ้นอาหารขนาดเล็กในน้ำเกลือ เมื่อได้รับความร้อนก่อนและเคลื่อนที่ขึ้นด้านบนเนื่องจากความหนาแน่นน้อยลง ในขณะที่ส่วนที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าและความหนาแน่นมากกว่าจะเคลื่อนที่ลงล่าง ทำให้เกิดการหมุนเวียนของอาหารภายในกระป๋อง จุดร้อนซ้ำที่สุดจะอยู่ที่ปริมาณ $\frac{1}{4}$ นิ้ว จากด้านล่างสำหรับกระป๋องขนาดเล็ก ถ้าเป็นกระป๋องขนาดใหญ่ เช่น กระป๋องเบอร์ 10 จุดร้อนซ้ำที่สุดจะอยู่ที่ประมาณหนึ่งนิ้วครึ่งจากด้านล่างของกระป๋อง



รูปที่ 2.8 แสดงการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน

3) อาหารที่ถ่ายเทความร้อนแบบผสม (complex heating packs) เช่น อาหารที่มีส่วนผสมของสารให้ความหนืด โคนในช่วงแรกจะเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการพา และเมื่อให้ความร้อนต่อไปอาหารที่ชื้นหนืดมากขึ้นและการถ่ายเทความร้อนจะเปลี่ยนเป็นแบบการนำ หรือผลิตภัณฑ์ที่มีชิ้นอาหารขนาดใหญ่ๆ ในของเหลว ซึ่งส่วนของเหลวจะร้อนเร็วกว่าส่วนที่เป็นชิ้นอาหาร จุดที่ความร้อนเข้าไปถึงซ้ำที่สุดของอาหารที่มีการถ่ายเทความร้อนแบบการนำและจุดร้อนซ้ำที่สุดของอาหารที่มีการถ่ายเทความร้อนแบบการพา

83040

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

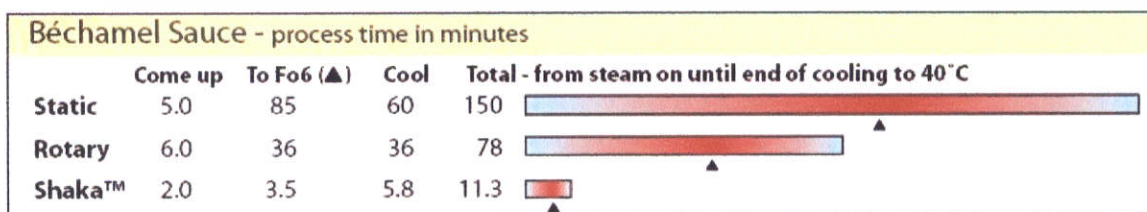
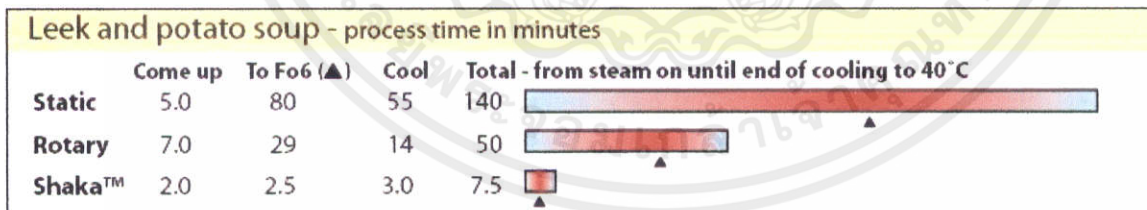
การหาอัตราการแทรกผ่านความร้อนทำได้โดยการวัดอุณหภูมิที่จุดร้อนซ้ำที่สุดของอาหารในบรรจุภัณฑ์โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิที่เรียกว่าคู่วัดความร้อนเพื่อวัดอุณหภูมิของอาหารระหว่างกระบวนการให้ความร้อน

2.6 ตรวจสอบเอกสาร [4]

จากการศึกษาพบว่า การฆ่าเชื้อโดยใช้หม้อฆ่าแบบเขย่าสามารถลดระยะเวลาในการเชื้อลงได้ถึง 90-95% เมื่อเทียบกับการฆ่าเชื้อโดยใช้หม้อฆ่าแบบอยู่นิ่ง และสามารถลดระยะเวลาย่างเชื้อได้ถึง 70% เมื่อกับฆ่าเชื้อโดยใช้หม้อฆ่าเชื้อแบบหมุน

ตารางที่ 2.1 แสดงระยะเวลาในการฆ่าเชื้อโดยเปรียบเทียบระหว่าง หม้อฆ่าเชื้อแบบหยุดนิ่ง หม้อฆ่าเชื้อแบบหมุน และหม้อฆ่าเชื้อแบบเขย่า

Product	Static	Rotation	SHAKA
S. Hollandaise	150 min	100 min	30 min
Condensed milk	-	30 min	15 min
Wellness Soup	120 min	45 min	15 min
Cheese-Leek-Soup	-	45 min	18 min
Minestrone	-	44 min	13 min
Goulash Soup	90 min	55 min	16 min
Tomato Soup	100 min	75 min	12 min



รูปที่ 2.9 เปรียบเวลาที่ในกระบวนการฆ่าเชื้อของหม้อฆ่าเชื้อแบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดัดแปลงเพื่อนำไปใช้งานจริงกับหม้อฆ่าเชื้อ

3.1 เพลลา

- เพลลาที่ใช้จะต้องมีขนาดความยาวมากกว่าความยาวของเครื่องฆ่าเชื้อที่ต้องการดัดแปลง
- การติดตั้งเพลลาจะต้องเจาะรูที่บริเวณก้นของหม้อฆ่าเชื้อเพื่อให้สามารถสอดเพลลาเข้าไปได้ โดยที่ส่วนปลายของเพลลานั้นจะมีส่วนที่ยื่น โผล่ออกมาเพื่อใช้จับกับ โช้ส่งกำลัง

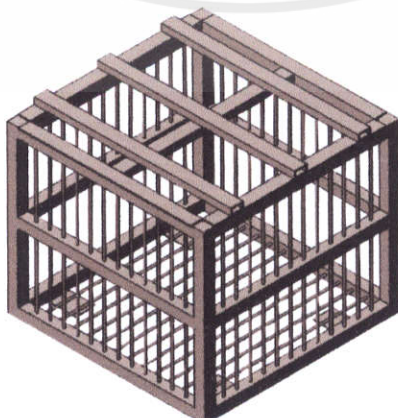


รูปที่ 3.1 เพลลาที่ใช้ในการออกแบบ

3.2 ตะกร้า

ตะกร้าที่ใช้สำหรับหม้อฆ่าเชื้อแบบเขย่าจะใช้จำนวนทั้งสิ้น 2 ตะกร้า คือ ตะกร้าด้านใน และตะกร้าด้านนอก การวางจะวางในลักษณะซ้อนกัน โดยที่ตะกร้าด้านในจะมีขนาดเล็กกว่าตะกร้าด้านนอก

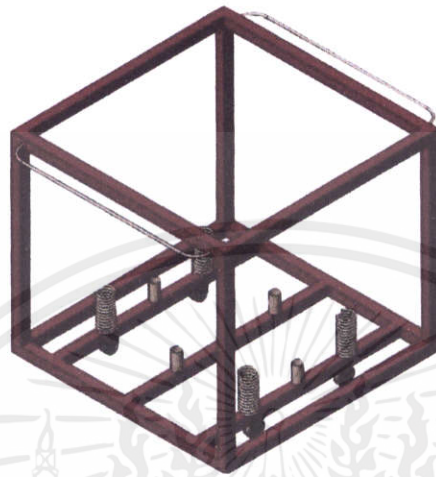
3.2.1 ตะกร้าชั้นใน ตะกร้าด้านในนั้นจะเป็นตะกร้าแบบเดิมที่ใช้กันอยู่ทั่วไป แต่จะเพิ่มในส่วนที่เป็นฝาปิดตะกร้าซึ่งวางอยู่ด้านบน โดยส่วนที่เป็นฝาปิดนี้จะมีเพื่อรองรับแรงที่ส่งมาจากลูกเบี่ยงทรงกลมนั่นเอง



รูปที่ 3.2 ตะกร้าชั้นใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ตะกร้าขึ้นนอก สำหรับส่วนของตะกร้าด้านบนนั้นจะมีการติดตั้งสปริงไว้ที่ด้านล่างซึ่งเป็นบริเวณเดียวกับที่จะรองรับตะกร้าด้านใน และสปริงที่ใช้ นั้นจะต้องทำจากวัสดุ Stainless steel เพราะสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิฆ่าเชื้อ และที่สำคัญคือไม่เป็นสนิมเมื่อโดนน้ำ



รูปที่ 3.3 ตะกร้าขึ้นนอก

3.3 ลูกเบียร์ทรงกลม

- สำหรับลูกเบียร์นั้นจะต้องใช้วัสดุ Stainless steel เช่นเดียวกับสปริง ที่สามารถทนต่ออุณหภูมิฆ่าเชื้อได้ และไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำ
- จำนวนลูกเบียร์ที่ใช้ทั้งหมดเท่ากับ 3 ลูกต่อหนึ่งตะกร้า โดยจะอยู่ในตำแหน่งต่างๆ กัน



รูปที่ 3.4 ลูกเบียร์ทรงกลม

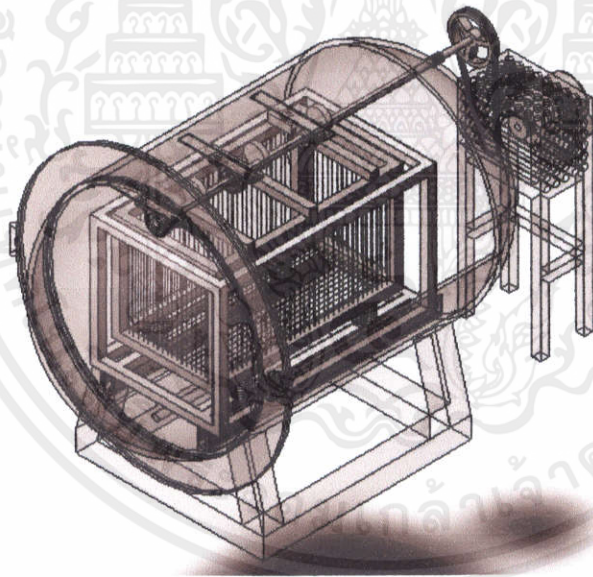
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 โഴ้ [5]

- การส่งแรงจากมอเตอร์ไปยังเพลาลงจะใช้โโซ้ในการส่งกำลัง เพราะประหยัดพื้นที่ อัตราการทรอบคงที่เนื่องจากไม่มีกรลื่นไถล มีอายุการใช้งานที่นานกว่าสายพาน

3.5 Packing Seal [6]

- เนื่องกรบริเวณส่วนท้ายของหม้อฆ่าเชื้อจะต้องทำการเจาะรูเพื่อสอดเพลลเข้าไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการป้องกันการเกิดกรรั่วไหลของความดัน และอุณหภูมิในบริเวณที่ทำการเจาะ ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องใช้วัสดุซึ่งมีความยืดหยุ่นและมีการหล่อลื่นที่ดี ทำกร Seal ที่ผิวแกนเพลลโดยตรง (บริษัท ซีลแพคอินคัสตรีส์ จำกัด , 2001) โดยวัสดุที่ใช้ก็คือ Packing Seal หรือที่รู้จักกันในเรื่องของปะเก็นเชือก โดยจะใช้ Packing Seal ที่ทำกรจากวัสดุ PTFE เพราะเส้นใย PTFE เป็นผลลิตภณท์ที่ให้ค่าสัมประลลลธ์แรงเสียดทานต่ำ การสึกกร่อนต่ำ การกัดกร่อนต่ำ ถือเป็นซีลที่มีคุณภาพดี และที่สำคัญก็คือสามารถนำมาใช้งานได้ภายใต้อุณหภูมิ -50 ถึง 200°C และที่ความดัน 300 psi



รูปที่ 3.5 หม้อฆ่าเชื้อแบบเขย่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ทฤษฎีรายการคำนวณ

สำหรับหม้อน้ำเชื้อแบบเข่า จะทำการออกแบบชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้อง โดยใช้พื้นฐานด้านการคำนวณ และหลักการในการเลือกวัสดุสำหรับทำชิ้นส่วนตามความเหมาะสมกับงานลักษณะต่างๆ ซึ่งในที่นี้จะทำการคำนวณและออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ ได้แก่

- เพลา (Shaft)
- แบริ่ง (Bearing)
- สายพาน (Belts)
- สปริง (Spring)

4.1 เพลา [7]

เพลาเป็นชิ้นส่วนสำคัญที่มีใช้ในเครื่องจักรกลแทบทุกชนิด วัสดุทั่วไปที่ใช้ทำเพลา ก็คือเหล็กกล้า ธรรมดา (mid steel) แต่ถ้าต้องการให้มีความเหนียวและความทนทานต่อแรงกระดุกเป็นพิเศษ มักจะใช้เหล็กกล้าผสมโลหะอื่นทำเพลา เมื่อคำนึงถึงความประหยัดเพื่อให้เพลาที่มีราคาถูก เราจึงออกแบบโดยเลือกเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา (plain carbon steel) โดยเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

4.1.1 เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (low carbon steel) มีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.005%-0.3% มีใช้มากในงานด้านผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และงานในด้านโครงสร้าง เช่น ใช้ทำท่อโครงสร้าง ถึง รถไฟ ตัวถัง

4.1.2 เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (medium carbon steel) มีคาร์บอนผสมระหว่าง 0.3%-0.5% สามารถนำมาชุบหรือเทมเปอร์ได้โดยกรรมวิธีทางความร้อนแบบทั่วไป ดังนั้นจึงมักใช้ในงานที่ต้องการความแข็งแรงและทนต่อการสึกกร่อน ผลิตภัณฑ์แบบเหล็กกล้าผสมคาร์บอนปานกลาง เช่น เพลา แกนเพลา ข้อเหวี่ยง ก้านสูบ และชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ต้องการความต้านทานสูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

4.1.3 เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (high carbon steel) มีคาร์บอนอยู่มากกว่า 0.5% ขึ้นไปใช้มากเมื่อผลิตภัณฑ์ต้องมีความแข็งแรงและความต้านแรงสูงพร้อมกันนั้นก็ทนต่อการสึกหรอได้ดีด้วย เหล็กกล้าชนิดนี้ต้องผ่านกรรมวิธีทางความร้อนก่อนจึงจะมีคุณสมบัติตามต้องการ ผลิตภัณฑ์แบบเหล็กกล้าผสมคาร์บอนสูง เช่น ดอกสว่าน อุปกรณ์ตัดเหล็กวาล์ว ดอกคว้านรู แบบพิมพ์และมักใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความคม เช่น มีด กรรไกร เป็นต้น

สำหรับทฤษฎีที่ในการออกแบบเพลาจะออกแบบภายใต้แรงเปลี่ยนแปลง ซึ่งเราจะออกแบบเพลาโดยคิดถึงแรงเปลี่ยนแปลงขนาดเป็นวัฏจักร สมการที่ใช้คือ

$$d^3 = \frac{16}{\pi} \left((C_s T)^2 + (C_m M)^2 \right) \quad (4.1)$$

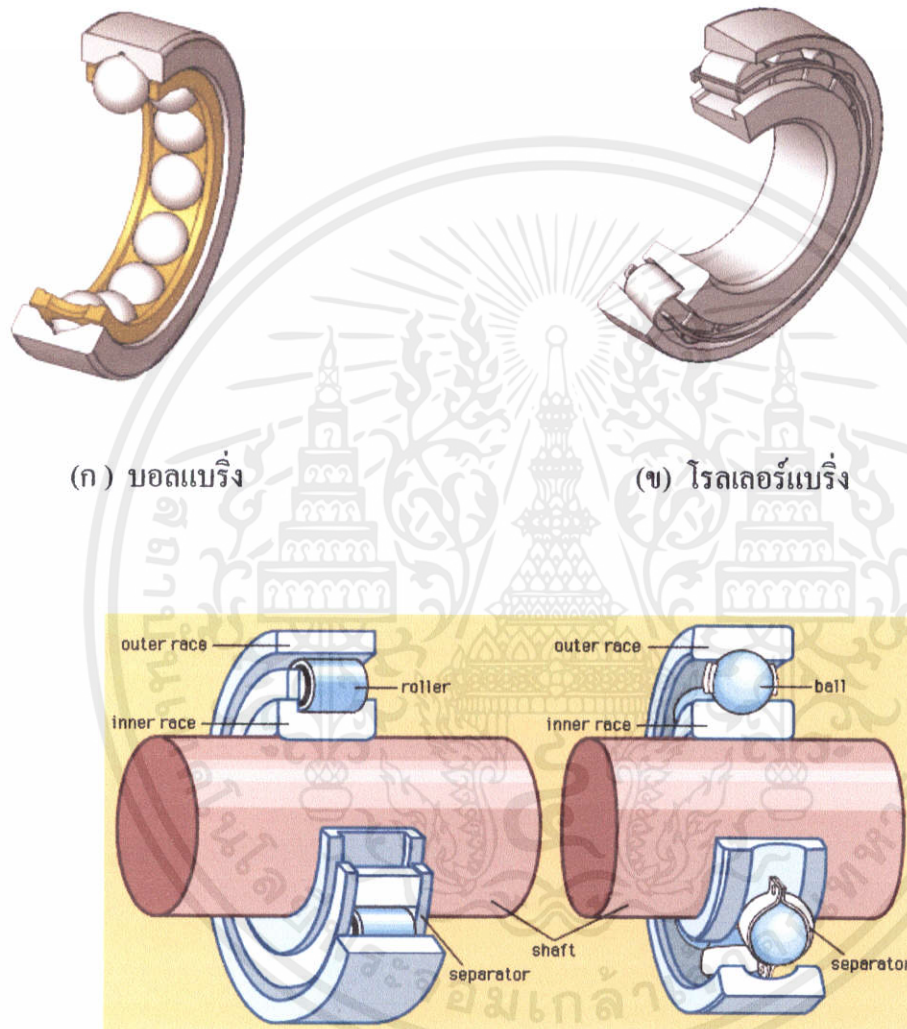
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 แบริ่ง [7]

โดยทั่วไปแล้วโรลลิ่งแบริ่งแบ่งออกได้เป็น 2 พวก คือ

4.2.1 บอลแบริ่ง ซึ่งมีลูกกลิ้งเป็นรูปทรงกลม

4.2.2 โรลเลอร์แบริ่ง ซึ่งมีลูกกลิ้งเป็นทรงกระบอกตรง หรือเป็นรูปทรงกระบอกเรียวก็ได้



รูปที่ 4.1 ประเภทของโรลลิ่งแบริ่ง

โดยปกติแล้วแบริ่งเหล่านี้รับแรงได้ทั้งแรงในแนวรัศมีและแรงรุน ยกเว้นโรลเลอร์แบริ่งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกตรงเท่านั้น

ในที่นี้เราเลือกใช้บอลแบริ่ง การเลือกบอลแบริ่งจะใช้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลามาใช้ โดยให้มีขนาดพอเหมาะกับรูเจาะ (bore)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 สายพาน [7]

การส่งถ่ายกำลังทางกลจากเพลอันหนึ่งไปอีกอันหนึ่งอาจทำได้ 3 วิธี คือใช้เฟือง ใช้สายพาน หรือใช้โซ่ การส่งกำลังโดยสายพานเป็นการส่งกำลังแบบอ่อนตัวได้ ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียหลายประการเมื่อเทียบกับการส่งกำลังโดยใช้เฟือง ข้อดีคือมีราคาถูกและใช้งานง่าย รับแรงกระตุกและการสั่นสะเทือนได้ดี ขณะใช้งานไม่มีเสียงดัง ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ

สายพานแบ่งออกเป็น 4 ชนิดตามลักษณะหน้าตัดของสายพาน ได้แก่

4.3.1 สายพานแบน (Flat belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ผลิตจากหนัง สิ่งทอ หรือทำจากชั้นต่างๆ ของหนัง พลาสติกและเส้นใยหลายๆ ชั้น สายพานแบนสามารถนำมาใช้งานในลักษณะไขว้ได้ หรือกึ่งไขว้ได้ แต่การสึกของสายพานดังกล่าวจะเกิดขึ้นมากกว่าการใช้ของสายพานลักษณะเปิด สายพานลักษณะไขว้เป็นลักษณะการวางสายพานที่ทำให้มุมโอบมากกว่าลักษณะเปิด อัตราทดจะไม่เปลี่ยนแปลงแต่ล้อยสายพานจะหมุนไปในทิศทางตรงกันข้ามเนื่องจากสายพานไขว้สัมผัสกันจึงทำให้การสึกหรอเกิดขึ้นค่อนข้างเร็ว



รูปที่ 4.2 สายพานแบน (Flat belts)

4.3.2 สายพานลิ้ม (V-belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู สายพานลิ้มส่วนใหญ่จะผลิตแบบไม่มีปลาย เป็นสายพานทำจากยาง มีภาคตัดขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูครึ่งหนึ่ง ด้านบนมีเส้นโพลีเอสเตอร์ที่ผ่านการวัดคาบในซึ่งมาแล้วแทรกอยู่ ทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มสูงขึ้น สายพานลิ้มชนิดที่มีชั้นใยสังทอหุ้มอยู่รอบๆ จะช่วยป้องกันสึกหรอได้อีกด้วย



รูปที่ 4.3 สายพานลิ้ม (V-belts)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 สายพานกลม (Ropes) สายพานกลมมีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม

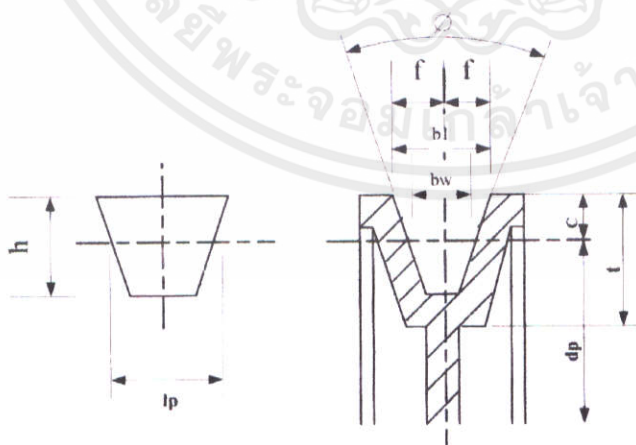
4.3.4 ไทม์มิงเบลท์ (Timing Belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูแต่จะทำเป็นร่องคล้ายฟันเพื่อ

ตลอดความยาวของสายพาน



รูปที่ 4.4 ไทม์มิงเบลท์ (Timing Belts)

ในการส่งถ่ายโมเมนต์หมุนจะเกิดจากการขบของฟันขั้วของสายพานเข้าไปในฟันล้อเฟือง ทำให้ไม่มีการลื่นไถลในขณะส่งกำลังเลย อัตราทดจึงคงที่ สายพานขั้วนี้จะผลิตแบบไม่มีปลายตามแบบ DIN 7721 ใช้พลาสติกยูเรเทนหรือยางคุณภาพสูงหล่อขึ้นรูปโดยเสริมด้วยลักษณะเกลียวเหล็กกล้าที่ทำหน้าที่รับแรงดึงได้ดีเนื่องจากสายพานฟันขั้วในการดึงสายพานน้อยจึงทำให้เพลา และรองเพลา รับภาระน้อยไปด้วยวัสดุที่ใช้ทำสายพานมีคุณสมบัติยืดหยุ่นที่ช่วยให้สามารถดูดกลืนการกระแทก และสั่นสะเทือนได้ถึงระดับหนึ่ง ซึ่งในการออกแบบครั้งนี้เลือกใช้สายพานลิ้ม (V-Belts) เป็นตัวขั้ว เนื่องจากสายพานลิ้มใช้ส่งกำลังได้ค่อนข้างมาก โดยต้องการแรงดึงในสายพานชั้นต้นค่อนข้างน้อย เหมาะกับการใช้งานกรณีที่ระยะระหว่างศูนย์กลางน้อย และยังมีข้อดีคือ เสียงเงียบ สะอาด สามารถรับแรงกระตุกได้ และมีประสิทธิภาพดี วัสดุที่ใช้ทำสายพานมีหลายชนิดด้วยกัน โดยทั่วไปที่นิยมกันมากคือ หนัง (Oak-tanned leather)



รูปที่ 4.5 หน้าตัดสายพานลิ้มและล้อสายพาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสมการที่ใช้ในการหาความยาวของสายพานสายพาน คือสมการ

$$L_p = 2C + \pi \frac{(D+d)}{2} + \frac{(D+d)^2}{4} \quad (4.2)$$

ในการหาแรงตึงในสายพานสามารถหาได้จากสมการ

$$T = T_1 + T_2 \quad (4.3)$$

$$T_1 = F_1 + \frac{Kb}{d} \quad (4.4)$$

$$T_2 = F_2 + \frac{Kb}{D} \quad (4.5)$$

$$F_1 = F_c + \frac{\Delta F \exp(f\phi)}{\exp(f\phi) - 1} \quad (4.6)$$

$$F_c = K_c \left(\frac{V}{1000} \right)^2 \quad (4.7)$$

$$\Delta F = 63025(H_d / nb) \quad (4.8)$$

$$H_d = H_{nom} K_s n d \quad (4.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 สปริง [7]

สปริงเป็นชิ้นส่วนที่มีความยืดหยุ่นซึ่งมีใช้อยู่ในเครื่องจักรกลทั่วไป ถึงแม้ว่าชิ้นส่วนอื่น ๆ ของเครื่องจักรกลจะมีคุณสมบัติในการยืดหยุ่นเหมือนกัน แต่สปริงจะมีการยืดหยุ่นมากกว่า สปริงอาจจะมีรูปร่างต่างกันและทำจากวัสดุหลายชนิดแม้แต่ของไหล เช่น อากาศ ก๊าซ และของเหลว ก็สามารถนำมาใช้ทำหน้าที่เป็นสปริงได้ สปริงอาจจะทำหน้าที่ได้ประเภทดังนี้

- ใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับกลไกต่าง ๆ งานประเภทนี้ใช้ได้กันมาตั้งแต่ดั้งเดิมและก็ยังคงจะมีใช้กันมากต่อไปอีก เช่น ลานนาฬิกา กล้องถ่ายภาพของเด็กเล่น เป็นต้น
- ใช้วัดแรง เช่น ตาชั่งสปริง ไคนาโมมิเตอร์ และอุปกรณ์ปรับต่าง เป็นต้น
- ใช้ทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของเครื่องจักรกลกลับคืนสู่ตำแหน่งเดิม เช่น ตัวตามลูกเบี้ยว (cam followers) ก้านวาล์ว เป็นต้น
- ใช้ส่งแรงจากชิ้นส่วนหนึ่งไปยังอีกชิ้นส่วนหนึ่ง เช่น สปริงแผ่นคลัตช์ คัปปลิง เป็นต้น



รูปที่ 4.6 สปริง

การใช้สปริงส่วนมากจะเป็นในรูปของการเก็บพลังงานเอาไว้ในตัวสปริง ความเค้นที่เกิดขึ้นในสปริงขณะใช้รับแรงจะมีค่าสูงมาก ดังนั้นจึงต้องนำวัสดุที่มีความแข็งแรงสูงมาใช้ทำสปริง โดยทั่วไปเหล็กสำหรับใช้ทำสปริงจะเป็นเหล็กที่มีค่าคาร์บอนสูงกว่า 0.5% แล้วผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อให้มีความยืดหยุ่นสูง นอกจากนี้ยังมีวัสดุประเภทโลหะผสม เหล็กกล้าไร้สนิม และอื่นๆ ที่ต้องใช้กับงานเป็นพิเศษ เพื่อป้องกันการกัดกร่อนหรือทนทานต่ออุณหภูมิสูงๆ สำหรับวัสดุบางชนิดสามารถหาซื้อได้โดยทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1 Hard-draw wire (ASTM A227) เป็นวัสดุที่มีราคาถูกสุด ไม่ควรใช้กับงานที่ต้องการอายุการทำงานยาวนานมาก และในชิ้นงานที่ต้องการความแม่นยำในการทำงานมาก อุณหภูมิใช้งานไม่ควรสูงกว่า 120°C หรือต่ำกว่า 0°C

4.4.2 Music wire (ASTM A228) เป็นลวดที่มีการใช้กันมากที่สุดในจำพวกสปริงขนาดเล็ก มีความแข็งแรงสูง และสามารถทนแรงที่กระทำซ้ำกันได้ดีมาก อุณหภูมิใช้งานไม่ควรสูงกว่า 120°C หรือต่ำกว่า 0°C

4.4.3 Oil-tempered wire (ASTM A229) ลวดสปริงชนิดนี้มีใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วไป เพราะราคาถูกกว่า Music wire อุณหภูมิใช้งานอยู่ระหว่าง 0°C ถึง 180°C

4.4.4 Valve spring quality carbon steel (ASTM A230) เหมาะสำหรับงานที่อาจจะเสียหายเนื่องจากความล้า

4.4.5 Chrome vanadium steel (ASTM A231) เป็นโลหะผสมที่นิยมใช้กันมากเมื่อโลหะอื่น ๆ ไม่สามารถทนความเค้นสูง ๆ ได้ เหมาะสำหรับรับแรงที่กระทำซ้ำกันเป็นอย่างยิ่ง รับแรงกระแทกได้ดี มักใช้ทำสปริงสำหรับวาล์วเครื่องยนต์ของเครื่องบิน ใช้ได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 230°C

4.4.6 Chrome silicon steel (ASTM A401) เป็นโลหะผสมที่รับแรงได้สูง และมีคุณสมบัติในการรับแรงกระแทกได้ดี ใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 250°C

4.4.7 Stainless steel (chrome nickel ASTM A313 หรือ AISI 302) เป็นโลหะที่มีราคาแพง รับแรงได้สูง และสามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ดีเหมาะสำหรับรับแรงกระแทก

สำหรับการหาระยะขยุบตัวต่ำที่สุดของสปริงสามารถหาได้จากสมการ

$$F = kx \quad (4.10)$$

4.5 มอเตอร์ [8]

ชนิดของมอเตอร์แบ่งตามลักษณะของไฟฟ้าที่ใช้มี 2 แบบ คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ และ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

4.5.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ หรือมอเตอร์หลายเฟส ตามพื้นฐานการสร้างแบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่

4.5.1.1 มอเตอร์กรงกระรอก มีความเร็วคงที่ เป็นแบบที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง จริง ๆ แล้วความเร็วของมอเตอร์แบบนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามภาระเพียงเล็กน้อย แต่น้อยเกินกว่าที่จะเปลี่ยนแปลงจากต้นกำลังอื่นๆ ของกำลังทางกล เช่นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มอเตอร์ไฟฟ้าธรรมดาส่วนใหญ่สำหรับการขับอุปกรณ์ขนถ่ายจะเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก มอเตอร์เหล่านี้จะถูกสตาร์ทด้วยแรงเคลื่อนไฟฟ้าโดยตรง หรือที่แรงเคลื่อนที่ลดลง โดยอาศัยหม้อแปลงอัตโนมัติ

แม้ว่ามอเตอร์กรงกระรอกจะถูกพิจารณาในเรื่องอุปกรณ์เช่นเดียวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แต่ก็มีหลายวิธีที่จะเปลี่ยนแปลงความเร็วได้ด้วยการเพิ่มหรือลดความถี่ หรือแรงเคลื่อนความเร็วขาออกของมอเตอร์สามารถที่จะเพิ่มหรือลดลงโดยผ่านช่วงความเร็วต่างๆ ได้ อย่างไรก็ตามเมื่อทั้งมอเตอร์และชุดควบคุมสำหรับวิธีการนี้ในการเปลี่ยนความเร็วจะต้องระมัดระวังเรื่องการเข้ากันได้ (Matching) การออกแบบ และทดสอบแบบพิเศษ ระบบเหล่านี้จะมีราคาสูงและเหมาะกับสภาวะบางอย่าง โดยเฉพาะ

4.5.1.2 มอเตอร์แบบ Wound-Rotor มอเตอร์แบบแกนหมุนพันขดลวด (Wound-rotor) หรือแบบ Slip-ring จะมีแกนหมุดพันขดลวดที่มีตัวนำไฟฟ้านำไปสู่ Slip Rings เพื่อสอดแทรกตัวความต้านทานไว้เพิ่มแรงบิดในขณะสตาร์ท และลดกระแสในการสตาร์ทและยังวางใจได้ต่อการลดความเร็วลง 50% ภายใต้อัตราบิดขณะรับภาระเต็มที่ มอเตอร์แบบนี้เหมาะกับอุปกรณ์ขนถ่ายทุกชนิดที่ต้องควบคุมแรงบิดในขณะสตาร์ท

มอเตอร์แบบ Wound-rotor อาจจะใช้เป็นมอเตอร์ความเร็วคงที่ หรือเป็นมอเตอร์ปรับความเร็วได้ทั้ง 2 แบบ มอเตอร์แบบ Wound-rotor สามารถควบคุมแรงบิดในขณะช่วงเวลากการสตาร์ทได้ โดยการเพิ่มความต้านทานภายนอกเข้าไปในขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Winding) ของมอเตอร์ผ่านทาง Slip Rings ทำให้สามารถกำหนด โปรแกรมแรงบิด ระหว่างการสตาร์ทให้เหมาะสมกับมอเตอร์ที่ขับอุปกรณ์ขนถ่ายแต่ละแบบ การขับประเภทนี้ได้มีการใช้กันอย่างกว้างขวางในสายพานลำเลียงขนาดใหญ่

4.5.1.3 มอเตอร์แบบ Synchronous มอเตอร์แบบนี้ถูกสร้างให้มีความเร็วเฉลี่ยเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่ของแหล่งต้นกำลัง และเป็นสัดส่วนกลับกันกับจำนวนขั้วแม่เหล็กในขดลวดที่อยู่กับที่ (Stator) และตามส่วนกันในแกนหมุน (Rotor) มอเตอร์แบบ Synchronous มี 2 ประเภทหลักๆ คือ แบบไม่มีการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า (Non-excited) และแบบกระตุ้นด้วยไฟฟ้ากระแสตรง

4.5.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motors) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงถูกใช้งานอย่างกว้างในงานอุตสาหกรรม เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิดสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงไปตามการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกือบทุกรูปแบบ สำหรับการใช้งานของทั้งมอเตอร์และการสร้างใหม่ (Regeneration) ในทิศทางและการหมุน การทำงานอย่างต่อเนื่องของ DC Motors โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วงความเร็ว 8 ต่อ 1 รวมทั้งการลดภาระหรือการลดความเร็วในระยะสั้นๆ จะอยู่ในช่วงไร้ขอบเขต (ควบคุมการลดความเร็วลงถึงศูนย์รอบต่อนาทีได้อย่างราบเรียบนุ่มนวล

มักจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อมันต้องจ่ายแรงบิดที่จะทำให้มอเตอร์หมุนมากกว่าแรงบิดขณะใช้งานปกติ 3 เท่าหรือมากกว่า และในสถานการณ์ฉุกเฉิน มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถที่จะจ่ายแรงบิดได้มากกว่า 5 เท่าของแรงบิดใช้งานปกติ โดยปราศจากการหยุดกลางคัน (Stalling) (ต้นกำลังสามารถจ่ายให้ได้)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถที่จะควบคุมความเร็วจนถึงศูนย์รอบต่อนาทีได้อย่างไม่มีอุปสรรค โดยการเร่งในทิศทางตรงกันข้ามอย่างทันทีทันใดโดยไม่ต้องสับเปลี่ยนวงจรกำลังและมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณควบคุมได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากมันมีอัตราแรงบิดต่อความเฉื่อย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 โซ่ [5, 9]

โซ่สามารถส่งกำลังให้ได้โมเมนต์บิดสูงมากโดยให้เป็นชุดส่งกำลังที่มีขนาดเล็ก เป็นลักษณะการส่งกำลังด้วยรูปร่างและโรลลิงแบร์ริงจะรับภาระน้อยลง ไม่มีการสิ้นเปลืองในขณะส่งกำลัง ในขณะที่ส่งกำลังข้อต่อโซ่จะรับภาระความเสียดทาน (Sliding Friction) จึงต้องมีการหล่อลื่นที่เพียงพอ โซ่ส่งกำลังสามารถใช้งานในบางสถานะที่สายพานไม่สามารถนำไปใช้งานได้ เช่น ที่อุณหภูมิสูง, โรงงานเคมี, ที่มีไอน้ำมัน, ที่มีความชื้น

ข้อดีเมื่อเทียบกับสายพาน

- ส่งถ่ายน้ำมันได้สูงโดยที่ไม่มีการสิ้นเปลืองที่ระยะห่างระหว่างเพลาน้อย และให้อัตรากำลังทดสูง
- ประหยัดพื้นที่
- ไม่ต้องดึงให้แน่นมาก
- โรลลิงแบร์ริงรับภาระน้อย

โซ่สามารถแบ่งตามลักษณะรูปร่างได้ดังนี้

4.6.1 โซ่ลูกกลิ้งและโซ่บุช

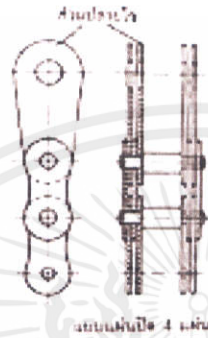
โซ่ลูกกลิ้งและโซ่บุชจะประกอบด้วยแผ่นปิดข้างโซ่ด้านนอกและด้านในที่ยึดด้วยบุชและโบลต์เข้าด้วยกัน โซ่ลูกกลิ้งที่มีใช้งานส่วนใหญ่จะมีลูกกลิ้งที่หุบอยู่ในบุช ลูกกลิ้งนี้จะช่วยลดความเสียดทานและการสึกหรอของด้านข้างของเฟือง โซ่อีกทั้งยังมีเสียงดังน้อยเมื่อความเร็วโซ่สูง ในการใช้งานที่ต้องรับโมเมนต์หมุนมากๆ จะใช้โซ่ลูกกลิ้งและโซ่บุชแบบชุดหลายเส้น โซ่ลูกกลิ้งตามมาตรฐานจะนำมาใช้งานได้ที่ความเร็วถึง 30 m/s



รูป 4.7 โซ่ลูกกลิ้ง

4.6.2 โซ่โบลต์

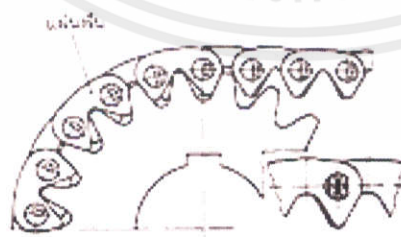
โซ่โบลต์จะมีรูปร่างของแผ่นปิดข้างทั้งโซ่ด้านในและด้านนอกเหมือนกัน โดยร้อยเข้ากับโบลต์ การใช้แผ่นปิดข้างโซ่หลายแผ่นติดกันจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดึงที่โซ่ต้องรับ เมื่อเปรียบเทียบกับโซ่ลูกกลิ้งและโซ่บูชแล้ว โซ่โบลต์จะมีแรงเสียดทานระหว่างโบลต์และแผ่นปิดข้างโซ่มากกว่า ด้วยเหตุนี้จึงนิยมนำโซ่โบลต์มาใช้กับงานที่มีความเร็วต่ำ



รูป 4.8 โซ่โบลต์

4.6.3 โซ่ฟัน

โซ่ฟันจะมีรูปร่างฟันแต่ละข้อชัดเจน ฟันของโซ่จะจับลงในร่องฟันของล้อโซ่พอดี โซ่ฟันที่ใช้งานรับกำลังงานสูง ๆ แผ่นฟันที่ข้อต่อจะไม่ยึดด้วยโบลต์ แต่จะยึดด้วยข้อต่อลูกกลิ้งที่มีความเสียดทานน้อยและทนต่อการสึกหรอได้ดี โซ่ฟันใช้รับกำลังงานได้สูง และเกือบจะไม่มีเสียงดังในขณะที่มีความเร็วโซ่ถึง 40 m/s สำหรับล้อโซ่ที่ใช้กับโซ่ฟันจะต้องมีจำนวนฟันอย่างน้อยที่สุด 17 ฟัน มิฉะนั้นจะเกิดสัดส่วนการจับของโซ่ฟันที่ไม่เหมาะสม ที่ทำให้เกิดแรงเสียดทานมากขึ้นได้ และถ้าใช้งานรับภาระกระแทกแล้วโซ่ฟันจะยึดและมีผลให้เกิดสัดส่วนการจับของโซ่ฟันที่ไม่เหมาะสมอีกเช่นกัน



รูปที่ 4.9 โซ่ฟัน

ซึ่งในการออกแบบครั้งนี้เลือกใช้โซ่ลูกกลิ้ง (Rolling chain) เป็นตัวขับ เนื่องจากโซ่ลูกกลิ้งมีลูกกลิ้งที่ช่วยลดความเสียดทานและการสึกหรอ และยังมีข้อดีคือมีเสียงดังน้อยเมื่อความเร็วโซ่สูง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

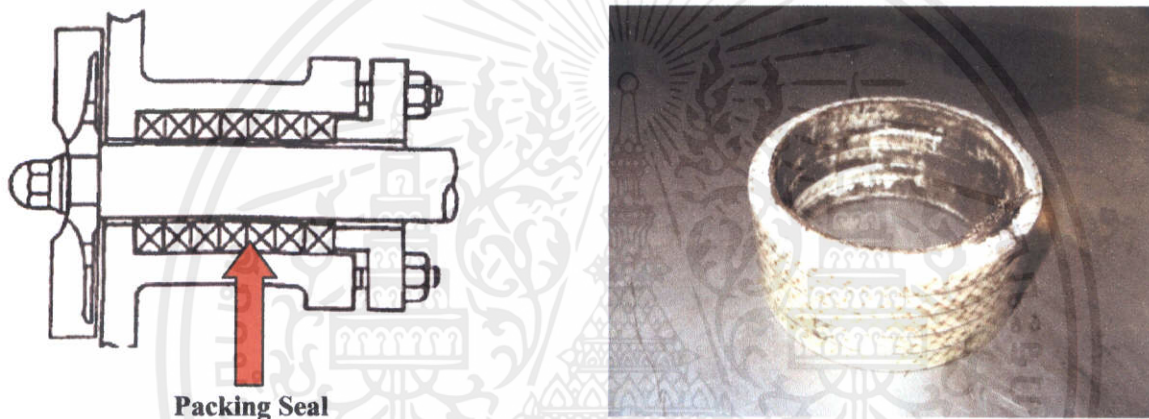
4.7 Packing Seal

4.7.1 ข้อมูลทั่วไปของ Packing Seal [10]

Packing Seal หรือ Compression Packing Seal หรือที่รู้จักกันในชื่อ ปะเก็นเชือก เป็นซีลรุ่นแรก ๆ ที่มีความทนทาน แต่มีอัตราการรั่วประมาณ 60-90 หยด/นาที่ ซึ่งเป็นอัตราที่ยอมรับได้ ราคาประหยัด ซ่อมบำรุงง่าย ไม่เหมาะกับงานที่ต้องเกี่ยวข้องกับสารเคมี

4.7.2 หลักการทำงานของ Packing Seal

โดยทั่วไปการใช้งาน Packing Seal เป็นงานที่จะเกี่ยวข้องกับการป้องกันการรั่วไหลในแนวแกนเพลาที่มีการหมุน จะใช้วัสดุที่มีความยืดหยุ่นและมีการหล่อลื่นที่ดี ทำการซีลที่ผิวแกนเพลาโดยตรง



รูปที่ 4.10 Packing Seal

4.7.3 ชนิดของ Packing Seal

4.7.3.1 PTFE Braided Packing

เส้นใย PTFE เป็นวัสดุซีลที่ดีและผลิตโดยถัก PTFE เป็นเส้นใหญ่และชุบด้วยน้ำมันหล่อลื่น เส้นใย PTFE เป็นผลิตภัณฑ์ที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำ การสึกกร่อนต่ำ การกัดกร่อนต่ำ ถือเป็นซีลที่มีคุณภาพดี สามารถใช้ภายใต้อุณหภูมิ -50 ถึง 200°C ความดัน 300 psi

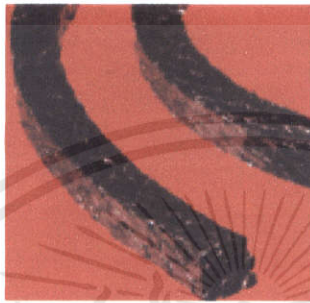


รูปที่ 4.11 PTFE Braided Packing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.3.2 Graphite [6]

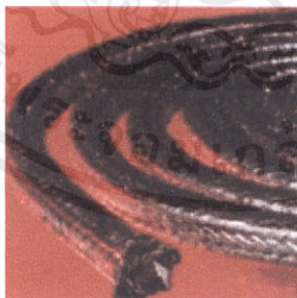
ถักด้วยเส้นใย Expanded Graphite yarn เป็นสารหล่อลื่นในตัวเอง ทนความร้อนและนำพาความร้อนได้ดี ทนทานต่อสารเคมี ยกเว้น Oleum, fuming nitric acid, aqua regia and fluorine ใช้ได้กับของเหลวต่าง ๆ เช่น Steam, water, oil, solvents, alkalis, acids and most chemicals เหมาะสำหรับใช้เป็นวัสดุกันรั่วในปั๊ม วาล์ว และงานกันรั่วในอุปกรณ์อื่น ๆ สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิ -240 ถึง 649°C



รูปที่ 4.12 ปะเก็นเชือกแกรไฟท์

4.7.3.3 Carbon and Graphite [6]

ถักด้วยเส้นใยคาร์บอน ซึ่งได้ผ่านขบวนการทำให้มีความอ่อนนุ่ม ยืดหยุ่นได้ดี และเคลือบด้วยสารหล่อลื่นพิเศษ แกรไฟท์และ PTFE เป็นปะเก็นที่ไม่ยุบตัวง่าย นำพาความร้อนได้ดี ทนการกัดกร่อนทางเคมี ทนการกัดกร่อนเนื่องจากสารแขวนลอย ใช้งานได้ทั่วไปในอุปกรณ์ rotary or reciprocating pumps ใช้งานได้ที่อุณหภูมิ 600°C



รูป 4.13 ปะเก็นเชือก Carbon and Graphite

ซึ่งในการออกแบบครั้งนี้ได้เลือกใช้ Packing Seal ที่ทำจากเส้นใย PTFE เนื่องจาก Packing Seal ที่ทำจาก PTFE เป็นเส้นใยที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำ การสึกกร่อนต่ำ การกัดกร่อนต่ำ และยังสามารถใช้ภายใต้อุณหภูมิ -50 ถึง 200°C ความดัน 300 psi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การคำนวณและการออกแบบ

5.1 การคำนวณและการออกแบบเพลลา

คำนวณแรงที่ลูกเบี้ยวกระทำแกนเพลลา

ลูกเบี้ยวมีความหนา 3.81 cm และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.5 cm

ค่าความหนาแน่นเหล็ก = 7.87 g/cm^3

สามารถหาน้ำหนักลูกเบี้ยวได้

$$\text{จาก } \rho = \frac{m}{v}$$

$$7.87 = \frac{m}{\left(\frac{\pi}{4}(12.5)^2 \times 3.81\right)}$$

$$m = 3679.67 \text{ g} \approx 3.68 \text{ kg}$$

ดังนั้นลูกเบี้ยวจะมีน้ำหนัก 3.68 กิโลกรัม

เพลลาหมุนด้วยความเร็วรอบ 118 รอบ/นาที = 1.967 รอบ/วินาที

$$\omega = 2\pi f$$

$$= 2\pi(1.967)$$

$$= 12.36 \text{ rad/s}$$

แรงที่ลูกเบี้ยวกระทำต่อแกนเพลลา

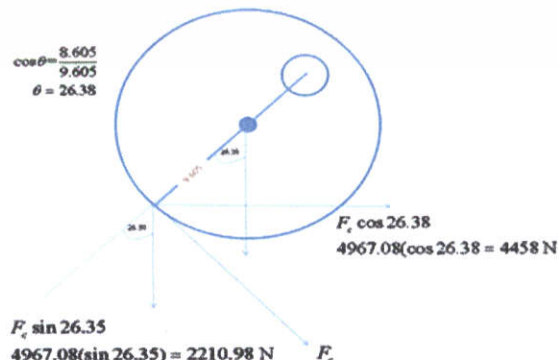
$$= mg + m\omega^2 r$$

$$= 3.679(9.81) + 3.679(12.36)^2(9.605)$$

$$= 33.267 + 4976.08$$

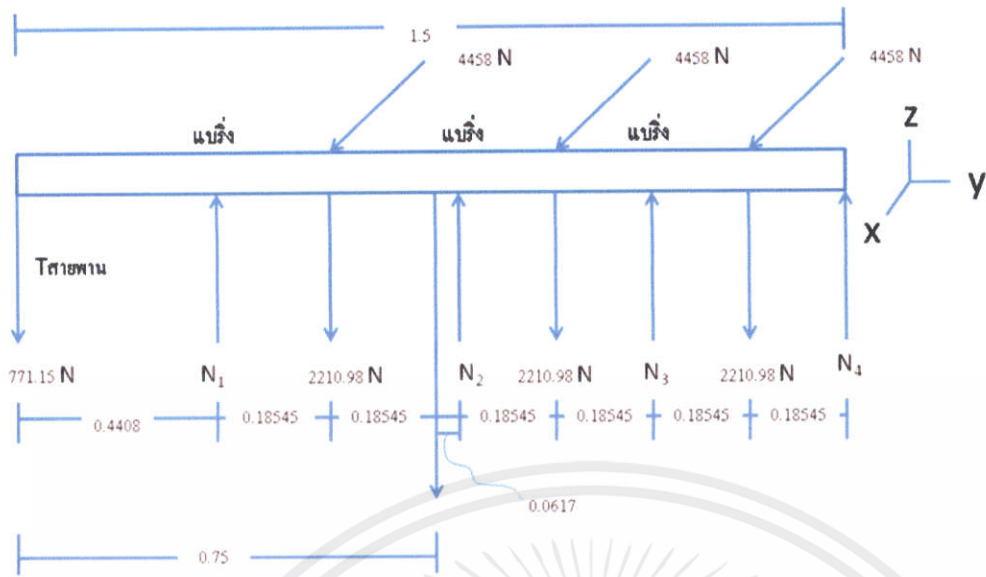
$$= 5009.347$$

แรงที่ลูกเบี้ยวกระทำต่อแกนเพลลา



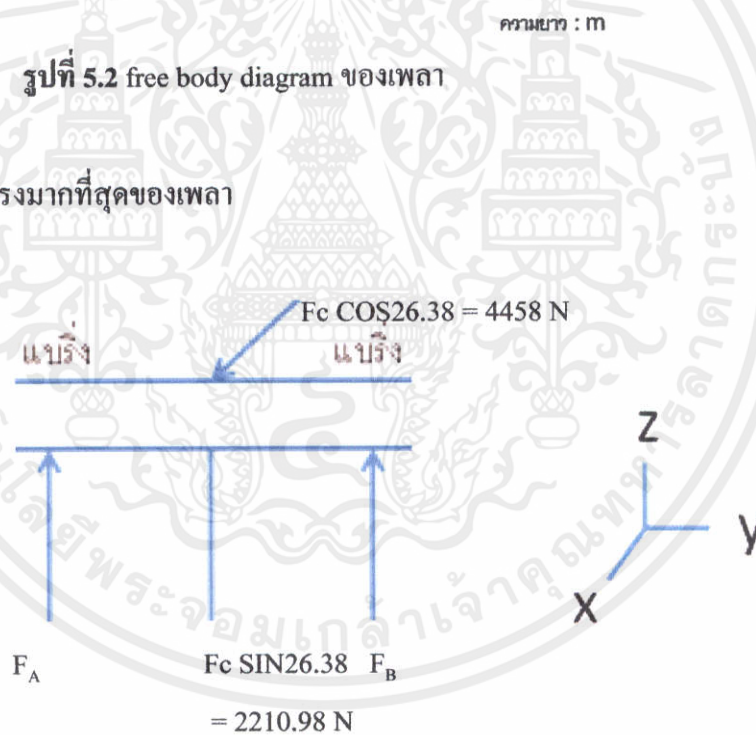
รูปที่ 5.1 แรงที่ลูกเบี้ยวกระทำต่อฝาตะกร้าตามแนวแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 free body diagram ของเพลา

แยกวิเคราะห์ส่วนที่รับแรงมากที่สุดของเพลา



รูปที่ 5.3 ส่วนที่รับแรงมากที่สุดของเพลา

แรงขึ้น = แรงลง

$$F_A + F_B = 2210.98 \dots \dots \dots (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณโมเมนต์ที่จุดรับแรง โดยให้ F_A เป็นจุดหมุน

$$\begin{aligned} M_{\text{ทวน}} &= M_{\text{ตาม}} \\ F_B (2 \times 0.18545) &= 2244.24 \times 0.18545 \\ F_B &= 1122.124 \text{ N} \\ \text{จากสมการที่ 1 จะได้ } F_B &= 1122.124 \text{ N} \end{aligned}$$

เกิดโมเมนต์สูงสุดในแนวแกน Z

$$\begin{aligned} M_{\text{MAX}} &= 2244.24 \times 0.18545 \\ &= 416.2 \text{ N.m} \\ &= 416200 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

เกิดโมเมนต์สูงสุดในแนวแกน X

$$\begin{aligned} M_{\text{MAX}} &= 4458 \times 0.18545 \\ &= 826.7 \text{ N} \\ &= 826700 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

โมเมนต์ลัพธ์

$$\begin{aligned} M_{\text{TOTAL}} &= [(416200)^2 + (826700)^2]^{1/2} \\ &= 827746 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

คำนวณ โมเมนต์บิดเนื่องจากการขับให้ลูกเบี้ยวเคลื่อนที่หมุน

$$\begin{aligned} \tau &= F \times r \\ &= 4976.08 (0.125) \\ &= 622.01 \text{ N.m} \\ &= 622010 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

คำนวณหาเส้นผ่าศูนย์กลางของเพลานำมาใช้งานจากสมการ

$$d^3 = \frac{16 \times 10^3}{\pi \tau_d} \sqrt{(C_t T)^2 + (C_m M_{\text{max}})^2} \quad (5.1)$$

กำหนดให้เพลานี้ไม่มีร่องลิ้น

$$\tau_d = 55 \text{ N/mm}^2$$

จากตาราง ก.2 เลือกเป็นเพลานูนมีการกระตุกอย่างแรง

$$\text{จะได้ ค่า } C_m = 2.5 \quad C_t = 2.0$$

$$d^3 = \frac{16}{\pi(55)} \sqrt{(2 \times 622010)^2 + (2.5 \times 827746)^2}$$

$$d = 60.69 \text{ mm} = 6.07 \text{ cm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากเพลามีแรงในการช่วยลดแรงที่เกิดขึ้นจากลูกเบี้ยวและน้ำหนักของเพลาคือจำนวน 3 ชั้น ซึ่งสามารถลดโมเมนต์ที่เกิดขึ้น จึงเลือกสามารถเพลามีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่าที่คำนวณได้ คือ 3.81 cm หรือ 1.5 นิ้ว ซึ่งเหมาะสมกับขนาดเพลาคือจะนำไปออกแบบภายในหม้อน้ำเชื้อ

5.2 การคำนวณและการออกแบบสายพาน

กำหนดให้

ใช้สายพานลิ่ม

กำลังมอเตอร์ (W_p) ขนาด 3 Hp

ความเร็วรอบ n_1 และ n_2 เท่ากับ 600 rpm

ใช้สายพานหน้าตัด "A" ค่า $C = 32.28$ นิ้ว

หาความยาวของสายพานได้เท่ากับ

$$L_p = 2C + \pi \frac{(D+d)}{2} + \frac{(D+d)^2}{4} \quad (5.2)$$

$$L_p = 2(32.28) + \pi \frac{(8.27+3.54)}{2} + \frac{(8.27+3.54)^2}{4}$$

$$L_p = 117.98 \approx 118$$

จากตาราง ก.3 เลือกสายพานที่มีความยาว 120 นิ้ว

หาแรงดึงในสายพาน

$$T = T_1 + T_2 \quad (5.3)$$

$$T_1 = F_1 + \frac{Kb}{d} \quad (5.4)$$

$$T_2 = F_2 + \frac{Kb}{D} \quad (5.5)$$

$$F_1 = F_c + \frac{\Delta F \exp(f\phi)}{\exp(f\phi)^{-1}} \quad (5.6)$$

$$F_c = K_c \left(\frac{V}{1000} \right)^2 \quad (5.7)$$

$$\Delta F = 63025(H_d/nb) \quad (5.8)$$

$$H_d = H_{nom} K_s nd \quad (5.9)$$

nd = ค่า factor การออกแบบให้มีค่า = 1

K_s = ค่า factor การใช้งาน เปิดตาราง ก.7 ให้ Drive Machinery เป็นแบบ Heavy Shock

เลือกค่า $K_s = 1.5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H_{\text{nom}} = 3 \text{ Hp}$$

$$H_d = 3(1.5)(1) = 4.5 \text{ Hp}$$

$$nb \geq \frac{H_d}{H_a}$$

$$H_a = K_1 K_2 H_{\text{tab}}$$

H_a = กำลังส่งที่ยอมรับต่อสายพาน 1 เส้น

K_1 = แฟกเตอร์มุมโอบ ดูตาราง ก.5

K_2 = แฟกเตอร์แก้ความยาวของสายพาน ดูตาราง ก.6

H_{tab} = อัตราส่งกำลัง ดูจากตาราง ก.4

หา K_1 จากตาราง ก.5

$$\theta \text{ มุมโอบ} = \frac{D-d}{c} = \frac{8.27-3.54}{32.28} = 0.146$$

$$\frac{0.1}{0.046} = \frac{1166.5-174.3}{x-174.3}$$

$$\theta = 170.712$$

หาค่า K_1

$$\frac{0.1}{0.046} = \frac{-0.02}{x-0.99}$$

$$0.1x - 0.099 = -0.00092$$

$$x = 0.9808$$

$$K_1 = 0.9808$$

K_2 หาจากตาราง ก.6 A 96-112 ได้ค่า $K_2 = 1.1$

หาค่า H_{tab} $V = \pi dn/12 = \pi(3.54)(600)/12 = 556.06 \text{ ft/min}$

ได้ H_{tab}

$$\frac{2000-500}{1000-500} = \frac{1.31-x}{0.81-x}$$

$$\frac{1500}{500} = \frac{1.31-x}{0.81-x}$$

$$1215 - 1500x = 655 - 500x$$

$$560 = 1000x$$

$$x = 0.56$$

$$H_{\text{tab}} = 0.56$$

$$\therefore H_a = (0.9808)(1.1)(0.56)$$

$$= 0.604$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m_b \geq Hd / Ha$$

$$n_b \geq \frac{4.5}{0.604}$$

$$n_b \geq 7.44 \text{ in}$$

$$n_b = 8 \text{ in}$$

$$\Delta F = \frac{63025(H_d / n_b)}{n(d/2)}$$

$$\begin{aligned} \Delta F &= \frac{63025(4.5/8)}{600(3.54/2)} \\ &= 63.38 \text{ lbf} \end{aligned}$$

$$F_c = K_c \left(\frac{V}{1000} \right)^2 \text{ ค่า } K_c = 0.561 \text{ จากตาราง ก.8}$$

$$F_c = 0.561 \left(\frac{556.06}{1000} \right)^2 = 0.1735 \text{ lbf}$$

$$F_1 = F_c + \frac{\Delta F \exp(f\phi)}{[\exp\{f\phi\} - 1]}$$

$$\theta_d = \pi - 2 \sin^{-1} \left(\frac{P-d}{2c} \right)$$

$$\phi = \theta_d = \pi - 2 \sin^{-1} \left(\frac{8.27 - 3.54}{2(32.28)} \right)$$

$$= 2.99 \text{ rad}$$

ค่า $\exp(f\phi)$ $f = 0.5123$ ตามประกาศของบริษัท Gates Rubber

f = ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานประสิทธิผล

$$F_1 = 0.1735 + \frac{33.38[\exp(0.5123 \times 2.99)]}{\exp(0.5123 \times 2.99) - 1}$$

$$F_1 = 42.758 \text{ lbf}$$

หาแรงดึงเชือก จากตาราง ก.8 ได้ $K_b = 220$

$$\begin{aligned} T_1 &= F_1 + \frac{K_b}{d} \\ &= 42.758 + \frac{220}{3.54} \\ &= 104.9 \text{ lbf} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_2 &= F_1 + \frac{K_b}{D} \\ &= 42.758 + \frac{220}{6.27} \\ &= 69.36 \text{ lbf} \end{aligned}$$

$$T_1 + T_2 = 174.26 \text{ lbf} = 775.15 \text{ N}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 คำนวณหาระยะยุบตัวของสปริง

กำหนดให้ผลิตภัณฑ์และตะกร้ามีน้ำหนักรวมกันเท่ากับ 300 Kg

$$300 \times 9.81 = 2943N$$

จากการตรวจสอบสปริงพบว่าสปริงยุบตัว ลง 4 cm ออกแบบให้มีสปริง 4 ตัว ซึ่งแต่ละตัวมีการรับแรง 735.75 N

เพราะฉะนั้นสามารถคำนวณหาค่านิจของสปริงได้ดังนี้

$$F = kx \quad (5.10)$$

$$735.75 = (0.04)k$$

$$k = 18393.75$$

จากการออกแบบให้ลูกเบ็ยวกลงมาข้งตะกร้ามีระยะแอมพลิจูดในการกดเท่ากับ 1 cm



รูปที่ 5.4 ระยะที่ลูกเบ็ยวกดตะกร้า

รวมระยะที่สปริงจะยุบทั้งหมดในระบบประกอบด้วยระยะกด 1 cm ระยะยุบที่เกิดจากน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ 4 cm และระยะเผื่อการยุบตัวของสปริงอีก 5 cm จะได้ระยะยุบทั้งหมดรวม 10 cm จึงควรออกแบบให้สปริงยาวมากกว่าระยะเหล็กที่ใช้ยึดสปริงรวมกับอีก 10 cm

5.4 การคำนวณหาขนาดมอเตอร์

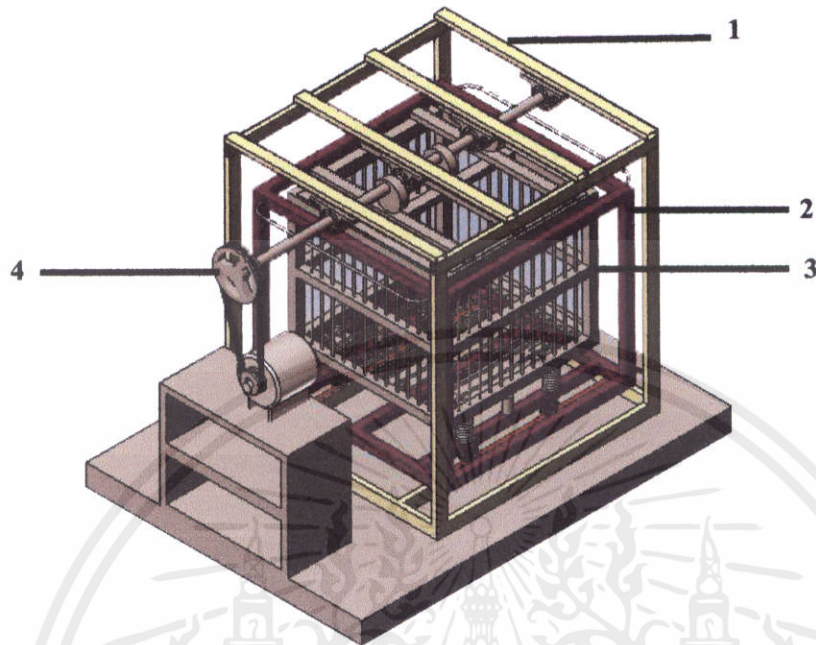
เนื่องจากการทดลองความเร็วรอบที่เหมาะสมเท่ากับ 118 รอบ/นาที ซึ่งในแต่ละรอบต้องการกดให้สปริงยุบตัวลง 1 cm ดังนั้นคำนวณแรงที่ทำให้สปริงยุบตัวลง 1 cm

$$F = kx$$

$$F = 735.5N$$

ดังนั้น ใช้แรง $118 \times 735.5 \text{ N/นาที} = 1446 \text{ watt}$ จาก $746 \text{ watt} = 1 \text{ Hp}$ จะได้ $1446/746 = 1.93 \text{ Hp}$ เพราะฉะนั้นบวกค่า Safe factor เลือกมอเตอร์ 3 Hp

5.5 แบบและส่วนประกอบของหม้อฆ่าเชื้อแบบเขย่า



รูปที่ 5.5 แสดงลักษณะของเครื่องกำจัดเชื้อในหม้อฆ่าเชื้อ

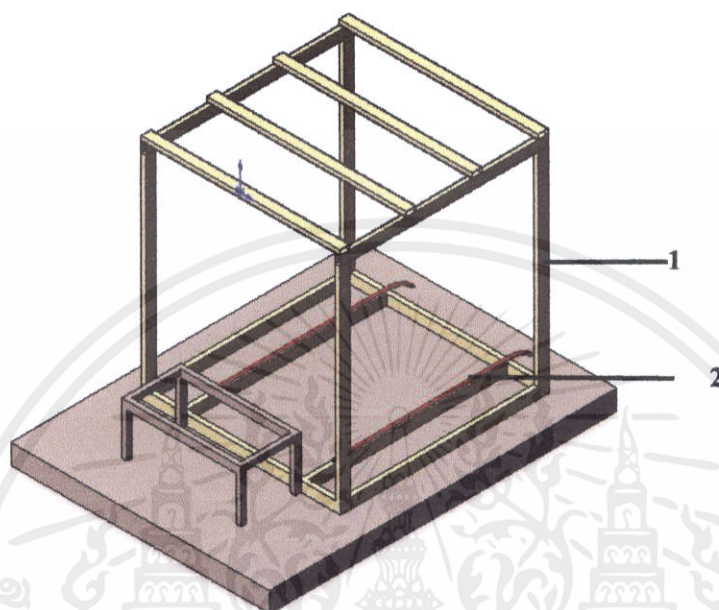
1. โครง
2. ตะกร้าชั้นนอก
3. ตะกร้าชั้นใน
4. อุปกรณ์ส่งกำลังและอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.1 โครง

ส่วนประกอบต่าง ๆ นำมาประกอบกันภายใน โครงสร้างดังภาพ โดยมีขนาด (กว้าง x ยาว x สูง) :

1000 x 1050 x 1150 มิลลิเมตร³



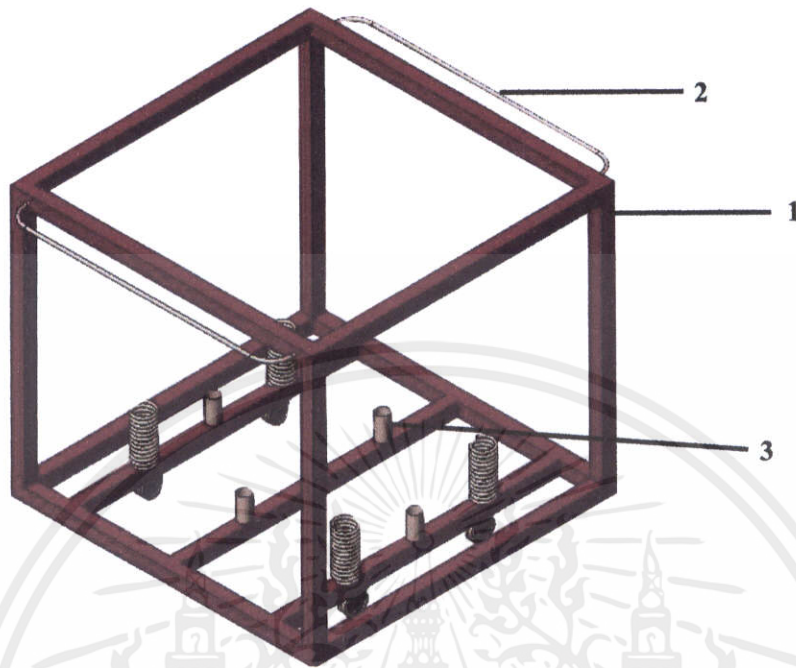
รูปที่ 5.6 โครงสร้าง

ตารางที่ 5.1 ชิ้นส่วนของโครง

หมายเลข	ชื่อชิ้นงาน	จำนวนชิ้นงาน	ขนาดที่ใช้	รายละเอียดปลีกย่อย
1	เหล็กกล่อง	24	2" x 1"	1. ยาว 1000 mm x 8 ชิ้น 2. ยาว 1050 mm x 4 ชิ้น 3. ยาว 1150 mm x 4 ชิ้น 4. ยาว 600 mm x 2 ชิ้น 5. ยาว 220 mm. x 6 ชิ้น
2	เหล็กเส้น	2	φ 13 mm	1. ยาว 1139 mm 2. รัศมีส่วนโค้ง 160 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2 ตะกร้าขึ้นนอก



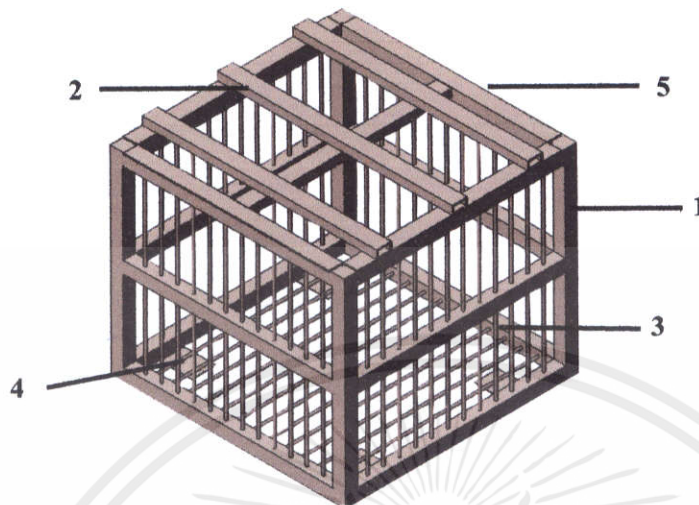
รูปที่ 5.7 ตะกร้าขึ้นนอก

ตารางที่ 5.2 แสดงชิ้นส่วนของตะกร้าขึ้นนอก

หมายเลข	ชื่อชิ้นงาน	จำนวนชิ้นงาน	ขนาดที่ใช้	รายละเอียดปลีกย่อย
1	เหล็กกล่อง	15	1" x 1"	1. ยาว 900 mm x 8 ชั้น 2. ยาว 760 mm x 4 ชั้น 3. ยาว 823 mm x 3 ชั้น
2	เหล็กเส้น	2	ϕ 10 mm	ยาว 790 mm รัศมีส่วนโค้ง 60 mm
3	ท่อเหล็ก	9	ϕ 1"	ยาว 50 mm
4	สปริง	4	ϕ 7.3 mm	สูง 140 mm
5	ล้อ	4	ϕ 63.50 mm	ล้อราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.3 ตะกร้าขี้นิน



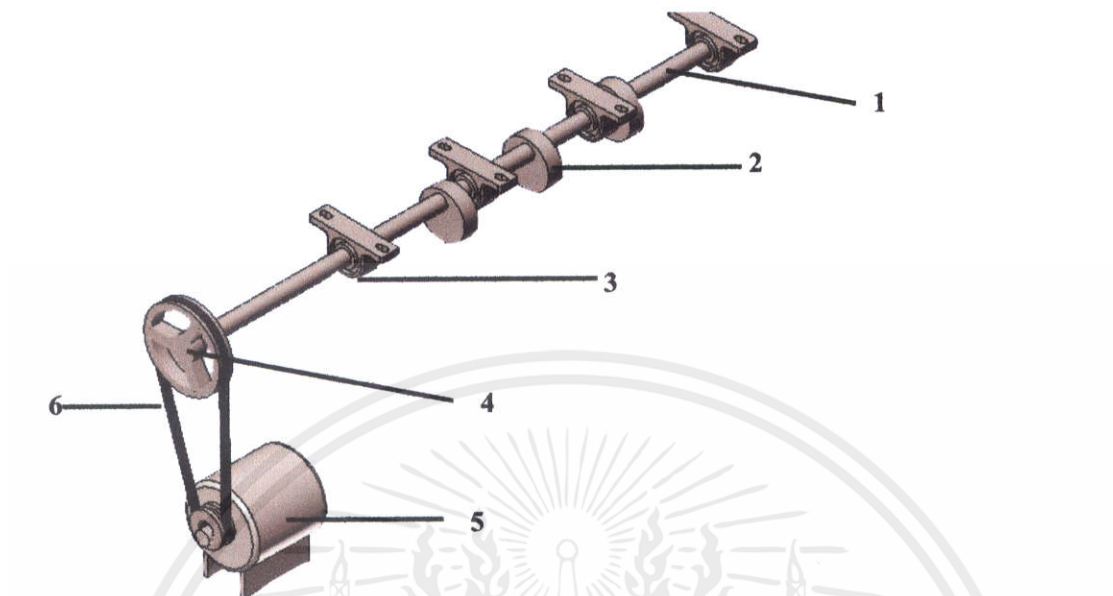
รูปที่ 5.8 ตะกร้าขี้นิน

ตารางที่ 5.3 แสดงรายการชิ้นส่วนของตะกร้าขี้นินอก

หมายเลข	ชื่อชิ้นงาน	จำนวนชิ้นงาน	ขนาดที่ใช้	รายละเอียดปลีกย่อย
1	เหล็กกล่อง	12	1 x 1 นิ้ว	ยาว 730 mm
2	เหล็กกล่อง	3	2 x 1 นิ้ว	ยาว 730 mm
3	เหล็กเส้น	72	8 mm	ยาว 544 mm
4	เหล็กแผ่น	9	75 x 100 mm	หนา 2 mm
5	เหล็กฉาก	4	1 x 1 นิ้ว	ยาว 640 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.4 อุปกรณ์ส่งกำลังและอื่น ๆ



รูปที่ 5.9 อุปกรณ์ส่งกำลังและอื่น ๆ

ตาราง 5.4 แสดงอุปกรณ์รายการชิ้นส่วนและอุปกรณ์ส่งกำลัง

หมายเลข	ชื่อชิ้นงาน	จำนวนชิ้นงาน	ขนาดที่ใช้	รายละเอียดปลีกย่อย
1	เพลาดัน	1	φ 1.5 นิ้ว	ยาว 1500 mm
2	ลูกเบี้ยว	3	φ 125 mm	หนา 1"
3	แบริ่ง	3	φ รุสวม 1 นิ้ว	บอลแบริ่ง แบบแหวนในหมุน
4	ล้อสายพาน	2	φ 210 mm φ 90 mm	
5	มอเตอร์	1	3 Hp	
6	สายพาน	1	หน้าตัด A x 118 นิ้ว	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

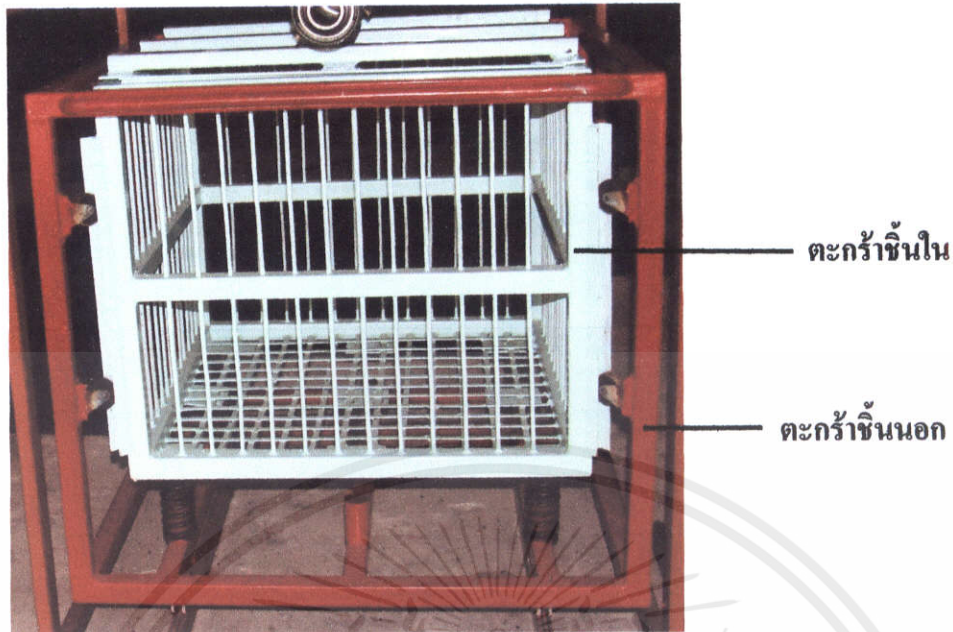


รูปที่ 5.10 ภาพจริงด้านหน้าของเครื่องจำลองการเขย่าในหม้อฆ่าเชื้อ

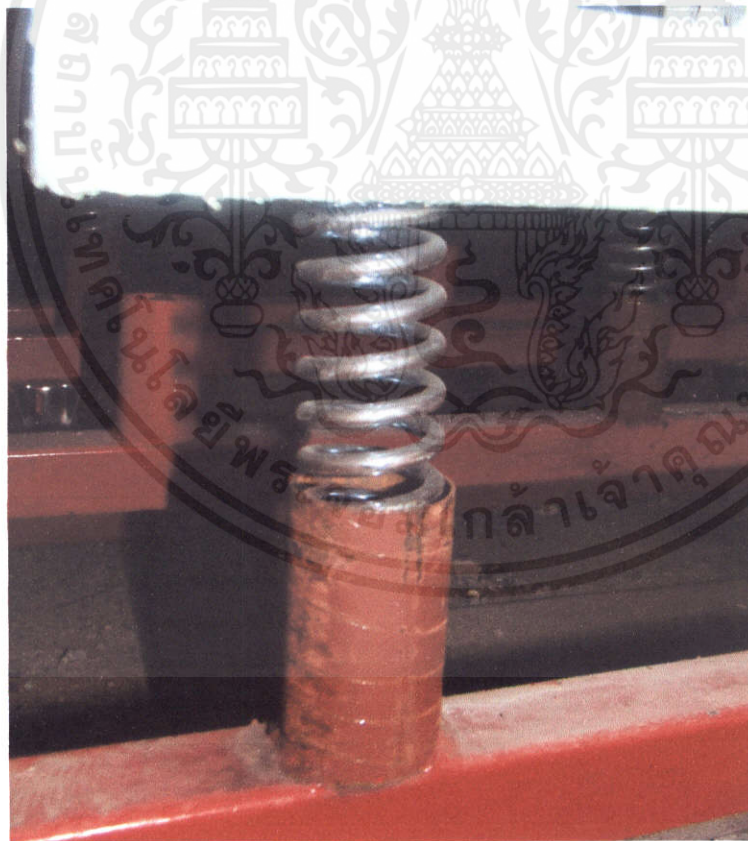


รูปที่ 5.11 ภาพจริงด้านหลังของเครื่องจำลองการเขย่าในหม้อฆ่าเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 ภาพจริงของตะกร้า



รูปที่ 5.13 ภาพจริงของสปริงที่ใช้ในเครื่องจำลองการเขย่าในหม้อฆ่าเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

วิธีทดลองและผลการทดลอง

6.1 อุปกรณ์ที่ใช้

6.1.1 อินเวอร์เตอร์ ใช้สำหรับปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง เพื่อให้ได้ความถี่ตามต้องการ

6.1.2 บรรจุกัมภ์ ที่ภายในบรรจุกัมภ์ได้ทำการบรรจุของเหลวที่มีชิ้นส่วนชิ้นเล็ก ๆ อยู่ภายใน เพื่อไว้สำหรับดูการเคลื่อนที่ภายในของบรรจุกัมภ์ เมื่อใส่บรรจุกัมภ์ลงในแบบจำลองการเขย่าในหม้อฆ่าเชื้อ

6.1.3 บล็อกปูน สำหรับใช้แทนน้ำหนักของบรรจุกัมภ์ที่ 300 กิโลกรัม

6.2 วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง ได้แก่

6.2.1 การทดลองหาอัตราการเขย่าสูงสุด

เมื่อสร้างชิ้นงานเพื่อทดสอบหลักการดังกล่าวแล้วจึงทำการทดลอง โดยใช้อินเวอร์เตอร์ในการปรับค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ระดับต่าง ๆ โดยทดลองให้ตะกร้าบรรจุน้ำหนัก 300 Kg โดยใช้ความเร็วรอบที่ 88, 105, 110, 118 และ 120 รอบ/นาที

6.2.2 การทดสอบและเปรียบเทียบพฤติกรรมของของไหลที่ระดับความถี่ต่าง ๆ

6.2.2.1 นำวัสดุชิ้นเล็ก ๆ ที่ทำสเปคมีน้ำหนักบรรจุกัมภ์ในขวดที่มีปริมาตร 325 ml โดยเว้นช่องว่างเหนืออาหารไว้ 5% ของปริมาตรขวดที่นำมาใช้ในการตรวจสอบ จากนั้นปิดฝาให้สนิทเพื่อไม่ให้เกิดการรั่วซึมของน้ำภายในขวด

6.2.2.2 นำขวดทดลองบรรจุลงในตะกร้าของเครื่อง โดยจะมีลักษณะการวาง 2 แบบ คือ วางขวดในแนวตั้ง และวางขวดในแนวนอน เพื่อสังเกตความแตกต่างของทั้ง 2 ลักษณะ

6.2.2.3 ทำการปรับค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ไปที่รอบต่าง ๆ โดยใช้อินเวอร์เตอร์ จากนั้นสังเกตพฤติกรรมของของไหลและวัสดุชิ้นเล็ก ๆ ภายในขวดทดลอง

6.3 ผลการทดลอง

6.3.1 ผลการทดลองการหาอัตราการเขย่าสูงสุด

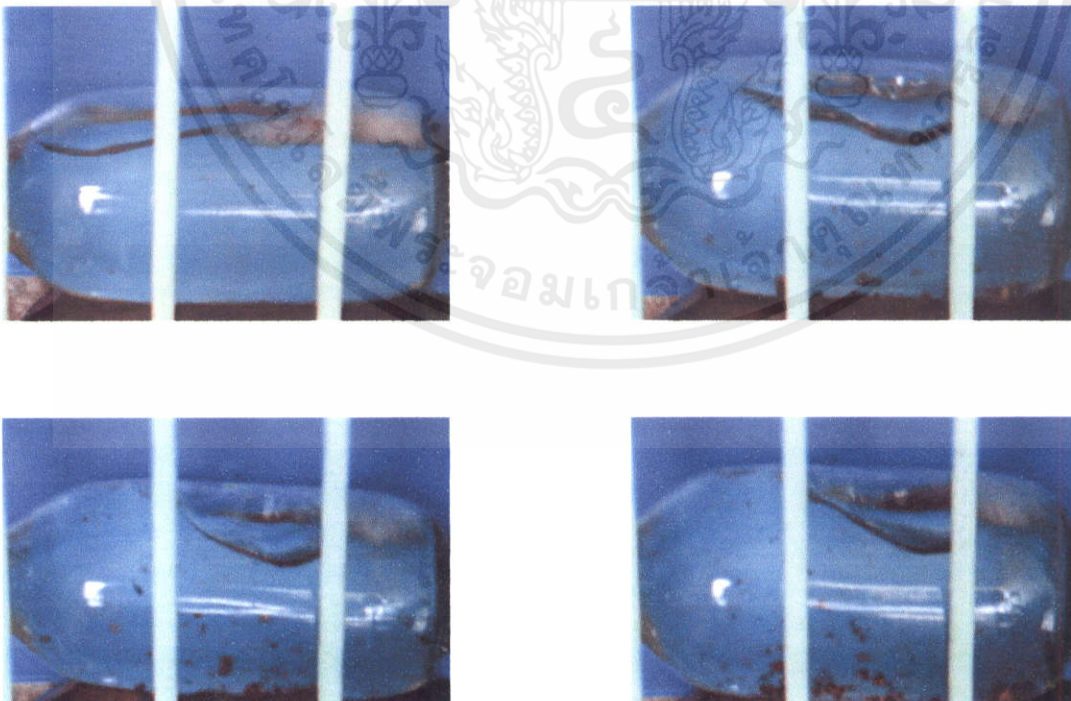
จากการทดลองพบว่าที่ความเร็วรอบ 120 รอบ/นาที สปริงไม่สามารถยึดตัวคั่นตะกร้าให้กลับปรับแรงจากถูกเบียดได้ทันในรอบต่อไป จึงทำให้ความถี่ที่ลูกเบียดกระทบกับตะกร้าน้อยกว่าจำนวนรอบที่ลูก

เบี่ยวนั้นส่งแรงไปยังตะกร้า เพราะฉะนั้นตะกร้าที่รับน้ำหนัก 300 Kg ควรใช้ความเร็วรอบ 118 รอบ/นาที จะได้อัตราการเขย่าที่สูงที่สุด

6.3.2 ผลการทดสอบและเปรียบเทียบพฤติกรรมของของไหลที่ระดับความถี่ต่าง ๆ

6.3.2.1 วางผลิตภัณฑ์ในแนวตั้ง ทำการทดสอบที่ความถี่ต่าง ๆ เพื่อสังเกตพฤติกรรมของของไหล โดยสังเกตจากความปั่นป่วนของวัสดุชิ้นเล็ก ๆ ที่เกิดขึ้นภายในขวดทดลอง ซึ่งจากการสังเกตนั้นพบว่าที่ค่าความเร็วรอบสูงความปั่นป่วนของวัสดุชิ้นเล็ก ๆ ในขวดทดลองก็จะสูงตามไปด้วย สรุปก็คือวัสดุชิ้นเล็ก ๆ ภายในขวดทดลองจะมีความเร็วในการเคลื่อนที่เพิ่มมากขึ้นตามความเร็วรอบ

6.3.2.2 วางผลิตภัณฑ์ในแนวนอน ลักษณะของผลการทดลองเป็นไปในแนวโน้มเดียวกันกับการวางในแนวตั้ง แต่จะสังเกตเห็นการเคลื่อนที่ที่เกิดจากแนวแกนอื่นนอกจากการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง คือสังเกตเห็นการเคลื่อนที่ในแนวซ้าย-ขวา ซึ่งเป็นผลมาจากการออกแบบให้รางของตะกร้าขึ้นในและล้อของตะกร้าขึ้นนอก ซึ่งใช้ในการบังคับให้ตะกร้าทั้ง 2 ตะกร้าสัมผัสกันนั้นมีช่องว่างเล็กน้อยเพื่อเว้นช่องว่างไว้สำหรับการขยายตัวของเหล็กเมื่อได้รับความร้อนที่มีอุณหภูมิสูง แต่ช่องว่างนี้กลับทำให้ตะกร้าในเกิดการเคลื่อนที่ไปในแนวซ้าย-ขวาค้าง เนื่องจากการส่งแรงของลูกเบี่ยวนั้นมีทั้งการส่งแรงที่มีทิศตามแนวแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกและแรงเนื่องจากการเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ซึ่งมาปะทะกับฝาของตะกร้าในลักษณะที่ทำมุม θ กัน จึงเกิดแรงที่ทำให้ตะกร้าเคลื่อนที่ไปในแนวซ้าย-ขวา โดยการทดลองนี้ทำให้วัสดุชิ้นเล็ก ๆ เคลื่อนที่ไปใน 2 ทิศทาง และมีความปั่นป่วนมากกว่าการวางขวดทดลองไว้ในแนวตั้ง เนื่องมาจากทิศทางซ้าย-ขวาเป็นการเคลื่อนที่หนีแรงที่เกิดเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



รูปที่ 6.1 การเคลื่อนที่วัสดุชิ้นเล็ก ๆ ในแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

บทวิจารณ์และสรุปผล

- 1) หลักการเขย่าที่ออกแบบขึ้นสามารถทำให้เกิดการเขย่าในบรรจุภัณฑ์ขณะที่ให้ความร้อนตามที่คาดการณ์ไว้ แต่อัตราการเขย่าหรือรอบการหมุนของเพลจะถูกควบคุม/จำกัดความเร็วด้วยความเร็วในการค้นตัวกลับของสปริงที่รองรับตะกร้าขึ้นใน งานวิจัยนี้ความเร็วรอบที่ใช้ในการเขย่าสูงสุดก็คือ 118 รอบ/นาที สำหรับตะกร้าที่บรรจุผลิตภัณฑ์น้ำหนัก 300 Kg ถ้าต้องการเพิ่มความเร็วในการกวดให้มากขึ้นทำได้โดยการเพิ่มจำนวนสปริงเพื่อให้มีการกระจายแรงมากขึ้น และส่งแรงให้ตัวสปริงยึดเพื่อที่จะกลับมากระทบกับลูกเบียร์ได้ทัน
- 2) การวางกระป๋อง หรือขวดบรรจุภัณฑ์จะต้องวางในแนวขนานกับการหมุนของลูกเบียร์เพื่อให้เกิดความปั่นป่วนภายในอาหารหรือเครื่องดื่มมากที่สุด
- 3) ระยะห่างระหว่างตะกร้าภายในกับตะกร้าภายนอกควรมีระยะห่างกันเล็กน้อยเพื่อให้เกิดการเขย่าได้มากกว่า 1 ทิศทาง จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้น
- 4) การดัดแปลงหม้อฆ่าเชื้อให้เกิดการเขย่าได้นั้นต้องมีการออกแบบที่ดีเพื่อป้องกันการเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่ติดตั้งเบรคนั้นจะต้องมีการกระจายแรงหรือเพิ่มวัสดุเพื่อให้โครงสร้างบริเวณนั้นมีความแข็งแรงสูงสุด
- 5) ในทางปฏิบัติ การจัดเรียงกระป๋องลงในตะกร้ายังไม่สามารถป้องกันการเกิดความเสียหายของกระป๋องที่เกิดจากการเสียดสีจากการเขย่าได้ โดยจะต้องมีการออกแบบในระบบดังกล่าวเพื่อให้มีความสมบูรณ์ในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตาราง ก.1 ขนาดระบุของเพลามาตรฐาน ISO/R775-1969

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น mm				
6	25	70	130	240
7	30	75	140	260
8	35	80	150	280
9	40	85	160	300
10	45	90	170	320
12	50	95	180	340
14	55	100	190	360
18	60	110	200	380
20	65	120	220	

ตาราง ก.2 ค่าตัวประกอบความล้า

ชนิดของแรง	C_m	C_t
เพลายูนิ่ง :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ	1.0	1.0
แรงกระตุก	1.5-2.0	1.5-2.0
เพลาทมุน :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ	1.5	1.0
แรงกระตุกอย่างเบา	1.5-2.0	1.0-1.5
แรงกระตุกอย่างแรง	2.0-3.0	1.5-3.0

ตาราง ก.3 ขนาดเส้นรอบวงภายในของสายพานรูปตัววีขนาดต่าง ๆ

Section	Circumference, in
A	26, 31, 33, 35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 66, 68, 71, 75, 78, 80, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128
B	35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 65, 66, 68, 71, 75, 78, 79, 81, 83, 85, 90, 93, 97, 100, 103, 105, 112, 120, 128, 131, 136, 144, 158, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300
C	51, 60, 68, 75, 81, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128, 136, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420
D	120, 128, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660
E	180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.4 อัตราการส่งกำลังของสายพานรูปตัววีขนาดมาตรฐาน

Belt Section	Sheave Pitch Diameter, in	Belt Speed, ft/min				
		1000	2000	3000	4000	5000
A	2.6	0.47	0.62	0.53	0.15	
	3.0	0.66	1.01	1.12	0.93	0.38
	3.4	0.81	1.31	1.57	1.53	1.12
	3.8	0.93	1.55	1.92	2.00	1.71
	4.2	1.03	1.74	2.20	2.38	2.19
	4.6	1.11	1.89	2.44	2.69	2.58
	5.0 and up	1.17	2.03	2.64	2.96	2.89
B	4.2	1.07	1.58	1.68	1.26	0.22
	4.6	1.27	1.99	2.29	2.08	1.24
	5.0	1.44	2.33	2.80	2.76	2.10
	5.4	1.59	2.62	3.24	3.34	2.82
	5.8	1.72	2.87	3.61	3.85	3.45
	6.2	1.82	3.09	3.94	4.28	4.00
	6.6	1.92	3.29	4.23	4.67	4.48
	7.0 and up	2.01	3.46	4.49	5.01	4.90
C	6.0	1.84	2.66	2.72	1.87	
	7.0	2.48	3.94	4.64	4.44	3.12
	8.0	2.96	4.90	6.09	6.36	5.52
	9.0	3.34	5.65	7.21	7.86	7.39
	10.0	3.64	6.25	8.11	9.06	8.89
	11.0	3.88	6.74	8.84	10.0	10.1
	12.0 and up	4.09	7.15	9.46	10.9	11.1
D	10.0	4.14	6.13	6.55	5.09	1.35
	11.0	5.00	7.83	9.11	8.50	5.62
	12.0	5.71	9.26	11.2	11.4	9.18
	13.0	6.31	10.5	13.0	13.8	12.2
	14.0	6.82	11.5	14.6	15.8	14.8
	15.0	7.27	12.4	15.9	17.6	17.0
	16.0	7.66	13.2	17.1	19.2	19.0
	17.0 and up	8.01	13.9	18.1	20.6	20.7
E	16.0	8.68	14.0	17.5	18.1	15.3
	18.0	9.92	16.7	21.2	23.0	21.5
	20.0	10.9	18.7	24.2	26.9	26.4
	22.0	11.7	20.3	26.6	30.2	30.5
	24.0	12.4	21.6	28.6	32.9	33.8
	26.0	13.0	22.8	30.3	35.1	36.7
	28.0 and up	13.4	23.7	31.8	37.1	39.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.5 แฟกเตอร์แก้ไขมุมโอบสำหรับสายพานรูปตัววี, K_1

$\frac{D-d}{C}$	θ , deg	VV K_1	V Flat
0.00	180	1.00	0.75
0.10	174.3	0.99	0.76
0.20	166.5	0.97	0.78
0.30	162.7	0.96	0.79
0.40	156.9	0.94	0.80
0.50	151.0	0.93	0.81
0.60	145.1	0.91	0.83
0.70	139.0	0.89	0.84
0.80	132.8	0.87	0.85
0.90	126.5	0.85	0.85
1.00	120.0	0.82	0.82
1.10	113.3	0.80	0.80
1.20	106.3	0.77	0.77
1.30	98.9	0.73	0.73
1.40	91.1	0.70	0.70
1.50	82.8	0.65	0.65

ตาราง ก.6 แฟกเตอร์แก้ไขความยาวของสายพาน, K_2

Length Factor	Nominal Belt Length, in				
	A Belts	B Belts	C Belts	D Belts	E Belts
0.85	Up to 35	Up to 46	Up to 75	Up to 128	
0.90	38-46	48-60	81-96	144-162	Up to 210
0.95	48-55	62-75	105-120	173-210	210-240
1.00	60-75	78-97	128-158	240	270-330
1.05	78-90	105-120	162-195	270-330	330-390
1.10	96-112	128-144	210-240	360-420	420-480
1.15	120 and up	158-180	270-300	480	540 and up
1.20		195 and up	330 and up	540 and up	600 and up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.7 แฟกเตอร์การใช้งาน, K_s สำหรับชุดขับเคลื่อนด้วยสายพานรูปตัววี

Driven Machinery	Source of Power	
	Normal Torque Characteristic	High or Nonuniform Torque
Uniform	1.0 to 1.2	1.1 to 1.3
Light shock	1.1 to 1.3	1.2 to 1.4
Medium shock	1.2 to 1.4	1.4 to 1.6
Heavy shock	1.3 to 1.5	1.5 to 1.8

ตาราง ก.8 แฟกเตอร์สำหรับสายพานรูปตัววี

Belt Section	K_b	K_c
A	220	0.561
B	576	0.965
C	1 600	1.716
D	5 680	3.498
E	10 850	5.041
3V	230	0.425
5V	1098	1.217
8V	4830	3.288

Data courtesy of Gates Rubber Co., Denver, Colo.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล, **โครงการศึกษาและพัฒนาศักยภาพผู้ผลิตอาหารกระป๋องที่มีความเป็นกรดต่ำ เพื่อการบังคับใช้.**
- [2] สถาบันอาหาร, **หลักการผลิตและนำเชื้ออาหารในภาชนะปิดสนิทด้วยความร้อน (Principle of Thermally Process for food in Hermetically Sealed Container),** กันยายน 2547.
- [3] วิไล รังสาตทอง, **เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร, ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, พิมพ์ครั้งที่ 3.** 2546.
- [4] Satori Stocktec, **Fresher Better tasting Long shelf life ambient foods,** February 2006.
- [5] ภาณุฤทธิ์ ชุกตะทัต, **การออกแบบเครื่องจักรกล 2, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท็อป.** 2548.
- [6] Unknown, Available : <http://conceptfc.en.alibaba.com>
- [7] วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน, 2536, **การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน),** หน้า 228-238.
- [8] มานพ ต้นตระกูลชัย, **สำลี แสงห้าว, สุทิน จิตเจริญ, ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล.**
- [9] Unknow, Available : http://www.gprecision.net/machine/machine_parts_chain.html
- [10] บริษัท ซีลเทค อินคัสตรีส์ จำกัด, **Mechanical Seals Handbook.** 2001.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้