การพัฒนาอุปกรณ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวสำหรับสุนัข

นายเมธี ชลไมตรี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545
ISBN 974-17-2409-8
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF A BACTERIA SYERILIZATION APPARATUS FOR MUNCHY AND RAWHIDE DOG CHEWS

Mr. Methee Chonmaitree

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-2409-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาอุปกรณ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวสำหรับสุนัข
โดย	นายเมธี ชลไมตรี
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริพร ดำรงค์ศักดิ์กุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริพร ดำรงค์ศักดิ์กุล)

.....กรรมการ

(ดร. เหมือนเดือน พิศาลพงศ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมธี ชลไมตรี : การพัฒนาอุปกรณ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวสำหรับสุนัข (DEVELOPMENT OF A BACTERIA SYERILIZATION APPARATUS FOR MUNCHY AND RAWHIDE DOG CHEWS) อ.ที่ปรึกษา: ศ.ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, อ.ที่ปรึกษาร่วม: ผศ. ดร. ศิริพร ดำรงค์ศักดิ์กุล, 196 หน้า. ISBN 974-17-2409-8

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาและสร้างอุปกรณ์นำร่องสำหรับฆ่าเชื้อแบคทีเรียSalmonellaที่จงใจใส่ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวสำหรับสุนัข พร้อมทั้งหาเงื่อนไขที่เหมาะสมกับการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย Salmonella อย่างสมบูรณ์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบอุปกรณ์ฆ่าเชื้อดังกล่าวในระดับอุตสาหกรรม โดยผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาทดลอง คือ กระดูกอัดขนาด 12 นิ้ว เพราะมีขนาดใหญ่ที่สุดและฆ่าเชื้อให้หมดได้ยาก เงื่อนไขการฆ่าเชื้อที่นำมาพิจารณา ได้แก่ อุณหภูมิภายในกึ่งกลางของปลายด้านหนึ่งของชิ้นกระดูก, ความดันภายในเครื่องฆ่าเชื้อ, ระยะเวลาที่ให้ความร้อน และความชื้นหรือน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์ จากนั้นจะทำการออกแบบอุปกรณ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรียในระดับอุตสาหกรรม โดยมีอัตราการผลิตประมาณ 150 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ผลการทดลองในเครื่องระดับโต๊ะทดลอง(Bench Scale) โดยใช้หม้อนึ่งความดันไอ พบว่าวิธีการให้ความร้อนด้วยไอน้ำความดันต่ำ สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย Salmonella ที่จงใจใส่ภายในส่วนลึกของผลิตภัณฑ์ได้หมด โดยใช้เงื่อนไขคือ ควบคุมอุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูกไม่ต่ำกว่า 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ในแง่คุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการทดลอง พบว่า ผิวผลิตภัณฑ์เป็นขุย ปริออกมา และมีสีซีด เมื่อทดลองแก้ปัญหาโดยการนำผลิตภัณฑ์ไปหุ้มด้วยถุงพลาสติกที่ทนร้อน แล้วนำไปทำการทดลองฆ่าเชื้อ พบว่า ลักษณะภายนอกและสีของชิ้นกระดูกหลังการทดลองมีสภาพดีขึ้นและใกล้เคียงกับก่อนการทดลอง แต่โดยรวมแล้วต้องต้องเสียเวลาในการใส่กระดูกแต่ละชิ้นในถุงและรัดปากถุงด้วยหนังสติ๊ก และใช้เวลาในการฆ่าเชื้อเพิ่มขึ้นประมาณ 50% เมื่อเทียบกับกรณีไม่หุ้มด้วยถุงร้อน ซึ่งจะนำไปสู่ค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นและผลผลิตที่ต่ำลงค่อนข้างมาก ในกรณีไม่หุ้มด้วยถุงร้อนผลการทดลองที่อุณหภูมิให้ความร้อนสูงขึ้นโดยการเพิ่มความดันไอน้ำเป็นระยะเวลาสั้นลง ในช่วงแรกของการให้ความร้อน (Initial Heating Phase) ปรากฏว่า สามารถลดระยะเวลาการให้ความร้อนได้ ประมาณ 5 นาทีจากเดิมประมาณ 20 นาที แต่ลักษณะของผิวผลิตภัณฑ์หลังการทดลอง พบว่า ผิวยังเป็นขุย สีซีดลง และหนังยังคงปริอยู่พอสมควร อนึ่งได้ทำการทดลองโดยลดปริมาณน้ำที่ใส่ในหม้อนึ่งความดันไอก่อนเริ่มการทดลองจาก 500 มิลลิลิตรซึ่งมากเกินพอ เหลือ 20-10 มิลลิลิตร ผลการทดลองพบว่า ลักษณะของผิวชิ้นกระดูกเป็นขุยน้อยลง หนังไม่ปริ แต่ผิวนอกจะดูแห้งมาก และเกิดการพองตัว อีกทั้งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์จะลดลงในกรณี 10 มิลลิลิตร ซึ่งหมายความว่า เกิดการลดของความชื้นคงเหลือในชิ้นกระดูกหลังฆ่าเชื้อ จึงสรุปได้ว่า ในกรณีการใช้หม้อนึ่งความดันไอ มีค่าเหมาะสมของปริมาณน้ำที่ใส่ไว้ตอนแรกในหม้อนึ่งความดันไอ คือ 20 มิลลิลิตร

ผลการทดลองในเครื่องระดับนำร่องที่ออกแบบและประกอบขึ้นที่โรงงานของบริษัท เวิลด์เพ็ทอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด พบว่า วิธีการให้ความร้อนโดยตรงโดยใช้ไอน้ำ และการให้ความร้อนแบบแห้งโดยการแผ่รังสีผ่านผนังในเครื่องนำร่อง และวิธีใช้ลมร้อนในเครื่องอบแห้งขนาดใหญ่ของโรงงาน ในแง่คุณภาพผลิตภัณฑ์ ผิวผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงจากระดับมากไปน้อยตามวิธีการให้ความร้อน ดังนี้ การใช้ไอน้ำ > การให้ความร้อนผ่านผนัง > การใช้ลมร้อน ตามลำดับ ในขณะที่พิจารณาแง่การฆ่าเชื้อพบว่าการให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำ สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย Salmonella ได้หมด แต่การให้ความร้อนผ่านผนังและการใช้ลมร้อน ไม่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย Salmonella ได้หมด

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น การออกแบบเครื่องฆ่าเชื้อในระดับอุตสาหกรรมโดยมีอัตราการผลิตประมาณ 150 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จึงได้เลือกใช้วิธีการให้ความร้อนโดยตรงโดยใช้ไอน้ำ ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ ส่วนควบคุมการป้อนไอน้ำ, ส่วนตัวเครื่องฆ่าเชื้อ และส่วนการดึงสุญญากาศ รายละเอียดของผลการออกแบบในเชิงวิศวกรรมมีอยู่ใน บทที่ 8 ของวิทยานิพนธ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่อนิสิต	เมธี ชลไมตรี
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา	ศ.ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล
ปีการศึกษา	2545	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

4270498721: MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: SAMONELLA/ DIRECT STEAM/ BACTERIA STERILIZATION/ DOG CHOW/ PET FOOD.

METHEE CHONMAITREE: DEVELOPMENT OF A BACTERIA SYERILIZATION APPARATUS FOR MUNCHY ANDRAWHIDE DOG CHEWS. THESIS ADVISOR: PROF. WIWUT TANTHAPANICHAKOON, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR: ASSIST. PROF. SIRIPORN DAMRONGSAKKUL Ph.D. 196 pp. ISBN 974-17-2409-8

This work is devoted to the development and construction of a pilot-scale sterilizer for use in sterilizing an intentionally contaminated with rowhide dogchew product Salmonella Bacteria. The optimum condition for complete sterilization is also determined for use in the design of a industrial sterilizer. The 12-inch rowhide dogchew, which is of the largest product size and hardest to completely sterilize, is used in the sterilization experiments. The effects on sterilization process of four operating conditions, i.e. internal middle temperature at one end of a sample, internal pressure of the sterilizer, temperature-holding time and final moisture or the increase in sample weight, are experimentally studied. The experimental results are used in the design and sizing of an industrial sterilizer at a production rate of 150 kg/h.

Experimental results from a bench-scale autoclave show that complete sterilization was achieved by low-pressure steam heating at a controlled sample's internal temperature of 70°C maintained for 15 minutes. The sample surface is observed to be napped, parted and paler in color. An effort to overcome the quality deterioration is carried out by wrapping the dogchew with heat-resistance plastic bags before starting the sterilization process, and it is found, after sterilization, that the sample surface appeared better and almost the same as that before sterilization. However, it results in increased operating time for both the wrapping and 50% longer holding time with lead to higher operating cost and much lowered productivity. For sterilization of unwrapped dogchew, increased the heating temperature at the initial heating phase by briefly increasing steam pressure is observed to reduce heating time for 5 minutes out of 30 minutes. In addition, experiments were conducted at a decreased initial volume of water from 500 ml to 20-10 ml in the autoclave. The experimental results show improvement in the sample surface with less napping and negligible parting but, in the case 10 ml of water, the sample surface was dry and swollen. The final sample weight also decreased due to loss in its moisture quantity. This indicates that the optimum content of water filled in the autoclave is 20 ml.

Additional, experiments were conducted using a pilot-scale sterilizer designed fabricated and set up at World Pet International Co., LTD. The effects on sample surface quality of three types of heating modes, i.e. direct steam heating and heating by thermal radiation from the wall in the pilot-scale unit and heating by hot air in a full-scale dryer, were studied. From the experiments, it is found that the in decreasing order of surface quality effect of these three heating modes is direct steam heating, heating by radiation and heating by hot air. In view of sterilizing effectiveness, a complete sterilization was achieved only by the direct steam heating method whereas, the other two heating modes failed to give complete sterilization.

The design and sizing of an industrial sterilizer is carried out at a production rate of 150 kg/h composed of three main sections, i.e. steam supply contraller, sterilizing vessel and vacuum maker is carried out. Chapter 8 of this thesis is devoted to a complete detail of the description of the sterilizer.

Department Chemical Engineering Student's signature Methee Chonmaitree

Field of study Chemical Engineering Advisor's signature Wiwut Tanthapanichakoon

Academic year 2002 Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากหลายๆ ท่าน ผู้ทำวิจัยของกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และหัวหน้าโครงการสนับสนุนผู้ปฏิบัติการวิจัยในภาคอุตสาหกรรมที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำต่างๆ ในการทำวิจัยตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริพร ดำรงค์ศักดิ์กุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม สำหรับคำปรึกษาต่างๆ และแก้ไขเพิ่มเติมส่วนที่บกพร่องของงานวิจัยนี้ คุณวิกิจ ดำรงค์ศักดิ์กุล ที่ช่วยให้การช่วยเหลือและดูแลระหว่างที่ทำการวิจัยที่โรงงาน

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล ประธานกรรมการ และ ดร. เหมือนเดือน พิศาลพงศ์ กรรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ บริษัท เวิลด์เพ็ท อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด คุณต่าย คุณกรด และพนักงานทุนคนที่ให้การช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกต่างๆ ในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ บริษัท S.A.P. Laboratory จำกัด อาจารย์ อรุณ บ่างตระกูลนนท์ คุณจรัญ พี่หนึ่ง และเตียว สำหรับการฉีดและตรวจวิเคราะห์เชื้อ และให้ความรู้ต่างๆเกี่ยวกับเชื้อ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากโครงการการสนับสนุนผู้ปฏิบัติการวิจัยในภาคอุตสาหกรรม (IRAS) สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) บริษัท เวิลด์เพ็ท อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัดและ บัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้องทุกคนที่เข้าใจ ให้กำลังใจ ความหวังดีและความช่วยเหลือด้านค่าใช้จ่ายต่างๆ ระหว่างทำงานวิจัยของผู้วิจัย จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

งานวิจัยชิ้นนี้คงไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้เลยหากปราศจาก พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ในห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีอนุภาคและกระบวนการวัสดุ ป้อม โต้ง ต่าย บาส เบียร์ หนึ่ง และเพื่อนๆ บางมดที่ได้คอยให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์จนทำให้งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฒ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 มูลเหตุจูงใจ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวสำหรับสุนัข	3
2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเชื้อแบคทีเรีย Salmonella	9
2.3 วิธีการตรวจวิเคราะห์เชื้อแบคทีเรีย Salmonella	14
2.4 หลักการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ด้วยความร้อน	15
3. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
4. วิธีการทดลองในเครื่องระดับ Bench Scale	24
4.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง	24
4.2 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	24
4.3 วิธีการทดลอง	33
5. ผลการทดลองและอภิปรายผลสำหรับการทดลองในเครื่องระดับ Bench Scale	35
5.1 ผลการทดลองและอภิปรายในส่วนของคุณภาพผลิตภัณฑ์	35
5.1.1 ผลการทดลองเมื่อหุ้มชิ้นผลิตภัณฑ์ด้วยถุงร้อน	40
5.1.2 ผลของความดันที่ควบคุมภายในหม้อนึ่งความดันไอ	42

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.1.3 ผลของปริมาณน้ำที่ใส่ภายในหม้อนึ่งความดันไอ.....	44
5.2 ผลการทดลองและอภิปรายในส่วนการฆ่าเชื้อ.....	46
6. วิธีการทดลองในเครื่องระดับนำร่อง.....	50
6.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง.....	50
6.2 การออกแบบและจัดสร้างเครื่องระดับนำร่อง.....	50
6.3 วิธีการทดลอง.....	56
7. ผลการทดลองและอภิปรายผลสำหรับการทดลองในเครื่องระดับนำร่อง.....	59
7.1 ผลการทดลองและอภิปรายในส่วนของคุณภาพผลิตภัณฑ์.....	60
7.1.1 ผลของอากาศในเครื่องระดับนำร่องสำหรับการให้ความร้อนด้วยไอน้ำความดันต่ำ.....	64
7.1.2 ผลของอากาศในเครื่องระดับนำร่องสำหรับการให้ความร้อนผ่านผนัง.....	66
7.1.3 ผลการฆ่าเชื้อโดยใช้ลมร้อน(ใช้ตู้ลมร้อนในโรงงาน).....	68
7.2 ผลการทดลองและอภิปรายในส่วนการฆ่าเชื้อ.....	69
8. การคำนวณออกแบบเครื่องฆ่าเชื้อระดับอุตสาหกรรม.....	71
8.1 รูปแบบของการฆ่าเชื้อ.....	72
8.2 การดำเนินงาน.....	74
8.3 ฐานการออกแบบ.....	75
8.4 การออกแบบเชิงวิศวกรรม.....	76
8.5 สรุปการออกแบบ.....	85
8.6 ตัวแปรที่ควรศึกษาภายหลังจากการสร้างเครื่องฆ่าเชื้อ.....	86
9. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	87
9.1 สรุปผลการวิจัย.....	87
9.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม.....	89
รายการอ้างอิง.....	90
ภาคผนวก.....	92
ภาคผนวก ก ตารางไอน้ำอิ่มตัว.....	93
ภาคผนวก ข วิธีการเพาะเลี้ยงและตรวจเชื้อ Salmonella.....	100
ภาคผนวก ค การคำนวณออกแบบเครื่องระดับนำร่อง.....	115

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ง รูปผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังการทดลองในเครื่องระดับ Bench Scale..... 127

ภาคผนวก จ รูปผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังการทดลองในเครื่องระดับนำร่อง..... 159

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 196

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงรายละเอียดของกระดูกอัด.....	4
2.2	แสดงรายละเอียดของชิ้นขบเคี้ยว.....	7
2.3	ตัวอย่างการระบาดของเชื้อ Salmonella ในสถานที่ต่างๆ.....	13
2.4	แสดงตัวอย่าง Heat Content ของน้ำและไอน้ำ.....	15
5.1	สรุปเงื่อนไขและผลการทดลองเพื่อสังเกตคุณภาพผลิตภัณฑ์กรณีไม่ใส่เชื้อเข้าไปในกึ่งกลางชิ้นกระดูก.....	36
5.2	สรุปเงื่อนไขและผลการทดลองเพื่อสังเกตผลการฆ่าเชื้อกรณีใส่เชื้อเข้าไปในกึ่งกลางชิ้นกระดูก.....	48
7.1	สรุปเงื่อนไขและผลการทดลองในเครื่องระดับนำร่องเพื่อสังเกตคุณภาพผลิตภัณฑ์กรณีไม่ใส่เชื้อเข้าไปในกึ่งกลางชิ้นกระดูก.....	61
7.2	สรุปเงื่อนไขและผลการทดลองในเครื่องระดับนำร่องเพื่อสังเกตผลการฆ่าเชื้อกรณีใส่เชื้อเข้าไปในกึ่งกลางชิ้นกระดูก.....	71

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	รูปกระดูกอัดขนาดต่างๆ.....	3
2.2	ผังกระบวนการผลิตกระดูกอัด(Rawhide).....	5
2.3	ชิ้นขบเคี้ยวขนาดต่างๆ.....	6
2.4	ผังกระบวนการผลิตชิ้นขบเคี้ยว(Munchy).....	8
2.5	เชื้อแบคทีเรีย Salmonella.....	10
2.6	การทำให้เกิดโรคเอนเทอริก(Enteric Fever).....	12
2.7	การนำความร้อนมีลักษณะเป็นการแพร่กระจายพลังงาน.....	16
2.8	Deep Vacuum Cycle ของการSterilization ที่อุณหภูมิ 132 องศาเซลเซียส.....	19
4.1	หม้อนึ่งความดันไอ(Autoclave).....	24
4.2	Air Ejector.....	25
4.3 ก	Sheath Thermocouple.....	26
4.3 ข	เครื่องวัดอุณหภูมิแบบเคลื่อนที่ได้(Portable Thermometer).....	26
4.3 ค	จอแสดงผล.....	26
4.3 ง	สวิทซ์วัดอุณหภูมิหลายจุด.....	26
4.4	เครื่องอัดอากาศ(Air Compressor).....	27
4.5	เครื่องคอมพิวเตอร์(Personal Computer).....	27
4.6	เครื่องชั่งน้ำหนัก.....	28
4.7	กล้องถ่ายภาพ วีดีโอ (Digital V.D.O. Camera)	28
4.8	เตาแก๊สและถังแก๊ส.....	29
4.9	ไดอะแกรมของชุดอุปกรณ์การทดลองในเครื่องระดับ Bench Scale.....	31
4.10 ก	ภาพถ่ายของชุดอุปกรณ์การทดลองในเครื่องระดับ Bench Scaleชุดอุปกรณ์การทดลองในเครื่องระดับ Bench Scale: ส่วนการให้ความร้อน.....	32
4.10 ข	ภาพถ่ายของชุดอุปกรณ์การทดลองในเครื่องระดับ Bench Scaleชุดอุปกรณ์การทดลองในเครื่องระดับ Bench Scale: ส่วนการสร้างสุญญากาศ.....	32
4.10 ค	ภาพถ่ายของชุดอุปกรณ์การทดลองในเครื่องระดับ Bench Scaleชุดอุปกรณ์การทดลองในเครื่องระดับ Bench Scale: คอมพิวเตอร์และเครื่องวัดอุณหภูมิแบบเคลื่อนที่ได้.....	32
4.10 ง	ส่วนการทำความเย็น.....	32
4.11	รูปรูที่ถูกเจาะบนชิ้นกระดูก.....	33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.1	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิกึ่งกลางกระดูก โดยควบคุมความดันที่ 460 torr hold ที่อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูก 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา15 นาที	38
5.2	ชิ้นกระดูกหลังการทำการทดลองฆ่าเชื้อ โดยเงื่อนไขควบคุมความดันที่ 460 torr hold ที่อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูก 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา15 นาที...	39
5.3	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิกึ่งกลางกระดูก โดยควบคุมความดันที่ 460 torr hold ที่อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูก 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา15 นาที ในกรณีหุ้มและไม่หุ้มด้วยถุงร้อน.....	41
5.4	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิกึ่งกลางกระดูก โดยควบคุมความดันที่ 560 torr hold ที่อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูก 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา15 นาที ในกรณีหุ้มและไม่หุ้มด้วยถุงร้อน.....	41
5.5	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิกึ่งกลางกระดูก โดยควบคุมความดันที่ 760 torr hold ที่อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูก 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา15 นาที ในกรณีหุ้มและไม่หุ้มด้วยถุงร้อน.....	41
5.6	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิกึ่งกลางกระดูก โดยเงื่อนไข ควบคุมที่ อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูก 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา15 นาที กรณีไม่หุ้มถุงร้อน.....	43
5.7	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิกึ่งกลางกระดูก โดยเงื่อนไข ควบคุมที่ อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูก 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา15 นาที กรณีหุ้มถุงร้อน.....	43
5.8	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิกึ่งกลางกระดูก โดยเงื่อนไข ควบคุมที่ อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูก 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา15 นาที เมื่อไม่หุ้มถุงร้อน โดยเพิ่มความดันในช่วงแรกสูงขึ้นแล้วลดความดันให้ลดลงถึง 460 torr.....	44
5.9	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิกึ่งกลางกระดูก โดยเงื่อนไข ควบคุมที่ อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูก 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา15 นาที เมื่อไม่หุ้มถุงร้อน โดยเปรียบเทียบปริมาณน้ำเริ่มต้นที่ใส่ในหม้อนึ่งความดันไอ.....	44
5.10	ชิ้นกระดูกหลังการทดลองในกรณีการทดลองที่ใส่น้ำเริ่มต้น 500 ml.....	45
5.11	ชิ้นกระดูกหลังการทดลองในกรณีการทดลองที่ใส่น้ำเริ่มต้น 20 ml.....	45
5.12	ชิ้นกระดูกหลังการทดลองในกรณีการทดลองที่ใส่น้ำเริ่มต้น 10 ml.....	46
6.1	ไดอะแกรมส่วนประกอบของเครื่องในระดับนำร่อง.....	51

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
6.2	รูปส่วนประกอบของ Subatmospheric Steam Supply Unit.....	51
6.3 ก	ภาพถ่ายส่วนประกอบของ Subatmospheric Steam Supply Unit: ที่พักไอ.....	52
6.3 ข	ภาพถ่ายส่วนประกอบของ Subatmospheric Steam Supply Unit: เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	52
6.4	ภาพถ่ายส่วนประกอบของส่วนตัวภาชนะทนความดัน.....	53
6.5	รูปส่วนประกอบของถัง Pressure Vessel.....	54
6.6	ปั๊มสุญญากาศ.....	56
6.7	ชุดดักไอ (Clod Trap).....	56
7.1	ตำแหน่งการสอด Thermocouple ในเครื่องระดับนำร่อง.....	60
7.2	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ เงื่อนไข ทำการทดลองโดยใช้ไอน้ำ ควบคุมความดันอยู่ที่ 260-310 torr แล้วรอจนอุณหภูมิกึ่งกลางชิ้นกระดูกถึง 70 องศาเซลเซียส 15 นาที แล้วจึงดึงสุญญากาศเพื่อลดความชื้น.....	62
7.3	ชิ้นกระดูกหลังการทดลอง : เงื่อนไข ทำการทดลองโดยใช้ไอน้ำ ควบคุมความดันอยู่ที่ 260-310 torr แล้วรอจนอุณหภูมิกึ่งกลางชิ้นกระดูกถึง 70 องศาเซลเซียส 15 นาที แล้วจึงดึงสุญญากาศเพื่อลดความชื้น.....	63
7.4	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ เงื่อนไข ทำการทดลองโดยใช้ไอน้ำ ควบคุมความดันอยู่ที่ 260-310 torr แล้วรอจนอุณหภูมิกึ่งกลางชิ้นกระดูกถึง 70 องศาเซลเซียส 15 นาที กรณีดึงสุญญากาศก่อนการทดลอง.....	64
7.5	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ เงื่อนไข ทำการทดลองโดยใช้ไอน้ำ ควบคุมความดันอยู่ที่ 0-0.2 basG แล้วรอจนอุณหภูมิกึ่งกลางชิ้นกระดูกถึง 70 องศาเซลเซียส 15 นาที กรณีไม่ดึงสุญญากาศก่อนการทดลอง(1 บรรยากาศ).....	64
7.6	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ เงื่อนไข ทำการทดลองโดยการให้ความร้อนที่ผนัง T setpoint = 100 องศาเซลเซียส แล้วรอจนอุณหภูมิกึ่งกลางชิ้นกระดูกถึง 70 องศาเซลเซียส 15 นาที กรณีดึงสุญญากาศก่อนการทดลอง.....	66

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
7.7	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ เงื่อนไข ทำการทดลองโดยการให้ความร้อนที่ผนัง T setpoint = 100 องศาเซลเซียส แล้วรอจนอุณหภูมิกึ่งกลางชิ้นกระดูกถึง 70 องศาเซลเซียส 15 นาที กรณีไม่ดึงสุญญากาศก่อนการทดลอง.....	66
7.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ เงื่อนไข การทดลองโดยการใช้ลมร้อนให้ความร้อน (ตู้ฆ่าเชื้อที่ใช้อยู่ในโรงงาน) โดยควบคุมอุณหภูมิภายในตู้ฆ่าเชื้อที่ 100 องศาเซลเซียส แล้วรอจนกระทั่งอุณหภูมิกึ่งกลางกระดูกสูงถึง 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที แล้วจึงนำชิ้นกระดูกออกมาโดยใส่เชื้อแล้ว.....	68
8.1	ไดอะแกรมส่วนประกอบของอุปกรณ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรียในระดับอุตสาหกรรม.....	72
8.2	ไดอะแกรมเครื่องฆ่าเชื้อแบคทีเรียในระดับอุตสาหกรรมโดยละเอียด.....	74
8.3	ขนาดของผลิตภัณฑ์.....	77
8.4	ขนาดของตะแกรง.....	77
8.5	ขนาดรถเข็นที่ออกแบบ.....	78
8.6	ทิศทางการถ่ายเทความร้อน.....	81
8.7	ส่วนที่สำคัญของอิเจคเตอร์ไอน้ำที่ต้องออกแบบ.....	84

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

q	คือ Heat Flux	[w/m^2]
k	คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity)	[W/m.K]
T	คือ อุณหภูมิ	[K]
∇	คือ ผลต่าง	[-]
h	คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน	[kcal /m^2.hr.$^{\circ}$C]
σ	คือ ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann	[W/m^2.K^4]
υ	คือ ความถี่	[รอบ/sec]
λ	คือ ความยาวคลื่น	[m]
c	คือ ความเร็วแสงในตัวกลาง สำหรับสุญญากาศ	[m/s]
ε	คือ ค่าพลังงาน	[erg]
h	คือ ค่าคงที่ของ Planck	[erg sec]
H	คือ เอนทาลปี	[kcal/kg]
P	คือ ความดัน	[bar]
m	คือ มวล	[kg]
Cp	คือ ความจุความร้อนจำเพาะ	[kcal/kg]
D	คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง	[inchs]
Q	คือ ความร้อน	[w]
U	คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	[kcal/m^2.hr.$^{\circ}$C]
A	คือ พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน	[m^2]
L	คือ ความยาว	[mm]
r	คือ รัศมี	[cm]
W	คือ อัตราการไหล	[lb/hr]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวห้อย (Subscript)

s	คือ พื้นผิว
α	คือ ของไหล
G	คือ เกจ
Abs	คือ สัมบูรณ์
sat	คือ อิ่มตัว
metal	คือ เหล็ก
dogchew	คือ ชิ้นกระดูก
ln	คือ log mean
0	คือ ภายนอก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย