บทที่ 7

ผลการทดลองและอภิปรายผลสำหรับการทดลองในเครื่องระดับนำร่อง

สำหรับการทดลองในเครื่องระดับนำร่อง (Pilot Scale) นั้นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองจำเป็นต้องทำการสอบเทียบก่อนนำมาใช้งานเพื่อความถูกต้องแม่นยำ โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ ตัววัดอุณหภูมิเป็นแบบ Sheath Thermocouple Type K จำนวน 1 ตัว ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิกึ่งกลางกระดูก และ Thermocouple Type K จำนวน 2 ตัว ที่ใช้วัดอุณหภูมิภายในเครื่องระดับนำร่อง โดยวัดที่ด้านหน้าเครื่องและหลังเครื่อง โดยการสอบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์ปรอท ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

1. สำหรับ Sheath Thermocouple Type K

$$y = x+2 \qquad , R^2 = 9.99 \tag{7.1}$$

2. สำหรับ Thermocouple Type K ตัวที่ 1

$$y = x+2.12 \qquad , R^2 = 9.85 \tag{7.2}$$

3. สำหรับ Thermocouple Type K ตัวที่ 2

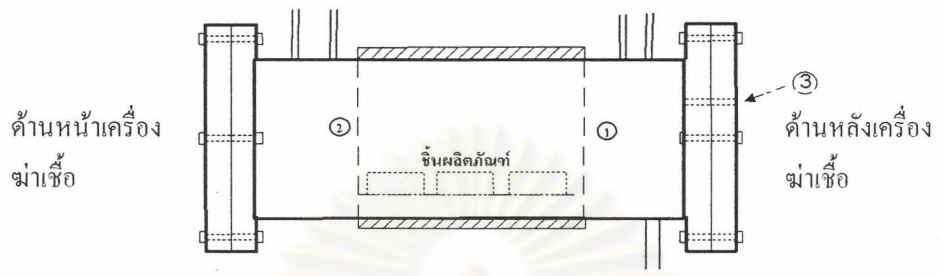
$$y = x+2.01 \qquad , R^2 = 9.99 \tag{7.3}$$

โดย y คือ อุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์ปรอท

x คือ อุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ซึ่งตำแหน่งในการสอดเทอร์โมคอปเปิล แสดงดังรูปที่ 7.1



รูปที่ 7.1 ตำแหน่งการสอดเทอร์โมคอปเปิลในเครื่องระดับนำร่อง

โดยที่ Thermocouple Type K ตัวที่ 1 สอดที่จุดที่ 1
Thermocouple Type K ตัวที่ 2 สอดที่จุดที่ 2
Sheath Thermocouple Type K สอดที่จุดที่ 3

ในงานวิจัยส่วนนี้เป็นการทำการทดลองในเครื่องระดับนำร่อง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทดลองฆ่าเชื้อแบคทีเรีย Salmonella ในกรณีที่เครื่องฆ่าเชื้อมีการขยายขนาดขึ้น โดยใช้เงื่อนไขการทดลองที่ได้จากการทดลองในอุปกรณ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรียในระดับ Bench Scale ในขณะเดียวกันก็พิจารณาถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการทดลองด้วย ดังนั้นผลการทดลองในส่วนนี้จึงประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ผลการทดลองและอภิปรายในส่วนการฆ่าเชื้อ และผลการทดลองและอภิปรายในส่วนคุณภาพผลิตภัณฑ์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

7.1 <u>ผลการทดลองและอภิปรายในส่วนของคุณภาพผลิตภัณฑ์</u>

ในการทำการทดลองจะผลิตไอน้ำอิ่มตัวความดันต่ำด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ออกแบบและสร้างขึ้น และจดบันทึกอุณหภูมิภายในกึ่งกลางชิ้นกระดูกตามเวลา ทั้งสามจุด เพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูกและเวลาให้ถึงค่าที่กำหนดในการฆ่าเชื้อ ซึ่งสามารถสรุปเงื่อนไขและผลการทดลองเพื่อสังเกตคุณภาพผลิตภัณฑ์ (กรณีไม่ใส่เชื้อเข้าไปในกึ่งกลางชิ้นกระดูกได้)ดังแสดงในตารางที่ 7.1

ตารางที่7.1 สรุปเงื่อนไขและผลการทดลองในเครื่องระดับนำร่องเพื่อสังเกตคุณภาพผลิตภัณฑ์กรณีไม่ใส่เชื้อเข้าไปในกึ่งกลางชิ้นกระดูก*

ลำดับ	วิธีการให้ความร้อน[1]	เงื่อนไขในการทดลอง			คุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการทดลอง			% RH Dry Basis
		Temperature set point[2] (^{o}C)	ดึงสุญญากาศก่อนการทดลอง[3]	ความดัน[4] (torr)	รูปลักษณ์[5]	สี[6]	กลิ่น[7]	
35	ให้ความร้อนที่ผิว	100	X	-	1	-	1	15,14,15
36	ให้ความร้อนที่ผิว	120	X	-	2	1	1	14,14,15
37	ใช้ไอน้ำความดันต่ำ	50	√	360	2	2	1	18,17,19
38	ใช้ไอน้ำความดันต่ำ	50	√	310	2	2	1	18,17,17
39	ใช้ไอน้ำความดันต่ำ**	50	√	310	3	3	3	-

หมายเหตุ * เงื่อนไขการทดลองควบคุมอุณหภูมิกึ่งกลางกระดูก 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

** ในการทดลองใช้ชิ้นกระดูกขนาด 10 นิ้ว

1 วิธีการให้ความร้อนในการทดลองต่างๆ

2 อุณหภูมิของ Heater ที่กำหนด

3 ก่อนการทดลองมีการดึงสุญญากาศ โดยสามารถดึงได้ต่ำที่สุด เท่ากับ 160 torr

4 ความดันภายในหม้อนึ่งความดันไอที่ต้องการควบคุม

5 ลักษณะภายนอกของชิ้นกระดูกที่เปลี่ยนไปหลังการทดลอง กำหนดเป็นระดับ ดังนี้

ระดับ 1 มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

ระดับ 2 มีการเปลี่ยนแปลงเกิดมากขึ้น เช่น ผิวกร้าน สาก เป็นขุย หนังปริ เล็กน้อย

ระดับ 3 ลักษณะผิว เป็นขุย สาก กร้านมาก หนังปรีออกมามาก

6 สีของชิ้นกระดูกที่เปลี่ยนแปลงหลังการทดลอง กำหนดเป็นระดับ ดังนี้

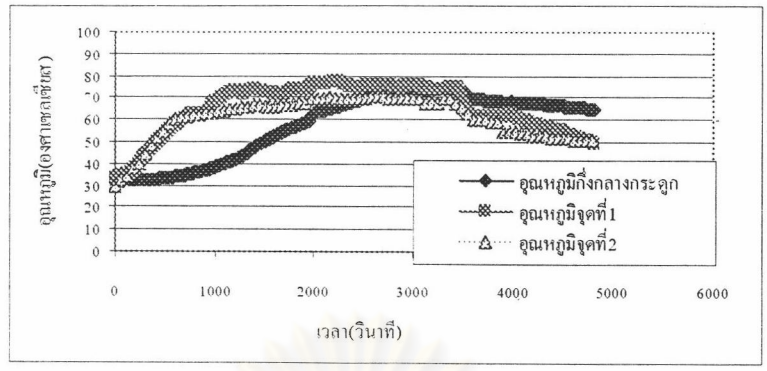
ระดับ 1 สีไม่เปลี่ยนแปลง

ระดับ 2 สีซีด จางลง

7 กลิ่นของชิ้นกระดูกหลังการทดลอง กำหนดเป็นระดับ ดังนี้

ระดับ 1 ยอมรับได้

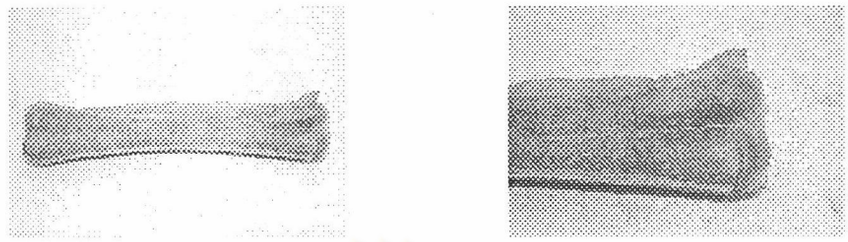
ระดับ 2 ยอมรับไม่ได้



รูปที่ 7.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ เงื่อนไข ทำการทดลองโดยใช้ไอน้ำ ควบคุมความดันอยู่ที่ 260-310 torr แล้วรอจนอุณหภูมิกึ่งกลางชิ้นกระดูกถึง 70 องศาเซลเซียส 15 นาที แล้วจึงดึงสุญญากาศเพื่อลดความชื้น

จากรูปที่ 7.2 สามารถอธิบายได้ว่า ในช่วงแรกจะดึงสุญญากาศในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วย จากนั้นผลิตไอน้ำความดันต่ำ โดยแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับไอน้ำจากหม้อไอน้ำ (Boiler) ความดัน 1.0 barG ทำให้ได้ไอน้ำอิ่มตัว ที่ความดัน 260 torr (ถ้าความดันเพิ่มขึ้นถึง 310 torr จะปิดวาล์วด้านไอน้ำความดันสูง (High Pressure Steam ,1 barG) จากนั้นป้อนไอน้ำอิ่มตัวความดันต่ำเข้าไปในเครื่องฆ่าเชื้อ อุณหภูมิภายในเครื่องฆ่าเชื้อจะเพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันอุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูกก็จะค่อยๆเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากไอน้ำอิ่มตัวกระทบกับผิวของชิ้นกระดูก และไอน้ำบางส่วนจะแทรกเข้าไปภายในส่วนลึกของชิ้นกระดูก แล้วเกิดการควบแน่น (Heat of Condensation) ถ่ายเทพลังงานความร้อน ทำให้อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูกค่อยๆสูงขึ้น จนถึงค่าที่ต้องการ คือ ที่ 70 องศาเซลเซียส จากนั้นนับเวลาอีก 15 นาที หลังจากนั้นจึงดึงสุญญากาศ ทำให้น้ำที่อยู่ภายในชิ้นกระดูกซึ่งยังคงมีอุณหภูมิสูงอยู่เกิดการเดือดและระเหยออกมา ทำให้ความชื้นภายในชิ้นกระดูกลดลง

สำหรับคุณภาพชิ้นกระดูกหลังการทดลอง ปรากฏว่า ลักษณะชิ้นกระดูกเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย เมื่อเทียบกับการทดลองในเครื่องระดับ Bench Scaleเช่น ผิวเป็นขุยสั้นๆ หนังปริ สีซีด ดังตัวอย่างในรูปที่7.3



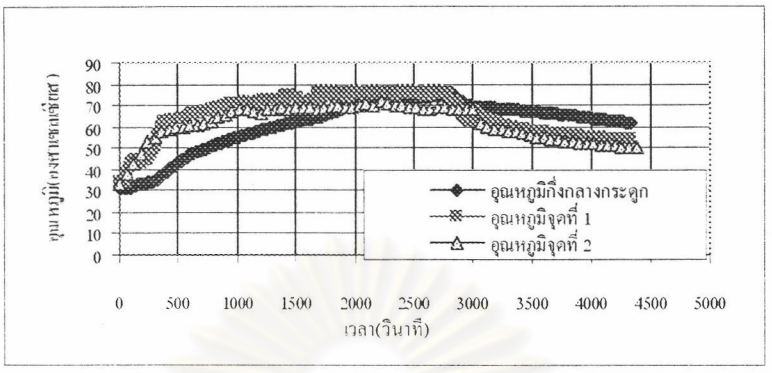
ชิ้นกระดูกหลังการทดลองชิ้นที่ 1

ชิ้นกระดูกหลังการทดลองชิ้นที่ 2

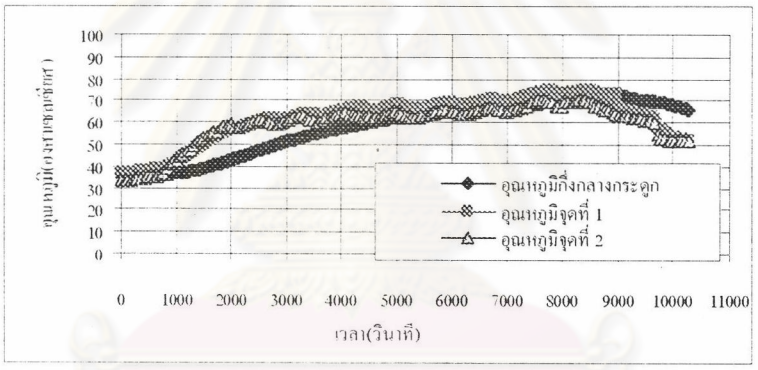
ชิ้นกระดูกหลังการทดลองชิ้นที่ 3

รูปที่ 7.3 ชิ้นกระดูกหลังการทดลอง : เงื่อนไข ทำการทดลองโดยใช้ไอน้ำ ควบคุมความดันอยู่ที่ 260-310 torr แล้วรอจนอุณหภูมิกึ่งกลางชิ้นกระดูกถึง 70 องศาเซลเซียส 15 นาที แล้วจึงดึงสุญญากาศเพื่อลดความชื้น

7.1.1 ผลของอากาศในเครื่องระดับนำร่องสำหรับการให้ความร้อนด้วยไอน้ำความดันต่ำ



รูปที่7.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ เงื่อนไข ทำการทดลองโดยใช้ไอน้ำ ควบคุมความดันอยู่ที่ 260-310 torr แล้วรอจนอุณหภูมิกึ่งกลางชิ้นกระดูกถึง 70 องศาเซลเซียส 15 นาที กรณีดึงสุญญากาศก่อนการทดลอง



รูปที่7.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ เงื่อนไข ทำการทดลองโดยใช้ไอน้ำ ควบคุมความดันอยู่ที่ 0-0.2 barG แล้วรอจนอุณหภูมิกึ่งกลางชิ้นกระดูกถึง 70 องศาเซลเซียส 15 นาที กรณีไม่ดึงสุญญากาศก่อนการทดลอง(1 บรรยากาศ)

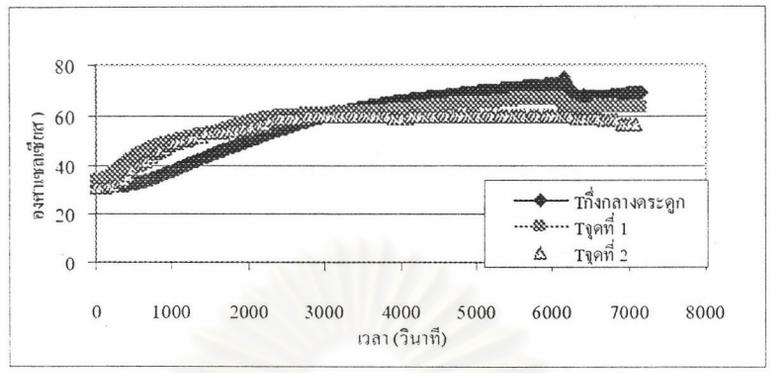
จากรูปที่ 7.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ เงื่อนไข ทำการทดลอง โดยใช้ไอน้ำ ควบคุมความดันอยู่ที่ 260-310 torr แล้วรอจนอุณหภูมิกึ่งกลางชิ้นกระดูกถึง 70 องศาเซลเซียส 15 นาที กรณีดึงสุญญากาศก่อนการทดลอง ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิภายในเครื่องฆ่าเชื้อจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการป้อนไอน้ำความดันต่ำ (ในกรณีนี้ความดันเท่ากับ 260-310 torr ซึ่งมีอุณหภูมิอิ่มตัวที่ประมาณ 71.73-75.40 องศาเซลเซียส) เข้าไปในเครื่อง ในขณะเดียวกันอุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูกจะเพิ่มขึ้นด้วย ในช่วงการให้ความร้อน (Heating Phase) จะใช้เวลาประมาณ 35 นาทีโดยจะใช้เวลาทำการทดลองทั้งหมดประมาณ 75 นาที สำหรับรูปที่ 7.5 ความสัมพันธ์

ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ เงื่อนไข ทำการทดลอง โดยใช้ไอน้ำ ควบคุมความดันอยู่ที่ 0-0.2 barG แล้วรอจนอุณหภูมิกึ่งกลางชิ้นกระดูกถึง 70 องศาเซลเซียส 15 นาที กรณีไม่ดึงสุญญากาศก่อนการทดลอง (ความดัน 1 บรรยากาศ) ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูกจะเพิ่มขึ้น โดยช่วงการให้ความร้อน (Heating Phase) จะใช้เวลาประมาณ 135 นาทีโดยจะใช้เวลาทำการทดลองทั้งหมดประมาณ 175 นาที จะเห็นว่า ในกรณีไม่ดึงสุญญากาศก่อนการทดลองจะใช้เวลานานกว่าในกรณีดึงสุญญากาศก่อนการทดลองถึง 100 นาที เนื่องจากอากาศเป็นตัวต้านทานการถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำสู่ชิ้นกระดูกทำให้จำเป็นต้องใช้เวลานานกว่าจะทำให้อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูกสูงถึง 70 องศาเซลเซียส

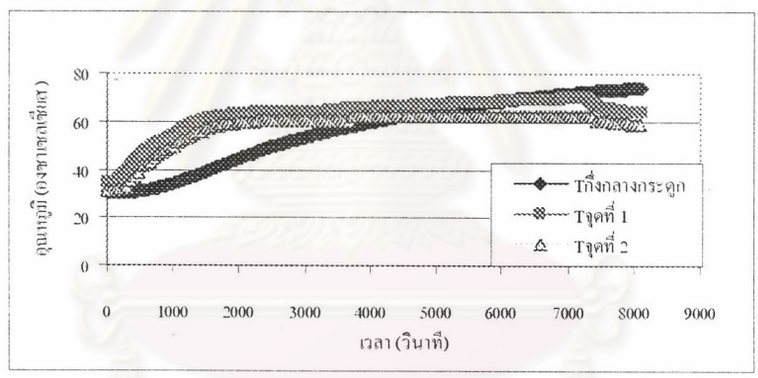
สำหรับการพิจารณาด้านคุณภาพชิ้นกระดูกหลังการทดลอง พบว่า ในกรณีไม่ดึงสุญญากาศก่อนการทดลอง ชิ้นกระดูกจะเป็นขุยและปริออกมามากกว่าการทดลองในกรณีดึงสุญญากาศก่อนการทดลอง เนื่องจากเวลาที่อยู่เครื่องฆ่าเชื้อนานกว่าทำให้ที่ผิวของชิ้นกระดูกได้รับความร้อนนานกว่า เป็นผลทำให้ผิวชิ้นกระดูกเสียรูปมากขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.1.2 ผลของอากาศในเครื่องระดับนำร่องสำหรับการให้ความร้อนผ่านผนัง



รูปที่7.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ เงื่อนไข ทำการทดลองโดยการให้ความร้อนที่ผนัง T setpoint = 100 องศาเซลเซียส แล้วรอจนอุณหภูมิกึ่งกลางชิ้นกระดูกถึง 70 องศาเซลเซียส 15 นาที กรณีดึงสุญญากาศก่อนการทดลอง



รูปที่7.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ เงื่อนไข ทำการทดลองโดยการให้ความร้อนที่ผนัง T setpoint = 100 องศาเซลเซียส แล้วรอจนอุณหภูมิกึ่งกลางชิ้นกระดูกถึง 70 องศาเซลเซียส 15 นาที กรณีไม่ดึงสุญญากาศก่อนการทดลอง

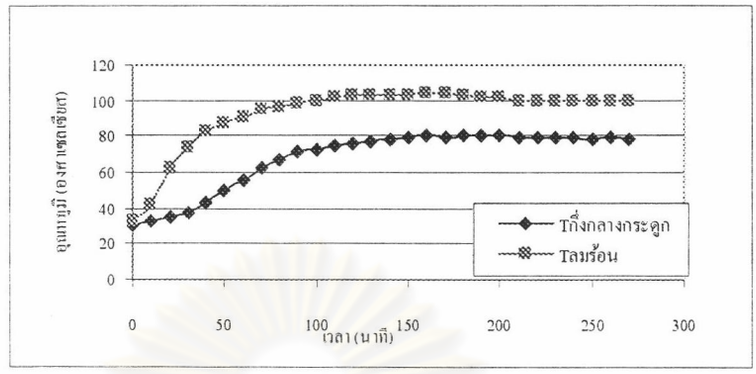
จากรูปที่ 7.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ เงื่อนไข ทำการทดลองโดยการให้ความร้อนผ่านผนัง T setpoint = 100 องศาเซลเซียส แล้วรอจนอุณหภูมิกึ่งกลางชิ้นกระดูกถึง 70 องศาเซลเซียส 15 นาที กรณีดึงสุญญากาศก่อนการทดลอง ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิภายในเครื่องฆ่าเชื้อจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิผนังสูงขึ้น ในขณะเดียวกันอุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูกจะเพิ่มขึ้นด้วย ในช่วงการให้ความร้อน (Heating Phase) จะใช้เวลาประมาณ 75 นาที โดยใช้เวลาทำการทดลองทั้งหมดประมาณ 125 นาที และจากรูปที่ 7.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง

เวลาและอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ เงื่อนไข ทำการทดลองโดยการให้ความร้อนที่ผนัง T setpoint = 100 องศาเซลเซียส แล้วรอจนอุณหภูมิกึ่งกลางชิ้นกระดูกถึง 70 องศาเซลเซียส 15 นาที กรณีไม่ดึงสุญญากาศก่อนการทดลอง ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิภายในเครื่องฆ่าเชื้อจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิผนังสูงขึ้น ในขณะเดียวกันอุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูกจะเพิ่มขึ้นด้วย ในช่วงการให้ความร้อน (Heating Phase) จะใช้เวลาประมาณ 90 นาที โดยใช้เวลาทำการทดลองทั้งหมดประมาณ 140 นาที จะเห็นได้ว่า การทดลองในกรณีที่ไม่ดึงสุญญากาศก่อนการทดลองจะใช้เวลาในการทำการทดลองนานกว่ากรณีดึงสุญญากาศประมาณ 15 นาที แต่เนื่องจากการให้ความร้อนผ่านผนังเป็นการแผ่รังสี Infrared ซึ่งการถ่ายเทความร้อนไม่จำเป็นต้องอาศัยอาศัยอากาศซึ่งเป็นตัวกลาง ดังนั้น ในกรณีนี้อาจเกิดจากอากาศในเครื่องฆ่าเชื้อในส่วนที่รับความร้อนจะเกิดการเคลื่อนตัวแทนที่อากาศที่เย็นกว่า ทำให้เกิดการไหลเวียนอากาศภายในเครื่องฆ่าเชื้อ แล้วถ่ายเทความร้อนออกบริเวณฝาด้านหน้าและด้านหลังเครื่องที่ไม่ได้หุ้มฉนวน ทำให้ถ่ายเทความร้อนความร้อนได้น้อยลงจึงเป็นผลทำให้เวลาในการทดลองนานขึ้นด้วย

สำหรับการพิจารณาด้านคุณภาพชิ้นกระดูกหลังการทดลอง พบว่า ในกรณีไม่ดึงสุญญากาศก่อนการทดลอง ชิ้นกระดูกจะแห้งและปริมากกว่าการทดลองในกรณีดึงสุญญากาศก่อนการทดลอง เนื่องจากเวลาที่อยู่เครื่องฆ่าเชื้อนานกว่าทำให้ที่ผิวของชิ้นกระดูกได้รับความร้อนนานกว่า เป็นผลทำให้ผิวชิ้นกระดูกเสียรูปมากขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.1.3 ผลการฆ่าเชื้อโดยใช้ลมร้อน(ใช้ตู้ลมร้อนในโรงงาน)



รูปที่7.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ เงื่อนไข การทดลองโดยการใช้ลมร้อนให้ความร้อน (ตู้ฆ่าเชื้อที่ใช้อยู่ในโรงงาน) โดยควบคุมอุณหภูมิภายในตู้ฆ่าเชื้อที่ 100 ^{0}C แล้วรอจนกระทั่งอุณหภูมิกึ่งกลางกระดูกสูงถึง 80 ^{0}C เป็นเวลา 120 นาที แล้วจึงนำชิ้นกระดูกออกมาโดยใส่เชื้อแล้ว

จากรูปที่ 7.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ เงื่อนไข การทดลองโดยการใช้ลมร้อนให้ความร้อน (ตู้ฆ่าเชื้อที่ใช้อยู่ในโรงงาน) โดยควบคุมอุณหภูมิภายในตู้ฆ่าเชื้อที่ 100 องศาเซลเซียส แล้วรอจนกระทั่งอุณหภูมิกึ่งกลางกระดูกสูงถึง 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที แล้วจึงนำชิ้นกระดูกออกมาโดยใส่เชื้อแล้ว ผลการทดลองพบว่า เมื่อป้อนลมร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เข้าไปในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิภายในลมร้อนจะค่อยๆเพิ่มขึ้น จนกระทั่งอุณหภูมิภายในตู้อบถึง 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 100 นาที ในขณะเดียวกันอุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูกก็เพิ่มขึ้นด้วยโดยใช้เวลาประมาณ 150 นาที ถึงทำให้อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูกสูงถึง 80 องศาเซลเซียส ที่กำหนดค่านี้ เนื่องจากเป็นค่าทางโรงงานกำหนดขึ้นในการฆ่าเชื้อ หลังจากนั้นนับเวลาต่อไปอีก 120 นาที จึงนำชิ้นกระดูกออกมา จะเห็นว่าวิธีการใช้ลมร้อนจะใช้เวลานานกว่าที่จะทำให้อุณหภูมิกึ่งกลางกระดูกสูงถึงค่าที่กำหนด

สำหรับการพิจารณาด้านคุณภาพชิ้นกระดูกหลังการทดลอง พบว่า ผิวชิ้นกระดูกมีลักษณะปริออกเล็กน้อย แต่ไม่เป็นขุย อยู่ในสภาพดีกว่าเมื่อเทียบกับการให้ความร้อนด้วยวิธีการใช้ไอน้ำโดยตรง และการให้ความร้อนผ่านผนัง

7.2 ผลการทดลองและอภิปรายในส่วนการฆ่าเชื้อ

สำหรับการทดลองฆ่าเชื้อแบคทีเรีย Salmonella ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยไม่ได้ทำการเลี้ยง-ตรวจหาเชื้อแบคทีเรีย Salmonella ด้วยตัวเอง ดังนั้นก่อนการทดลองจึงต้องนำชิ้นกระดูกส่งให้ทางบริษัท SAP Laboratory จำกัด นำไปฉีดเชื้อแบคทีเรีย Salmonella สายพันธุ์ Scharwazengrund ที่ปริมาณเริ่มต้น $5*10^6$ ตัวต่อชิ้น เพื่อทำให้มั่นใจว่าชิ้นกระดูกที่จะทำการทดลองมีเชื้อแบคทีเรีย Salmonella อยู่จริง หลังทำการทดลองแล้ว จึงนำชิ้นกระดูกนั้นส่งตรวจหาเชื้อแบคทีเรีย Salmonella ที่เหลืออยู่ต่อไป ซึ่งสามารถสรุปเงื่อนไขและผลการทดลองเพื่อสังเกตผลการฆ่าเชื้อ (กรณีใส่เชื้อเข้าไปในกึ่งกลางชิ้นกระดูก) ดังแสดงในตารางที่ 7.2

ผลการทดลองการฆ่าเชื้อด้วยวิธีการใช้ไอน้ำโดยตรง พบว่า สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย Salmonella ได้เมื่อใช้เงื่อนไขการฆ่าเชื้อ ที่อุณหภูมิส่วนลึกภายในผลิตภัณฑ์ไม่ต่ำกว่า 70 องศาเซลเซียส นานเป็นเวลาประมาณ 15 นาที โดยเชื้อตายหมด สำหรับกรณีวิธีการฆ่าเชื้อโดยให้ความร้อนผ่าผนัง ผลการตรวจวิเคราะห์เชื้อ พบว่า ไม่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียSalmonella ได้หมด ในขณะที่วิธีการฆ่าเชื้อโดยใช้ลมร้อน ผลการตรวจวิเคราะห์เชื้อ พบว่า ไม่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย Salmonella ให้ตายได้หมด

ทำให้สามารถสรุปได้ว่า การฆ่าเชื้อด้วยวิธีการใช้ไอน้ำโดยตรง เป็นวิธีการฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพมากกว่า วิธีการให้ความร้อนผ่านผนังและวิธีการให้ความร้อนโดยใช้ลมร้อน เนื่องกลไกการถ่ายเทความร้อนโดยการใช้ไอน้ำโดยตรง เกิดจากการที่ไอน้ำอิ่มตัวความดันต่ำกระทบกับผิวผลิตภัณฑ์ และไอน้ำบางส่วนแทรกเข้าไปในส่วนลึกของผลิตภัณฑ์แล้วการการควบแน่นถ่ายเทความร้อน (Heat of Condensation) เป็นความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอซึ่งมีค่าพลังงานที่สูง เป็นผลทำให้อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูกสูงขึ้นรวดเร็วกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการให้ความร้อนผ่านผนังและวิธีการให้ความร้อนโดยใช้ลมร้อน โดยที่วิธีการให้ความร้อนผ่านผนังกลไกการถ่ายเทความร้อนเป็นลักษณะการแผ่รังสีความร้อนเป็นรังสีอินฟราเรดซึ่งต้องใช้เวลานานกว่าที่จะทำให้ส่วนลึกของผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่วิธีการให้ความร้อนโดยใช้ลมร้อนกลไกการถ่ายเทความร้อนเกิดจากลมร้อนอุณหภูมิสูง(100 องศาเซลเซียส) ถ่ายเทความร้อนให้กับผิวผลิตภัณฑ์แบบการพาความร้อน(Convection) ทำให้ผิวผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงขึ้นขณะเดียวกันก็ถ่ายเทความร้อนเข้าไปภายในส่วนลึกของผลิตภัณฑ์โดยการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อน(Conduction) ซึ่งเป็นต้องใช้เวลาในการถ่ายเทความร้อนนาน ผลการทดลองปรากฏว่า วิธีการให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำโดยตรงใช้เวลาในการทำการทดลองทั้งหมดน้อยกว่า วิธีการให้ความร้อนผ่านผนังและวิธีการให้ความร้อนโดยใช้ลมร้อนตามลำดับ ในแง่คุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการทดลอง ผิวผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงจากระดับมากไปน้อยตามวิธีการให้ความร้อน ดังนี้ การใช้ไอน้ำโดยตรง > การให้ความร้อนผ่านผนัง > การใช้ลมร้อน ตามลำดับ ในขณะที่พิจารณาแง่การฆ่าเชื้อพบว่า การให้ความ

ร้อนโดยใช้ไอน้ำโดยตรง สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย Salmonella ได้หมด แต่วิธีการให้ความร้อนผ่านผนังและวิธีการให้ความร้อนโดยใช้ลมร้อน ไม่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย Salmonella ได้หมด

ดังนั้นในการคำนวณออกแบบเครื่องฆ่าเชื้อระดับอุตสาหกรรมในบทต่อไป จะออกแบบเครื่องฆ่าเชื้อระดับอุตสาหกรรม โดยใช้วิธีการให้ความร้อนด้วยไอน้ำโดยตรง ถึงแม้ว่าผลของการให้ความร้อนด้วยไอน้ำโดยตรงจะทำให้ผิวผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงไป แต่เป็นวิธีที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย Salmonella ซึ่งอยู่ภายในส่วนลึกของผลิตภัณฑ์ได้หมดอย่างมีประสิทธิภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่7.2 สรุปเงื่อนไขและผลการทดลองในเครื่องระดับนำร่องเพื่อสังเกตผลการฆ่าเชื้อกรณีใส่เชื้อเข้าไปในกึ่งกลางชิ้นกระดูก*

ลำดับ	วิธีการให้ความร้อน[1]	เงื่อนไขในการทดลอง			ผลการตรวจเชื้อ (ตายหมดทุกชิ้น/ตายไม่หมดทุกชิ้น)[5]	% น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น
		Temperature set point[2] (^{o}C)	ดึงสุญญากาศก่อนการทดลอง[3]	ความดัน[4] (torr)		
40	ให้ความร้อนที่ผิว	100	√	-	ตายไม่หมดทุกชิ้น พบเชื้อ 1ชิ้น	-3.14,-3.68,-2.40
41	ให้ความร้อนที่ผิว	100	X	-	ตายไม่หมดทุกชิ้น พบเชื้อ 1ชิ้น	-2.07,-2.58,-1.46
42	ใช้ไอน้ำความดันต่ำ	50	√	310	ตายหมดทุกชิ้น	1.73,1.65,1.52
43	ใช้ไอน้ำความดันต่ำ	50	√	0.2 barG	ตายหมดทุกชิ้น	1.22,1.41,1.32
44	ใช้ลมร้อน**	100	-	-	ตายไม่หมดทุกชิ้น พบเชื้อ 3 ชิ้น	-0.04,-0.04,-0.04
45	ใช้ลมร้อน***	100	-	-	ตายไม่หมดทุกชิ้น พบเชื้อ 4 ชิ้น	-0.03,-0.03,-0.04, -0.03,-0.04,-0.03

หมายเหตุ * เงื่อนไขการทดลองควบคุมอุณหภูมิกึ่งกลางกระดูก 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

** เงื่อนไขการทดลองอุณหภูมิกึ่งกลางกระดูก 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที โดยใช้ตู้ลมร้อนในโรงงาน

*** เงื่อนไขการทดลองอุณหภูมิกึ่งกลางกระดูก 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที โดยใช้ตู้ลมร้อนในโรงงาน ฉีดเชื้อ 3 ชิ้นที่ผิว และ 3ชิ้นฉีดเข้าภายในกึ่งกลางชิ้นกระดูก

1 วิธีการให้ความร้อนในการทดลองต่างๆ

2 อุณหภูมิของ Heater ที่กำหนด

3 ก่อนการทดลองมีการดึงสุญญากาศ โดยสามารถดึงได้ต่ำที่สุด เท่ากับ 160 torr

4 ความดันภายในหม้อนึ่งความดันไอที่ต้องการควบคุม

5 ผลการตรวจวิเคราะห์เชื้อ Salmonella ยืนยันโดย บริษัท S.A.P. Laboratory จำกัด