

## บทที่ 5

### ผลการทดลองและอภิปรายผลสำหรับการทดลองในเครื่องระดับ Bench Scale

สำหรับการทดลองในเครื่องระดับ Bench Scale นั้นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองจำเป็นต้องทำการสอบเทียบก่อนนำมาใช้งานเพื่อความถูกต้องแม่นยำ โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ ตัววัดอุณหภูมิเป็นแบบ Sheath Thermocouple Type K จำนวน 1 ตัว ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิที่กึ่งกลางกระดูก โดยการสอบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์ปรอท ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$y = x + 2, R^2 = 9.99 \quad (5.1)$$

โดย  $y$  คือ อุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์ปรอท  
 $x$  คือ อุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิล

ในส่วนแรกของงานวิจัยนี้เป็นการทำการทดลองในเครื่องระดับ Bench Scale นั้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันแนวโน้มในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย Salmonella เพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้ไปเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้ในการกำหนดเงื่อนไขการทดลองที่จะใช้กับอุปกรณ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรียในระดับนำร่องต่อไป ในขณะที่เดียวกันก็จำเป็นต้องพิจารณาถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการทดลองด้วย ดังนั้นผลการทดลองในส่วนนี้จึงประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ผลการทดลองและอภิปรายในส่วนการฆ่าเชื้อ และผลการทดลองและอภิปรายในส่วนคุณภาพผลิตภัณฑ์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

#### 5.1 ผลการทดลองและอภิปรายในส่วนของคุณภาพผลิตภัณฑ์

ในการทำการทดลองจะผลิตไอน้ำอิมิตัวด้วยการต้มน้ำที่ใส่ไว้ในหม้อหนึ่งความดันไอโดยใช้เตาแก๊สและควบคุมความดันภายในหม้อหนึ่งความดันโดยการเปิด-ปิดเตาแก๊ส และจดบันทึกอุณหภูมิภายในกึ่งกลางชั้นกระดูกตามเวลา เพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูกและเวลาให้ถึงค่าที่กำหนดในการฆ่าเชื้อ ซึ่งสามารถสรุปเงื่อนไขและผลการทดลองเพื่อสังเกตคุณภาพผลิตภัณฑ์(กรณีไม่ใส่เชื้อเข้าไปในกึ่งกลางชั้นกระดูกได้)ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สรุปเงื่อนไขและผลการทดลองเพื่อสังเกตคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่มีใส่เชื้อเข้าไปในกึ่งกลางชั้นกระดูก

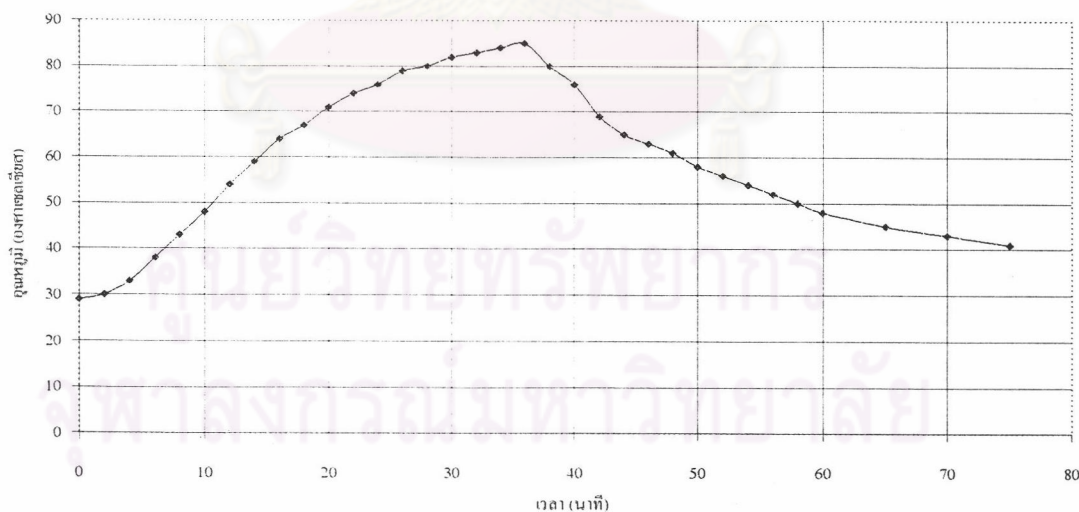
ลำดับที่	เงื่อนไขที่ใช้ในการทดลอง							คุณภาพผลิตภัณฑ์			%น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น	หมายเหตุ
	อุณหภูมิ <sup>1</sup> (°C)	หุ้มด้วยถุงรีตั้น <sup>2</sup>	Pressure <sup>3</sup>	ปริมาณน้ำ <sup>4</sup> (ml)	Holding Time <sup>5</sup> (min)	รูปลักษณะ <sup>6</sup>	สี <sup>7</sup>	กลิ่น <sup>8</sup>				
1	60	X	460 torr	500	10	3	2	1	1.82			
2	60	X	460 torr	500	10	3	2	1	1.91			
3	60	X	560 torr	500	10	3	2	1	2.09			
4	60	X	560 torr	500	10	3	2	1	1.58			
5	70	X	760 torr	500	15	3	2	2	2.38			
6	70	√	760 torr	500	15	1	1	1	-1.00			
7	70	√	0.4 barG	500	15	1	1	1	-1.32			
8	70	X	760 torr เป็นเวลา 15 นาที แล้วลดเหลือ 460 torr	500	15	3	2	1	2.85			
9	70	X	0.2 barG เป็นเวลา 15 นาที แล้วลดเหลือ 460 torr	500	15	3	2	1	3.97			
10	70	X	0.4 barG เป็นเวลา 15 นาที แล้วลดเหลือ 460 torr	500	15	3	2	2	3.62			

ตารางที่ 5.1 สรุปเงื่อนไขและผลการทดลองเพื่อสังเกตคุณภาพผลิตภัณฑ์กรณีไม่ได้เชื้อเข้าไปในถังกลางชั้นกระดูก(ต่อ)

ลำดับที่	เงื่อนไขที่ใช้ในการทดลอง						คุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการทดลอง			%น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น	หมายเหตุ
	อุณหภูมิ (°C)	หุ้มด้วยถุงร้อน	Pressure (torr)	ปริมาณน้ำ (ml)	Holding Time (min)	รูปลักษณะ	สี	กลิ่น			
11	70	X	0.2 barG เป็นเวลา 15 นาที แล้วลดเหลือ 460 torr	500	15	3	2	1	3.95	ในช่วง Cooling ไม่คงอุณหภูมิ	
12	70	X	0.2 barG เป็นเวลา 15 นาที แล้วลดเหลือ 460 torr	500	15	3	2	1	3.59	ในช่วง Cooling ก๊าซ Compressor จน Pressure ในห้องถึงความดัน 160 torr แล้วเปิด Compressor	
13	70	X	0.2 barG เป็นเวลา 2 นาที แล้วลดเหลือ 460 torr	500	15	3	2	1	2.75		
14	70	X	0.2 barG เป็นเวลา 2 นาที แล้วลดเหลือ 460 torr	10	15	2	1	1	-1.96		
15	70	X	760 torr เป็นเวลา 3 นาที แล้วลดเหลือ 460 torr	10	15	2	1	1	-1.30		
16	70	X	760 torr แล้วลดเหลือ 460 torr	10	15	2	1	1	-1.30		
17	70	X	660 torr แล้วลดเหลือ 460 torr	10	15	2	1	1	-0.67		
18	70	X	660 torr เป็นเวลา 2 นาที แล้วลดเหลือ 460 torr	10	15	2	1	1	-1.18		

หมายเหตุ	1	อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูกที่กำหนดในการฆ่าเชื้อ
	2	ในบางกรณีมีการหุ้มชั้นกระดูกด้วยถุงร้อนเพื่อทดสอบคุณภาพของชั้นกระดูก
	3	ความดันภายในหม้อนึ่งความดันไอที่ต้องการควบคุม
	4	ปริมาณน้ำที่ใส่ในหม้อนึ่งความดันไอก่อนการทดลอง
	5	เวลาในการฆ่าเชื้อ เริ่มนับเมื่ออุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูกถึงค่าที่กำหนด
	6	ลักษณะภายนอกของชั้นกระดูกที่เปลี่ยนไปหลังการทดลอง กำหนดเป็นระดับ ดังนี้ ระดับ 1 มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ระดับ 2 มีการเปลี่ยนแปลงเกิดมากขึ้น เช่น ผิวกร้าน สาก เป็นขุย หน้างปริ เล็กน้อย ระดับ 3 ลักษณะผิว เป็นขุย สาก กร้านมาก หน้างปรือออกมา
	7	สีของชั้นกระดูกที่เปลี่ยนแปลงหลังการทดลอง กำหนดเป็นระดับ ดังนี้ ระดับ 1 สีไม่เปลี่ยนแปลง ระดับ 2 สีซีด จางลง
	8	กลิ่นของชั้นกระดูกหลังการทดลอง กำหนดเป็นระดับ ดังนี้ ระดับ 1 ขอมรับได้ ระดับ 2 ขอมรับไม่ได้

ผลการทดลองในช่วงแรกพบว่า ในการตั้งสภาวะอากาศก่อนการทดลองสามารถดึงได้ความดันต่ำสุดที่ประมาณ 160 torr โดยจะใช้เวลาประมาณ 4 นาที อนึ่งเวลาที่ใช้ในการทำการทดลองทั้งหมดประมาณ 1½ ชั่วโมงต่อกะ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5:1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิกึ่งกลางกระดูก โดยควบคุมความดันที่ 760 torr ควบคุมที่อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูก 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

จากรูปที่ 5.1 สามารถอธิบายได้ว่า ในช่วงแรกเมื่อต้มน้ำในหม้อหนึ่งความดันไอน้ำทำให้เกิดไอน้ำอิ่มตัว เมื่อไอน้ำอิ่มตัวกระทบกับผิวของชิ้นกระดูก และไอน้ำบางส่วนจะแทรกเข้าไปภายในส่วนลึกของชิ้นกระดูก แล้วเกิดการควบแน่น (Heat of Condensation) ถ่ายเทพลังงานความร้อน ทำให้อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูกค่อยๆสูงขึ้นในช่วงนี้เรียกว่า ช่วงการให้ความร้อน(Heating Phase) ใช้เวลาประมาณ 20 นาที จนอุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูกถึงค่าที่ต้องการ จากนั้นพยายามควบคุมอุณหภูมิไม่ให้สูงจนเกินไปโดยการแช่หม้อหนึ่งความดันไอน้ำในอ่างน้ำเป็นเวลาสั้นๆ ประมาณ 5-10 วินาที ขณะเดียวกันก็เริ่มนับเวลาฆ่าเชื้อต่อไป จนกระทั่งครบเวลาตามที่กำหนด โดยช่วงนี้เป็นช่วงฆ่าเชื้อ (Sterilization Phase) แล้วจึงทำการลดอุณหภูมิโดยการนำหม้อหนึ่งความดันไอน้ำและสิ่งสูญญากาศ ซึ่งเป็นช่วงลดอุณหภูมิ (Drying Phase)

สำหรับคุณภาพชิ้นกระดูกหลังการทดลอง ปรากฏว่า ลักษณะชิ้นกระดูกเปลี่ยนแปลงไป เช่น ผิวเป็นขุย กร้าน แผ่นหนังปริออก ชิ้นกระดูกบวม ดังตัวอย่างในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 ชิ้นกระดูกหลังการทำการทดลองฆ่าเชื้อ โดยเงื่อนไขควบคุมความดันที่ 760

torr ควบคุมที่อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูก 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

จากเอกสารอ้างอิง[22] มีรายงานว่า ความร้อนชื้นสามารถทำให้โปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยจะจับตัวกันเป็นก้อน ดังนั้นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกของชิ้นกระดูก เนื่องมาจากชิ้นกระดูกที่ใช้ในการทดลองผลิตมาจากหนังโค ซึ่งหนังสัตว์เหล่านี้มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย เมื่อไอน้ำสัมผัสกับโปรตีนในหนังสัตว์ จะทำให้โปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพจับตัวกันเป็นก้อน(Coagulation) ทำให้เกิดการเสียรูป (Denature) เป็นสาเหตุให้ผิวชิ้นกระดูกเป็นขุย กร้าน ทำให้สีผิวของชิ้นกระดูกซีด สำหรับกรณีชิ้นกระดูกบวมเกิดจากไอน้ำควบแน่นเข้าไปภายในชิ้นกระดูกตามรูพรุนและตามรอยต่อ ทำให้หนังนิ่มและคลายตัวออก ในขณะเดียวกันกลิ่นก็เป็นอีกปัญหาที่เกิดขึ้น คือ มีกลิ่นฉุน คล้ายเนื้อมีกลิ่น

จากปัญหข้างต้นจำเป็นต้องหาวิธีเพื่อพยายามลดปัญหาการเปลี่ยนแปลงของผิวชั้นกระดุก ซึ่งสามารถจำแนกได้ดังต่อไปนี้

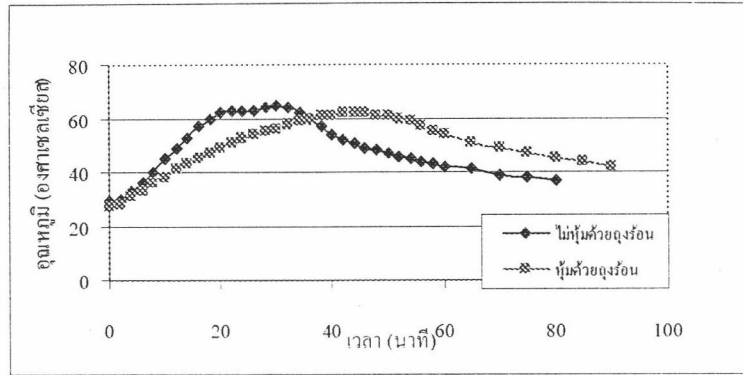
#### 5.1.1 ผลการทดลองเมื่อหุ้มชั้นผลิตภัณฑ์ด้วยถุงร้อน

เนื่องจากปัญหาผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการทดลองมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไป คือ ผิวเป็นขุย กร้าน แผ่นหนังปริออก กระดุกบวม เป็นต้น ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ทำให้มีแนวคิดใหม่เกิดขึ้น จึงลอง โดยนำผลิตภัณฑ์ไปหุ้มด้วยถุงพลาสติกที่ทนร้อน โดยในการทดลองจะหุ้มผลิตภัณฑ์ด้วยถุงร้อน แล้วพยายามบีบให้อากาศภายในถุงเหลือน้อยที่สุด จากนั้นมัดปากถุงด้วยหนังยาง แล้วจึงนำไปทำการทดลอง ผลการทดลองดังตารางที่ 5.1 การทดลองลำดับที่ 6-7 และตารางที่ 5.2 การทดลองลำดับที่ 24-25, 28-29, 32-33

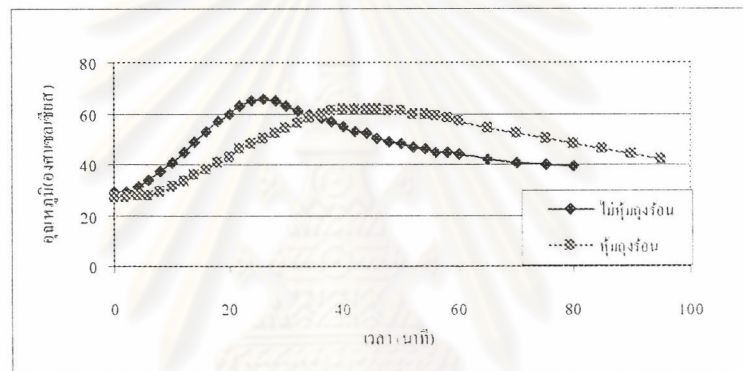
จากรูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่กึ่งกลางกระดุก โดยเงื่อนไขควบคุมความดันที่ 460 torr ควบคุมที่อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดุก 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ในกรณีหุ้มด้วยถุงร้อนและไม่หุ้มด้วยถุงร้อน พบว่า ในกรณีไม่หุ้มด้วยถุงร้อน ในช่วงการให้ความร้อน (Heating Phase) ใช้เวลานานประมาณ 20 นาที ในขณะที่ ในกรณีหุ้มด้วยถุงร้อน จะใช้เวลานานประมาณ 40 นาที เมื่อเปรียบเทียบกันพบว่าใช้เวลานานต่างกันประมาณ 20 นาทีเนื่องจากถุงร้อนเปรียบเหมือนตัวต้านทานการถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำอิมตัวให้กับชั้นกระดุก ไอน้ำอิมตัวจะกระทบกับผิวของถุงร้อนและควบแน่นบนผิวของถุงร้อน หลังจากนั้นจึงถ่ายเทพลังงานความร้อนสู่ชั้นกระดุกต่อไปซึ่งต้องเสียเวลานานขึ้น จากรูปที่ 5.4 และรูปที่ 5.5 ก็เป็นไปในลักษณะเดียวกัน

สำหรับผลการสังเกตในแง่คุณภาพผลิตภัณฑ์ พบว่า ลักษณะภายนอกและสีของผลิตภัณฑ์ หลังการทดลองเหมือนก่อนการทดลองมาก ทั้งนี้เนื่องจากไอน้ำไม่สัมผัสกับชั้นกระดุกโดยตรง หรือมีการสัมผัสกันน้อยมาก (เกิดจากการที่ไอน้ำสามารถแทรกเข้าไปในถุงร้อนได้ เนื่องจากการใช้ถุงร้อนมัดด้วยหนังยาง ไม่มีดัดอากาศ) ทำให้โปรตีนในชั้นกระดุกไม่เกิดการจับตัวกันเป็นก้อน สำหรับน้ำหนักของชั้นกระดุกหลังการทดลองจะลดลงเล็กน้อย

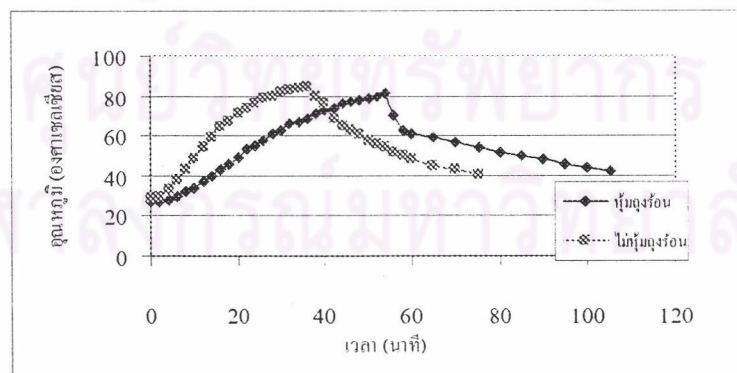
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่กึ่งกลางกระดุก โดยควบคุมความดันที่ 460 torr hold ที่อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดุก 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ในกรณีหุ้มและไม่หุ้มด้วยถุงร้อน



รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่กึ่งกลางกระดุก โดยควบคุมความดันที่ 560 torr ควบคุมที่อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดุก 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ในกรณีหุ้มและไม่หุ้มด้วยถุงร้อน



รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่กึ่งกลางกระดุก โดยควบคุมความดันที่ 760 torr ควบคุมที่อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดุก 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ในกรณีหุ้มและไม่หุ้มด้วยถุงร้อน

จากการพิจารณาเปรียบเทียบทั้ง 2 วิธี พบทั้ง ข้อดี/ข้อเสียของการหุ้มและไม่หุ้มขึ้นกระดุกในการฆ่าเชื้อ ดังนี้

1. การฆ่าเชื้อโดยไม่หุ้มด้วยถุงร้อน เสียเวลาในการทดลองน้อยกว่า และใช้พลังงานความร้อน(การใส่ไอน้ำ)ในการเพิ่มอุณหภูมิส่วนลิกของผลิตภัณฑ์ให้ได้ค่าที่ต้องการน้อยกว่า การฆ่าเชื้อโดยการหุ้มด้วยถุงร้อน
2. การฆ่าเชื้อโดยไม่หุ้มด้วยถุงร้อน ไม่ต้องเสียเวลา และค่าใช้จ่าย(ถุงร้อน, ค่าจ้างแรงงาน) ในการห่อ-แกะถุงร้อน ทั้งก่อน-หลังการฆ่าเชื้อ อีกทั้งยังไม่มีปัญหาการอาจเกิดการปนเปื้อนจากการแกะห่อที่เปียกชื้นด้านนอก
3. การฆ่าเชื้อโดยไม่หุ้มด้วยถุงร้อน ขึ้นกระดุกหลังการทดลองจะมีความชื้นเพิ่มมากขึ้น อาจจำเป็นต้องทำการอบแห้งอีกครั้ง ทำให้เสียเวลาและพลังงานเพิ่มขึ้นในการอบแห้ง
4. การฆ่าเชื้อโดยไม่หุ้มด้วยถุงร้อนในเงื่อนไขปัจจุบัน ขึ้นกระดุกที่ได้หลังการทดลองมีลักษณะภายนอกและสีสันเปลี่ยนแปลงไปพอสมควร อาจเกิดปัญหาคือที่โรงงานและลูกค้ายอมรับไม่ได้
5. การฆ่าเชื้อโดยหุ้มด้วยถุงร้อน จำเป็นต้องเสียเงินลงทุนเพิ่มขึ้นมาก เนื่องจากขนาดของเครื่องฆ่าเชื้อจะโตขึ้น 2-3 เท่า เพื่อให้ได้อัตราการผลิตเท่าเดิม อีกทั้งเวลาที่ต้องใช้ในการฆ่าเชื้อจะยาวขึ้น จึงต้องใช้เครื่องกำเนิดไอน้ำขนาดโตขึ้น เนื่องจากสิ้นเปลืองไอน้ำมากขึ้น เพราะเครื่องฆ่าเชื้อมีขนาดโตขึ้น

โดยสรุปแล้ว ข้อดีที่สำคัญของการฆ่าเชื้อโดยหุ้มด้วยถุงร้อน คือ มีลักษณะและสีสันภายนอกไม่เปลี่ยนแปลง แต่โดยรวมแล้วต้องเสียค่าใช้จ่ายและเวลาเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นในกรณีการฆ่าเชื้อโดยไม่หุ้มด้วยถุงร้อน ถ้าสามารถลดปัญหาการเปลี่ยนแปลงของผิวขึ้นกระดุกได้ ก็จะเป็นการดีอย่างยิ่ง

### 5.1.2 ผลของความดันที่ควบคุมภายในหม้อหนึ่งความดันไอ

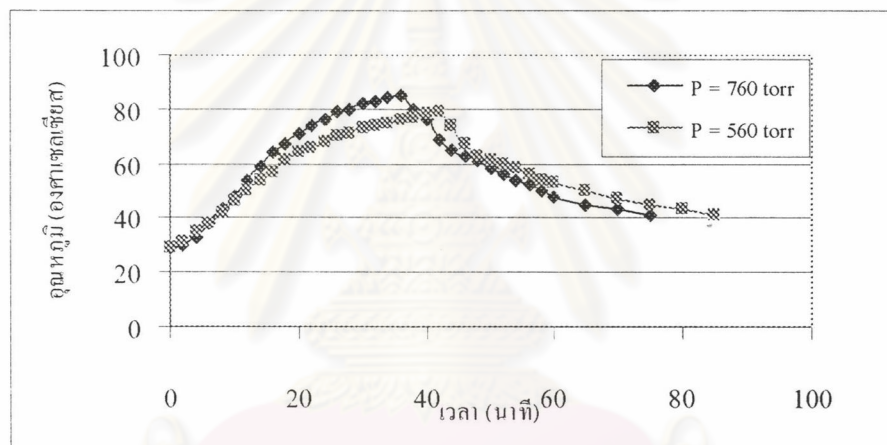
จากรูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่กึ่งกลางกระดุก โดยเงื่อนไข Hold ที่อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดุก 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ไม่หุ้มถุงร้อน โดยควบคุมความดันที่ 560 torr และ 760 torr พบว่า ในการทดลองที่ควบคุมความดัน 760 torr ความชันของกราฟในช่วงการให้ความร้อน (Heating Phase) จะชันมากกว่าการทดลองที่ควบคุมความดัน 560 torr แสดงว่าสามารถถ่ายเทความร้อนเข้าไปในกึ่งกลางขึ้นกระดุกได้เร็วกว่า เนื่องจากที่ผลต่างของความดันภายในหม้อหนึ่งความดันไอและความดันภายในกึ่งกลางขึ้นกระดุกจะเป็นแรงขับ (Driving Force) ทำให้ไอน้ำจะสามารถแทรกเข้าไปภายในกึ่งกลางขึ้นกระดุกได้เร็วกว่า อีกทั้งที่ ณ ความดัน 760 torr จุดเดือดของน้ำจะเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส ในขณะที่ ณ ความดัน 560 torr จุดเดือดของน้ำจะเท่ากับ 90.79 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่า ที่ความดัน 760 torr ผลของต่างระหว่างอุณหภูมิภายในหม้อหนึ่งความดันไอและอุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดุก(ประมาณ 27 องศาเซลเซียส) มี



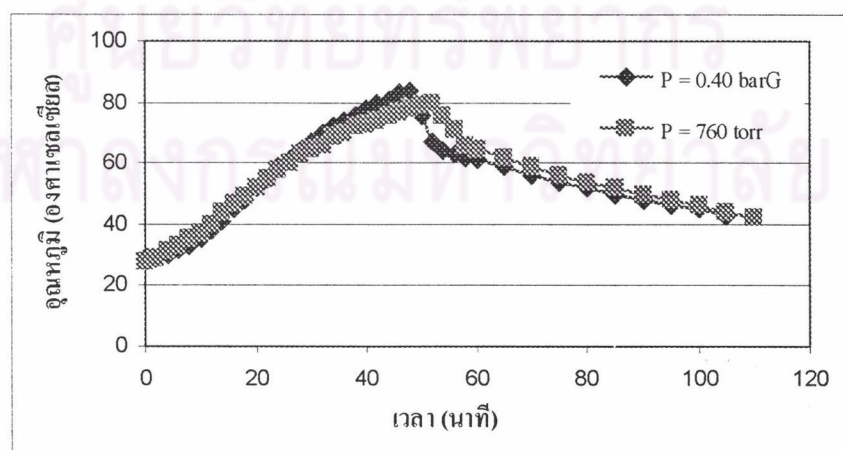
มากกว่า ณ ความดัน 560 torr ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนได้เร็วกว่า จากรูปที่ 5.7 และ 5.8 ก็มีแนวโน้มเป็นไปในทางเดียวกัน

ในการทำวิจัยได้ทำการทดลองโดยการเพิ่มความดันในช่วงแรกของการให้ความร้อน (Heating Phase) แล้วจึงลดความดันให้ตกลงถึงจุดที่ต้องการควบคุมให้คงที่ดังตารางที่ 5.1 ลำดับการทดลองที่ 8-10 ผลการทดลองปรากฏว่า สามารถลดช่วงเวลากการให้ความร้อนได้ ประมาณ 5 นาที จากเดิมใช้เวลาประมาณ 25 นาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความดันที่เพิ่มในช่วงแรก

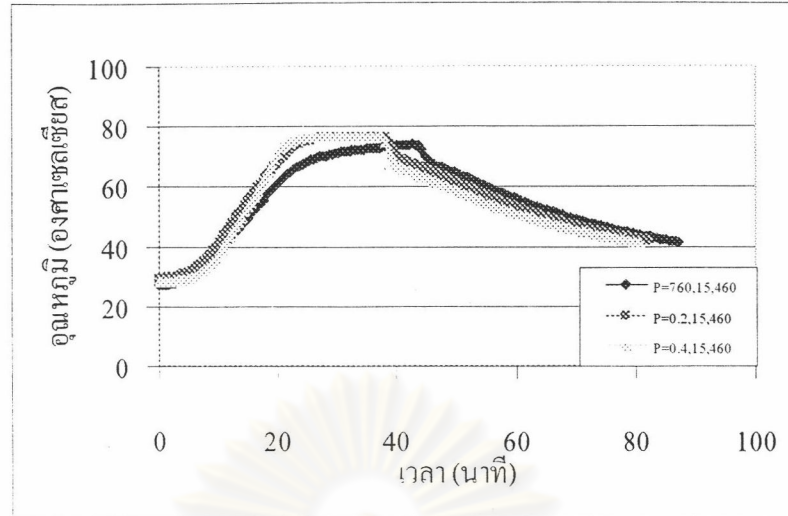
สำหรับผลการสังเกตในแง่คุณภาพผลิตภัณฑ์ พบว่า ลักษณะของผิวชั้นกระดุกหลังการทดลอง ผิวยังเป็นขุย กร้าน และแห้งยังคงปรืออยู่ จากการสังเกต พบว่า ถ้าความดันที่ต้องการควบคุมสูงขึ้น ลักษณะภายนอกและสีของผลิตภัณฑ์หลังการทดลองจะเสียรูปมากขึ้น



รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความชื้นกึ่งกลางกระดุก โดยเงื่อนไข ควบคุมที่ อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดุก 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ไม่หุ้มถุงร้อน



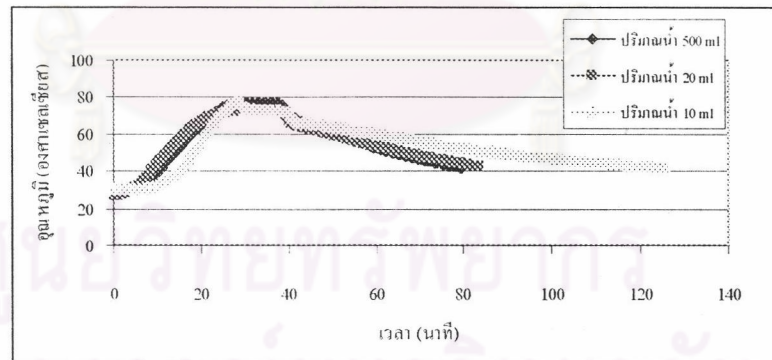
รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความชื้นกึ่งกลางกระดุก โดยเงื่อนไข ควบคุมที่ อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดุก 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เมื่อหุ้มถุงร้อน



รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่กึ่งกลางกระดูก โดยเงื่อนไขควบคุมที่อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูก 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เมื่อไม่หุ้มถุงร้อน โดยเพิ่มความดันในช่วงแรกสูงขึ้นแล้วลดความดันให้ลดลงถึง 460 torr

### 5.1.3 ผลของปริมาณน้ำที่ใส่ภายในหม้อนึ่งความดันไอ

จากตารางที่ 5.1 ลำดับการทดลองที่ 13-14 และตารางที่ 5.2 ลำดับการทดลองที่ 34 สามารถนำมาเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 5.9



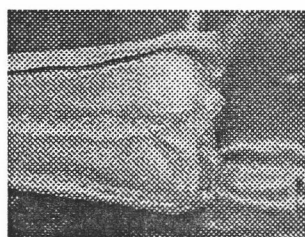
รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่กึ่งกลางกระดูก โดยเงื่อนไขควบคุมที่อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูก 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เมื่อไม่หุ้มถุงร้อน โดยเปรียบเทียบปริมาณน้ำเริ่มต้นที่ใส่ในหม้อนึ่งความดันไอ

จากรูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่กึ่งกลางกระดูก โดยเงื่อนไข ควบคุมที่ อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูก 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เมื่อไม่หุ้มถุงร้อน โดยใช้ ปริมาณน้ำเริ่มต้นที่ใส่ในหม้อหนึ่งความดันไอ 500 ml, 20 ml และ 10 ml ตามลำดับ ผลการทดลอง พบว่า การทดลองที่ใส่น้ำเริ่มต้น 500 ml และ 20 ml ลักษณะกราฟใกล้เคียงกัน ใช้เวลาในการ ทดลองประมาณ 80 และ 85 นาที ตามลำดับ ในขณะที่การทดลองที่ใส่น้ำเริ่มต้น 10 ml ลักษณะของ กราฟแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด และใช้เวลาในการทดลองประมาณ 130 นาที เนื่องจาก การ ทดลองที่ใส่น้ำเริ่มต้น 10 ml เมื่อน้ำเดือดจะกลายเป็นไอน้ำจะขยายตัว แต่ไอน้ำเหล่านี้มีปริมาณ น้อย ทำให้การถ่ายเทพลังงานความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูกสูงขึ้นส่วนใหญ่เกิด จากการแผ่รังสีจากผนังของหม้อหนึ่งความดันไอน้ำมากกว่าการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการควบแน่น ของไอน้ำ ซึ่งสามารถสังเกตจากน้ำหนักของชิ้นกระดูก สำหรับ การทดลองที่ใส่น้ำเริ่มต้น 500 ml และ 20 ml น้ำหนักชิ้นกระดูกเพิ่มขึ้น 2.75% และ 0.38% ตามลำดับ ในขณะที่ การทดลองที่ใส่น้ำ เริ่มต้น 10 ml น้ำหนักชิ้นกระดูกลดลง 1.96%

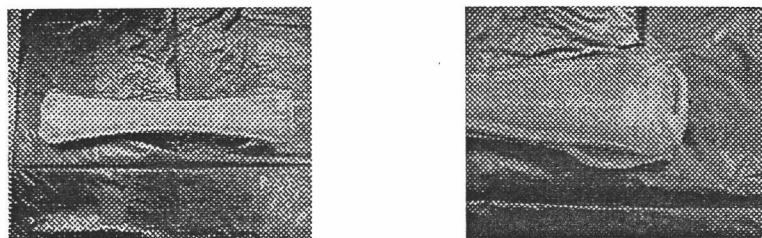
สำหรับผลการสังเกตในแง่คุณภาพผลิตภัณฑ์ พบว่า ในกรณีการทดลองที่ใส่น้ำเริ่มต้น 500 ml ดังรูปที่ 5.10 ลักษณะของผิวชิ้นกระดูกหลังการทดลอง ผิวยังเป็นขุย กร้าน และแห้งยังคงปรืออยู่ แต่เมื่อทดลองโดยใส่น้ำเริ่มต้น 20 ml ดังรูปที่ 5.11 ลักษณะผิวเป็นขุยน้อยลง แต่แห้งยังคงปรืออยู่ สำหรับ การทดลองทดลองโดยใส่น้ำเริ่มต้น 10 ml ดังรูปที่ 5.12 ลักษณะผิวเป็นขุยน้อย แต่จะพอง ออก และเริ่มไหม้



รูปที่ 5.10 ชิ้นกระดูกหลังการทดลองในกรณีการทดลองที่ใส่น้ำเริ่มต้น 500 ml



รูปที่ 5.11 ชิ้นกระดูกหลังการทดลองในกรณีการทดลองที่ใส่น้ำเริ่มต้น 20 ml



รูปที่ 5.12 ชิ้นกระดุกหลังการทดลองในกรณีการทดลองที่ใส่น้ำเริ่มต้น 10 ml

## 5.2 ผลการทดลองและอภิปรายในส่วนการฆ่าเชื้อ

สำหรับการทดลองฆ่าเชื้อแบคทีเรีย Salmonella ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยไม่ได้ทำการเลี้ยง-ตรวจหาเชื้อแบคทีเรีย Salmonella ด้วยตัวเอง ดังนั้นก่อนการทดลองจึงต้องนำชิ้นกระดุกส่งให้ทางบริษัท SAP Laboratory จำกัด นำไปฉีดเชื้อแบคทีเรีย Salmonella สายพันธุ์ Scharwazengrund ที่ปริมาณเริ่มต้น  $5 \times 10^6$  ตัวต่อชิ้น เพื่อทำให้มั่นใจว่าชิ้นกระดุกที่จะทำการทดลองมีเชื้อแบคทีเรีย Salmonella อยู่จริง หลังทำการทดลองแล้ว จึงนำชิ้นกระดุกนั้นส่งตรวจหาเชื้อแบคทีเรีย Salmonella ที่เหลืออยู่ต่อไป ซึ่งสามารถสรุปเงื่อนไขและผลการทดลองเพื่อสังเกตผลการฆ่าเชื้อ (กรณีใส่เชื้อเข้าไปในกึ่งกลางชิ้นกระดุก) ดังแสดงในตารางที่ 5.2

จากเอกสารอ้างอิง[21] มีรายงานว่าสภาวะในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย Salmonella ซึ่งไม่มีการสร้างสปอร์ สามารถทำได้โดยการใช้ความร้อนอยู่ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10-15 นาที ดังนั้นในการทดลองช่วงแรกจึงนำค่านี้เป็นเกณฑ์ในการทดลอง จากตารางที่ 5.2 ในผลการทดลองลำดับที่ 22-25 แสดงให้เห็นว่าการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย Salmonella ด้วยที่มีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ผลการตรวจเชื้อปรากฏว่าพบเชื้อแบคทีเรีย Salmonella ในทุกการทดลองโดยเชื้อแบคทีเรีย Salmonella ที่ถูกพบ พบว่าเป็นสายพันธุ์ Scharwazengrund ทั้งสิ้น

เหตุผลเนื่องมาจากชิ้นกระดุกที่นำมาทำการทดลองผลิตจากหนังโค ซึ่งเป็นแหล่งที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียทำให้เชื้อมีความสามารถในการทนต่อความร้อนมากขึ้น ดังนั้นจึงทำการทดลองต่อ โดยการควบคุมอุณหภูมิภายในกึ่งกลางชิ้นกระดุกให้สูงขึ้นเป็น 70 องศาเซลเซียส แต่ยังคงควบคุมเวลาเท่าเดิม คือ 15 นาที ผลการทดลองปรากฏว่า ไม่พบเชื้อแบคทีเรีย Salmonella ที่มีชีวิตเหลืออยู่ในตัวอย่างที่ส่งตรวจในทุกการทดลอง ดังตารางที่ 5.2 ในผลการทดลองลำดับที่ 26-36 ดังนั้นสภาวะที่อุณหภูมิภายในกึ่งกลางชิ้นกระดุก 70 องศาเซลเซียส ควบคุมเวลา 15 นาที จึงเป็นสภาวะที่ถูกกำหนดให้ใช้เป็นสภาวะในการฆ่าเชื้อสำหรับการทดลองต่อไปในเครื่องระดับนาร์อง

ในกรณีเงื่อนไขการทดลองที่หุ้มด้วยถุงร้อน โดยการใช้ความร้อนอยู่ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ผลการตรวจเชื้อปรากฏว่าพบเชื้อแบคทีเรีย Salmonella ในทุกการทดลอง จากตารางที่ 5.2 ในผลการทดลองลำดับที่ 24-25 ในขณะที่ทำการทดลองโดยการควบคุม

อุณหภูมิภายในกึ่งกลางชั้นกระดูกให้สูงขึ้นเป็น 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ผลการทดลองพบว่า ไม่พบเชื้อแบคทีเรีย Salmonella ที่มีชีวิตเหลืออยู่ในตัวอย่างที่ส่งตรวจในทุกการทดลอง ดังตารางที่ 5.2 ในผลการทดลองลำดับที่ 28-29 และ 32-33

สำหรับการทดลองฆ่าเชื้อโดยใช้ความร้อนแห้ง (Dry Heat) นั้นดังตารางที่ 5.2 ในผลการทดลองลำดับที่ 35-36 ในการทดลองจะใช้ไฟเผาหมอนึ่งความดันไอลงโดยตรงโดยไม่มีการเติมน้ำ หลังการทดลองโดยใช้เงื่อนไขใช้ไฟเผาจนกระทั่งอุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูก 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ผลการตรวจวิเคราะห์เชื้อพบว่า เชื้อตายหมด



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.2 สรุปเงื่อนไขและผลการทดลองเพื่อสังเกตผลการฆ่าเชื้อ (กรณีใส่เชื้อเข้าไปในกึ่งกลางชั้นกระดูก)

ลำดับที่	เงื่อนไขที่ใช้ในการทดลอง						ผลการตรวจเชื้อ <sup>6</sup> (ตายหมด/ตายไม่หมด)	%น้ำหนักที่ เพิ่มขึ้น	หมายเหตุ
	อุณหภูมิ <sup>1</sup> (°C)	หุ้มด้วย ถุงร้อน <sup>2</sup>	ความดัน <sup>3</sup> (torr)	ปริมาณ น้ำ <sup>4</sup> (ml)	Holding Time <sup>5</sup> (min)				
19	-	X	660	500	45	ตายหมด	5.07		
20	-	X	660	500	30	ตายหมด	2.97		
21	-	X	660	500	20	ตายหมด	2.27		
22	60	X	460	500	15	ตายไม่หมด	1.81		
23	60	X	560	500	15	ตายไม่หมด	2.58		
24	60	✓	460	500	15	ตายไม่หมด	-0.16		
25	60	✓	560	500	15	ตายไม่หมด	-0.11		
26	70	X	560	500	15	ตายหมด	3.01		
27	70	X	660	500	15	ตายหมด	3.87		
28	70	✓	760	500	15	ตายหมด	-0.85		
29	70	✓	0.4 barG	500	15	ตายหมด	-1.45		
30	70	X	560	500	15	ตายหมด	3.29		
31	70	X	660	500	15	ตายหมด	3.95		
32	70	✓	760	500	15	ตายหมด	-0.79		
33	70	✓	0.4 barG	500	15	ตายหมด	-1.11		

ตารางที่ 5.2 สรุปเงื่อนไขและผลการทดลองเพื่อสังเกตผลการฆ่าเชื้อ (กรณีใส่เชื้อเข้าไปในกึ่งกลางชั้นกระดูก) (ต่อ)

ลำดับที่	เงื่อนไขในการทดลอง				ผลการตรวจเชื้อ (ตายหมด/ตายไม่หมด)	%น้ำหนักที่ เพิ่มขึ้น	หมายเหตุ
	อุณหภูมิ (°C)	หุ้มด้วย ถุงร้อน	Pressure (torr)	ปริมาณ น้ำ (ml)			
34	70	X	0.2 barG เป็นเวลา 2 นาที แล้ว ลดเหลือ 460 torr	20	15	0.38	
35	70	X	-	-	15	-3.29	
36	70	X	-	-	15	-1.74	

- หมายเหตุ
- 1 อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูกที่กำหนดในการฆ่าเชื้อ
  - 2 ในบางกรณีมีการหุ้มชั้นกระดูกด้วยถุงร้อนเพื่อทดลองดูคุณภาพของชั้นกระดูก
  - 3 ความดันภายในหม้อนึ่งความดันไอที่ต้องการควบคุม
  - 4 ปริมาณน้ำที่ใช้ในหม้อนึ่งความดันไอก่อนการทดลอง
  - 5 เวลาในการฆ่าเชื้อ เริ่มนับเมื่ออุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูกถึงค่าที่กำหนด
  - 6 ผลการตรวจวิเคราะห์เชื้อ Salmonella ยืนยัน โดย บริษัท S.A.P. Laboratory จำกัด