

บทที่ 9

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

9.1 สรุปผลงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ทำการสร้างเครื่องระดับ Bench Scale สำหรับฆ่าเชื้อแบคทีเรีย Salmonella ในผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวสำหรับสุนัข และทดลองเพื่อนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการทดลองกับเครื่องระดับนาร์่อง เพื่อหาเงื่อนไขในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย Salmonella ที่จึงใจได้ในผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวสำหรับสุนัข จากนั้นจึงทำการออกแบบเครื่องฆ่าในระดับอุตสาหกรรม โดยมีอัตราการผลิตประมาณ 150 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ดังนั้นจึงขอสรุปได้ดังนี้

9.1.1 ในส่วนของสร้างและทดลองกับเครื่องระดับ Bench Scale สำหรับฆ่าเชื้อแบคทีเรีย Salmonella ในผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวสำหรับสุนัข

- 1) ในเครื่องระดับ Bench Scale การดึงสุญญากาศจะใช้ไอเจคเตอร์ลม (Air Ejector) ซึ่งสามารถดึงได้ความดันต่ำสุดที่ประมาณ 160 torr
- 2) ในกรณีใช้วิธีให้ความร้อนด้วยไอน้ำ เวลาที่ใช้ในการทำการทดลองทั้งหมดประมาณ 1 ชั่วโมงต่อกะ การทดลองในช่วงแรกโดยยังไม่ได้เติมเชื้อ หลังการทำการดึงสุญญากาศและผลิตไอน้ำ พบว่า ชิ้นกระดูกที่ได้มีลักษณะเปลี่ยนแปลงไป เช่น ผิวเป็นขุย กร้าน แผ่นหนังปริออก กระดูกบวม
- 3) ในเงื่อนไขการทดลองที่ความดันที่ต้องการควบคุมสูงขึ้น ลักษณะภายนอกและสีของชิ้นกระดูกหลังการทดลองจะเสียรูปมากขึ้น ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ทำให้มีแนวคิดใหม่เกิดขึ้น จึงลองนำชิ้นกระดูกไปหุ้มด้วยถุงพลาสติกที่ทนร้อน แล้วนำไปทำการทดลองใหม่ดังข้างต้น พบว่า ลักษณะภายนอกและสีของชิ้นกระดูกหลังการทดลองเหมือนก่อนการทดลองมาก อีกทั้งน้ำหนักชิ้นกระดูกหลังการทดลองก็ลดลงเล็กน้อย แต่ในขณะที่เดียวกันก็ใช้เวลาในการฆ่าเชื้อนานขึ้นประมาณ $1\frac{1}{2}$ ชั่วโมง เมื่อเทียบกับประมาณ 1 ชั่วโมง กรณีที่ไม่หุ้มถุงร้อน
- 4) สำหรับผลการทดลองฆ่าเชื้อ Salmonella โดยอาศัยทั้ง 2 วิธีข้างต้น (หุ้มและไม่หุ้มชิ้นผลิตภัณฑ์ด้วยถุงร้อน) ปรากฏว่า ผลการตรวจวิเคราะห์เชื้อ ไม่พบเชื้อ Salmonella ที่มีชีวิตเหลืออยู่ในตัวอย่างทั้งหมดที่ส่งตรวจ เมื่อใช้เงื่อนไขการฆ่าเชื้อ ที่อุณหภูมิส่วนล็กภายในผลิตภัณฑ์ไม่ต่ำกว่า 70 องศาเซลเซียส นานเป็นเวลาประมาณ 15 นาที จากการพิจารณาทั้ง 2 วิธี พบทั้ง ข้อดี/ข้อเสียของการหุ้มและไม่หุ้มผลิตภัณฑ์ในการฆ่าเชื้อโดยสรุปแล้ว ข้อดีที่สำคัญของการฆ่าเชื้อโดย

หุ้มด้วยถุงร้อน คือ มีลักษณะและสีสัณภายนอกไม่เปลี่ยนแปลง แต่โดยรวมแล้วต้องเสียค่าใช้จ่าย และเวลาเพิ่มมากขึ้น

5) กรณีไม่หุ้มถุงร้อน ทำการทดลองโดยการเพิ่มความดันในช่วงแรกของการให้ความร้อน(Heating Phase) ประมาณ 2-3 นาที แล้วจึงลดความดันให้ลดลงถึงจุดที่ต้องการควบคุมให้คงที่ ผลการทดลองปรากฏว่า สามารถลดช่วงเวลาการให้ความร้อนได้ ประมาณ 5 นาที (จากเดิมใช้เวลาประมาณ 25 นาที)ขึ้นอยู่กับความดันที่เพิ่มในช่วงแรก แต่ลักษณะของผิวขึ้นกระดุก หลังการทดลอง พบว่า ผิวยังเป็นขุย กร้าน และหนังยังคงปรืออยู่พอสมควร

6) กรณีไม่หุ้มถุงร้อน ทำการทดลองโดยลดปริมาณน้ำ(เพื่อใช้กำเนิดไอน้ำ) ที่ใส่ตอนแรกปริมาณ 500, 20 และ 10 มิลลิลิตร ในหม้อหนึ่งความดันไอก่อนเริ่มการทดลองจากผลการทดลองพบว่า ลักษณะของผิวขึ้นกระดุกเป็นขุยน้อยลง หนังไม่ปริ แต่ผิวจะแห้งมาก อีกทั้งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ลดลง ซึ่งหมายความว่า เกิดการลดความชื้นขึ้นในชั้นกระดุกหลังฆ่าเชื้อ จึงสรุปได้ว่า มีค่าเหมาะสมของน้ำที่ใส่ไว้ในหม้อฆ่าเชื้อตอนแรก

9.1.2 ในส่วนของการสร้างและทดลองกับเครื่องระดับนํารองสำหรับฆ่าเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella* ในผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวสำหรับสุนัข

1) ในเครื่องระดับนํารอง การดึงสุญญากาศจะใช้ปั๊มสุญญากาศ ซึ่งสามารถดึงได้ความดันต่ำสุดที่ประมาณ 160 torr

2) ในกรณีวิธีการให้ความร้อนด้วยไอน้ำซึ่งการถ่ายเทความร้อนเกิดจากควมแน่นของไอน้ำบนผิวขึ้นกระดุกและไอน้ำบางส่วนแทรกเข้าไปควมแน่นภายในในส่วนลึกของขึ้นกระดุกทำให้อุณหภูมิขึ้นกระดุกสูงขึ้น แต่ผลการทดลองพบว่าถึงแม้ควมคุมความดันที่ 260 torr (อุณหภูมิไอน้ำอิ่มตัว เท่ากับ 71.73 องศาเซลเซียส) ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่รุนแรงน้อยที่สุด คุณภาพของผลิตภัณฑ์ก็ยังคงเปลี่ยนไป คือ เป็นขุยน้อย หนังปริ เนื่องจากโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในหนังเกิดการเสียรูปจับตัวกันเป็นก้อนเมื่อได้สัมผัสกับไอน้ำโดยตรง ซึ่งเป็นสาเหตุให้ลักษณะของผิวขึ้นกระดุกเปลี่ยนไป

3) ในกรณีวิธีการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ อากาศภายในเครื่องฆ่าเชื้อมีผลทำให้เวลาในการทำการทดลองนานขึ้น เนื่องจากอากาศเป็นตัวต้านทานทำให้ไอน้ำถ่ายเทความร้อนให้กับขึ้นกระดุกได้ช้าลง ทำให้ลักษณะผิวขึ้นกระดุกเสียรูปมากขึ้น ดังนั้นก่อนการทดลองจึงต้องดึงสุญญากาศก่อนทุกครั้ง สำหรับผลการฆ่าเชื้อด้วยวิธีการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ พบว่า สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella* ได้เมื่อใช้เงื่อนไขการฆ่าเชื้อ ที่อุณหภูมิส่วนลึกภายในผลิตภัณฑ์ไม่ต่ำกว่า 70 องศาเซลเซียส นานเป็นเวลาประมาณ 15 นาที โดยเชื้อตายหมด

4) ในกรณีวิธีการให้ความร้อนผ่านผนัง ซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสี

โดยเป็นการแผ่รังสีอินฟราเรด (Infrared) พบว่าถ้ากำหนดค่าอุณหภูมิที่ผนังให้เพิ่มมากขึ้นก็จะสามารถทำให้ชั้นกระดูกมีอุณหภูมิสูงขึ้นได้เร็วขึ้น แต่จะทำให้ชั้นกระดูกเกิดการเสียรูปได้มากขึ้นด้วย

5) อากาศภายในเครื่องฆ่าเชื้อมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนจากผนังสู่ชั้นกระดูกเพียงเล็กน้อย เนื่องจากวิธีการให้ความร้อนผ่านผนัง ซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสี ที่ไม่จำเป็นต้องมีตัวกลาง ผลการตรวจวิเคราะห์เชื้อ พบว่า ไม่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้หมด

6) ในการทดลองฆ่าเชื้อโดยใช้ลมร้อน(ใช้ตุ้มร้อนในโรงงาน) ที่อุณหภูมิลมร้อน 100 องศาเซลเซียส รอนอุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูก 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่า ลักษณะชั้นกระดูกเริ่มบดตัว มีรอยปริเล็กน้อย แต่ไม่เป็นขุย แต่ผลการตรวจวิเคราะห์เชื้อพบว่า ไม่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย Salmonella ได้หมด เนื่องจากการใช้ลมร้อนเป็นการดึงน้ำออกจากเซลล์ (Dehydration) และทำให้กระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) ภายในเซลล์เปลี่ยนแปลงจนไม่สามารถจะดำเนินกิจกรรมได้ ทำให้เซลล์ตาย ซึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูงและเวลานาน

7) ในส่วนของกรอกแบบเครื่องฆ่าในระดับอุตสาหกรรมนั้น จะทำการออกแบบโดยใช้หลักการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ เนื่องจาก เป็นวิธีการฆ่าเชื้อที่เลวร้ายน้อยที่สุดและสามารถฆ่าเชื้อได้หมด ในกรณีการให้ความร้อนผ่านผนัง(การแผ่รังสีอินฟราเรด) จะเกิดปัญหาการถ่ายเทความร้อนไม่ทั่วถึง ชั้นกระดูกที่อยู่ชั้นในอุณหภูมิจะขึ้นช้ากว่าชั้นที่อยู่ใกล้ผนัง ในขณะที่การใช้ลมร้อนจำเป็นต้องใช้เวลานานและอุณหภูมิสูงในการดึงน้ำภายในเซลล์ออกมา

9.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติม

1. ทดลองหาวิธีปรับปรุงสภาพผลิตภัณฑ์หลังการทดลอง ให้อยู่ในสภาพที่เปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด
2. ทำการศึกษาถึงชนิดผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น กระดูกหมู, กระดูกอัดขนาดที่เล็กลง และชั้น Munchy เป็นต้นในโรงงานเพิ่มขึ้น เพื่อสามารถหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่ผลิตในโรงงาน
3. ทำการทดลองศึกษาวิธีการฆ่าเชื้ออื่นๆ เช่น การใช้ไมโครเวฟ (Microwave) หรือ การฉายรังสี เป็นต้น หรือใช้หลายวิธีร่วมกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อให้ดีขึ้น