TFE-13

การศึกษาเวลาฆ่าเชื้อและเนื้อสัมผัสของส่วนประกอบหลักของแกงเขียวหวานไก่บรรจุกระป๋องภายใต้สภาวะเขย่าระหว่างการให้ความร้อน

*สมัคร รักแม่[1] และ หญิงไท รัตนมูสิก[1]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

ผู้เขียนติดต่อ: สมัคร รักแม่ E-mail: krsamak@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงอิทธิพลของการเขย่าระหว่างการให้ความร้อนต่อแกงเขียวหวานไก่บรรจุกระป๋องในหม้อฆ่าเชื้อแบบละอองน้ำพ่นฝอย เพื่อสังเกตการแทรกผ่านความร้อนและเนื้อสัมผัสของส่วนประกอบหลักของแกงเขียวหวานไก่ ได้แก่ น้ำแกงเขียวหวานไก่ ชิ้นเนื้ออกไก่ มะเขือเปราะหั่นซีกและมะเขือพวง ศึกษาการเขย่าที่ความถี่ 3 ระดับ คือ0 (อยู่นิ่ง)160 และ 310 ครั้ง/นาที ระยะขจัดการเขย่า 1 เซนติเมตร แกงเขียวหวานไก่ถูกบรรจุในกระป๋อง 2 ขนาด คือ 307x409 และ 401x411 อุณหภูมิขณะฆ่าเชื้อ 120 องศาเซลเซียสผลการวิจัยพบว่าการเขย่ากระป๋องระหว่างการให้ความร้อน ทำให้เวลาในการแทรกผ่านความร้อนที่ F_0 เท่ากับ 8 นาที ในกระป๋องขนาด 307x409 ที่ความถี่ 160ครั้งต่อนาที ใช้เวลาในการให้ความร้อนที่สภาวะอยู่นิ่ง 51.5 นาที และการเขย่าที่ความถี่ 160 และ 310 ครั้ง/นาที ใช้เวลา 29.5 และ 25.0 นาที ตามลำดับ สำหรับกระป๋องขนาด 401x411 ใช้เวลาในการฆ่าเชื้อที่สภาวะอยู่นิ่ง 60.0 นาที และการเขย่าที่ความถี่ 160 และ 310 ครั้ง/นาที ใช้เวลา 31.0 และ 27.0 นาที ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าเนื้อสัมผัสของชิ้นเนื้ออกไก่มะเขือเปราะหั่นซีกและมะเขือพวงที่สภาวะอยู่นิ่งจะมีค่าความเหนียว ความแข็งและค่าแรงเฉือนสูงสุดมากกว่าสภาวะที่ถูกเขย่าอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่การเขย่าความถี่ 160 และ 310 ครั้ง/นาทีและพบว่าสีของน้ำแกงเขียวหวานโดยการเปรียบเทียบกับระบบMunsellน้ำแกงเขียวหวานที่ฆ่าเชื้อในสภาวะอยู่นิ่งจะให้ค่าสี 10.0 Y 9/2 ในขณะที่น้ำแกงเขียวหวานที่ฆ่าเชื้อในสภาวะเขย่าที่ความถี่ 160 310 ครั้ง/นาที จะให้ค่าสี 7.5 Y 9/2 และการเขย่าที่ความถี่ 160 ครั้ง/นาทีเนื้อมะเขือเปราะและมะเขือพวงยังคงรูปไม่เกิดการเสียหายเนื่องจากแรงเขย่า

คำสำคัญ: แกงเขียวหวาน; เนื้อสัมผัส;การเขย่า; หม้อฆ่าเชื้อ; กระป๋อง

1. บทนำ

แกงเขียวหวานไก่เป็นเป็นอาหารกระป๋องอย่างหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากมีส่วนประกอบอาหารหลายชนิดและมีเนื้อสัมผัสแตกต่างกัน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยของความถี่ในการเขย่ากระป๋องต่อการแทรกผ่านความร้อนในระหว่างที่มีการให้ความร้อนของแกงเขียวหวานไก่ รวมทั้งศึกษาผลกระทบของการเขย่าต่อเนื้อสัมผัสของส่วนประกอบหลักของแกงเขียวหวานไก่ เนื่องจากแกงเขียวหวานเป็นตัวแทนอาหารที่มีชิ้นอาหารหลายชนิด เช่น เนื้อไก่ มะเขือเปราะ มะเขือพวง เปรียบเทียบกับสภาวะปกติทั่วไป

การฆ่าเชื้อด้วยความร้อนในอาหารเป็นการลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ทนต่อความร้อน ณ จุดที่จะร้อนช้าที่สุดให้เหลือในระดับที่ปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้บริโภค [1] การทำให้อาหารกระป๋องปลอดเชื้อด้วยความร้อนเป็นกระบวนการสำคัญในอุตหกรรมอาหารและอาหารกระป๋องเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพที่สุดวิธีหนึ่งในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร [2] ในอดีตผู้บริโภคจะให้ความสนใจอาหารในด้านความปลอดภัยเป็นหลัก แต่ในปัจจุบันผู้บริโภคเริ่มให้ความสนใจในด้านคุณค่าอาหาร สี กลิ่นและรส ของอาหารอีกด้วย มีการศึกษาการถ่ายเทความร้อนในอาหารระหว่างการให้ความร้อนเป็นจำนวนมาก ซึ่งพบว่าการให้ความร้อนอาหาร

กระป๋องจะอาศัยการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อน การนำความร้อน หรือทั้งสองวิธีร่วมกัน อัตราการถ่ายแทรกผ่านความร้อนสามารถเพิ่มได้ด้วยการหมุน [3], [4] ซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอาหารภายในกระป๋องทำให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สามารถใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นกว่าเดิม แต่ลดเวลาในการให้ความร้อนให้สั้นลงได้ การหมุนสั่นดังกล่าวยังทำให้ต้นทุนในการผลิตลดลงและประสิทธิภาพในการผลิตสูงขึ้น รวมทั้งสามารถป้องกันการแยกชั้นของอาหารระหว่างการให้ความร้อนได้อีกด้วย โดยมีปัจจัยที่สำคัญก็คือช่องว่างเหนือศีรษะในกระป๋อง [1] มีการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนในหม้อฆ่าเชื้อแบบหมุน (end over end retort) พบว่าทำให้การถ่ายเทความร้อนในของเหลวความหนืดสูงดีขึ้น 2-3 เท่าเมื่อเทียบกับหม้อฆ่าเชื้อทั่วไป [5] แต่หากความเข้มข้นของอาหารมีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง[6] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเปรียบเทียบทิศทางการวางกระป๋องในแนวนอนและแนวตั้งการวางกระป๋องในแนวนอนให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าการวางกระป๋องในแนวตั้ง [6] Meng และคณะ [7] ศึกษาผลกระทบของความเร็วในการหมุนของหม้อฆ่าเชื้อ ความเข้มข้นของสารละลาย อุณหภูมิในหม้อฆ่าเชื้อ และขนาดอนุภาคที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน พบว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วในการหมุน อุณหภูมิในหม้อฆ่าเชื้อ และความหนาแน่นของอนุภาคเพิ่มขึ้น และค่าสัมประสิทธิ์การแทรกผ่านความร้อนจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 อุปกรณ์สำหรับการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ติดตั้งอุปกรณ์เขย่าเพิ่มให้กับหม้อฆ่าเชื้อแบบสเปรย์น้ำพ่นฝอยของบริษัท KM Grand Pack จำกัด โดยใช้แรงหมุนของมอเตอร์ที่ตั้งอยู่ด้านนอกส่งกำลังผ่านเพลาเข้าไปด้านในหม้อฆ่าเชื้อทางช่องเปิดด้านข้าง ปลายแกนเพลาติดตั้งลูกเบี้ยวที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงหมุนเป็นแรงผลักและดึงให้กับตะกร้าสำหรับวางกระป๋องให้เคลื่อนที่ไปและกลับตามการหมุนของลูกเบี้ยวที่เป็นตัวกำหนดระยะขจัด โดยระยะขจัดของการเขย่าในงานวิจัยนี้เท่ากับ 1 เซ็นติเมตร ที่ฐานของตะกร้าติดตั้งล้อเลื่อนบนรางบังคับให้เกิดเคลื่อนที่ในแนวระดับเพียงทิศทางเดียว มี ใช้เครื่องปรับความเร็วรอบ (inverter) เพื่อควบคุมความเร็วรอบหรือความถี่ในการเขย่า

2.2 การเตรียมแกงเขียวหวานสำหรับบรรจุกระป๋อง

ส่วนผสมแกงเขียวหวานไก่บรรจุกระป๋องที่ใช้ในงานวิจัย คือ น้ำแกงพร้อมปรุง 81.62% เนื้ออกไก่หั่นขนาด 2.54x2.54x2.54 เซ็นติเมตร 9.78% มะเขือพวง 4.56% มะเขือเปราะหั่นซีก 2.68% พริกชี้ฟ้าแดงหั่นตามยาว 0.68% ใบโหระพา 0.44% และใบมะกรูดหั่นฝอย 0.24% นำส่วนผสมยกเว้นน้ำแกงเขียวหวานใส่ลงในกระป๋อง 2 ขนาด คือ 307x409 (20 ออนซ์) และ 401x411 (30 ออนซ์) แล้วจึงเติมน้ำแกงเขียวหวานที่ต้มเดือดลงไปให้เหลือช่องว่างเหนืออาหาร 7 มิลลิเมตร จากนั้นจึงนำไปปิดฝา

2.3 การวัดอุณหภูมิและค่า F_0

วัดอุณหภูมิและค่า F_0 ด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิยี่ห้อ Ellab รุ่น CTF 9008 โดยเจาะรูกระป๋องที่ 1/2 ของความสูงจากฐานกระป๋องเสียบสายเทอร์โมคัปเปิลและเสียบชิ้นเนื้อไก่เข้าด้านปลายเทอร์โมคับเปิล ให้เนื้อไก่อยู่ตำแหน่งกึ่งกลางกระป๋อง วางกระป๋องในแนวนอนรัดกระป๋องกับตะกร้าเขย่าให้แน่น บันทุกอุณหภูมิทุก ๆ 30 วินาที

2.4 ขั้นตอนการทดลอง

เตรียมแกงเขียวหวานไก่บรรจุกระป๋องทั้ง 2 ขนาด คือ 307x409 (20 ออนซ์) และ 401x411 (30 ออนซ์) ตัวอย่างละ 3 กระป๋อง ติดตั้งเข้ากับตะกร้าเขย่า แล้วจึงทำการทดลองที่สภาวะกระป๋องอยู่นิ่ง เขย่าด้วยความถี่ 160 ครั้ง/นาที และ 310 ครั้ง/นาที แล้วจึงนำค่าอุณหภูมิและ F_0 ที่วัดได้ไปวิเคราะห์ผล

2.5 การวัดเนื้อสัมผัส

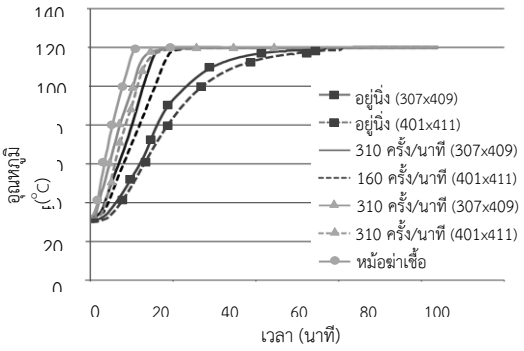
วัดเนื้อสัมผัสของชิ้นเนื้ออกไก่ มะเขือพวง มะเขือเปราะ ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Stable Micro System Texture Analyzer TA.XT plus) เลือกการทดสอบแบบการตัด (cutting and shearing test) ใช้หัววัดแบบ Warner-Bratzler Blade : HDP/BSW [8] จำนวน 10 ซ้ำ

แล้ววิเคราะห์หาค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการตัดผ่าน (maximum force) ความแข็ง (stiffness) และ ความเหนียว (toughness) ของเนื้ออาหาร วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลการเขย่าที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแกงเขียวหวานไก่บรรจุกระป๋อง

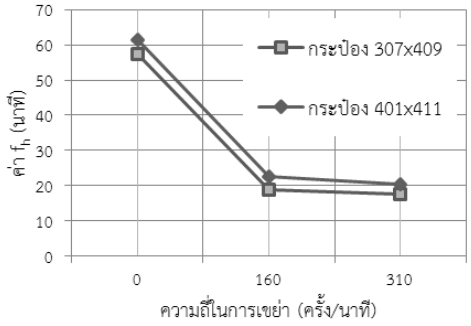
ผลการวิจัยพบว่าเมื่อเขย่าแกงเขียวหวานไก่บรรจุกระป๋องที่ความถี่ 160 และ 310 ครั้ง/นาที เปรียบเทียบกับกระป๋องที่อยู่นิ่งพบว่า การเขย่าช่วยทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยการเขย่าที่ความถี่ 310 ครั้งต่อนาที ทำให้การแทรกผ่านความร้อนเกิดขึ้นได้ดีที่สุด ขณะที่กระป๋องที่อยู่นิ่งมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิช้าที่สุด สำหรับเวลาที่แกงเขียวหวานไก่มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิ 120 °C ในกระป๋องขนาด 401x411 ที่ความในการเขย่า 160 และ 310 ครั้งต่อนาที ใช้เวลา 26.5 และ 24 นาทีตามลำดับ ขณะที่กระป๋อง 401x411 ที่อยู่นิ่งใช้เวลานานถึง 63.5 นาที



รูปที่ 1 กราฟอุณหภูมิภายในชิ้นเนื้อออกไก่ที่ความถี่ในการเขย่าต่าง ๆ

3.2 ผลการเขย่าที่มีค่า f_h ของแกงเขียวหวานไก่บรรจุกระป๋อง

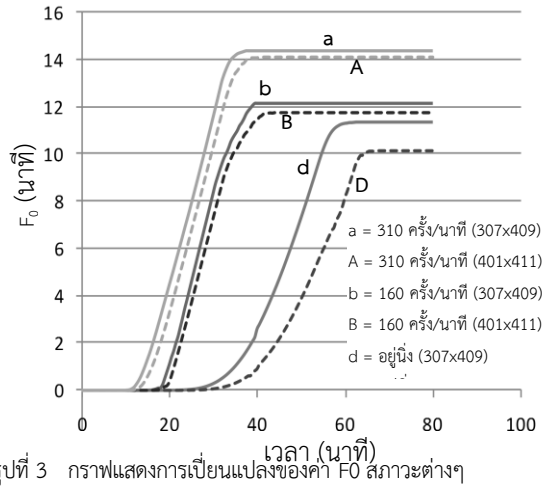
เมื่อพิจารณาถึงค่า f_h ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงดัชนีอัตราการเพิ่มขึ้นของความร้อน ผลการวิจัยแสดงในรูปที่ 2 คือ ค่า f_h มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีการเขย่ากระป๋องที่ความถี่ 160 ครั้ง/นาที และเมื่อเพิ่มความถี่ในการเขย่าให้สูงขึ้นเป็น 310 ครั้ง/นาที ค่า f_h ลดลงจากเดิมเพียงเล็กน้อย โดยกระป๋องทั้ง 2 ขนาด ค่า f_h ในสภาวะที่ถูกเขย่ามีค่าใกล้เคียงกันคือประมาณ 20 นาที ขณะที่ในสภาวะอยู่นิ่งแกงเขียวหวานไก่จะมี f_h ประมาณ 60 นาที เห็นได้ว่าการเขย่าระหว่างให้ความร้อนทำให้ค่า f_h ลดลงประมาณ 3 เท่า สอดคล้องการงานวิจัยของ Ali และคณะ [9] ที่ทดสอบในหม้อฆ่าเชื้อแบบหมุนที่ค่า f_h ลดลงเมื่อมีการหมุนด้วยความเร็วรอบสูงขึ้น



รูปที่ 2. กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่า f_h กับความถี่ในการเขย่าของกระป๋องทั้ง 2 ขนาด

3.3 ผลการเขย่าที่มีค่า F_0 ของแกงเขียวหวานไก่บรรจุกระป๋อง

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่า F_0 ในระหว่างการให้ความร้อนพบว่าการเขย่าทำให้เวลาในการให้ความร้อนแกงเขียวหวานไก่บรรจุกระป๋องลดลงเมื่อเปรียบเทียบค่า F_0 เดียวกัน ดังรูปที่ 3. ที่ค่า F_0 เท่ากับ 8 นาที แกงเขียวหวานกระป๋องขนาด 307x409 และ 401x411 ที่สภาวะอยู่นิ่ง ใช้เวลา 51.5 และ 60.0 นาที ที่ความถี่ 160 ครั้ง/นาที ใช้เวลา 29.5 และ 31.0 นาที ที่ความถี่ 310 ครั้ง/นาที ใช้เวลา 25.0 และ 27.0 นาที ตามลำดับ นั่นคือการเขย่าระหว่างให้ความร้อนด้วยความถี่ 160 ครั้ง/นาที ช่วยลดเวลาการฆ่าเชื้อได้ 42.7% ในกระป๋องขนาด 307x409 และ 55.0% สำหรับกระป๋อง 401x411 ที่ความถี่ 310 ครั้ง/นาที ผลการทดลองคล้ายกับการวิจัยของ Ali และคณะ [9] ที่ทดลองในการฆ่าเชื้อแบบหมุน คือ เมื่อหมุนด้วยความเร็วรอบที่สูงขึ้นจะทำให้การแทรกผ่านความร้อนเกิดเพิ่มขึ้นตาม เนื่องจากของเหลวในกระป๋องเกิดการเคลื่อนที่แบบปั่นป่วน อนุภาคหรือของเหลวภายในกระป๋องเกิดการเคลื่อนที่เกิดการผสมขึ้นภายในทำให้การแทรกผ่านความร้อนเกิดขึ้นได้เร็วกว่าการวางกระป๋องแบบอยู่นิ่ง



รูปที่ 3 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า F0 สภาวะต่างๆ

3.4 ผลของความถี่ที่มีต่อเนื้อสัมผัสของชิ้นเนื้อไก่

ผลการวิจัยพบว่าชิ้นเนื้อไก่ในกระป๋องที่อยู่นิ่งจะมีค่าความเหนียว (toughness) ความแข็ง (stiffness) และค่าแรงเฉือนสูงสุด (max force) มากกว่าชิ้นเนื้อไก่ในกระป๋องที่ถูกเขย่าอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในขณะที่เนื้อไก่ในกระป๋องที่ถูกเขย่าด้วยความถี่ 160 และ 310 ครั้ง/นาที ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1. ผลการทดสอบเนื้อสัมผัสของเนื้อออกไก่หลังผ่านการให้ความร้อนที่สภาวะต่าง ๆ

กระป๋อง	ความถี่ (ครั้ง/นาที)	Toughness (N.mm)	Stiffness (N/mm)	Max force (N)
307x409	0	96.393±1.106^{b}	0.881±0.187^{b}	17.657±0.335^{b}
	160	54.912±0.801^{a}	0.457±0.125^{a}	9.132±0.547^{a}
	310	53.448±0.899^{a}	0.382±0.109^{a}	8.646±0.397^{a}
401x411	0	96.373±1.146^{b}	0.832±0.129^{b}	17.772±0.506^{b}
	160	54.892±0.770^{a}	0.433±0.105^{a}	9.683±0.448^{a}
	310	53.428 ±0.914^{a}	0.409±0.081^{a}	8.886±0.454^{a}

เนื่องจากในเนื้อไก่มีองค์ประกอบของโปรตีน เมื่อให้ความร้อนแก่เนื้อไก่จะทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ เกิดการแข็งตัวและความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อเยื่อลดลง น้ำอิสระในเนื้อไก่ถูกบีบตัวออกมาจากเนื้อเยื่อในขณะที่โครงสร้างโปรตีนหดตัว ยิ่งให้ความร้อนสูงและใช้เวลานานเส้นใยของโปรตีนจะกระด้างเกิดการแข็งตัวเพิ่มขึ้น เป็นไปตามงานวิจัยของ Barbanti และ Pasquini [10] ที่ทดลองนึ่งไก่ที่เวลาต่างๆ กันพบว่าแรงตัดเฉือนเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการให้ความร้อน

3.5 ผลของการเขย่าที่มีต่อเนื้อสัมผัสของมะเขือเปราะหั่นซีกในแกงเขียวหวานไก่

จากผลการทดลองพบว่าเนื้อสัมผัสของมะเขือเปราะหั่นซีกไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.05) เนื่องจากมะเขือเปราะที่อยู่ในสภาวะที่ถูกเขย่าทำให้ความร้อนแทรกผ่านเนื้อมะเขือเปราะได้ดี ใช้ระยะเวลาการให้ความร้อนสั้นกว่าสภาวะที่อยู่นิ่งรวมทั้งอาจเนื่องมาจากบริเวณเปลือกของมะเขือเปราะเป็นส่วนที่เหนียวที่สุดเมื่อเทียบกับส่วนอื่น ๆ จึงไม่พบความแตกต่างจากการวัดเนื้อสัมผัส แต่เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพแล้วพบว่ามะเขือเปราะที่การเขย่า 310 ครั้ง/นาที พบว่าเนื้อเยื่อบริเวณแกนกลางของมะเขือเปราะที่เป็นส่วนของเมล็ดมีลักษณะนิ่มและยุบลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะอยู่นิ่ง

ตารางที่ 2. ผลการทดสอบเนื้อสัมผัสของมะเขือเปราะหลังผ่านการให้ความร้อนที่สภาวะต่าง ๆ

กระป๋อง	ความถี่ (ครั้ง/นาที)	Toughness (N.mm)	Stiffness (N/mm)	Max Force (N)
307x409	0	50.295±0.787^{a}	0.178±0.063^{a}	2.759±0.219^{a}
	160	49.925±0.819^{a}	0.141±0.010^{a}	2.551±0.097^{a}
	310	49.014±1.810^{a}	0.149±0.023^{a}	2.346±0.278^{a}
401x411	0	50.191±0.724^{a}	0.186±0.020^{a}	2.728±0.407^{a}
	160	49.174±0.716^{a}	0.156±0.038^{a}	2.561±0.087^{a}
	310	48.910±0.526^{a}	0.156±0.013^{a}	2.349±0.137^{a}

3.6 ผลของการเขย่าที่มีต่อเนื้อสัมผัสของมะเขือพวงในแกงเขียวหวานไก่

ผลการวิจัยพบว่าค่าความแข็งและความเหนียวของมะเขือพวงในสภาวะเขย่าเปรียบเทียบกับมะเขือพวงในกระป๋องที่อยู่นิ่งพบว่ามีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.05) ดังตารางที่ 3 เนื่องจากการเขย่าทำให้มะเขือพวงเกิดการชนกระแทกกับกระป๋องหรือส่วนประกอบอาหารอื่น ๆ อย่างไรก็ดีพบว่าค่าแรงเฉือนสูงสุดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เพราะส่วนที่เป็นเปลือกของมะเขือพวงเป็นส่วนที่ต้องใช้แรงเฉือนสูงสุด

ตารางที่ 3. ผลการทดสอบเนื้อสัมผัสของมะเขือพวงหลังผ่านการให้ความร้อนที่สภาวะต่าง ๆ

กระป๋อง	ความถี่ ครั้ง/นาที	Toughness (N.mm)	Stiffness (N/mm)	Max Force (N)
307x409	0	53.111±0.343^{b}	0.771±0.015^{b}	5.794±0.131^{a}
	160	45.707±0.762^{a}	0.736±0.021^{a}	5.784±0.054^{a}
	310	43.755±0.507^{a}	0.712±0.011^{a}	5.770±0.046^{a}
401x411	0	54.387±0.589^{b}	0.673±0.013^{b}	5.677±0.092^{a}
	160	47.928±0.352^{a}	0.638±0.022^{a}	5.670±0.017^{a}
	310	42.858±0.469^{a}	0.614±0.009^{a}	5.675±0.012^{a}

3.7 ผลของการเขย่ากระป๋องที่มีต่อค่าสีพริกชี้ฟ้าแดงในแกงเขียวหวานไก่

การทดสอบวัดค่าสีด้วยเครื่อง Colorimeter พบว่าที่ความถี่ในสภาวะอยู่นิ่ง 160 และ310 ครั้งต่อนาที พริกชี้ฟ้าที่บรรจุในกระป๋องแกงเขียวหวานทั้ง 2 ขนาด มีค่า L* (ค่าความสว่าง) ค่า a* (ความเป็นสีแดง) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4. ผลการทดสอบสีของพริกชี้ฟ้าแดงหลังผ่านการให้ความร้อนที่สภาวะต่าง ๆ

กระป๋อง	ความถี่ (ครั้ง/นาที)	ค่าสีของพริกชี้ฟ้าแดง	
		L*	a*
307x409	0	37.124±0.0518^{a}	30.324±0.1074^{a}
	160	37.194±0.0336^{a}	30.432±0.3658^{a}
	310	37.196±0.0639^{a}	30.748±0.0365^{a}
401x411	0	37.132±0.0458^{a}	30.320±0.526^{a}
	160	37.190±0.0731^{a}	30.458±0.1964^{a}
	310	37.198±0.033^{a}	30.716±0.883^{a}

3.8 ผลของความถี่ที่มีต่อสีน้ำแกงเขียวหวาน

ผลการวิจัยพบว่าน้ำแกงเขียวหวานของน้ำแกงเขียวหวานโดยการเปรียบเทียบกับระบบ Munsell ที่สภาวะอยู่นิ่งในกระป๋องทั้ง 2 ขนาด มีค่าสีเท่ากัน คือ 10.0 Y 9/2 ซึ่งเป็นสีเหลืองนวลที่มีความสว่างสูง และความอิ่มตัวของสีน้อย ในขณะที่น้ำแกงเขียวหวานที่ฆ่าเชื้อในสภาวะเขย่าที่ความถี่ 160 และ 310 ครั้ง/นาที ในกระป๋องทั้ง 2 ขนาดจะให้ค่าสีเท่ากันคือ 7.5 Y 9/2 ซึ่งเป็นสีเหลืองอมเขียวที่มีความสว่างสูงและเป็นสีที่ไม่อิ่มตัว ค่าสีของสภาวะอยู่นิ่งกับสภาวะเขย่าต่างกันที่ค่า hue เนื่องจากน้ำแกงเขียวหวานมีส่วนประกอบของผักสีเขียวอยู่มาก เมื่อให้ความร้อนร่วมกับการเขย่า จึงมีสารคลอโรฟิลล์และสารที่อยู่ในแวคิวโอลแพร่ออกไปจากเซลล์และละลายในน้ำแกง น้ำแกงเขียวหวานจึงเกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำมันกับน้ำแกงทำให้มองเห็นสารคลอโรฟิลล์จากผักละลายออกมาในเนื้อของน้ำแกงจึงทำให้น้ำแกงเป็นสีเหลืองอมเขียว แต่ในสภาวะอยู่นิ่งไม่มีแรงเขย่ามากระทำจึงไม่เกิดการแยกชั้นทำให้น้ำแกงมีสีเหลืองนวล

4. สรุปผลการทดลอง

การเขย่าขณะให้ความร้อนแก่แกงเขียวหวานไก่บรรจุกระป๋องช่วยลดเวลาในการฆ่าเชื้อลงได้อย่างชัดเจน โดยช่วยลดเวลาในการให้ความร้อนลงได้มากสูงสุดถึง 55% ที่ค่า F_0 เท่ากับ 8 ทำให้ค่า f_h ลดลง 3 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะที่อยู่นิ่ง นอกจากนี้ยังทำให้เนื้อสัมผัสของเนื้อไก่มีความนุ่มหรือเหนียวน้อยกว่าสภาวะปกติ ทำให้เนื้อสัมผัสของมะเขือพวงมีความนิ่มมากขึ้น ในขณะที่การเพิ่มความถี่ในการเขย่าไม่ส่งผลต่อค่าสีของพริก

การเขย่าขณะทำการฆ่าเชื้อเป็นการช่วยให้อาหารยังคงรักษาคุณค่าของสารอาหาร เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและช่วยประหยัดพลังงานอีกด้วย สำหรับความถี่ในการเขย่าที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้คือ 160 ครั้ง/นาที เนื่องจากเมื่อพิจารณาในเรื่องของประสิทธิภาพในการการแทรกผ่านความร้อน ค่าสี และเนื้อสัมผัสพบว่าแตกต่างกับการเขย่าที่ความถี่ 310 ครั้ง/นาที ไม่มากนัก อีกทั้งชิ้นเนื้ออาหารมีลักษณะที่ดีมากกว่าการเขย่าที่ความถี่สูง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า-เจ้าคุณทหารลาดกระบังที่อนุญาตให้ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดลอง บริษัท รอแยลแคนอินดัสทรีส จำกัด ที่เอื้อเฟื้อกระป๋องที่ใช้ในการทดลอง นางสาวกอปรกนก ชื่นตาและนางสาวอรณา รัตนบำรุง สำหรับความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Dwivedi, M and Ramaswamy, HS. (2010). Comparison of heat transfer rates during thermal processing under end-over-end and axial modes of rotation, *LWT-Food Science and Technology,* Vol.43, pages 350–360.

[2] Ghani, A.G.A., Farid, M.M., Zarrouk, S.J. (2003). The effects of can rotation on sterilization of liquid food using computational fluid dynamics. *Journal of Food Engineering*, Vol. 57, pages 9–16.

[3] Anantheswaran, R. C., & Rao, M. A. 1985a. Heat transfer to model Newtonian liquid foods in cans during end-over-end rotation. *Journal of Food Engineering*, Vol. 4(1), pages 1–19.

[4] Anantheswaran, R. C., & Rao, M. A. 1985b. Heat transferto model non-Newtonian liquid foods in cans during end-over-end rotation. *Journal of Food Engineering*, Vol. 4(1), pages 21–35.

[5] Naveh, D., & Kopelman, I. J. 1980. Effect of some processing parameters on the heat transfer coefficients in a rotating autoclave. *Journal of Food Processing and Preservation*, Vol. 4, pages 67–77.

[6] Price, R.B. and Bhowmik, S.R. (1994). Heat transfer in canned foods undergoing agitation, *Journal of Food Engineering,* Vol. 23, pages 621–629.

[7] Meng, Y. and Ramaswamy, HS. 2006. Heat transfer to canned particulates in high viscosity Newtonian fluids during agitation processing. *Journal of Food Processing and Preservation,* Vol. 30, pages 643-658.

[8] Dawson, P. L., Sheldon, B. W., & Miles, J. J. 1991. Effect of aseptic processing on the texture of chicken meat. *Poultry Science,* Vol. 70, pages 2359–2367.

[9] Ali, A. A. , Sudhir, H. and Srinivasa Gopal, T.K. 2006. Effect of rotation on the heat penetration characteristics of thermally processed tuna in oil in retort pouches. *International Journal Food Science and Technology*, Vol. 41, pages 215-219.

[10] Barbanti, D., and Pasquini, M. (2005). Influence of cooking conditions on cooking loss and tenderness of raw and marinated chicken breast meat, LWT - Food Science and Technology, Vol. 38(8), December 2005, pages 895-901.