



## อิทธิพลของการเขย่าและความหนืดของของเหลวที่มีต่อการแทรกผ่านความร้อน ในกระป๋องระหว่างการฆ่าเชื้อ

สมัคร รักแม่ และ อดุลย์ แซ่เล้ว

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

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

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของการเขย่ากระป๋องและความหนืดของของเหลวที่มีต่อการแทรกผ่านความร้อนระหว่างการให้ความร้อนในหม้อฆ่าเชื้อ โดยศึกษาความถี่ในการเขย่า 5 ระดับคือ 0 160 230 310 และ 380 ครั้ง/นาที แอมพลิจูดในการเขย่า 1 เซนติเมตรเขย่าเพียงทิศทางเดียวตามแนวนอน ใช้สารละลายเบนโทโนท์เป็นตัวแทนของอาหารที่มีความหนืดระดับต่างๆ โดยปรับให้มีความเข้มข้น 5 ระดับได้แก่ 0 3 5 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก บรรจุในกระป๋องขนาด 303x406 มีช่องว่างเหนืออาหาร 1 เซนติเมตรอุณหภูมิของหม้อฆ่าเชื้อ 121 องศาเซลเซียส ศึกษาการให้ความร้อนจนค่า  $F_0$  เท่ากับ 3 นาทีผลการวิจัยพบว่าการเขย่าด้วยความถี่ 160 ครั้ง/นาที ทำให้สารละลายเบนโทโนท์ความเข้มข้น 0 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ใช้เวลาการฆ่าเชื้อลดลงจากเดิม 37 63 และ 92 นาที เหลือเวลา 17.5 19.0 และ 20.5 นาที ตามลำดับและเวลาในการให้ความร้อนลดลงจากเดิมอีกเพียง 1-2 นาทีเมื่อเพิ่มอัตราการเขย่าให้สูงขึ้น สำหรับสารละลายเบนโทโนท์ความเข้มข้น 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์ พบว่าต้องใช้ความถี่การเขย่าที่ 380 ครั้ง/นาที จึงทำให้เวลาการฆ่าเชื้อลดลงจากเดิม 97.0 และ 101.0 นาที เหลือเวลา 21.0 และ 35.5 นาที ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะกระป๋องอยู่นิ่งพบว่าการเขย่าระหว่างการให้ความร้อนช่วยลดเวลาในการฆ่าเชื้อลงได้ตั้งแต่ 18.3 ถึง 78.4 เปอร์เซ็นต์และการเขย่ามีอิทธิพลต่อการแทรกผ่านความร้อนลดลงเมื่อความหนืดของสารละลายสูงขึ้น

คำสำคัญ: การเขย่า; ความหนืด; การแทรกผ่านความร้อน; หม้อฆ่าเชื้อ; กระป๋อง

### 1. บทนำ

การผลิตอาหารกระป๋องเป็นวิธีหนึ่งที่ยืดอายุการเก็บรักษาอาหารให้ยาวนานขึ้น เนื่องจากกระป๋องสามารถปกป้องอาหารจากการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์และปัจจัยเสื่อมเสียอื่น ๆ จากภายนอกได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับภาชนะบรรจุชนิดอื่น ๆ ขั้นตอนสำคัญในการผลิตอาหารกระป๋องคือการให้ความร้อนหลังการบรรจุและปิดผนึกกระป๋องเพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหารด้วยหม้อฆ่าเชื้อ (Retort) การให้ความร้อนในอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำจะให้ความร้อนในระดับสเตอริไลซ์และให้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไลซ์ในอาหารที่มีความเป็นกรดสูง การให้ความร้อนในระดับสเตอริไลซ์เป็นการให้ความร้อนที่รุนแรง ทำให้คุณค่าทาง

โภชนาการและเนื้อสัมผัสของอาหารมีคุณภาพลดลง การลดระยะเวลาการให้ความร้อนโดยการเพิ่มอัตราการแทรกผ่านความร้อนให้สูงขึ้นช่วยลดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอาหารดังกล่าวได้ แต่ปัจจุบันหม้อฆ่าเชื้อส่วนใหญ่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเป็นแบบกระป๋องอยู่นิ่งการหาวิธีทำให้อัตราการแทรกผ่านความร้อนเพิ่มขึ้นระหว่างการให้ความร้อนทำได้ยาก แม้ว่าจะมีการพัฒนาหม้อฆ่าเชื้อแบบหมุนขึ้นแต่ก็ยังไม่แพร่หลายมากนักเนื่องจากต้องปรับกระบวนการผลิตและระบบดังกล่าวมีราคาสูง

มีการศึกษาในหม้อฆ่าเชื้อแบบหมุนพบว่าปัจจัยสำคัญในการผสมภายในอาหารกระป๋องคือช่องว่างเหนือศีรษะในกระป๋อง [1] และประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนในหม้อฆ่าเชื้อแบบหมุนพบว่าการถ่ายเทความร้อนใน



ของเหลวที่ขึ้น 2-3 เท่าเมื่อเทียบกับหม้อฆ่าเชื้อทั่วไป [2] รวมทั้งได้มีการศึกษาทิศทางการวางกระป๋องทั้งในแนวนอนและแนวตั้งระหว่างการฆ่าเชื้อพบว่า การวางกระป๋องในแนวนอนทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงกว่าการวางกระป๋องในแนวตั้ง [3] และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วในการหมุนกระป๋องในหม้อฆ่าเชื้อสูงขึ้นและเมื่อความหนืดของอาหารลดลง [4]

นอกจากนี้ยังมีศึกษาการแทรกผ่านความร้อนในซอสมะเขือเทศกระป๋องที่มีของแข็งเป็นองค์ประกอบ 5.9 เปอร์เซ็นต์ พบว่าหากไม่มีการหมุนระหว่างการฆ่าเชื้อ การถ่ายเทความร้อนในซอสมะเขือเทศเป็นแบบการนำความร้อน แต่เมื่อมีการหมุนระหว่างการฆ่าเชื้อจะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน ซึ่งส่งผลให้การแทรกผ่านความร้อนเกิดขึ้นได้เร็วกว่าสภาวะที่อยู่นิ่ง [5] มีการใช้สารละลายเบนโทโนเป็นตัวแทนอาหารเพื่อศึกษาอิทธิพลของการนำความร้อนและปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการแทรกผ่านความร้อนภายในกระป๋อง [6, 7] เนื่องจากในช่วงอุณหภูมิที่ศึกษาสารละลายเบนโทโนที่มีสมบัติทางความร้อนและความหนืดค่อนข้างคงที่ ทำให้สามารถศึกษาถึงผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ได้ชัดเจน รวมทั้งปรับความหนืดได้ง่ายและมีความคงตัวสูง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยในการถ่ายเทความร้อนภายในกระป๋องที่มีการเขย่าระหว่างการฆ่าเชื้อและผลของความหนืดของสารละลายที่มีผลต่อการแทรกผ่านความร้อนภายในกระป๋อง โดยใช้สารละลายเบนโทโนเป็นตัวแทนของอาหารที่ความหนืดต่าง ๆ การศึกษาดังกล่าวจะทำให้ทราบความสัมพันธ์ของการเขย่าและการถ่ายเทความร้อน อีกทั้งการเขย่าระหว่างการให้ความร้อนสามารถลดเวลาในการให้ความร้อนแก่อาหาร ทำให้รักษาคุณค่าทางอาหารทั้งทางด้านสี กลิ่น รส และเนื้อสัมผัสอาหารให้มีคุณภาพดีขึ้น ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดการใช้พลังงานในการผลิตอีกด้วย

## 2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### 2.1 อุปกรณ์สำหรับการทดลอง

หม้อฆ่าเชื้อในงานวิจัยนี้ใช้หม้อฆ่าเชื้อแบบสเปรย์น้ำ ฟันฝอยรุ่น KM-214SS จากบริษัท KM Grand Pack จำกัด ขนาด 6.5 kW หม้อฆ่าเชื้อมี เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.04

เมตร ยาว 2 เมตร ติดตั้งอุปกรณ์เขย่าเข้ากับหม้อฆ่าเชื้อโดยใช้แรงหมุนจากมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ที่ติดตั้งภายนอกหม้อฆ่าเชื้อให้ส่งกำลังผ่านแกนเพลลาเข้าไปด้านใน ปลายแกนเพลลาติดตั้งลูกเบี้ยวทำหน้าที่ผลัดและดึงตะกร้าให้เคลื่อนที่ไปและกลับ ทำให้เกิดการเขย่าระหว่างการให้ความร้อน ใช้เครื่องปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ (inverter) ควบคุมความเร็วรอบซึ่งสัมพันธ์กับความถี่ในการเขย่า

### 2.2 การวัดอุณหภูมิและค่า $F_0$

วัดอุณหภูมิและค่า  $F_0$  โดยใช้เครื่องบันทึกอุณหภูมิยี่ห้อ Ellab รุ่น CTF 9008 วัดอุณหภูมิภายในกระป๋องที่ตำแหน่ง 1/2 ของความสูงจากฐานกระป๋อง บันทึกอุณหภูมิทุก 30 วินาที

### 2.3 ขั้นตอนการทดลอง

เตรียมสารละลายที่ความเข้มข้น 0 3 5 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งมีความหนืด 1 17 97 245 และ 717 เซ็นติพอยซ์ตามลำดับ จัดวางกระป๋องสารละลายเบนโทโนที่ความเข้มข้นละ 2 กระป๋อง วางในแนวนอนและยึดกระป๋องกับตะกร้าให้แน่น เสียบสายวัดอุณหภูมิเข้ากับหัวเสียบที่ติดตั้งไว้กับกระป๋อง แล้วต่อสายวัดอุณหภูมิเข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ ทำการทดลองที่สภาวะอยู่นิ่ง จนค่า  $F_0$  ของตัวอย่างที่ร้อนช้าที่สุดมีค่าเท่ากับ 3 นาที จากนั้นจึงทำการทดลองที่การเขย่าด้วยความถี่ 160 230 310 และ 380 ครั้ง/นาที ตามลำดับ

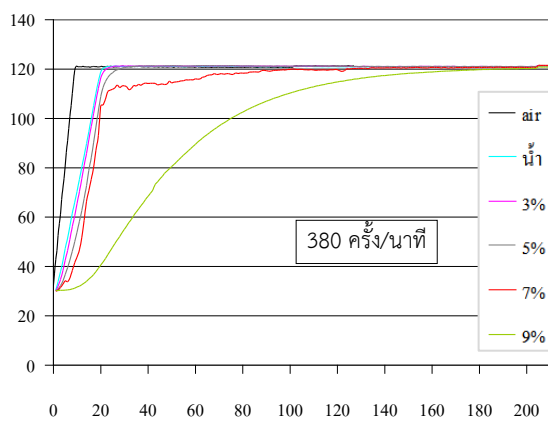
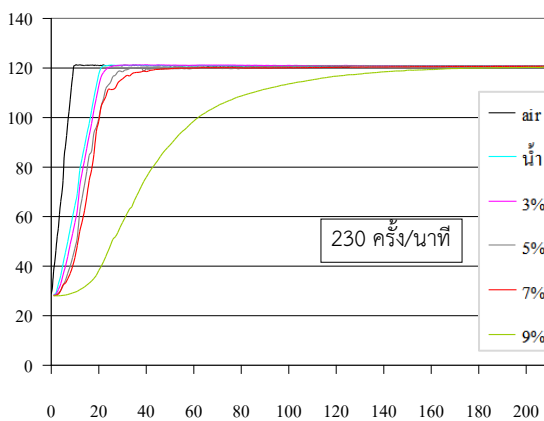
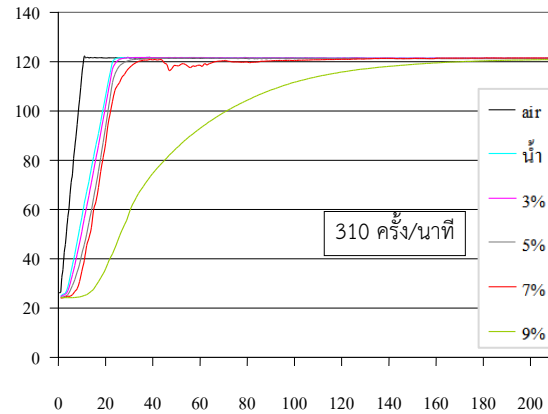
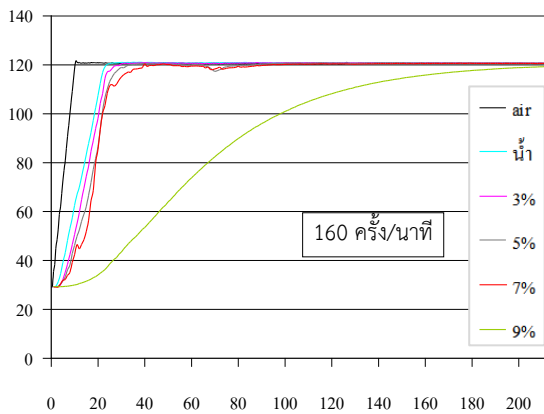
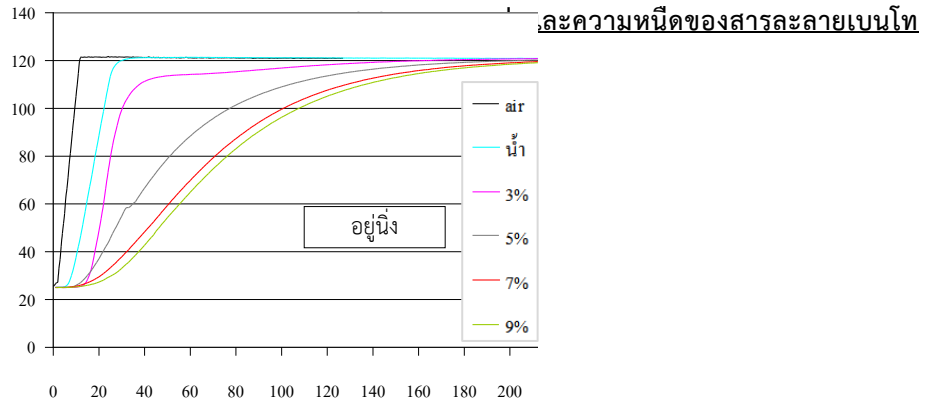
## 3. ผลการทดลองและวิจารณ์

### 3.1 ผลของการเขย่าและความหนืดของสารละลายเบนโทโนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารละลายเบนโทโนที่ในสภาวะการเขย่าต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 1 เห็นได้ว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในของสารละลายลดลงเมื่อความหนืดของสารละลายสูงขึ้น ซึ่งมีแนวโน้มเหมือนกันทุกความถี่ที่ใช้ในการทดลอง ในสภาวะกระป๋องอยู่นิ่งพบว่าสารละลายความเข้มข้นต่างกันมีอุณหภูมิภายในต่างกันอย่างชัดเจน โดยสารละลายความเข้มข้นต่ำหรือความหนืดต่ำมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเร็วกว่าสารละลายความเข้มข้น

สูง เมื่อทำการเขย่ากระป๋องระหว่างการให้ความร้อนพบว่า สารละลายทุกความเข้มข้นมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเร็วขึ้นและ อุณหภูมิภายในมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น แต่สำหรับ สารละลายเบนโทไนท์ความเข้มข้น 9 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการ

เขย่าส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนเพียงเล็กน้อยแม้เพิ่ม ความถี่ในการเขย่าให้สูงขึ้น เนื่องจากที่ความเข้มข้นดังกล่าว สารละลายมีความหนืดสูงจนแรงเขย่าไม่สามารถทำให้เกิด การผสมกันภายในกระป๋องได้



แกน x คือ เวลาในการให้ความร้อน (หน่วย: นาที) แกน y คือ อุณหภูมิ (หน่วย: องศาเซลเซียส)

รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารละลายเบนโทไนท์ที่สภาวะการเขย่าด้วยความถี่ต่าง ๆ

ผลการทดลองพบว่า การเขย่าระหว่าง การให้ความร้อนทำให้เวลาการฆ่าเชื้อลดลง ซึ่งเวลาในการให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อมีแนวโน้มลดลงเมื่อความถี่การเขย่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อพิจารณาเวลาการให้ความร้อนแก่สารละลายจนค่า  $F_0$  เท่ากับ 3 นาที แสดงในตารางที่ 1 ในสภาวะการปกป้องอยู่หนึ่ง พบว่าต้องใช้เวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายความเข้มข้น 0 เปอร์เซ็นต์ (น้ำเปล่า) 34 นาที และเวลาการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายโดยสารละลายความเข้มข้น 9 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาในการให้ความร้อน 101 นาที

ตารางที่ 1 เวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายเบนโทไนท์จนค่า  $F_0$  เท่ากับ 3 นาที (หน่วย: นาที)

ความถี่ (ครั้ง/นาที)	ความเข้มข้นสารละลาย (%)				
	0	3	5	7	9
0	34.0	53.5	84.5	97.0	101.0
160	17.5	19.0	20.5	69.0	82.5
230	17.0	18.0	19.0	54.0	76.5
310	16.5	17.0	18.5	37.0	63.5
380	16.5	17.0	18.5	21.0	33.5

เมื่อทำการเขย่าสารละลายเบนโทไนท์ระหว่าง การให้ความร้อนพบว่าเวลาในการให้ความร้อนลดลงทุกการทดลองคือ สารละลายความเข้มข้น 0 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อถูกเขย่าด้วยความถี่ 160 ครั้ง/นาที สามารถลดเวลาในการให้ความร้อนเหลือเพียง 17.5 19.0 และ 20.5 นาที ซึ่งในสภาวะที่อยู่หนึ่งต้องใช้เวลา 34.0 53.5 และ 84.5 นาที ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มความถี่การเขย่าสูงขึ้นพบว่าเวลาในการให้ความร้อนลดลงอีกเพียงประมาณ 1-2 นาที เนื่องจากความถี่ 160 ครั้ง/นาที สารละลายเบนโทไนท์ที่ความเข้มข้นเหล่านี้เกิดการผสมกันภายในกระป๋องค่อนข้างทั่วถึงอยู่แล้วเมื่อเพิ่มความถี่การเขย่าให้สูงขึ้นก็ส่งผลต่อการแทรกผ่านความร้อนไม่มาก จึงทำให้เวลาในการให้ความร้อนลดลงเพียงเล็กน้อยดังกล่าว สำหรับสารละลายเบนโทไนท์ความเข้มข้น 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเวลาในการให้ความร้อนลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเพิ่มความถี่ในการเขย่าสูงขึ้น โดยที่ความถี่ในการเขย่า 380 ครั้ง/นาที สารละลายเบนโทไนท์ความเข้มข้น 7 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาลดลงจากเดิม 97.0 นาทีที่สภาวะอยู่หนึ่ง

เหลือ 21.0 นาที และสารละลายความเข้มข้น 9 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการให้ความร้อนลดลงจาก 101 นาที เหลือเพียง 33.5 นาที เนื่องจากสารละลายมีความเข้มข้นสูงจึงมีความหนืดมาก ทำให้สารละลายผสมกันได้ไม่ทั่วถึงเมื่อเขย่าด้วยความถี่ต่ำและเมื่อเพิ่มความถี่ในการเขย่าให้สูงขึ้นจึงทำให้การผสมกันภายในกระป๋องเกิดขึ้นได้ดีขึ้นซึ่งส่งผลให้เวลาในการให้ความร้อนลดลงดังกล่าว

เมื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่สารละลายในสภาวะการปกป้องอยู่หนึ่งกับสภาวะการปกป้องถูกเขย่าเป็นร้อยละของเวลาที่ลดลงซึ่งแสดงในตารางที่ 2 พบว่าสารละลายความเข้มข้น 0 3 และ 7 เปอร์เซ็นต์ที่เขย่าด้วยความถี่ 160 ครั้ง/นาที เวลาในการให้ความร้อนเร็วขึ้น 48.5 64.5 และ 75.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับและ สารละลายความเข้มข้น 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ในการเขย่า 380 ครั้ง/นาที เวลาการให้ความร้อนเร็วขึ้น 78.4 และ 66.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 2 เวลาในการให้ความร้อนที่ลดลงเมื่อเทียบกับสภาวะการปกป้องอยู่หนึ่ง ที่  $F_0$  เท่ากับ 3 นาที (หน่วย: เปอร์เซ็นต์)

ความถี่ (ครั้ง/นาที)	ความเข้มข้นสารละลายเบนโทไนท์ (%)				
	0	3	5	7	9
160	48.5	64.5	75.7	28.9	18.3
230	50.0	66.4	77.5	44.3	24.3
310	51.5	68.2	78.1	61.9	37.1
380	51.5	68.2	78.1	78.4	66.8

### 3.3 สมการความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการฆ่าเชื้อ ค่า $F_0$ และความหนืดของสารละลาย

ผลที่ได้จากการทดลองนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายเวลาในการฆ่าเชื้อที่ค่า  $F_0$  เท่ากับ 3 นาที แก่ผลิตภัณฑ์ที่ทราบความหนืดและกำหนดความถี่ของการเขย่าตามที่ต้องการ ได้ตามสมการที่ 1 ดังนี้

$$t = 50.369 - (0.23f) + (0.175\mu) + (3.067e^{-4}f^2) - (3.05e^{-5}f\mu) - (1.232e^{-4}\mu^2); R^2 = 0.893 \quad (1)$$

เมื่อ  $t$  = เวลาในการให้ความร้อนจนค่า  $F_0$  เท่ากับ 3 (นาที)

$f$  = ความถี่ในการเขย่า (ครั้ง/นาที)

$\mu$  = ความหนืด (เซ็นติพอยซ์)

สมการดังกล่าวสามารถใช้ทำนายเวลาในการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ของเหลวบรรจุในกระป๋องขนาด 303x406 ค่า  $F_0$  เท่ากับ 3 นาที ช่องว่างเหนืออาหาร 1 เซนติเมตร ความถี่ในการเขย่าอยู่ในช่วง 0-380 ครั้ง/นาที ความหนืดของเหลวอยู่ในช่วง 1-177 เซนติพอยซ์และไม่มีชิ้นเนื้ออาหารเจือปน

#### 4. สรุปผลการทดลอง

การเขย่าสารละลายเบนโทโนท์ระหว่างการให้ความร้อนทำให้การแทรกผ่านความร้อนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะที่กระป๋องอยู่นิ่ง โดยเวลาในการให้ความร้อนระหว่างการฆ่าเชื้อลดลงถึง 18.3 ถึง 78.4% เปอร์เซ็นต์ การเขย่าระหว่างการความร้อนแก่สารละลายเบนโทโนท์ความเข้มข้น 0 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ด้วยความถี่ 160 ครั้ง/นาที เพียงพอที่ทำให้เกิดการผสมกันภายในกระป๋องอย่างทั่วถึง ส่วนสารละลายเบนโทโนท์ความเข้มข้น 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์ต้องใช้การเขย่าความถี่สูงขึ้นเพื่อให้เกิดการผสมกันอย่างทั่วถึงภายในกระป๋องเนื่องจากสารละลายมีความหนืดสูง และพบว่าความหนืดของสารละลายมีค่าสูงขึ้นทำให้อัตราการแทรกผ่านความร้อนลดลง รวมทั้งทำให้อิทธิพลของการเขย่าลดลงเมื่อสารละลายมีความหนืดเพิ่มสูงขึ้น

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อนุญาตให้ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดลอง บริษัท รอยแลคแคนอินดัสทรีส์ จำกัด ที่เอื้อเฟื้อกระป๋องที่ใช้ในการทดลอง นางสาววัลย์พร รักพุดชาและนางสาวเมธิรา ถาวรสุขศิริสำหรับความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัย

#### 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(2), March 2010, pp 350–360.
- [2] 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(1-2), March 1980, pp 67–77.
- [3] Price, R.B. and Bhowmik, S.R. (1994). Heat transfer in canned foods undergoing agitation, *Journal of Food Engineering*, vol.23(4), pp 621–629.
- [4] 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(6), December 2006, pp 643-658.
- [5] Bichier, J.G. and A.A. Teixeira. (1993). Thermal processing of canned foods under mechanical agitation. *Heat Transfer in Food Processing*. M.V. Karwe, T.L. Bergman and S. Paolucci, eds. American Society of Mechanical Engineers, Vol. 254, pp 35-44.
- [6] Joseph, S. J., Speers, R. A., & Pillay, V. (1996). Effect of head space variation and heat treatment on the thermal and rheological properties of nonagitated, conduction-heated materials. *Lebensm Wiss u. Technologie*, vol. 29(5-6), 1996, pp 556–560.



- [7] Robertson, G. L., & Miller, S. L. (1984).  
Uncertainties associated with the  
estimation of  $F_0$ -values in cans which heat  
by conduction. *Journal of Food  
Technology*, vol. 19(5), October 1984, pp  
623-630.