

อิทธิพลของการเขย่าที่มีต่อการแทรกผ่านความร้อนภายในกระป๋องขณะฆ่าเชื้อ
EFFECT OF SHAKING ON HEAT PENETRATION DURING RETORTING



เมธิรา อุดลย์
วลัยพร
ธาวรสุขศิริ
รักพุดชา
แซ่แล้ว

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**83041**
วัน, เดือน, ปี.....**31 ก.ค. 2551**

b. **119 60917**
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ อิทธิพลของการเขย่าที่มีต่อการแทรกผ่านความร้อนภายในกระป๋อง
ขณะนำเชื้อ

EFFECT OF SHAKING ON HEAT PENETRATION DURING
RETORTING

ผู้จัดทำ

- | | | |
|----------------------------|--------------|----------|
| 1. น.ส. เมธิรา ถาวรสุขศิริ | รหัสนักศึกษา | 47010597 |
| 2. น.ส. วลัยพร รักพุดชา | รหัสนักศึกษา | 47010673 |
| 3. นาย อุดลย์ แซ่เล้า | รหัสนักศึกษา | 47010920 |

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ สมัคร รักแม่)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิทธิพลของการเขย่าที่มีต่อการแทรกผ่านความร้อนภายในกระป๋องขณะฆ่าเชื้อ

น.ส. เมธิรา ถาวรสุขศิริ

น.ส. วลัยพร รักพุดชา

นาย อดุลย์ แซ่เลี้ยว

อาจารย์ สมคร รักแม่ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการแทรกผ่านความร้อนในกระป๋องที่มีการเขย่าเพียงทิศทางเดียวตามแนวอนขณะทำการฆ่าเชื้อระดับสเตอริไลซ์ โดยศึกษาผลกระทบของ ความหนืดและความถี่ในการเขย่าที่มีต่อการแทรกผ่านความร้อน โดยการใช้สารละลายเบนโทไนด์ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ 0 3 5 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นตัวแทนของเครื่องดื่มหรืออาหารที่มีความหนืดต่างๆ บรรจุในกระป๋องขนาด 307×409 มิลลิเมตร ช่องว่างเหนืออาหารเท่ากับ 1 เซนติเมตร ศึกษาพร้อมกับการเขย่าที่ความถี่ 5 ระดับคือ 0 159 233 307 และ 381 ครั้งต่อนาที แอมพิจูดในการเขย่าเท่ากับ 1 เซนติเมตร ผลการทดลองพบว่าเมื่อความหนืดของสารละลายเพิ่มขึ้นการถ่ายเทความร้อนจะลดลง แต่ถ้าความถี่ในการเขย่าเพิ่มขึ้นจะทำให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น โดยในการเพิ่มความถี่ในการเขย่าให้แก่สารละลายเบนโทไนด์ 0 3 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะทำให้มีการถ่ายเทความร้อนดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับกระป๋องอยู่หนึ่งแต่ที่ความถี่ 159 233 307 และ 381 ครั้งต่อนาทีนั้นการถ่ายเทความร้อนแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย แต่การเพิ่มความถี่ในการเขย่าให้แก่สารละลายเบนโทไนด์ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะทำให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับสถานะอยู่หนึ่ง

EFFECT OF SHAKING ON HEAT PENETRATION DURING RETORTING

METHIRA THAWORNSUKSIRI

WALAIORN RAKPHUDSA

ADULE SAELEW

SAMAK RAKMAE ADVISOR

SEMESTER 2550

Abstract

The objective of this research was to study the shaking factors that effect to the heat penetration into cans during the thermal processes. The frequencies of shaking with one-direction and the viscosities of fluid were the factors that used to setup the experiments. The bentonite solutions, 0 3 5 7 and 9 % w/w, were filled into 84×116 millimeter cans with headspace 1 centimeter that were used to represent the various viscosity of the canned foods. During heating process inside the retort, the cans were shake with 1 centimeter amplitude and the frequencies 0 160 230 310 and 380 times per minutes. The results showed that the heat penetration through can was decrease as the fluid viscosity increase and the increasing of shaking rate had affected to the higher heat penetration that it was clearly increase on 0 to 7 % w/w but slightly increase when the frequency increase from 160 to 380 times/minute and the heat penetration on 9% w/w bentonite solutions was slightly increase for all shaking frequency.

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงการครั้งนี้จะไม่สามารถสำเร็จล่วงได้ หากไม่ได้รับคำแนะนำและความช่วยเหลือต่างๆ จากผู้มีพระคุณหลายๆ ท่าน ผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบพระคุณผู้มีพระคุณทุกๆ ท่าน อันได้แก่ ขอขอบพระคุณอาจารย์ สมัคร รักแม่ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการเป็นอย่างยิ่งที่ได้ให้คำแนะนำปรึกษา ข้อคิดดีๆ และความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ เป็นอย่างสูง ที่ได้เสียสละเวลาในการให้คำแนะนำ หลักการและวิธีการค้นหาข้อมูลต่างๆ ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอาหารทุกท่าน รวมทั้งอาจารย์ ชลิตา อุตะเกา และอาจารย์ อุบะ สิริแก้ว ที่ได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการนี้เป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ พี่แมน ที่คอยดูแลและให้ความช่วยเหลือในการทำรถทดลองทุกครั้ง พี่นุ้ย ที่คอยอำนวยความสะดวกในการเบิกจ่ายอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง รวมถึงพี่บุญนำ และน้ำดื่ม ที่คอยให้ความช่วยเหลือต่างๆ

และสุดท้ายขอขอบพระคุณ บริษัท ไทยนิปปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้การสนับสนุนสารเบนโทไนด์ในการทำโครงการครั้งนี้

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3. ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	5
2.1. ภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร.....	5
2.2. อาหารในภาชนะบรรจุปิดสนิท.....	6
2.2.1. อาหารในภาชนะบรรจุปิดสนิทจำแนกตามค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าแอกติ วิตีของ น้ำ.....	6
2.3. จุลวิทยาของอาหารกระป๋อง (Microbiology of Canned Foods).....	7
2.4. กระบวนการผลิตอาหารกระป๋อง.....	7
2.4.1. การเตรียมวัตถุดิบ (Prepare raw material)	7
2.4.2. การลวกด้วยน้ำร้อน (Blanching).....	8
2.4.3. การบรรจุ (Filling).....	8
2.4.4. การไล่อากาศ (Exhausting).....	8
2.4.5. การปิดผนึก (Sealing).....	8
2.4.6. การฆ่าเชื้อ (Processing).....	8
2.4.7. การทำให้เย็น (Cooling).....	8
2.4.8. การปิดฉลากและบรรจุหีบห่อ (Labeling).....	8
2.5. กระบวนการทำงานของหม้อฆ่าเชื้อ.....	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 การปฏิบัติในการใช้หม้อฆ่าเชื้อ.....	9
2.6 หลักการฆ่าเชื้ออาหารกระป๋อง.....	10
2.6.1 การใช้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์ (Pasteurization).....	11
2.6.2 การใช้ความร้อนในการสเตอริไลซ์อาหาร.....	11
2.7 ผลของความร้อนต่อเชื้อจุลินทรีย์.....	13
2.7.1 การคำนวณเวลาในการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน (Thermal Process Calculation)..	14
2.8 ความหนืดคุณลักษณะเฉพาะของของไหล.....	18
2.9 ลักษณะการไหลของของไหล.....	19
2.9.1 Newtonian Fluid.....	19
2.9.2 Non Newtonian Fluid.....	19
บทที่ 3 หม้อฆ่าเชื้อ.....	22
3.1 กระบวนการหม้อฆ่าเชื้อ.....	22
3.1.1 ประเภทของหม้อฆ่าเชื้อแบ่งตามลักษณะการเชื้อ.....	22
3.1.2 ประเภทของหม้อฆ่าเชื้อแบ่งตามลักษณะการหมุนของกระป๋องหรือการบรรจุ.....	24
3.1.3 ประเภทของหม้อฆ่าเชื้อแบ่งตามลักษณะการวางของหม้อฆ่าเชื้อ.....	24
3.1.4 ประเภทของหม้อฆ่าเชื้อแบ่งตามตัวกลางให้ความร้อน.....	24
3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายความร้อนภายในหม้อฆ่าเชื้อ (Critical Factors that Affect Temperature Distribution in Retort).....	25
3.3 การกระจายความร้อนภายในหม้อฆ่าเชื้อ.....	25
3.4 การถ่ายเทความร้อน.....	26
3.4.1 การนำความร้อน.....	27
3.4.2 การพาความร้อน.....	28
3.4.3 การแผ่รังสี.....	29
3.5 ประเภทของอาหารตามลักษณะการถ่ายเทความร้อน.....	29
3.5.1 อาหารที่ถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อน (Conductive heating packs)...	29
3.5.2 อาหารที่ถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน (Convective heating packs)...	29
3.5.3 อาหารที่ถ่ายเทความร้อนแบบผสม (Complex heating packs).....	29
3.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน.....	30
บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	35
4.1 วัสดุและอุปกรณ์.....	35
4.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	40
บทที่ 5 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 ผลการทดลองและวิเคราะห์การทดลอง.....	44
5.1.1 ผลของความเข้มข้นที่มีต่อการแทรกผ่านความร้อน.....	44
5.1.2 ผลของความถี่ที่มีต่อการแทรกผ่านความร้อน.....	48
5.1.3 ผลของความเข้มข้นของสารละลายเบนโทไนต์ที่มีผลต่อค่า F_0	56
5.1.4 ผลของความถี่ในการเขย่าที่มีผลต่อค่า F_0	61
5.1.5 ผลของตำแหน่งวัตถุอุณหภูมิภายในกระป๋องที่มีต่อการแทรกผ่านความร้อน.....	76
5.1.6 การเขย่าต่อการกระจายความร้อนในกระป๋องวัดโดยเสียบสายวัด 3 ตำแหน่ง.....	80
บทที่ 6 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง.....	85
6.1 ผลของความเข้มข้นที่มีต่อการแทรกผ่านความร้อน.....	85
6.2 ผลของความถี่ที่มีต่อการแทรกผ่านความร้อน.....	85
6.3 ผลของความเข้มข้นที่มีต่อค่าเวลาเป็นนาทีที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 3.....	85
6.4 ผลของความถี่ที่มีต่อค่าเวลาเป็นนาทีที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 3.....	86
6.5 ผลของชนิดที่มีต่อค่าเวลาเป็นนาทีที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 6.....	86
6.6 ผลของความถี่ที่มีต่อค่าเวลาเป็นนาทีที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 6.....	86
6.7 ผลของการเขย่าต่อการกระจายความร้อนในกระป๋องวัดโดยเสียบสายวัด 3 ตำแหน่ง.....	88
เอกสารอ้างอิง.....	89
ภาคผนวก.....	91

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 เปรียบเทียบการกระจายความร้อนแบบต่างๆ ในกระป๋อง.....	30
3.2 ค่าการแพร่กระจายความร้อนของวัสดุชนิดต่างๆ.....	31
3.3 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิวหน้าวัตถุ.....	32
3.4 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุต่างๆ.....	33
5.1 แสดงค่าของ f_i	52
5.2 แสดงค่าของ j	54
5.3 แสดงผลเวลาเป็นนาฬิกาของสารละลายเบนโทไนต์ ที่ค่า F_0 เท่ากับ 3.....	69
5.4 แสดงค่าร้อยละของเวลาที่เร็วขึ้นที่เวลา $F_0 = 3$ นาที.....	69
5.5 แสดงผลเวลาเป็นนาฬิกาของสารละลายเบนโทไนต์ ที่ค่า F_0 เท่ากับ 6.....	73
5.6 แสดงค่าร้อยละของเวลาที่เร็วขึ้นที่เวลา $F_0 = 6$ นาที.....	73

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการอ่านค่าค่าพารามิเตอร์ต่างๆ.....	17
2.2 แสดงการเกิด velocity gradient เมื่อมีแรงมากระทำในแนวนานกับพื้นผิวของของไหล.....	19
2.3 กราฟแสดงลักษณะการไหลของของเหลว.....	20
3.1 แสดงการวัดจุดร้อนซ้ำที่สุดในอาหารกระป๋องที่บรรจุอาหารแข็งและเหลว.....	28
3.2 แสดงเส้นกราฟการแทรกผ่านความร้อนของอาหารกระป๋อง โดยวัดจากจุดร้อนซ้ำที่สุดในอาหารต่างชนิดในขนาดการบรรจุต่างกัน แต่ใช้อุณหภูมิของหม้อฆ่าเชื้อเท่ากัน.....	33
3.3 แสดงเส้นกราฟการแทรกผ่านความร้อนของ Peas puree ในกระป๋องขนาด 603×700 มิลลิเมตร อุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ เท่ากับ 252 องศาฟาเรนไฮต์.....	34
4.1 แสดงการจัดวางมอเตอร์กับสายวัดอุณหภูมิในหม้อฆ่าเชื้อที่ติดตั้งเครื่องเขย่า.....	35
4.2 แสดงลักษณะและตำแหน่งการติดตั้งมอเตอร์กับหม้อฆ่าเชื้อ.....	35
4.3 แสดงลักษณะการจัดเรียงสายวัดอุณหภูมิและฝาปิดกันรั่ว.....	36
4.4 แสดงการจัดวางตะกร้าและอุปกรณ์เขย่าในหม้อฆ่าเชื้อ.....	36
4.5 แสดงลักษณะลูกเบี้ยวและการติดลูกเบี้ยวเข้ากับเครื่องเขย่าในหม้อฆ่าเชื้อ.....	37
4.6 แสดงลักษณะของการติดตั้งจุดนำศูนย์และเพลลาที่ใช้ช่วยในการเขย่าในหม้อฆ่าเชื้อ.....	37
4.7 แสดงลักษณะรางที่ใช้ในการบังคับทิศทางการเคลื่อนที่ของตะกร้า.....	38
4.8 แสดงการติดตั้งรางบังคับการเคลื่อนที่ของตะกร้าในหม้อฆ่าเชื้อ.....	38
4.9 แสดงการติดตั้งสปริงกับตะกร้าในหม้อฆ่าเชื้อ.....	39
4.10 แสดงการจัดวางกระป๋องในตะกร้าในหม้อฆ่าเชื้อ.....	39
4.11 แสดงเครื่อง Data logger รุ่น CTF 5008.....	40
4.12 แสดงสารละลายเบนโทไนต์ที่ความเข้มข้น 3 5 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	41
4.13 แสดงตำแหน่งของการเจาะรูกระป๋อง.....	42
5.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน.....	44
5.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน.....	45
5.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน.....	46
5.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน.....	47
5.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน.....	48
5.6 กราฟการกระจายความร้อนของน้ำที่ความถี่แตกต่างกัน.....	49

5.7 กราฟการกระจายความร้อนของสารละลายเบนโทไนด์ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ความถี่แตกต่างกัน.....	49
5.8 กราฟการกระจายความร้อนของสารละลายเบนโทไนด์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ความถี่แตกต่างกัน.....	50
5.9 กราฟการกระจายความร้อนของสารละลายเบนโทไนด์ 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ความถี่แตกต่างกัน.....	51
5.10 กราฟการกระจายความร้อนของสารละลายเบนโทไนด์ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (1/2 ของความสูง) ที่ความถี่แตกต่างกัน.....	52
5.11 กราฟ contour แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนืดของสารละลาย ความถี่ และค่า f_n	53
5.12 กราฟพื้นที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนืดของสารละลาย ความถี่และค่า f_n	54
5.13 กราฟ contour แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนืดของสารละลาย ความถี่ และค่า j	55
5.14 กราฟพื้นที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนืดของสารละลาย ความถี่และค่า j	56
5.15 กราฟแสดงค่า F_0 กับเวลา ที่ความเข้มข้นของสารละลายเบนโทไนด์แตกต่างกัน.....	57
5.16 กราฟแสดงค่า F_0 กับเวลา ที่ความเข้มข้นของสารละลายเบนโทไนด์แตกต่างกัน.....	58
5.17 กราฟแสดงค่า F_0 กับเวลา ที่ความเข้มข้นของสารละลายเบนโทไนด์แตกต่างกัน.....	59
5.18 กราฟแสดงค่า F_0 กับเวลา ที่ความเข้มข้นของสารละลายเบนโทไนด์แตกต่างกัน.....	60
5.19 กราฟแสดงค่า F_0 กับเวลา ที่ความเข้มข้นของสารละลายเบนโทไนด์แตกต่างกัน.....	61
5.20 กราฟแสดงค่า F_0 กับเวลา ที่ความถี่ในการเขย่าแตกต่างกันของสารละลายเบนโทไนด์ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	62
5.21 กราฟแสดงค่า F_0 กับเวลา ที่ความถี่ในการเขย่าแตกต่างกันของสารละลายเบนโทไนด์ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	63
5.22 กราฟแสดงค่า F_0 กับเวลา ที่ความถี่ในการเขย่าแตกต่างกันของสารละลายเบนโทไนด์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	64
5.23 กราฟแสดงค่า F_0 กับเวลา ที่ความถี่ในการเขย่าแตกต่างกันของสารละลายเบนโทไนด์ 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	65
5.24 กราฟแสดงค่า F_0 กับเวลา ที่ความถี่ในการเขย่าแตกต่างกันของสารละลายเบนโทไนด์ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (1/3 ของความสูง).....	66
5.25 กราฟแสดงค่า F_0 กับเวลา ที่ความถี่ในการเขย่าแตกต่างกันของสารละลายเบนโทไนด์ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก(1/2 ของความสูง).....	67

5.26	กราฟแสดงค่า F_0 กับเวลา ที่ความถี่ในการเขย่าแตกต่างกันของสารละลายเบนโทไนด์ 9 โดย น้ำหนัก ($1/6$ ของความสูง).....	68
5.27	กราฟ contour แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของเวลาที่เร็วขึ้น ความถี่และความหนืด ของสารละลาย.....	70
5.28	กราฟ contour แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนืดของสารละลาย ความถี่ และค่า F_0	71
5.29	กราฟพื้นที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนืดของสารละลาย ความถี่และค่า เวลาเป็น นาที่ที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 3.....	72
5.30	กราฟ contour แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของเวลาที่เร็วขึ้น ความถี่ และความหนืด ของสารละลาย.....	74
5.31	กราฟ contour แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนืดของสารละลาย ความถี่ และค่า F_0	75
5.32	กราฟพื้นที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนืดของสารละลาย ความถี่ และค่าเวลาเป็น นาที่ที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 6	76
5.33	กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนของสารละลายเบนโทไนด์ 9 เปรอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักที่ตำแหน่งแตกต่างกัน.....	77
5.34	กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนของสารละลายเบนโทไนด์ 9 เปรอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ตำแหน่งแตกต่างกัน.....	77
5.35	กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนของสารละลายเบนโทไนด์ 9 เปรอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ตำแหน่งแตกต่างกัน.....	78
5.36	กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนของสารละลายเบนโทไนด์ 9 เปรอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ตำแหน่งแตกต่างกัน.....	79
5.37	กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนของสารละลายเบนโทไนด์ 9 เปรอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ตำแหน่งแตกต่างกัน.....	79
5.38	กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนที่ตำแหน่งของสายวัดอุณหภูมิ ที่แตกต่างกัน.....	80
5.39	กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนที่ตำแหน่งของสายวัดอุณหภูมิ ที่แตกต่างกัน.....	81
5.40	กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนที่ตำแหน่งของสายวัด อุณหภูมิที่แตกต่างกัน.....	82
5.41	กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนที่ตำแหน่งของสายวัดอุณหภูมิ ที่แตกต่างกัน.....	83
5.42	กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนที่ตำแหน่งของสายวัดอุณหภูมิ ที่แตกต่างกัน.....	84



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลอง

ตารางที่ 1. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 0 ครั้งต่อนาที (อยู่นิ่ง)

เวลา (นาที)					9%	9%	9%	อากาศ
	0%	3%	5%	7%	(1/2ของ ความสูง)	(1/2ของ ความสูง)	(1/2ของ ความสูง)	
0	25.09	25.02	25.11	25.02	24.99	24.89	25.06	25.73
0.5	25.11	25.04	25.11	25.04	24.99	24.94	25.06	25.78
1	25.09	25.02	25.11	25.02	25.02	24.92	25.06	26.56
1.5	25.14	25.02	25.09	25.04	24.99	24.89	25.06	27.07
2	25.33	24.99	25.11	25.06	25.02	24.94	25.09	27.29
2.5	25.92	25.02	25.11	25.06	25.04	24.89	25.06	33.12
3	27.27	25.04	25.16	25.16	25.06	24.89	25.04	36.73
3.5	30.07	25.06	25.29	25.24	25.11	24.97	25.04	42.28
4	33.53	25.09	25.51	25.38	25.19	24.99	25.02	47.61
4.5	37.54	25.16	25.87	25.56	25.26	25.02	25.02	51.72
5	42.09	25.29	26.44	25.75	25.36	25.09	25.04	55.91
5.5	46.65	25.48	27.12	26	25.48	25.16	25.09	62.02
6	51.46	25.9	27.98	26.29	25.6	25.26	25.09	66.38
6.5	56.79	26.73	28.93	26.63	25.78	25.41	25.16	70.91
7	62.08	28.25	30.05	27	25.95	25.53	25.21	76.34
7.5	67.31	30.65	31.26	27.39	26.14	25.7	25.29	81.15
8	72.39	34.09	32.57	27.83	26.39	25.92	25.38	85.91
8.5	77.87	38.55	33.97	28.34	26.61	26.17	25.51	90.73
9	83.24	43.63	35.48	28.88	26.9	26.49	25.68	95.68
9.5	88.51	48.69	37.04	29.49	27.29	26.9	25.83	100.51
10	93.63	53.81	38.69	30.09	27.68	27.44	26.07	104.96
10.5	98.67	59.71	40.36	30.82	28.1	28.05	26.34	109.78
11	103.62	66.29	42.04	31.57	28.66	28.81	26.63	114.54
11.5	108.74	73.06	43.58	32.42	29.22	29.66	26.95	119.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 0 ครั้งต่อนาที (อยู่นิ่ง) (ต่อ)

เวลา (นาที)					9%	9%	9%	อากาศ
	0%	3%	5%	7%	(1/2ของ ความสูง)	(1/2ของ ความสูง)	(1/2ของ ความสูง)	
12	113.35	79.22	45.61	33.27	29.68	30.43	27.39	121.33
12.5	116.07	84.31	47.56	34.11	30.22	31.14	27.81	121.37
13	117.74	88.84	49.41	35.02	30.8	31.84	28.29	121.31
13.5	118.84	92.85	51.16	35.96	31.43	32.54	28.83	121.41
14	119.57	96.43	53	36.9	32.2	33.24	29.41	121.43
14.5	120	99.29	54.85	37.85	33.05	33.89	30.09	121.31
15	120.33	101.53	56.79	38.83	33.92	34.62	30.8	121.31
15.5	120.58	103.41	58.35	39.86	34.76	35.46	31.6	121.58
16	120.77	105.02	58.49	40.83	35.58	36.23	32.42	121.39
16.5	120.89	106.4	59.11	41.9	36.56	37.04	33.31	121.43
17	121	107.52	60.14	42.97	37.54	37.85	34.25	121.43
17.5	121.06	108.53	60.97	44.01	38.52	38.67	35.24	121.35
18	121.1	109.38	62.36	45.07	39.57	39.55	36.35	121.43
18.5	121.12	110.12	63.82	46.13	40.57	40.43	37.47	121.49
19	121.16	110.75	65.22	47.16	41.55	41.28	38.62	121.41
19.5	121.18	111.23	66.58	48.24	42.66	42.21	39.79	121.43
20	121.18	111.67	67.92	49.34	43.84	43.18	41	121.41
20.5	121.18	112.05	69.25	50.32	44.93	44.1	42.19	121.45
21	121.23	112.32	70.53	51.42	46.01	45.09	43.37	121.35
21.5	121.18	112.62	71.81	52.51	47.09	46.06	44.6	121.33
22	121.23	112.85	73.02	53.69	48.5	47.04	45.7	121.43
22.5	121.23	113.04	74.25	54.78	49.62	48.05	46.97	121.31
23	121.18	113.18	75.43	55.89	50.76	49.08	48.29	121.35
23.5	121.2	113.33	76.59	57.09	51.93	50.09	49.6	121.45
24	121.23	113.45	77.7	58.19	53.07	51.11	50.9	121.64
24.5	121.25	113.58	78.8	59.27	54.18	52.14	52.23	121.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 0 ครั้งต่อนาที (อยู่นิ่ง) (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9% (1/2ของ ความสูง)	9% (1/2ของ ความสูง)	9% (1/2ของ ความสูง)	อากาศ
25	121.25	113.66	79.89	60.39	55.27	53.16	53.51	121.35
25.5	121.25	113.77	80.9	61.56	56.37	54.16	54.8	121.58
26	121.27	113.83	81.98	62.52	57.36	55.15	56.12	121.41
26.5	121.27	113.89	82.93	63.63	58.49	56.19	57.41	121.43
27	121.27	113.94	83.9	64.72	59.57	57.41	58.67	121.52
27.5	121.29	113.98	84.82	65.75	60.62	58.49	59.94	121.41
28	121.27	114.04	85.76	66.79	61.7	59.48	61.17	121.43
28.5	121.29	114.08	86.64	67.83	62.75	60.87	62.43	121.39
29	121.29	114.12	87.55	68.84	63.77	62.04	63.66	121.52
29.5	121.29	114.17	88.36	69.79	64.84	63.02	64.84	121.43
30	121.29	114.21	89.16	70.78	65.86	64.11	66.02	121.41
30.5	121.29	114.25	89.99	71.76	66.88	65.13	67.19	121.43
31	121.31	114.29	90.75	72.7	67.92	66.11	68.35	121.39
31.5	121.27	114.31	91.51	73.71	68.86	67.04	69.47	121.43
32	121.29	114.35	92.27	74.65	69.85	67.96	70.6	121.49
32.5	121.27	114.42	92.98	75.61	70.82	68.84	71.67	121.47
33	121.27	114.48	93.65	76.52	71.79	69.76	72.75	121.43
33.5	121.29	114.5	94.37	77.43	72.73	70.66	73.82	121.35
34	121.27	114.56	95.03	78.36	73.69	71.54	74.85	121.39
34.5	121.27	114.63	95.68	79.25	74.6	72.41	75.87	121.31
35	121.25	114.67	96.33	80.11	75.49	73.29	76.87	121.47
35.5	121.25	114.73	96.95	80.97	76.36	74.13	77.83	121.29
36	121.27	114.79	97.55	81.83	77.27	75	78.78	121.35
36.5	121.25	114.86	98.13	82.64	78.14	75.81	79.71	121.35
37	121.25	114.92	98.69	83.48	78.98	76.65	80.64	121.35
37.5	121.25	115	99.27	84.29	79.8	77.65	81.52	121.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 0 ครั้งต่อนาที (อยู่นิ่ง) (ต่อ)

เวลา (นาที)					9%	9%	9%	อากาศ
	0%	3%	5%	7%	(1/2ของ ความสูง)	(1/2ของ ความสูง)	(1/2ของ ความสูง)	
38	121.23	115.07	99.78	84.99	80.66	78.63	82.42	121.29
38.5	121.23	115.13	100.31	85.76	81.48	79.45	83.26	121.29
39	121.2	115.21	100.83	86.53	82.27	80.22	84.12	121.27
39.5	121.2	115.27	101.32	87.27	83.06	80.99	84.95	121.27
40	121.18	115.36	101.83	88.01	83.83	81.74	85.74	121.25
40.5	121.18	115.44	102.26	88.73	84.6	82.49	86.53	121.27
41	121.18	115.53	102.73	89.45	85.37	83.22	87.31	121.25
41.5	121.18	115.59	103.17	90.14	86.09	83.94	88.1	121.29
42	121.18	115.67	103.62	90.84	86.83	84.67	88.79	121.47
42.5	121.18	115.73	104.04	91.51	87.53	85.37	89.53	121.25
43	121.16	115.84	104.43	92.18	88.25	86.04	90.25	121.25
43.5	121.18	115.9	104.85	92.79	88.93	86.74	90.92	121.2
44	121.16	115.99	105.25	93.44	89.58	87.38	91.62	121.35
44.5	121.18	116.05	105.64	94.06	90.25	88.03	92.27	121.12
45	121.18	116.13	105.98	94.67	90.9	88.71	92.94	121.31
45.5	121.18	116.21	106.36	95.27	91.51	89.32	93.57	121.18
46	121.16	116.3	106.7	95.83	92.16	89.97	94.17	121.33
46.5	121.2	116.38	107.03	96.39	92.77	90.58	94.75	121.16
47	121.16	116.46	107.39	96.95	93.37	91.19	95.36	121.2
47.5	121.16	116.53	107.69	97.51	93.96	91.79	95.96	121.18
48	121.16	116.61	108.05	98.04	94.52	92.38	96.52	121.2
48.5	121.16	116.69	108.34	98.56	95.1	92.96	97.1	121.29
49	121.16	116.76	108.64	99.05	95.64	93.52	97.62	121.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 0 ครั้งต่อนาที (อยู่นิ่ง) (ต่อ)

เวลา (นาที)					9%	9%	9%	อากาศ
	0%	3%	5%	7%	(1/2ของ ความสูง)	(1/2ของ ความสูง)	(1/2ของ ความสูง)	
50	121.16	116.92	109.21	100.04	96.71	94.65	98.64	121.14
50.5	121.14	117.01	109.5	100.53	97.23	95.21	99.16	121.2
51	121.16	117.07	109.78	101	97.74	95.72	99.65	121.18
51.5	121.14	117.15	110.05	101.47	98.26	96.26	100.12	121.12
52	121.14	117.22	110.3	101.92	98.73	96.73	100.61	121.23
52.5	121.14	117.28	110.58	102.32	99.2	97.25	101.06	121.18
53	121.14	117.34	110.83	102.77	99.69	97.74	101.53	121.2
53.5	121.14	117.44	111.06	103.19	100.16	98.22	101.96	121.25
54	121.12	117.49	111.29	103.6	100.61	98.67	102.41	121.1
54.5	121.14	117.57	111.52	104	101.04	99.14	102.79	121.25
55	121.14	117.63	111.76	104.38	101.49	99.59	103.24	121.12
55.5	121.12	117.69	111.97	104.77	101.92	100.01	103.62	121.1
56	121.12	117.78	112.2	105.15	102.34	100.46	104	121.1
56.5	121.12	117.84	112.39	105.51	102.73	100.91	104.38	121.12
57	121.1	117.9	112.6	105.89	103.13	101.3	104.79	121.23
57.5	121.08	117.94	112.8	106.23	103.51	101.72	105.13	121.16
58	121.1	118.03	112.99	106.57	103.92	102.13	105.51	121.33
58.5	121.12	118.09	113.18	106.89	104.3	102.53	105.85	121.27
59	121.1	118.17	113.37	107.22	104.68	102.9	106.17	121.12
59.5	121.1	118.19	113.54	107.52	105.02	103.28	106.55	121.1
60	121.1	118.28	113.73	107.86	105.38	103.66	106.84	121.16
60.5	121.08	118.32	113.89	108.15	105.7	104.02	107.18	121.08
61	121.06	118.4	114.06	108.45	106.04	104.38	107.48	121.08
61.5	121.06	118.44	114.23	108.72	106.38	104.72	107.77	121

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 0 ครั้งต่อนาที (อยู่นิ่ง) (ต่อ)

เวลา (นาที)	9%			9%			อากาศ	
	0%	3%	5%	7%	(1/2ของ ความสูง)	(1/2ของ ความสูง)		(1/2ของ ความสูง)
62	121.06	118.51	114.38	109.04	106.7	105.04	108.09	121.08
62.5	121.04	118.55	114.54	109.29	107.01	105.38	108.39	121.04
63	121.02	118.61	114.69	109.57	107.33	105.7	108.68	121.06
63.5	121.02	118.65	114.84	109.84	107.65	106.04	108.96	121.2
64	121.04	118.69	114.98	110.09	107.92	106.36	109.23	121.14
64.5	121.02	118.76	115.13	110.35	108.2	106.67	109.48	121.08
65	121.02	118.8	115.27	110.6	108.49	106.99	109.74	121.1
65.5	121	118.86	115.4	110.85	108.79	107.29	110.01	121.08
66	121.02	118.92	115.53	111.08	109.06	107.56	110.24	121.08
66.5	121	118.96	115.65	111.31	109.31	107.86	110.47	121.25
67	121.02	119.03	115.78	111.52	109.59	108.13	110.75	121.1
67.5	121	119.03	115.9	111.78	109.84	108.43	110.94	121.18
68	121.02	119.09	116.01	111.97	110.09	108.68	111.19	121.04
68.5	121.02	119.15	116.15	112.18	110.33	108.93	111.42	120.98
69	121	119.19	116.24	112.39	110.56	109.21	111.61	121.04
69.5	121	119.21	116.36	112.6	110.81	109.44	111.84	121.14
70	121	119.28	116.49	112.76	111.04	109.71	112.03	121.1
70.5	121	119.32	116.57	112.97	111.25	109.9	112.26	121.12
71	121	119.34	116.69	113.16	111.46	110.16	112.45	121.12
71.5	121.02	119.38	116.8	113.35	111.69	110.37	112.64	121.23
72	121.02	119.42	116.88	113.52	111.88	110.58	112.8	121.12
72.5	121	119.44	116.99	113.73	112.11	110.79	113.01	121.04
73	121	119.5	117.07	113.87	112.3	111.04	113.18	121.18
73.5	121	119.55	117.17	114.04	112.49	111.23	113.35	121.06
74	121	119.57	117.24	114.21	112.7	111.44	113.54	121.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 0 ครั้งต่อนาที (อยู่นิ่ง) (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9% (1/2ของ ความสูง)	9% (1/2ของ ความสูง)	9% (1/2ของ ความสูง)	อากาศ
74.5	120.98	119.59	117.34	114.38	112.87	111.65	113.69	121.08
75	121	119.63	117.42	114.54	113.04	111.84	113.87	121.16
75.5	120.98	119.67	117.51	114.67	113.2	112.05	114.04	121.14
76	121	119.71	117.61	114.82	113.39	112.24	114.21	121.16
76.5	121	119.73	117.65	114.98	113.58	112.41	114.33	121.16
77	121.02	119.77	117.76	115.11	113.75	112.62	114.48	121.18
77.5	121	119.79	117.82	115.23	113.89	112.8	114.63	121.1
78	121	119.82	117.9	115.38	114.08	112.95	114.79	121.1
78.5	121	119.86	117.99	115.53	114.21	113.14	114.92	121.1
79	121	119.88	118.05	115.65	114.38	113.29	115.05	121.12
79.5	120.98	119.9	118.13	115.8	114.52	113.45	115.19	121.08
80	121	119.94	118.19	115.88	114.69	113.62	115.32	121.1
80.5	121	119.96	118.24	116.03	114.82	113.77	115.44	121.04
81	120.96	119.98	118.32	116.13	114.96	113.94	115.55	121.06
81.5	120.98	120.02	118.38	116.21	115.07	114.08	115.67	120.98
82	120.96	120.02	118.44	116.32	115.21	114.23	115.8	121.02
82.5	120.96	120.04	118.49	116.46	115.36	114.38	115.9	121.02
83	120.94	120.08	118.57	116.57	115.46	114.52	116.03	121.02
83.5	120.96	120.11	118.61	116.67	115.59	114.65	116.13	121.04
84	120.96	120.15	118.67	116.78	115.73	114.77	116.26	121.1
84.5	120.96	120.15	118.73	116.88	115.84	114.94	116.36	121.12
85	120.98	120.17	118.78	116.97	115.96	115.07	116.46	121.06
85.5	120.96	120.21	118.84	117.09	116.07	115.19	116.55	121.06
86	120.96	120.25	118.9	117.19	116.21	115.32	116.65	121.08
86.5	120.96	120.27	118.96	117.26	116.32	115.44	116.74	121.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 0 ครั้งต่อนาที (อยู่นิ่ง) (ต่อ)

เวลา (นาที)					9%	9%	9%	อากาศ
	0%	3%	5%	7%	(1/2ของ ความสูง)	(1/2ของ ความสูง)	(1/2ของ ความสูง)	
87	120.96	120.25	118.98	117.34	116.42	115.55	116.86	120.98
87.5	120.94	120.29	119.03	117.44	116.51	115.67	116.94	120.94
88	120.94	120.31	119.09	117.53	116.61	115.78	117.03	120.94
88.5	120.94	120.31	119.13	117.59	116.72	115.9	117.11	121
89	120.94	120.33	119.15	117.69	116.82	116.01	117.22	120.94
89.5	120.91	120.38	119.21	117.76	116.9	116.11	117.32	121.06
90	120.89	120.38	119.25	117.88	116.99	116.21	117.38	120.96
90.5	120.89	120.38	119.3	117.9	117.09	116.32	117.44	121
91	120.89	120.42	119.32	117.99	117.19	116.42	117.53	121.02
91.5	120.89	120.46	119.36	118.07	117.26	116.53	117.61	120.98
92	120.89	120.46	119.42	118.11	117.36	116.61	117.67	120.96
92.5	120.91	120.48	119.44	118.19	117.42	116.72	117.74	121
93	120.87	120.48	119.48	118.26	117.53	116.82	117.82	121
93.5	120.87	120.5	119.52	118.34	117.59	116.88	117.92	120.98
94	120.87	120.52	119.55	118.38	117.65	116.99	117.94	121.02
94.5	120.89	120.52	119.59	118.44	117.74	117.07	118.03	120.94
95	120.89	120.52	119.63	118.51	117.8	117.15	118.11	120.96
95.5	120.87	120.54	119.65	118.57	117.88	117.24	118.15	120.98
96	120.87	120.58	119.69	118.63	117.94	117.32	118.24	120.96
96.5	120.87	120.58	119.71	118.65	118.03	117.4	118.28	120.87
97	120.87	120.58	119.75	118.73	118.09	117.49	118.34	120.91
97.5	120.87	120.6	119.77	118.8	118.15	117.57	118.4	120.96
98	120.87	120.6	119.79	118.86	118.24	117.63	118.44	120.94
98.5	120.85	120.62	119.82	118.9	118.3	117.69	118.51	120.94
99	120.87	120.64	119.86	118.94	118.34	117.78	118.55	121.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 0 ครั้งต่อนาที (อยู่นิ่ง) (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9% (1/2ของ ความสูง)	9% (1/2ของ ความสูง)	9% (1/2ของ ความสูง)	อากาศ
99.5	120.87	120.64	119.88	119.01	118.42	117.84	118.59	120.94
100	120.85	120.67	119.9	119.05	118.49	117.9	118.67	120.98
100.5	120.87	120.69	119.92	119.09	118.53	117.97	118.71	120.96
101	120.85	120.69	119.96	119.13	118.57	118.03	118.78	120.98
101.5	120.89	120.71	119.98	119.17	118.65	118.09	118.82	121.08
102	120.89	120.69	120	119.21	118.69	118.15	118.86	120.96
102.5	120.85	120.71	120.02	119.3	118.78	118.28	118.96	121
103	120.85	120.73	120.08	119.34	118.84	118.32	118.98	121
103.5	120.87	120.75	120.08	119.38	118.9	118.4	119.05	120.98
104	120.87	120.75	120.11	119.42	118.94	118.44	119.07	121.06
104.5	120.87	120.77	120.15	119.44	118.98	118.51	119.11	120.91
105	120.85	120.77	120.15	119.48	119.03	118.55	119.15	120.91
105.5	120.85	120.79	120.17	119.52	119.09	118.59	119.19	120.87
106	120.83	120.79	120.19	119.55	119.13	118.63	119.21	120.94
106.5	120.85	120.79	120.21	119.61	119.17	118.67	119.28	120.96
107	120.85	120.79	120.23	119.65	119.21	118.76	119.3	120.96
107.5	120.85	120.81	120.23	119.65	119.23	118.78	119.32	121.02
108	120.87	120.81	120.25	119.69	119.28	118.86	119.36	120.89
108.5	120.85	120.79	120.25	119.71	119.34	118.88	119.4	120.94
109	120.83	120.83	120.27	119.73	119.34	118.92	119.42	120.96
109.5	120.87	120.83	120.29	119.75	119.4	118.96	119.44	121.02
110	120.83	120.83	120.31	119.79	119.42	119.01	119.48	120.94
110.5	120.85	120.83	120.33	119.86	119.44	119.05	119.52	120.96
111	120.85	120.83	120.35	119.86	119.48	119.09	119.55	120.96
111.5	120.85	120.85	120.35	119.88	119.52	119.13	119.57	120.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 0 ครั้งต่อนาที (อยู่นิ่ง) (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9% (1/2ของ ความสูง)	9% (1/2ของ ความสูง)	9% (1/2ของ ความสูง)	อากาศ
112	120.85	120.87	120.4	119.92	119.57	119.17	119.61	120.96
112.5	120.85	120.87	120.4	119.94	119.59	119.21	119.63	120.96
113	120.83	120.87	120.4	119.96	119.61	119.23	119.67	120.91
113.5	120.85	120.85	120.42	119.98	119.65	119.28	119.67	120.89
114	120.83	120.89	120.44	120	119.69	119.3	119.71	120.96
114.5	120.85	120.87	120.42	120.02	119.71	119.34	119.75	120.91
115	120.83	120.89	120.46	120.04	119.75	119.38	119.77	120.89
115.5	120.83	120.91	120.48	120.08	119.77	119.42	119.79	120.91
116	120.85	120.89	120.48	120.11	119.79	119.46	119.82	120.98
116.5	120.83	120.91	120.48	120.13	119.84	119.5	119.84	120.91
117	120.85	120.91	120.5	120.15	119.86	119.52	119.86	120.89
117.5	120.83	120.91	120.5	120.17	119.9	119.55	119.92	120.98
118	120.83	120.91	120.54	120.17	119.92	119.59	119.9	120.91
118.5	120.83	120.94	120.54	120.21	119.94	119.61	119.94	120.91
119	120.83	120.94	120.56	120.23	119.98	119.63	119.96	120.87
119.5	120.83	120.94	120.56	120.25	119.98	119.67	119.96	121
120	120.83	120.94	120.58	120.27	120	119.69	119.98	120.85
120.5	120.83	120.94	120.58	120.25	120.04	119.71	120	120.91
121	120.83	120.94	120.6	120.29	120.04	119.73	120	120.94
121.5	120.81	120.96	120.6	120.31	120.06	119.75	120.02	120.89
122	120.83	120.96	120.6	120.33	120.11	119.79	120.06	120.87
122.5	120.83	120.96	120.6	120.33	120.11	119.84	120.06	121.04
123	120.85	120.94	120.62	120.35	120.13	119.84	120.08	120.91
123.5	120.85	120.98	120.64	120.38	120.15	119.88	120.11	120.89
124	120.83	120.98	120.64	120.38	120.17	119.88	120.13	120.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 0 ครั้งต่อนาที (อยู่หนึ่ง) (ต่อ)

เวลา (นาที)	9%		9%		9%		อากาศ	
	0%	3%	5%	7%	(1/2ของ ความสูง)	(1/2ของ ความสูง)		(1/2ของ ความสูง)
124.5	120.83	120.96	120.64	120.4	120.19	119.92	120.15	120.89
125	120.83	120.98	120.64	120.42	120.21	119.92	120.15	120.91
125.5	120.83	121	120.67	120.42	120.23	119.94	120.17	120.89
126	120.83	120.98	120.69	120.44	120.23	119.96	120.19	120.87
126.5	120.81	120.98	120.67	120.48	120.25	119.98	120.21	120.96
127	120.83	121	120.69	120.46	120.27	120	120.21	120.83

ตารางที่ 2. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 160 ครั้งต่อนาที

เวลา (นาที)	9%(1/2ของ		9%(1/3ของ		9%(1/6ของ		อากาศ	
	0%	3%	5%	7%	ความสูง)	ความสูง)		ความสูง)
0	29.32	29.2	29.27	29.17	29.24	29.07	29.17	29.24
0.5	29.44	29.22	29.29	29.16	29.27	29.07	29.17	29.24
1	31.33	29.32	29.49	29.14	29.24	29.12	29.15	35.51
1.5	34.62	30.17	30.39	30.45	29.29	29.07	29.17	38.31
2	39.1	32.18	31.57	31.9	29.32	29.15	29.27	44.97
2.5	43.2	35.24	33.31	32.24	29.39	29.12	29.37	48.62
3	48.22	38.47	36.15	33.91	29.49	29.1	29.73	52.79
3.5	52.97	42.33	38.12	35.09	29.63	29.1	30.12	58.77
4	57.43	46.48	42.83	39.2	29.75	29.12	30.77	62.2
4.5	62.43	50.53	46.13	42.34	29.97	29.17	31.48	67.42
5	66.79	54.9	49.76	46.42	30.17	29.22	32.4	72.46
5.5	69.99	59.57	52.49	44.79	30.58	29.17	33.41	76.72
6	74.11	64.82	56	46.54	30.8	29.24	34.57	80.75
6.5	78.67	69.52	58.93	48.54	31.14	29.34	35.75	85.83
7	83.17	74.2	61.95	51.71	31.5	29.46	37.04	90.6
7.5	87.84	78.6	66.65	56.43	31.89	29.58	38.36	95.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 160 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9%(1/2ของ ความสูง)	9%(1/3ของ ความสูง)	9%(1/6ของ ความสูง)	อากาศ
8	92.29	84.56	71.85	64.34	32.37	29.8	39.79	99.91
8.5	97.21	88.9	77.16	68.5	32.9	29.97	41.28	104.43
9	102.38	93.85	81.63	79.74	33.39	30.14	42.8	109.08
9.5	107.46	98.11	86.61	85.51	34.06	30.46	44.34	113.77
10	112.36	104.17	93.67	93.52	34.76	30.73	45.82	118.28
10.5	116.86	108.37	101.32	100.22	35.51	31.14	47.63	121.6
11	119.11	114.27	106.46	103.28	36.25	31.5	49.46	121.14
11.5	120.17	117.03	110.07	108.34	37.28	31.91	51.28	120.81
12	120.52	117.42	113.12	111.39	38.59	32.44	52.95	121
12.5	120.77	118.46	114.82	111.92	39.5	32.95	54.6	120.67
13	120.75	119.42	116.44	111.27	40.48	33.51	56.7	120.6
13.5	120.87	119.71	117.38	112.21	41.26	34.13	58.19	120.85
14	120.85	119.69	118.28	113.72	42.47	34.86	55.8	120.67
14.5	120.96	120.38	118.92	114.99	43.44	35.63	56.9	120.77
15	120.94	120.56	118.76	115.92	44.62	36.37	58.56	120.75
15.5	120.94	120.69	119.34	116.51	45.73	37.23	60.3	120.69
16	120.96	120.5	119.86	117.05	46.86	38.12	61.77	120.83
16.5	120.91	120.64	119.94	116.95	47.77	39	63.36	120.69
17	121.04	120.6	120.23	118.07	48.76	39.98	64.63	120.91
17.5	121	120.67	120.06	118.27	49.6	41.02	66.06	120.94
18	121	120.73	120.31	118.38	50.58	42.04	67.46	120.85
18.5	121.02	120.75	120.29	118.59	51.63	43.2	68.66	120.89
19	120.98	120.85	120.38	118.82	52.62	44.29	69.99	120.79
19.5	120.91	120.85	120.31	120.41	53.48	45.49	71.27	120.87
20	120.96	120.83	120.31	119.35	54.5	46.69	72.53	120.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 160 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9%(1/2ของ ความสูง)	9%(1/3ของ ความสูง)	9%(1/6ของ ความสูง)	อากาศ
20.5	120.96	120.75	120.31	119.7	55.54	47.91	73.73	120.83
21	120.96	120.71	120.31	119.75	56.56	49.06	74.96	120.87
21.5	120.89	120.79	120.31	119.7	57.66	50.44	76.1	120.79
22	120.85	120.62	120.33	120.02	58.65	51.67	77.19	120.77
22.5	120.81	120.73	120.27	120.06	59.78	52.95	78.38	120.69
23	120.83	120.71	120.25	120.15	60.81	54.2	79.47	120.75
23.5	120.87	120.62	120.23	120.32	61.86	55.45	80.46	120.81
24	120.87	120.64	120.21	120.17	62.75	56.74	81.5	120.69
24.5	120.81	120.73	120.21	120.09	63.88	58.01	82.51	120.64
25	120.79	120.73	120.15	120.03	64.77	59.23	83.52	120.69
25.5	120.83	120.69	120.15	119.66	65.88	60.49	84.38	120.62
26	120.81	120.71	120.06	119.62	66.85	61.72	85.37	120.83
26.5	120.87	120.64	120.08	119.66	68.03	62.93	86.26	120.73
27	120.81	120.69	120.11	119.63	68.91	64.13	87.18	120.54
27.5	120.81	120.73	119.9	119.3	69.94	65.29	88.01	120.56
28	120.77	120.64	119.9	119.33	70.87	66.45	88.77	120.6
28.5	120.75	120.6	119.9	119.27	71.85	67.58	89.64	120.6
29	120.79	120.62	119.84	119.3	72.86	68.73	90.49	120.62
29.5	120.81	120.64	119.9	119.46	73.73	69.83	91.25	120.58
30	120.81	120.64	120.17	119.46	74.67	70.93	91.99	120.64
30.5	120.79	120.62	120.11	119.55	75.56	71.99	92.7	120.5
31	120.81	120.62	119.98	119.48	76.43	73.08	93.42	120.69
31.5	120.83	120.54	120	119.37	77.34	74.11	94.11	120.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 160 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9%(1/2ของ ความสูง)	9%(1/3ของ ความสูง)	9%(1/6ของ ความสูง)	อากาศ
32	120.81	120.48	119.94	119.33	78.23	75.09	94.8	120.54
32.5	120.77	120.54	119.36	118.74	79.09	76.12	95.44	120.64
33	120.79	120.58	119.21	119.08	79.91	77.07	96.09	120.67
33.5	120.89	120.52	118.67	118.12	80.77	78.03	96.67	120.79
34	120.83	120.64	117.9	118.04	81.57	78.96	97.29	120.73
34.5	120.81	120.6	117.34	118.34	82.4	79.98	97.83	120.62
35	120.89	120.54	117.55	118.55	83.19	80.86	98.39	120.83
35.5	120.87	120.56	117.99	118.99	83.94	81.76	98.92	120.81
36	120.89	120.52	118.34	118.24	84.75	82.64	99.5	120.81
36.5	120.87	120.67	118.94	118.32	85.43	83.44	100.04	120.77
37	120.91	120.71	119.17	118.53	86.29	84.36	100.49	120.83
37.5	120.85	120.62	119.44	118.79	86.94	85.15	101	120.79
38	120.89	120.69	119.48	118.8	87.7	85.98	101.42	120.73
38.5	120.91	120.69	119.46	118.82	88.45	86.77	101.94	120.85
39	120.89	120.71	119.57	118.95	89.16	87.53	102.41	120.73
39.5	120.91	120.71	119.65	119.35	89.84	88.25	102.85	120.71
40	120.89	120.73	119.61	118.99	90.49	88.99	103.28	120.75
40.5	120.94	120.73	119.79	119.21	91.14	89.75	103.62	120.77
41	120.98	120.77	119.67	119.09	91.79	90.45	104.11	120.85
41.5	120.94	120.75	119.77	119.19	92.46	91.12	104.55	120.73
42	120.94	120.79	119.88	119.3	92.98	91.77	104.89	120.71
42.5	120.91	120.77	120	119.42	93.65	92.46	105.34	120.71
43	120.91	120.79	120.04	119.48	94.26	93.07	105.61	120.75
43.5	120.89	120.89	120.25	119.71	94.82	93.72	105.98	120.81
44	120.91	120.77	120.11	119.61	95.34	94.34	106.4	120.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 160 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9%(1/2ของ ความสูง)	9%(1/3ของ ความสูง)	9%(1/6ของ ความสูง)	อากาศ
44.5	120.94	120.79	120.25	119.71	95.92	94.95	106.76	120.62
45	120.87	120.75	120.35	119.79	96.41	95.49	107.08	120.69
45.5	120.85	120.79	120.33	119.81	96.97	96.05	107.41	120.64
46	120.83	120.77	120.48	119.94	97.53	96.69	107.71	120.73
46.5	120.83	120.79	120.52	120.02	98.07	97.16	108.05	120.71
47	120.81	120.71	120.54	120.08	98.54	97.74	108.32	120.75
47.5	120.85	120.77	120.56	120.04	99.01	98.26	108.64	120.73
48	120.83	120.73	120.6	120.06	99.46	98.79	108.96	120.79
48.5	120.87	120.75	120.58	120.06	99.97	99.33	109.17	120.85
49	120.87	120.81	120.58	120.09	100.44	99.82	109.44	120.73
49.5	120.79	120.81	120.67	120.18	100.89	100.25	109.67	120.77
50	120.83	120.85	120.71	120.23	101.3	100.78	109.97	120.75
50.5	120.79	120.81	120.67	120.22	101.74	101.25	110.24	120.71
51	120.79	120.81	120.73	120.24	102.24	101.7	110.45	120.71
51.5	120.77	120.81	120.73	120.28	102.6	102.13	110.7	120.67
52	120.83	120.83	120.69	120.22	103.07	102.6	110.91	120.79
52.5	120.87	120.83	120.69	120.26	103.49	102.98	111.06	120.64
53	120.83	120.81	120.75	120.32	103.87	103.43	111.34	120.67
53.5	120.83	120.79	120.64	120.21	104.19	103.83	111.55	120.62
54	120.77	120.85	120.69	120.26	104.62	104.21	111.82	120.52
54.5	120.81	120.85	120.75	120.3	104.96	104.64	111.99	120.71
55	120.81	120.85	120.71	120.3	105.32	104.98	112.2	120.64
55.5	120.81	120.85	120.75	120.3	105.68	105.34	112.41	120.64
56	120.81	120.83	120.77	120.34	106	105.68	112.57	120.64
56.5	120.81	120.85	120.81	120.36	106.34	106	112.78	120.71
57	120.81	120.85	120.83	120.4	106.67	106.34	112.97	120.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 160 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9%(1/2ของ ความสูง)	9%(1/3ของ ความสูง)	9%(1/6ของ ความสูง)	อากาศ
52	120.83	120.83	120.69	120.22	103.07	102.6	110.91	120.79
52.5	120.87	120.83	120.69	120.26	103.49	102.98	111.06	120.64
53	120.83	120.81	120.75	120.32	103.87	103.43	111.34	120.67
53.5	120.83	120.79	120.64	120.21	104.19	103.83	111.55	120.62
54	120.77	120.85	120.69	120.26	104.62	104.21	111.82	120.52
54.5	120.81	120.85	120.75	120.3	104.96	104.64	111.99	120.71
55	120.81	120.85	120.71	120.3	105.32	104.98	112.2	120.64
55.5	120.81	120.85	120.75	120.3	105.68	105.34	112.41	120.64
56	120.81	120.83	120.77	120.34	106	105.68	112.57	120.64
56.5	120.81	120.85	120.81	120.36	106.34	106	112.78	120.71
57	120.81	120.85	120.83	120.4	106.67	106.34	112.97	120.56
57.5	120.77	120.85	120.83	120.44	106.99	106.65	113.18	120.46
58	120.75	120.81	120.79	120.38	107.29	107.03	113.37	120.44
58.5	120.75	120.81	120.81	120.42	107.6	107.29	113.54	120.44
59	120.75	120.77	120.77	120.36	107.9	107.67	113.71	120.6
59.5	120.75	120.79	120.79	120.4	108.18	107.9	113.85	120.48
60	120.71	120.79	120.79	120.4	108.45	108.2	114	120.52
60.5	120.71	120.77	120.77	120.39	108.77	108.51	114.12	120.58
61	120.64	120.81	120.79	120.41	109.04	108.79	114.31	120.5
61.5	120.64	120.73	120.75	120.38	109.29	109.04	114.42	120.58
62	120.69	120.79	120.75	120.38	109.53	109.36	114.61	120.6
62.5	120.69	120.75	120.73	120.38	109.78	109.63	114.73	120.6
63	120.67	120.79	120.75	120.33	110.05	109.84	114.84	120.52
63.5	120.67	120.73	120.69	120.3	110.3	110.14	114.94	120.58
64	120.69	120.79	120.64	120.27	110.49	110.39	115.13	120.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 160 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9%(1/2ของ ความสูง)	9%(1/3ของ ความสูง)	9%(1/6ของ ความสูง)	อากาศ
64.5	120.64	120.75	120.67	120.25	110.81	110.66	115.21	120.56
65	120.62	120.79	120.69	120.32	111	110.85	115.34	120.58
65.5	120.6	120.83	120.73	120.36	111.21	111.1	115.48	120.48
66	120.69	120.81	120.75	120.33	111.46	111.36	115.55	120.48
66.5	120.67	120.79	120.77	120.38	111.69	111.57	115.65	120.54
67	120.67	120.79	120.79	120.42	111.88	111.8	115.82	120.42
67.5	120.71	120.81	120.81	120.46	112.07	112.01	115.88	120.52
68	120.71	120.83	120.75	120.4	112.32	112.2	116.03	120.6
68.5	120.69	120.83	120.79	120.46	112.49	112.39	116.13	120.5
69	120.71	120.83	120.79	120.46	112.68	112.62	116.26	120.56
69.5	120.71	120.83	120.85	120.52	112.85	112.78	116.32	120.6
70	120.71	120.83	120.83	120.48	113.06	112.95	116.42	120.58
70.5	120.73	120.87	120.85	120.5	113.22	113.08	116.51	120.52
71	120.67	120.79	120.83	120.48	113.39	113.31	116.69	120.56
71.5	120.69	120.81	120.85	120.52	113.56	113.54	116.76	120.48
72	120.67	120.83	120.83	120.48	113.71	113.69	116.82	120.42
72.5	120.69	120.81	120.85	120.52	113.87	113.77	116.94	120.54
73	120.64	120.81	120.85	120.52	114.06	114.02	117.03	120.46
73.5	120.64	120.75	120.87	120.54	114.19	114.15	117.11	120.48
74	120.67	120.79	120.83	120.52	114.31	114.29	117.17	120.52
74.5	120.64	120.81	120.85	120.52	114.52	114.4	117.3	120.54
75	120.64	120.79	120.85	120.54	114.65	114.63	117.36	120.5
75.5	120.67	120.79	120.79	120.48	114.79	114.73	117.44	120.58
76	120.6	120.81	120.83	120.52	114.92	114.86	117.42	120.52
76.5	120.62	120.75	120.79	120.5	115.05	115.05	117.55	120.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 160 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9%(1/2ของ ความสูง)	9%(1/3ของ ความสูง)	9%(1/6ของ ความสูง)	อากาศ
77	120.62	120.81	120.79	120.48	115.17	115.15	117.61	120.54
77.5	120.62	120.77	120.81	120.52	115.32	115.27	117.63	120.5
78	120.6	120.79	120.81	120.52	115.44	115.44	117.69	120.5
78.5	120.64	120.81	120.81	120.54	115.57	115.53	117.76	120.58
79	120.67	120.83	120.83	120.52	115.69	115.65	117.8	120.44
79.5	120.62	120.77	120.77	120.5	115.8	115.76	117.9	120.58
80	120.67	120.83	120.81	120.54	115.9	115.86	117.99	120.56
80.5	120.64	120.85	120.79	120.52	116.03	116.03	118.03	120.42
81	120.64	120.81	120.79	120.54	116.13	116.13	118.07	120.48
81.5	120.64	120.79	120.79	120.54	116.24	116.24	118.09	120.44
82	120.62	120.79	120.79	120.54	116.36	116.38	118.21	120.46
82.5	120.56	120.81	120.81	120.58	116.42	116.46	118.21	120.33
83	120.64	120.79	120.77	120.52	116.55	116.55	118.26	120.6
83.5	120.64	120.79	120.79	120.56	116.65	116.65	118.3	120.38
84	120.64	120.77	120.79	120.56	116.76	116.76	118.42	120.5
84.5	120.62	120.77	120.81	120.54	116.84	116.84	118.49	120.44
85	120.6	120.77	120.79	120.54	116.92	116.94	118.53	120.38
85.5	120.6	120.79	120.81	120.58	117.03	116.94	118.57	120.44
86	120.62	120.75	120.77	120.57	117.11	117.09	118.63	120.46
86.5	120.64	120.81	120.79	120.56	117.17	117.13	118.65	120.52
87	120.6	120.77	120.81	120.61	117.28	117.24	118.71	120.48
87.5	120.6	120.75	120.77	120.57	117.36	117.34	118.8	120.44
88	120.6	120.77	120.75	120.55	117.44	117.38	118.82	120.54
88.5	120.62	120.73	120.77	120.54	117.53	117.49	118.84	120.54
89	120.6	120.75	120.81	120.61	117.59	117.53	118.9	120.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 160 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9%(1/2ของ ความสูง)	9%(1/3ของ ความสูง)	9%(1/6ของ ความสูง)	อากาศ
89.5	120.58	120.73	120.81	120.59	117.67	117.67	118.94	120.48
90	120.6	120.73	120.79	120.59	117.72	117.74	118.98	120.5
90.5	120.6	120.77	120.77	120.57	117.8	117.82	118.98	120.56
91	120.6	120.75	120.75	120.55	117.84	117.9	119.01	120.6
91.5	120.6	120.75	120.75	120.55	117.92	117.99	119.09	120.5
92	120.6	120.75	120.75	120.55	117.97	118.03	119.11	120.58
92.5	120.58	120.75	120.77	120.57	118.05	118.09	119.13	120.48
93	120.56	120.75	120.79	120.59	118.13	118.15	119.13	120.46
93.5	120.58	120.75	120.77	120.57	118.17	118.24	119.15	120.52
94	120.58	120.73	120.75	120.55	118.28	118.3	119.19	120.52
94.5	120.6	120.77	120.75	120.55	118.34	118.34	119.23	120.46
95	120.6	120.79	120.77	120.57	118.36	118.4	119.28	120.48
95.5	120.6	120.77	120.77	120.57	118.42	118.46	119.32	120.46
96	120.64	120.79	120.73	120.53	118.49	118.55	119.32	120.54
96.5	120.58	120.79	120.79	120.59	118.55	118.57	119.4	120.42
97	120.58	120.77	120.79	120.59	118.59	118.65	119.4	120.4
97.5	120.6	120.77	120.75	120.55	118.65	118.67	119.42	120.44
98	120.58	120.75	120.77	120.57	118.69	118.71	119.44	120.42
98.5	120.6	120.77	120.77	120.57	118.76	118.78	119.5	120.38
99	120.6	120.77	120.77	120.57	118.78	118.84	119.52	120.4
99.5	120.58	120.75	120.79	120.59	118.84	118.84	119.55	120.46
100	120.58	120.79	120.77	120.57	118.84	118.86	119.57	120.42
100.5	120.56	120.75	120.75	120.55	118.92	118.88	119.59	120.35
101	120.56	120.75	120.77	120.57	118.96	118.94	119.61	120.46
101.5	120.56	120.71	120.77	120.57	118.96	119.01	119.65	120.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 160 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9%(1/2ของ ความสูง)	9%(1/3ของ ความสูง)	9%(1/6ของ ความสูง)	อากาศ
102	120.52	120.73	120.75	120.55	119.03	119.05	119.65	120.44
102.5	120.54	120.73	120.77	120.57	119.05	119.09	119.69	120.38
103	120.54	120.69	120.73	120.53	119.09	119.11	119.71	120.44
103.5	120.58	120.69	120.73	120.53	119.13	119.17	119.71	120.52
104	120.56	120.73	120.75	120.55	119.17	119.17	119.69	120.48
104.5	120.54	120.71	120.75	120.55	119.21	119.28	119.73	120.44
105	120.52	120.69	120.73	120.53	119.23	119.25	119.75	120.5
105.5	120.58	120.73	120.71	120.51	119.28	119.34	119.73	120.54
106	120.54	120.69	120.75	120.55	119.3	119.34	119.75	120.44
106.5	120.54	120.75	120.75	120.55	119.36	119.38	119.79	120.42
107	120.56	120.71	120.73	120.53	119.38	119.42	119.82	120.46
107.5	120.5	120.71	120.71	120.51	119.42	119.46	119.79	120.35
108	120.52	120.71	120.73	120.53	119.42	119.48	119.82	120.4
108.5	120.52	120.69	120.69	120.49	119.48	119.55	119.82	120.35
109	120.54	120.71	120.73	120.53	119.52	119.55	119.82	120.33
109.5	120.56	120.73	120.73	120.53	119.55	119.59	119.86	120.33
110	120.56	120.71	120.73	120.53	119.55	119.63	119.86	120.42
110.5	120.56	120.75	120.75	120.55	119.57	119.61	119.9	120.4
111	120.56	120.71	120.73	120.53	119.61	119.69	119.94	120.44
111.5	120.52	120.73	120.73	120.53	119.65	119.73	119.96	120.31
112	120.54	120.73	120.71	120.51	119.69	119.73	119.96	120.46
112.5	120.54	120.69	120.73	120.53	119.69	119.75	120.02	120.27
113	120.54	120.71	120.69	120.49	119.71	119.77	120	120.35
113.5	120.54	120.73	120.75	120.55	119.73	119.79	120.06	120.4
114	120.56	120.69	120.73	120.53	119.75	119.82	120.04	120.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 160 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9%(1/2ของ ความสูง)	9%(1/3ของ ความสูง)	9%(1/6ของ ความสูง)	อากาศ
114.5	120.54	120.69	120.75	120.55	119.77	119.79	120.08	120.4
115	120.54	120.67	120.71	120.51	119.77	119.86	120.08	120.42
115.5	120.54	120.71	120.75	120.55	119.79	119.86	120.08	120.4
116	120.52	120.71	120.69	120.49	119.79	119.86	120.11	120.4
116.5	120.54	120.69	120.71	120.51	119.84	119.88	120.08	120.52
117	120.52	120.64	120.73	120.53	119.88	119.94	120.11	120.44
117.5	120.54	120.62	120.71	120.51	119.88	119.96	120.11	120.5
118	120.5	120.64	120.73	120.53	119.92	119.98	120.11	120.42
118.5	120.52	120.62	120.71	120.51	119.92	119.96	120.13	120.44
119	120.52	120.64	120.69	120.49	119.92	120.02	120.13	120.5
119.5	120.52	120.69	120.71	120.51	119.92	120.02	120.08	120.46
120	120.5	120.69	120.71	120.51	119.98	120.08	120.13	120.38
120.5	120.52	120.62	120.69	120.49	119.96	120.06	120.17	120.42
121	120.56	120.67	120.69	120.49	119.98	120.11	120.15	120.52
121.5	120.56	120.73	120.71	120.51	120.04	120.08	120.13	120.42
122	120.56	120.71	120.69	120.49	120.02	120.06	120.19	120.5
122.5	120.58	120.69	120.71	120.51	120.04	120.13	120.17	120.44
123	120.52	120.69	120.73	120.53	120.06	120.17	120.15	120.29
123.5	120.54	120.71	120.71	120.51	120.06	120.17	120.17	120.4
124	120.54	120.71	120.69	120.49	120.11	120.19	120.15	120.38
124.5	120.52	120.71	120.69	120.49	120.15	120.19	120.23	120.35
125	120.54	120.69	120.71	120.51	120.13	120.25	120.21	120.5
125.5	120.54	120.69	120.69	120.49	120.15	120.25	120.23	120.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 230 ครั้งต่อนาที

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9%(1/2ของ ความสูง)	9%(1/3ของ ความสูง)	9%(1/6ของ ความสูง)	อากาศ
0	28.56	28.32	28.2	28.1	28	27.98	27.9	28.81
0.5	29.05	28.59	28.32	28.2	28	27.98	27.93	31.21
1	32.71	30.48	29.05	28.68	28.03	27.95	27.93	37.97
1.5	36.25	32.95	30.19	30.24	28.1	27.98	27.98	41.71
2	40.95	36.44	32.08	32.4	28.2	27.98	28.1	46.27
2.5	45.61	39.93	34.23	33.15	28.34	28	28.34	51.86
3	49.9	43.89	37.16	34.9	28.56	28.03	28.76	55.27
3.5	55.08	48.78	40.02	36.99	28.83	28.05	29.32	60.9
4	59.94	53.09	43.56	39.93	29.15	28.1	30	66.09
4.5	64.47	57.57	47.21	43.42	29.49	28.17	30.87	69.52
5	69.45	62.61	51.72	48.38	29.8	28.22	31.84	74.58
5.5	78.63	72.23	61.92	54.02	30.48	28.44	34.13	84.09
6	83.41	77.54	67.22	57.76	30.94	28.56	35.46	88.45
6.5	88.27	82.58	72.73	62.34	31.62	28.73	36.8	92.74
7	93	87.55	78.16	67.89	32.35	28.93	38.19	97.85
7.5	97.57	92.68	84.69	74.47	33.1	29.17	39.67	102.49
8	102.94	97.62	86.42	78.91	34.01	29.46	41.12	107.16
8.5	107.96	102.94	93.7	85.06	35	29.75	42.49	111.97
9	112.74	107.77	96.09	94.21	36.27	30.14	43.82	116.49
9.5	117.47	112.72	99.59	98.49	38.21	30.63	42.4	120.73
10	120	116.3	104.32	104.19	39.81	31.07	47.63	120.98
10.5	120.79	118.17	107.56	106.5	41.74	31.55	49.39	121.31
11	120.98	119.28	111.59	108.41	43.84	32.11	49.46	121.08
11.5	121	120.02	113.04	111.31	46.1	32.73	51.32	121.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 230 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9%(1/2ของ ความสูง)	9%(1/3ของ ความสูง)	9%(1/6ของ ความสูง)	อากาศ
12	121.16	120.48	114.29	111.29	48.54	33.29	52.35	121.25
12.5	121.1	120.79	116.53	111.36	50.79	34.01	52.67	121.12
13	121.04	120.94	117.07	111.9	51.86	34.74	54.27	121.1
13.5	121.04	121.04	118.44	113.89	53.53	35.55	55.75	121.02
14	121	121.08	118.78	114.84	55.61	36.39	57.39	120.96
14.5	121.04	121.14	118.42	115.57	57.53	37.3	58.97	121.06
15	121	121.14	119.15	116.34	59.32	38.21	60.51	121.02
15.5	121.02	121.16	119.3	116.97	61.31	39.19	61.58	121.12
16	121	121.14	119.77	116.78	63.09	40.21	63.09	121.02
16.5	121.06	121.16	119.79	117.63	64	41.31	64.57	121.16
17	121.12	121.23	119.86	118.07	66.42	42.4	65.84	121.08
17.5	121.1	121.23	120.11	118.19	68.46	43.56	67.1	121.2
18	121.02	121.23	119.96	118.26	70.24	44.72	68.41	121
18.5	121.08	121.23	120	118.44	72.32	45.92	69.67	121.16
19	121	121.23	118.69	118.8	74.13	47.14	70.91	120.96
19.5	121.06	121.25	119.52	118.57	75.74	48.36	72.1	121.06
20	120.96	121.18	119.4	118.78	77.45	49.64	73.4	120.98
20.5	120.96	121.16	119.63	119.07	78.94	50.9	74.51	121
21	120.98	121.16	119.82	119.21	80.18	52.18	75.63	121.02
21.5	120.91	121.12	119.71	119.4	81.61	53.46	76.76	120.96
22	121.14	121.23	119.63	119.42	82.82	54.73	77.78	121.29
22.5	121.04	121.23	119.55	119.55	84.31	56.03	78.91	120.94
23	120.98	121.18	119.5	119.59	85.61	57.3	79.91	120.96
23.5	120.91	121.14	119.67	119.63	86.77	58.61	80.97	120.89
24	120.89	121.12	119.73	119.61	87.86	59.84	81.96	121

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 230 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9%(1/2ของ ความสูง)	9%(1/3ของ ความสูง)	9%(1/6ของ ความสูง)	อากาศ
24.5	120.89	121.12	120.19	119.67	88.79	61.1	82.97	120.89
25	120.91	121.1	119.73	119.77	89.9	62.36	83.94	120.98
25.5	120.96	121.12	119.73	119.9	91.08	63.59	84.84	121
26	120.91	121.1	119.69	119.88	92.14	64.79	85.78	120.94
26.5	120.91	121.1	119.69	119.92	93.22	65.99	86.64	120.98
27	120.87	121.08	119.82	119.92	94.15	67.22	87.53	120.91
27.5	120.85	121.08	119.63	119.92	94.93	68.37	88.34	120.89
28	120.87	121.06	119.75	119.94	95.85	69.52	89.16	120.94
28.5	120.87	121.04	119.59	119.96	96.73	70.64	89.97	120.89
29	120.91	121.08	119.69	119.94	97.7	71.74	90.77	120.96
29.5	120.89	121.1	119.88	119.98	98.56	72.86	91.53	120.94
30	120.87	121.06	120	120	99.33	73.93	92.27	120.87
30.5	121.02	121.12	119.88	120.02	100.06	74.96	92.98	121.06
31	121.02	121.14	119.9	120.08	100.78	76.01	93.72	121.08
31.5	121.02	121.16	119.86	120.08	101.38	77.03	94.41	121.04
32	120.96	121.14	119.94	120.08	101.96	78.03	95.06	121.02
32.5	120.96	121.14	119.96	120.11	102.58	78.98	95.72	120.96
33	120.96	121.12	120	120.11	103.11	79.95	96.35	120.96
33.5	120.94	121.12	120	120.13	103.62	80.88	96.97	121
34	120.91	121.12	120.02	120.08	104.15	81.79	97.57	120.91
34.5	120.98	121.12	119.92	120.11	104.68	82.69	98.15	121.08
35	120.96	121.14	119.9	120.11	105.21	83.57	98.71	120.96
35.5	120.96	121.12	119.77	120.11	105.59	84.45	99.29	121.06
36	120.96	121.14	119.96	120.11	106.04	85.28	99.82	121.02
36.5	120.96	121.14	119.9	120.08	106.46	86.11	100.36	120.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 230 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9%(1/2ของ ความสูง)	9%(1/3ของ ความสูง)	9%(1/6ของ ความสูง)	อากาศ
37	120.96	121.14	119.77	120.11	106.84	86.9	100.85	121.04
37.5	120.96	121.12	119.73	120.08	107.18	87.7	101.38	121
38	120.94	121.14	119.84	120.11	107.65	88.47	101.87	120.91
38.5	120.91	121.1	119.79	120.06	108.03	89.23	102.34	120.94
39	120.89	121.08	119.65	120.06	108.39	89.97	102.81	120.91
39.5	120.85	121.06	120.08	120.06	108.66	90.69	103.26	120.91
40	120.87	121.06	120.19	120.02	108.96	91.38	103.7	120.91
40.5	120.85	121.04	120.29	120.02	109.27	92.07	104.13	120.85
41	120.85	121.06	120.31	120	109.57	92.74	104.55	120.94
41.5	120.85	121.04	120.44	120.02	109.84	93.42	104.94	120.89
42	120.85	121.04	120.35	120.04	110.09	94.06	105.34	120.89
42.5	120.85	121.06	120.42	120.04	110.35	94.67	105.74	120.94
43	120.87	121.04	120.42	120.04	110.66	95.27	106.1	120.87
43.5	120.81	121.04	120.44	120.04	110.89	95.9	106.46	120.83
44	120.85	121.02	120.54	120.02	111.21	96.48	106.82	120.85
44.5	120.81	121	120.48	120.04	111.42	97.06	107.18	120.87
45	120.83	121.02	120.44	120.02	111.65	97.62	107.52	120.85
45.5	120.83	121	120.5	120.02	111.88	98.15	107.84	120.85
46	120.79	121	120.6	120	112.09	98.69	108.18	120.85
46.5	120.87	121.02	120.64	120.06	112.28	99.22	108.47	120.96
47	120.85	121	120.67	120.04	112.49	99.74	108.79	120.85
47.5	120.85	121	120.6	120.06	112.7	100.23	109.08	120.87
48	120.83	121	120.5	120.06	113.01	100.7	109.36	120.85
48.5	120.81	121	120.77	120.06	113.14	101.19	109.65	120.83
49	120.79	121	120.62	120.06	113.33	101.64	109.93	120.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 230 ครั้งต่ออนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9%(1/2ของ ความสูง)	9%(1/3ของ ความสูง)	9%(1/6ของ ความสูง)	อากาศ
49.5	120.81	121.02	120.58	120.08	113.6	102.11	110.2	120.89
50	120.81	121	120.71	120.08	113.73	102.53	110.47	120.79
50.5	120.77	120.98	120.67	120.06	113.89	102.98	110.73	120.81
51	120.85	121.02	120.73	120.11	114.1	103.38	110.98	120.96
51.5	120.81	121	120.69	120.11	114.29	103.79	111.23	120.81
52	120.79	120.98	120.73	120.11	114.4	104.19	111.44	120.79
52.5	120.77	120.94	120.73	120.08	114.52	104.6	111.69	120.79
53	120.77	120.94	120.69	120.11	114.71	104.96	111.9	120.87
53.5	120.79	120.96	120.83	120.13	114.9	105.34	112.13	120.79
54	120.77	120.94	120.85	120.15	115.05	105.7	112.34	120.81
54.5	120.77	120.96	120.79	120.15	115.23	106.08	112.55	120.81
55	120.81	120.98	120.77	120.15	115.4	106.42	112.76	120.81
55.5	120.79	120.96	120.81	120.17	115.5	106.74	112.95	120.79
56	120.81	120.98	120.83	120.19	115.71	107.08	113.16	120.87
56.5	120.79	120.98	120.87	120.19	115.88	107.39	113.33	120.85
57	120.85	120.98	120.85	120.21	116.01	107.73	113.52	120.98
57.5	120.83	121	120.85	120.23	116.15	108.03	113.71	120.83
58	120.81	120.98	120.87	120.25	116.28	108.3	113.87	120.79
58.5	120.83	121	120.87	120.25	116.44	108.64	114.04	120.91
59	120.79	121	120.83	120.25	116.59	108.91	114.23	120.81
59.5	120.79	120.98	120.85	120.27	116.67	109.19	114.38	120.83
60	120.83	121	120.85	120.27	116.76	109.44	114.54	120.85
60.5	120.83	120.98	120.87	120.29	116.86	109.71	114.69	120.87
61	120.85	121	120.87	120.31	116.94	109.97	114.84	120.87
61.5	120.81	121.02	120.85	120.31	117.13	110.24	114.98	120.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 230 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9%(1/2ของ ความสูง)	9%(1/3ของ ความสูง)	9%(1/6ของ ความสูง)	อากาศ
62	120.79	120.98	120.83	120.33	117.24	110.47	115.15	120.81
62.5	120.77	120.98	120.85	120.31	117.26	110.73	115.27	120.87
63	120.79	120.98	120.87	120.31	117.3	110.96	115.42	120.79
63.5	120.79	120.98	120.85	120.33	117.36	111.17	115.55	120.83
64	120.77	120.96	120.87	120.33	117.44	111.42	115.69	120.81
64.5	120.77	120.94	120.85	120.35	117.57	111.65	115.82	120.81
65	120.81	120.98	120.85	120.38	117.65	111.86	115.94	120.87
65.5	120.75	120.96	120.87	120.35	117.78	112.07	116.07	120.79
66	120.77	120.94	120.89	120.35	117.86	112.26	116.17	120.77
66.5	120.77	120.94	120.89	120.38	117.94	112.49	116.3	120.81
67	120.75	120.94	120.87	120.38	118.03	112.68	116.4	120.79
67.5	120.75	120.94	120.87	120.38	118.07	112.87	116.51	120.81
68	120.75	120.91	120.87	120.38	118.17	113.04	116.63	120.77
68.5	120.75	120.91	120.87	120.38	118.26	113.25	116.74	120.75
69	120.75	120.91	120.87	120.42	118.36	113.41	116.84	120.81
69.5	120.73	120.91	120.85	120.4	118.42	113.58	116.92	120.75
70	120.75	120.91	120.87	120.4	118.51	113.75	117.01	120.81
70.5	120.79	120.94	120.85	120.42	118.55	113.92	117.11	120.83
71	120.75	120.94	120.87	120.44	118.61	114.08	117.22	120.73
71.5	120.77	120.94	120.87	120.44	118.69	114.23	117.3	120.81
72	120.75	120.91	120.89	120.46	118.76	114.38	117.38	120.83
72.5	120.75	120.94	120.89	120.44	118.78	114.54	117.44	120.77
73	120.77	120.94	120.87	120.46	118.8	114.71	117.55	120.81
73.5	120.73	120.91	120.89	120.44	118.84	114.84	117.61	120.79
74	120.75	120.94	120.89	120.46	118.92	114.98	117.72	120.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 230 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9%(1/2ของ ความสูง)	9%(1/3ของ ความสูง)	9%(1/6ของ ความสูง)	อากาศ
74.5	120.73	120.91	120.91	120.46	119.07	115.11	117.8	120.77
75	120.77	120.96	120.91	120.48	119.11	115.25	117.86	120.79
75.5	120.75	120.94	120.89	120.5	119.09	115.4	117.94	120.81
76	120.73	120.91	120.91	120.5	119.13	115.5	117.99	120.77
76.5	120.73	120.94	120.89	120.5	119.15	115.65	118.09	120.81
77	120.75	120.94	120.89	120.5	119.17	115.76	118.15	120.81
77.5	120.73	120.91	120.89	120.5	119.21	115.88	118.19	120.75
78	120.75	120.91	120.89	120.5	119.25	115.99	118.26	120.77
78.5	120.71	120.89	120.87	120.5	119.28	116.11	118.34	120.75
79	120.73	120.89	120.89	120.52	119.34	116.24	118.4	120.75
79.5	120.73	120.91	120.87	120.52	119.34	116.34	118.46	120.79
80	120.73	120.89	120.94	120.52	119.38	116.42	118.53	120.77
80.5	120.73	120.89	120.89	120.5	119.42	116.53	118.59	120.77
81	120.71	120.89	120.89	120.52	119.46	116.63	118.63	120.85
81.5	120.79	120.94	120.94	120.52	119.55	116.72	118.69	120.79
82	120.75	120.91	120.91	120.52	119.59	116.84	118.73	120.77
82.5	120.75	120.91	120.89	120.52	119.65	116.92	118.78	120.81
83	120.73	120.89	120.89	120.54	119.69	117.03	118.84	120.77
83.5	120.71	120.89	120.89	120.54	119.71	117.11	118.88	120.75
84	120.73	120.89	120.87	120.54	119.75	117.22	118.94	120.77
84.5	120.73	120.89	120.89	120.56	119.77	117.3	118.98	120.77
85	120.75	120.91	120.89	120.56	119.77	117.36	119.05	120.81
85.5	120.75	120.91	120.89	120.54	119.82	117.47	119.07	120.77
86	120.75	120.89	120.91	120.56	119.82	117.53	119.13	120.83
86.5	120.73	120.94	120.91	120.56	119.86	117.61	119.13	120.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 230 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9%(1/2ของ ความสูง)	9%(1/3ของ ความสูง)	9%(1/6ของ ความสูง)	อากาศ
86	120.75	120.89	120.91	120.56	119.82	117.53	119.13	120.83
86.5	120.73	120.94	120.91	120.56	119.86	117.61	119.13	120.75
87	120.73	120.91	120.91	120.58	119.9	117.69	119.19	120.77
87.5	120.75	120.91	120.91	120.56	119.94	117.78	119.23	120.79
88	120.73	120.91	120.91	120.58	119.92	117.82	119.28	120.79
88.5	120.73	120.91	120.91	120.58	119.94	117.9	119.32	120.75
89	120.71	120.91	120.91	120.58	119.94	117.99	119.36	120.75
89.5	120.71	120.89	120.89	120.58	119.96	118.05	119.38	120.77
90	120.75	120.91	120.91	120.58	119.96	118.09	119.42	120.75
90.5	120.71	120.91	120.89	120.58	119.96	118.17	119.46	120.75
91	120.69	120.87	120.89	120.58	120	118.26	119.48	120.73
91.5	120.73	120.87	120.87	120.58	120	118.3	119.55	120.79
92	120.71	120.89	120.89	120.58	120.02	118.36	119.57	120.73
92.5	120.69	120.89	120.87	120.58	120.04	118.42	119.61	120.73
93	120.71	120.87	120.89	120.6	120.06	118.49	119.63	120.79
93.5	120.71	120.87	120.89	120.6	120.06	118.55	119.65	120.73
94	120.73	120.87	120.87	120.6	120.08	118.59	119.69	120.79
94.5	120.71	120.89	120.89	120.58	120.08	118.67	119.73	120.73
95	120.71	120.89	120.87	120.6	120.08	118.71	119.77	120.77
95.5	120.69	120.87	120.87	120.6	120.11	118.78	119.77	120.77
96	120.73	120.89	120.87	120.62	120.11	118.8	119.79	120.77
96.5	120.71	120.89	120.87	120.6	120.13	118.86	119.82	120.71
97	120.73	120.87	120.87	120.62	120.13	118.9	119.86	120.79
97.5	120.73	120.87	120.89	120.62	120.13	118.96	119.88	120.73
98	120.71	120.89	120.89	120.62	120.15	119.01	119.88	120.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 230 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9%(1/2ของ ความสูง)	9%(1/3ของ ความสูง)	9%(1/6ของ ความสูง)	อากาศ
98.5	120.71	120.87	120.87	120.62	120.17	119.05	119.92	120.75
99	120.71	120.89	120.89	120.62	120.19	119.11	119.94	120.77
99.5	120.73	120.89	120.89	120.62	120.21	119.13	119.96	120.75
100	120.75	120.91	120.91	120.62	120.21	119.17	119.98	120.81
100.5	120.75	120.89	120.89	120.62	120.23	119.21	120.02	120.77
101	120.71	120.89	120.89	120.62	120.23	119.25	120.02	120.75
101.5	120.71	120.87	120.87	120.62	120.25	119.3	120.04	120.73
102	120.71	120.87	120.87	120.62	120.25	119.34	120.06	120.77
102.5	120.77	120.91	120.89	120.64	120.25	119.36	120.08	120.79
103	120.71	120.89	120.87	120.64	120.31	119.42	120.11	120.73
103.5	120.73	120.89	120.89	120.64	120.29	119.42	120.11	120.79
104	120.71	120.89	120.87	120.64	120.31	119.48	120.13	120.77
104.5	120.73	120.91	120.87	120.64	120.31	119.5	120.17	120.79
105	120.71	120.89	120.91	120.64	120.33	119.55	120.17	120.77
105.5	120.73	120.89	120.89	120.64	120.35	119.59	120.21	120.73
106	120.73	120.87	120.87	120.64	120.35	119.61	120.19	120.75
106.5	120.69	120.89	120.87	120.67	120.38	119.65	120.21	120.69
107	120.71	120.87	120.87	120.64	120.38	119.69	120.23	120.77
107.5	120.71	120.87	120.87	120.67	120.38	119.69	120.25	120.71
108	120.69	120.89	120.87	120.67	120.4	119.71	120.25	120.79
108.5	120.71	120.87	120.87	120.67	120.42	119.77	120.27	120.75
109	120.71	120.87	120.87	120.64	120.44	119.79	120.29	120.69
109.5	120.71	120.89	120.87	120.67	120.44	119.79	120.29	120.75
110	120.73	120.87	120.89	120.67	120.44	119.86	120.29	120.77
110.5	120.71	120.89	120.87	120.67	120.46	119.86	120.33	120.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 230 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9%(1/2ของ ความสูง)	9%(1/3ของ ความสูง)	9%(1/6ของ ความสูง)	อากาศ
111	120.67	120.87	120.87	120.67	120.48	119.9	120.33	120.71
111.5	120.69	120.85	120.87	120.67	120.48	119.92	120.33	120.73
112	120.73	120.89	120.89	120.67	120.48	119.92	120.33	120.75
112.5	120.69	120.87	120.87	120.67	120.5	119.98	120.38	120.69
113	120.67	120.87	120.87	120.67	120.5	119.98	120.38	120.71
113.5	120.69	120.83	120.87	120.67	120.52	120.02	120.4	120.75

ตารางที่ 4. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 310 ครั้งต่อนาที

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9% (1/2 ของความ สูง)	9% (1/3 ของความ สูง)	9% (1/6 ของความ สูง)	อากาศ
0	25.65	25.16	24.52	24.18	24.2	24.43	24.33	26.27
0.5	26.05	25.58	24.82	24.45	24.23	24.45	24.3	26.41
1	28.54	26.98	25.48	24.79	24.2	24.43	24.3	32.44
1.5	32.59	29.75	26.98	24.77	24.2	24.43	24.38	35.67
2	37.52	33.53	29.17	25.41	24.23	24.43	24.48	42.47
2.5	41.74	37.26	31.48	26.71	24.3	24.45	24.7	45.82
3	46.88	41.88	34.62	27.83	24.38	24.48	25.11	50.93
3.5	52.16	46.41	37.83	30.8	24.52	24.52	25.6	56.7
4	56.81	51	42	34.93	24.72	24.57	26.34	60.21
4.5	62.34	56.3	45.7	39.19	25.06	24.65	27.15	66.18
5	67.15	61.1	50.02	45.35	25.43	24.75	28.12	71.05
5.5	71.38	65.61	54.73	48.4	26.05	24.84	29.24	74.45
6	76.74	70.78	59.43	52.58	26.8	25.02	30.43	80.73
6.5	81.39	75.72	64.7	59.84	27.66	25.16	31.84	84.97
7	86.39	80.93	69.9	63.36	29.2	25.36	33.27	89.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 310 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)					9% (1/2	9% (1/3	9% (1/6	อากาศ
	0%	3%	5%	7%	ของความ สูง)	ของความ สูง)	ของความ สูง)	
7.5	90.84	85.91	75.56	68.89	30.7	25.58	34.78	94.43
8	95.64	91.06	81.06	75.43	32.23	25.83	36.27	99.44
8.5	100.89	96.41	87.16	80.99	33.92	26.14	37.83	104.47
9	106.02	101.94	93.37	86.64	35.87	26.49	39.36	109.36
9.5	110.89	106.97	99.46	93.91	38.14	26.88	40.86	114.54
10	115.57	112.13	105.68	99.16	40.29	27.34	42.38	118.98
10.5	119.9	116.94	111.52	103.92	42.04	27.83	44.55	122.16
11	121	119.09	114.84	108.26	44.36	28.39	45.75	121.6
11.5	121.43	120.27	116.92	110.24	46.88	28.98	45.73	121.68
12	121.62	120.91	118.3	111.59	49.29	29.61	46.18	121.72
12.5	121.6	121.25	119.05	113.71	51.58	30.31	47.96	121.49
13	121.66	121.43	119.71	114.82	53.74	31.04	49.74	121.62
13.5	121.64	121.52	120.15	116.3	55.66	31.79	51.32	121.64
14	121.66	121.62	120.48	117.42	58.51	32.64	52.72	121.52
14.5	121.62	121.62	120.73	118.24	61.01	33.53	54.13	121.58
15	121.64	121.6	120.83	119.07	62.97	34.52	55.68	121.66
15.5	121.64	121.64	120.89	119.65	64.79	35.53	57.23	121.56
16	121.66	121.64	120.96	120.13	66.47	36.61	58.79	121.58
16.5	121.64	121.64	120.96	120.35	67.96	37.73	60.3	121.56
17	121.68	121.64	121.1	120.56	69.31	38.93	61.81	121.66
17.5	121.66	121.68	121.18	120.64	70.75	40.14	63.36	121.56
18	121.7	121.7	121.29	120.69	72.1	41.4	64.75	121.6
18.5	121.64	121.68	121.31	120.83	73.33	42.71	66.15	121.49
19	121.6	121.62	121.29	120.75	74.6	44.03	67.58	121.47
19.5	121.6	121.62	121.31	120.83	75.74	45.4	68.98	121.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 310 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)					9% (1/2	9% (1/3	9% (1/6	อากาศ
	0%	3%	5%	7%	ของความ สูง)	ของความ สูง)	ของความ สูง)	
20	121.58	121.6	121.33	120.64	76.85	46.76	70.33	121.45
20.5	121.6	121.58	121.35	120.85	77.92	48.17	71.65	121.52
21	121.6	121.6	121.39	120.54	78.94	49.55	72.95	121.49
21.5	121.62	121.6	121.37	119.4	79.93	50.97	74.22	121.54
22	121.62	121.6	121.39	118.78	80.95	52.39	75.47	121.49
22.5	121.66	121.64	121.43	116.4	82.01	53.78	76.65	121.52
23	121.62	121.62	121.41	117.05	82.89	55.17	77.9	121.49
23.5	121.66	121.64	121.43	118.4	83.92	56.56	78.98	121.52
24	121.68	121.66	121.45	118.38	84.84	57.99	80.11	121.56
24.5	121.62	121.62	121.43	118.34	85.65	59.36	81.26	121.52
25	121.66	121.64	121.45	118.98	86.66	60.71	82.29	121.54
25.5	121.66	121.62	121.45	119.17	87.49	62.06	83.33	121.52
26	121.64	121.6	121.43	118.8	88.32	63.38	84.34	121.54
26.5	121.64	121.6	121.43	118.11	89.12	64.72	85.34	121.58
27	121.68	121.64	121.45	117.57	89.93	66.02	86.31	121.56
27.5	121.68	121.66	121.47	118.26	90.66	67.28	87.22	121.6
28	121.68	121.68	121.47	118.11	91.38	68.55	88.14	121.6
28.5	121.64	121.62	121.45	118.49	92.16	69.81	89.08	121.52
29	121.68	121.64	121.47	118.53	92.87	71.02	89.93	121.7
29.5	121.66	121.66	121.47	118.09	93.59	72.21	90.77	121.52
30	121.6	121.64	121.45	119.17	94.3	73.4	91.58	121.43
30.5	121.56	121.56	121.39	118.65	94.93	74.54	92.4	121.43
31	121.66	121.62	121.45	119.17	95.66	75.65	93.16	121.66
31.5	121.6	121.6	121.43	119.55	96.26	76.76	93.93	121.43
32	121.58	121.58	121.43	119.88	96.86	77.85	94.67	121.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 310 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)					9% (1/2	9% (1/3	9% (1/6	อากาศ
	0%	3%	5%	7%	ของความ สูง)	ของความ สูง)	ของความ สูง)	
32.5	121.52	121.56	121.39	120.06	97.51	78.89	95.4	121.41
33	121.62	121.6	121.41	120.23	98.13	79.93	96.09	121.49
33.5	121.58	121.58	121.37	120.23	98.67	80.97	96.78	121.43
34	121.52	121.54	121.37	120.38	99.27	81.94	97.44	121.39
34.5	121.54	121.52	121.33	120.38	99.82	82.89	98.07	121.45
35	121.49	121.52	121.35	120.17	100.38	83.85	98.71	121.43
35.5	121.52	121.49	121.33	120.06	100.89	84.75	99.31	121.39
36	121.49	121.49	121.33	119.9	101.42	85.67	99.91	121.39
36.5	121.49	121.52	121.35	119.9	101.96	86.55	100.49	121.39
37	121.49	121.49	121.33	119.88	102.43	87.42	101.06	121.41
37.5	121.52	121.52	121.33	119.84	102.94	88.27	101.6	121.39
38	121.6	121.52	121.37	119.77	103.41	89.1	102.13	121.7
38.5	121.72	121.66	121.45	119.84	103.85	89.88	102.62	121.64
39	121.62	121.62	121.41	119.88	104.32	90.66	103.13	121.43
39.5	121.52	121.56	121.37	119.61	104.75	91.4	103.62	121.35
40	121.54	121.54	121.37	119.75	105.19	92.16	104.11	121.43
40.5	121.56	121.54	121.39	119.75	105.68	92.9	104.55	121.43
41	121.49	121.52	121.33	119.84	106.1	93.59	105.02	121.35
41.5	121.52	121.49	121.33	119.96	106.55	94.28	105.45	121.39
42	121.47	121.47	121.31	120.19	106.93	94.95	105.87	121.37
42.5	121.54	121.54	121.37	120.13	107.33	95.62	106.27	121.49
43	121.54	121.52	121.35	120.23	107.71	96.28	106.67	121.43
43.5	121.52	121.54	121.35	120.27	108.07	96.91	107.1	121.47
44	121.58	121.56	121.37	120.27	108.45	97.51	107.46	121.47
44.5	121.49	121.52	121.35	120.4	108.77	98.09	107.82	121.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 310 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)					9% (1/2	9% (1/3	9% (1/6	อากาศ
	0%	3%	5%	7%	ของความ สูง)	ของความ สูง)	ของความ สูง)	
45	121.52	121.52	121.35	120.44	109.1	98.71	108.2	121.41
45.5	121.56	121.54	121.37	120.44	109.46	99.29	108.51	121.49
46	121.54	121.54	121.35	120.44	109.8	99.82	108.87	121.35
46.5	121.49	121.49	121.33	120.44	110.12	100.38	109.21	121.39
47	121.52	121.52	121.35	120.48	110.45	100.87	109.55	121.37
47.5	121.58	121.56	121.39	120.46	110.73	101.4	109.84	121.49
48	121.52	121.54	121.35	120.5	111.06	101.92	110.18	121.37
48.5	121.54	121.52	121.37	120.48	111.38	102.41	110.45	121.43
49	121.54	121.54	121.37	120.48	111.63	102.87	110.77	121.43
49.5	121.49	121.49	121.35	120.48	111.88	103.36	111.04	121.37
50	121.49	121.49	121.35	120.54	112.13	103.83	111.31	121.45
50.5	121.52	121.49	121.35	120.54	112.39	104.26	111.57	121.45
51	121.52	121.47	121.33	120.58	112.64	104.7	111.84	121.35
51.5	121.52	121.52	121.35	120.6	112.87	105.13	112.09	121.41
52	121.49	121.49	121.33	120.62	113.12	105.53	112.34	121.39
52.5	121.52	121.49	121.35	120.67	113.35	105.95	112.6	121.37
53	121.47	121.49	121.33	120.73	113.56	106.34	112.83	121.41
53.5	121.49	121.47	121.33	120.75	113.77	106.74	113.06	121.37
54	121.49	121.47	121.33	120.75	113.98	107.1	113.25	121.41
54.5	121.47	121.47	121.31	120.77	114.17	107.46	113.45	121.35
55	121.49	121.47	121.35	120.79	114.38	107.79	113.69	121.43
55.5	121.49	121.47	121.33	120.81	114.54	108.15	113.89	121.39
56	121.45	121.45	121.29	120.83	114.73	108.49	114.1	121.29
56.5	121.45	121.43	121.29	120.85	114.92	108.85	114.29	121.33
57	121.45	121.45	121.29	120.87	115.09	109.17	114.48	121.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 310 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)					9% (1/2	9% (1/3	9% (1/6	อากาศ
	0%	3%	5%	7%	ของความ สูง)	ของความ สูง)	ของความ สูง)	
57.5	121.45	121.43	121.29	120.87	115.25	109.46	114.67	121.39
58	121.45	121.43	121.27	120.91	115.4	109.78	114.86	121.37
58.5	121.47	121.45	121.29	120.94	115.61	110.07	115.02	121.39
59	121.45	121.43	121.27	120.94	115.76	110.37	115.19	121.37
59.5	121.47	121.47	121.31	120.96	115.9	110.66	115.36	121.35
60	121.47	121.45	121.29	120.96	116.03	110.91	115.5	121.31
60.5	121.49	121.45	121.29	120.94	116.19	111.21	115.67	121.39
61	121.47	121.47	121.31	120.98	116.34	111.46	115.84	121.33
61.5	121.52	121.49	121.33	121.02	116.46	111.71	115.99	121.41
62	121.54	121.52	121.35	121.04	116.57	111.97	116.13	121.45
62.5	121.49	121.47	121.31	121.08	116.74	112.2	116.26	121.35
63	121.54	121.49	121.33	121.08	116.86	112.43	116.42	121.43
63.5	121.47	121.47	121.29	121.04	116.97	112.66	116.53	121.35
64	121.41	121.43	121.29	121.08	117.07	112.87	116.65	121.31
64.5	121.41	121.43	121.27	121.12	117.19	113.08	116.8	121.31
65	121.43	121.41	121.27	121.14	117.3	113.29	116.92	121.35
65.5	121.43	121.45	121.27	121.2	117.4	113.5	117.03	121.31
66	121.45	121.43	121.29	121.27	117.51	113.69	117.15	121.35
66.5	121.43	121.41	121.25	121.27	117.61	113.89	117.28	121.31
67	121.45	121.43	121.27	121.27	117.72	114.08	117.38	121.35
67.5	121.43	121.41	121.27	121.29	117.82	114.25	117.47	121.33
68	121.43	121.43	121.27	121.29	117.9	114.44	117.57	121.35
68.5	121.47	121.43	121.27	121.29	117.99	114.59	117.69	121.37
69	121.45	121.43	121.27	121.29	118.07	114.79	117.78	121.33
69.5	121.43	121.41	121.27	121.29	118.17	114.94	117.88	121.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 310 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)					9% (1/2	9% (1/3	9% (1/6	อากาศ
	0%	3%	5%	7%	ของความ สูง)	ของความ สูง)	ของความ สูง)	
70	121.39	121.41	121.27	121.29	118.21	115.11	117.97	121.25
70.5	121.39	121.39	121.23	121.25	118.3	115.23	118.05	121.27
71	121.43	121.39	121.25	121.23	118.38	115.38	118.15	121.37
71.5	121.45	121.43	121.29	121.23	118.49	115.55	118.24	121.35
72	121.41	121.41	121.23	121.23	118.55	115.69	118.32	121.27
72.5	121.41	121.41	121.25	121.2	118.63	115.84	118.38	121.35
73	121.41	121.39	121.25	121.2	118.71	115.94	118.46	121.33
73.5	121.43	121.41	121.25	121.23	118.8	116.11	118.57	121.31
74	121.41	121.41	121.25	121.27	118.86	116.21	118.61	121.31
74.5	121.43	121.43	121.25	121.29	118.94	116.36	118.71	121.35
75	121.43	121.41	121.23	121.31	119.01	116.46	118.8	121.33
75.5	121.39	121.41	121.23	121.31	119.09	116.61	118.84	121.27
76	121.39	121.41	121.23	121.31	119.15	116.69	118.88	121.27
76.5	121.41	121.39	121.23	121.29	119.21	116.84	118.96	121.33
77	121.39	121.39	121.23	121.25	119.28	116.94	119.03	121.29
77.5	121.41	121.39	121.25	121.23	119.32	117.05	119.07	121.33
78	121.45	121.45	121.27	121.23	119.38	117.15	119.13	121.33
78.5	121.43	121.41	121.25	121.23	119.46	117.24	119.19	121.33
79	121.41	121.41	121.27	121.39	119.5	117.34	119.25	121.29
79.5	121.41	121.39	121.25	121.41	119.55	117.42	119.32	121.27
80	121.37	121.39	121.23	121.41	119.59	117.53	119.36	121.25
80.5	121.39	121.39	121.2	121.45	119.65	117.63	119.4	121.23
81	121.39	121.39	121.23	121.43	119.69	117.69	119.46	121.29
81.5	121.39	121.37	121.2	121.45	119.75	117.8	119.5	121.33
82	121.39	121.37	121.23	121.45	119.79	117.88	119.57	121.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 310 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9% (1/2 ของความ สูง)	9% (1/3 ของความ สูง)	9% (1/6 ของความ สูง)	อากาศ
82.5	121.37	121.39	121.23	121.43	119.84	117.97	119.61	121.23
83	121.37	121.35	121.2	121.45	119.88	118.05	119.63	121.25
83.5	121.37	121.35	121.2	121.43	119.92	118.11	119.67	121.27
84	121.37	121.37	121.18	121.45	119.96	118.24	119.73	121.23
84.5	121.39	121.37	121.23	121.45	120	118.28	119.77	121.29
85	121.41	121.39	121.23	121.45	120.04	118.36	119.79	121.29
85.5	121.35	121.37	121.2	121.45	120.08	118.4	119.84	121.23
86	121.33	121.35	121.18	121.45	120.08	118.49	119.88	121.2
86.5	121.43	121.39	121.25	121.41	120.13	118.57	119.92	121.41
87	121.39	121.41	121.23	121.43	120.15	118.61	119.96	121.27
87.5	121.37	121.37	121.2	121.41	120.21	118.69	119.98	121.23
88	121.37	121.37	121.18	121.41	120.23	118.76	120	121.23
88.5	121.39	121.39	121.23	121.45	120.27	118.82	120.04	121.31
89	121.41	121.39	121.23	121.45	120.29	118.88	120.06	121.33
89.5	121.39	121.39	121.23	121.52	120.31	118.92	120.11	121.25
90	121.39	121.37	121.23	121.47	120.35	119.01	120.15	121.31
90.5	121.37	121.37	121.2	121.47	120.38	119.05	120.17	121.31
91	121.43	121.41	121.23	121.47	120.42	119.11	120.21	121.35
91.5	121.39	121.39	121.23	121.49	120.42	119.15	120.23	121.29
92	121.37	121.39	121.23	121.49	120.46	119.19	120.25	121.29
92.5	121.39	121.37	121.23	121.49	120.46	119.25	120.27	121.31
93	121.37	121.37	121.2	121.49	120.5	119.3	120.29	121.27
93.5	121.37	121.35	121.2	121.45	120.5	119.34	120.31	121.25
94	121.41	121.37	121.2	121.47	120.54	119.4	120.33	121.33
94.5	121.41	121.37	121.23	121.47	120.56	119.44	120.38	121.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 310 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	9% (1/2 ของความ สูง)			9% (1/3 ของความ สูง)		9% (1/6 ของความ สูง)		อากาศ
	0%	3%	5%	7%	สูง)	สูง)	สูง)	
95	121.39	121.39	121.23	121.47	120.56	119.48	120.42	121.25
95.5	121.37	121.37	121.2	121.49	120.6	119.55	120.42	121.27
96	121.37	121.37	121.2	121.49	120.6	119.57	120.44	121.23
96.5	121.35	121.37	121.23	121.49	120.62	119.63	120.46	121.25
97	121.37	121.35	121.18	121.47	120.64	119.67	120.48	121.25
97.5	121.35	121.35	121.18	121.47	120.64	119.69	120.48	121.25
98	121.39	121.39	121.2	121.47	120.67	119.75	120.5	121.29
98.5	121.35	121.37	121.2	121.49	120.71	119.77	120.54	121.25
99	121.37	121.37	121.2	121.47	120.71	119.82	120.56	121.31
99.5	121.37	121.35	121.18	121.47	120.73	119.84	120.56	121.23
100	121.35	121.37	121.2	121.47	120.73	119.88	120.6	121.27
100.5	121.35	121.37	121.2	121.47	120.75	119.92	120.62	121.25
101	121.33	121.37	121.18	121.47	120.77	119.96	120.62	121.23
101.5	121.37	121.35	121.2	121.47	120.79	119.98	120.64	121.27
102	121.37	121.35	121.18	121.47	120.79	120.02	120.67	121.27
102.5	121.41	121.39	121.23	121.47	120.79	120.06	120.67	121.31
103	121.35	121.37	121.2	121.49	120.79	120.08	120.69	121.23
103.5	121.35	121.37	121.18	121.47	120.81	120.11	120.71	121.27
104	121.37	121.37	121.2	121.47	120.83	120.15	120.73	121.29
104.5	121.35	121.37	121.2	121.49	120.85	120.19	120.73	121.25
105	121.35	121.35	121.18	121.47	120.87	120.21	120.73	121.18
105.5	121.37	121.33	121.16	121.49	120.85	120.23	120.77	121.25
106	121.31	121.33	121.18	121.45	120.85	120.27	120.77	121.23
106.5	121.35	121.35	121.18	121.47	120.89	120.27	120.77	121.25
107	121.37	121.35	121.18	121.45	120.87	120.29	120.79	121.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 310 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9% (1/2 ของความ สูง)	9% (1/3 ของความ สูง)	9% (1/6 ของความ สูง)	อากาศ
95	121.39	121.39	121.23	121.47	120.56	119.48	120.42	121.25
95.5	121.37	121.37	121.2	121.49	120.6	119.55	120.42	121.27
96	121.37	121.37	121.2	121.49	120.6	119.57	120.44	121.23
96.5	121.35	121.37	121.23	121.49	120.62	119.63	120.46	121.25
97	121.37	121.35	121.18	121.47	120.64	119.67	120.48	121.25
97.5	121.35	121.35	121.18	121.47	120.64	119.69	120.48	121.25
98	121.39	121.39	121.2	121.47	120.67	119.75	120.5	121.29
98.5	121.35	121.37	121.2	121.49	120.71	119.77	120.54	121.25
99	121.37	121.37	121.2	121.47	120.71	119.82	120.56	121.31
99.5	121.37	121.35	121.18	121.47	120.73	119.84	120.56	121.23
100	121.35	121.37	121.2	121.47	120.73	119.88	120.6	121.27
100.5	121.35	121.37	121.2	121.47	120.75	119.92	120.62	121.25
101	121.33	121.37	121.18	121.47	120.77	119.96	120.62	121.23
101.5	121.37	121.35	121.2	121.47	120.79	119.98	120.64	121.27
102	121.37	121.35	121.18	121.47	120.79	120.02	120.67	121.27
102.5	121.41	121.39	121.23	121.47	120.79	120.06	120.67	121.31
103	121.35	121.37	121.2	121.49	120.79	120.08	120.69	121.23
103.5	121.35	121.37	121.18	121.47	120.81	120.11	120.71	121.27
104	121.37	121.37	121.2	121.47	120.83	120.15	120.73	121.29
104.5	121.35	121.37	121.2	121.49	120.85	120.19	120.73	121.25
105	121.35	121.35	121.18	121.47	120.87	120.21	120.73	121.18
105.5	121.37	121.33	121.16	121.49	120.85	120.23	120.77	121.25
106	121.31	121.33	121.18	121.45	120.85	120.27	120.77	121.23
106.5	121.35	121.35	121.18	121.47	120.89	120.27	120.77	121.25
107	121.37	121.35	121.18	121.45	120.87	120.29	120.79	121.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 310 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9% (1/2 ของความ สูง)	9% (1/3 ของความ สูง)	9% (1/6 ของความ สูง)	อากาศ
107.5	121.37	121.35	121.18	121.47	120.87	120.33	120.81	121.31
108	121.37	121.35	121.18	121.47	120.89	120.33	120.81	121.27
108.5	121.35	121.35	121.18	121.45	120.89	120.38	120.81	121.23
109	121.33	121.35	121.18	121.45	120.89	120.4	120.83	121.25
109.5	121.35	121.33	121.18	121.45	120.91	120.4	120.85	121.25
110	121.35	121.35	121.18	121.47	120.94	120.46	120.85	121.25
110.5	121.37	121.35	121.18	121.47	120.94	120.48	120.85	121.29
111	121.35	121.37	121.18	121.47	120.94	120.48	120.87	121.2
111.5	121.35	121.33	121.18	121.45	120.94	120.5	120.87	121.25
112	121.33	121.33	121.18	121.47	120.96	120.5	120.87	121.23
112.5	121.33	121.33	121.18	121.45	120.94	120.52	120.89	121.23
113	121.35	121.33	121.18	121.45	120.96	120.56	120.89	121.23
113.5	121.33	121.35	121.18	121.47	120.96	120.56	120.89	121.23
114	121.33	121.33	121.16	121.45	120.98	120.56	120.89	121.23
114.5	121.33	121.33	121.16	121.45	120.96	120.6	120.91	121.23
115	121.33	121.35	121.18	121.45	120.98	120.62	120.91	121.23
115.5	121.33	121.35	121.18	121.43	121	120.62	120.91	121.23
116	121.29	121.31	121.14	121.45	120.98	120.67	120.94	121.16
116.5	121.31	121.29	121.14	121.45	121	120.64	120.96	121.23
117	121.29	121.31	121.16	121.43	121	120.69	120.94	121.18
117.5	121.35	121.35	121.18	121.45	121	120.69	120.98	121.29
118	121.33	121.33	121.16	121.43	121.02	120.71	120.96	121.25
118.5	121.35	121.33	121.18	121.43	121.02	120.73	120.98	121.25
119	121.35	121.31	121.16	121.45	121.04	120.73	121	121.23
119.5	121.35	121.35	121.18	121.45	121	120.77	120.98	121.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 310 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9% (1/2 ของความ สูง)	9% (1/3 ของความ สูง)	9% (1/6 ของความ สูง)	อากาศ
120	121.33	121.33	121.16	121.45	121.02	120.79	120.98	121.25
120.5	121.31	121.33	121.16	121.47	121.02	120.77	121	121.16
121	121.29	121.31	121.14	121.45	121.02	120.79	120.98	121.2
121.5	121.29	121.29	121.14	121.45	121.04	120.81	121	121.18
122	121.31	121.33	121.16	121.45	121.04	120.81	121.02	121.2
122.5	121.33	121.31	121.16	121.43	121.04	120.81	121.04	121.23
123	121.35	121.33	121.16	121.45	121.06	120.85	121.02	121.25
123.5	121.33	121.33	121.14	121.45	121.06	120.85	121.04	121.18
124	121.39	121.37	121.2	121.45	121.06	120.87	121.02	121.35
124.5	121.39	121.35	121.2	121.47	121.06	120.87	121.04	121.29
125	121.35	121.35	121.18	121.47	121.06	120.89	121.04	121.25
125.5	121.33	121.31	121.16	121.45	121.08	120.89	121.02	121.23
126	121.35	121.33	121.18	121.47	121.06	120.89	121.04	121.27
126.5	121.37	121.35	121.2	121.45	121.06	120.91	121.02	121.29
127	121.33	121.35	121.16	121.47	121.06	120.91	121.06	121.18
127.5	121.29	121.31	121.16	121.45	121.08	120.94	121.04	121.18
128	121.29	121.29	121.14	121.45	121.08	120.94	121.06	121.18
128.5	121.27	121.29	121.12	121.43	121.06	120.94	121.06	121.16
129	121.29	121.27	121.12	121.43	121.06	120.96	121.06	121.14
129.5	121.29	121.29	121.12	121.41	121.06	120.96	121.06	121.18
130	121.27	121.27	121.14	121.41	121.08	120.98	121.06	121.16
130.5	121.31	121.29	121.14	121.43	121.08	120.98	121.08	121.25
131	121.31	121.29	121.12	121.43	121.08	120.98	121.06	121.2
131.5	121.31	121.29	121.14	121.43	121.08	121	121.1	121.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 380 ครั้งต่อนาที

เวลา (นาที)					9%(1/2	9%(1/3	9%(1/6	อากาศ
	0%	3%	5%	7%	ของความ สูง)	ของความ สูง)	ของความ สูง)	
0	30.39	30.05	30	29.97	30.26	30.19	30.43	32.06
0.5	33.87	32.06	30.87	30.41	30.19	30.17	30.34	37.33
1	37.81	34.71	32.25	31.5	30.34	30.24	30.46	42.92
1.5	42.19	38.26	34.13	32.81	30.31	30.22	30.53	46.46
2	47.21	42.49	36.66	34.11	30.36	30.24	30.63	52.51
2.5	51.51	46.5	39.52	33.84	30.53	30.26	31.07	57.3
3	56.3	51	42.56	35.26	30.6	30.31	31.6	61.19
3.5	61.56	56.12	46.1	38.33	30.9	30.26	32.15	67.06
4	66.04	60.55	50.06	41.52	31.21	30.29	33.07	71.76
4.5	70.33	65.36	53.88	43.77	31.65	30.39	34.06	75.72
5	75.27	70.28	58.28	46.72	32.01	30.53	35.07	80.75
5.5	80.37	75.67	62.65	51.81	32.66	30.58	36.27	86.24
6	84.77	80.84	67.46	58.63	33.24	30.68	37.35	90.95
6.5	89.77	85.78	72.75	66.4	33.97	30.82	38.76	95.87
7	94.58	91.29	78.94	70.66	34.86	30.94	40.24	100.72
7.5	99.82	96.65	84.01	75.27	35.67	31.21	41.57	105.23
8	105.23	102.06	90.36	80.24	36.75	31.48	42.8	109.99
8.5	110.18	107.1	96.45	87.05	37.9	31.89	44.17	114.82
9	114.9	112.09	103	92.98	39.19	32.2	45.3	119.55
9.5	118.86	116.36	108.87	105.13	40.6	32.57	44.53	120.96
10	120.23	118.51	112.51	105.4	41.74	33.07	49.53	121.12
10.5	120.77	119.71	114.94	107.84	43.16	33.48	50.06	120.89
11	121.02	120.4	116.55	110.83	44.76	33.97	49.99	121
11.5	121.02	120.77	117.74	111.4	46.25	34.64	51.09	120.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 380 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)					9%(1/2	9%(1/3	9%(1/6	อากาศ
	0%	3%	5%	7%	ของความ สูง)	ของความ สูง)	ของความ สูง)	
12	121.06	120.94	118.51	111.82	47.8	35.34	52.49	120.94
12.5	121.2	121.23	119.28	112.39	49.22	36.03	54.2	121.16
13	121.14	121.18	119.71	113.5	50.72	36.82	55.96	120.91
13.5	121.04	121.16	119.98	112.47	52.14	37.69	57.53	121
14	121.1	121.27	120.38	113.12	53.6	38.47	58.9	120.85
14.5	121.06	121.2	120.6	113.2	55.06	39.43	60.44	120.91
15	121	121.18	120.77	112.78	56.4	40.41	61.77	120.89
15.5	121.04	121.23	120.83	111.65	57.89	41.45	63.38	120.75
16	121.06	121.25	120.98	112.18	59.18	42.56	64.59	120.91
16.5	121.02	121.16	121.06	113.33	60.65	43.7	65.95	120.98
17	121.04	121.14	121.14	113.12	61.97	44.9	67.26	121.04
17.5	121.04	121.2	121.16	113.77	63.32	46.18	68.5	120.98
18	121.1	121.31	121.18	113.41	64.57	47.42	69.79	120.96
18.5	121.06	121.14	121.18	114.04	65.79	48.64	71.14	120.94
19	121.04	121.25	121.25	114.27	67.15	49.99	72.32	120.79
19.5	121.06	121.2	121.25	114.19	68.39	51.25	73.55	120.94
20	121.12	121.27	121.25	114.23	69.65	52.62	74.8	121.02
20.5	121.1	121.23	121.29	114.21	70.93	54.04	75.98	121.1
21	121.02	121.16	121.27	114.15	73.2	56.72	78.38	120.85
21.5	121.08	121.25	121.2	113.6	74.29	58.01	79.51	120.96
22	121.08	121.25	121.23	113.79	75.43	59.32	80.59	120.91
22.5	121.1	121.25	121.23	113.94	76.45	60.69	81.74	121.04
23	121.14	121.27	121.33	113.69	77.74	61.97	82.69	121.16
23.5	121.04	121.2	121.31	113.96	78.63	63.36	83.72	120.89
24	121.12	121.23	121.29	115.02	79.58	64.72	84.71	121.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 380 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9%(1/2 ของความ สูง)	9%(1/3 ของความ สูง)	9%(1/6 ของความ สูง)	อากาศ
24.5	121.12	121.29	121.35	114.42	80.48	65.9	85.59	121.06
25	121.16	121.31	121.29	114.69	81.35	67.15	86.68	121
25.5	121.08	121.29	121.31	114.82	82.34	68.46	87.49	120.77
26	121.06	121.23	121.31	114.94	83.26	69.72	88.38	121
26.5	121.04	121.18	121.31	115.19	84.2	70.98	89.32	120.83
27	121	121.18	121.2	115.25	85.1	72.21	90.08	120.89
27.5	120.98	121.18	121.18	115.63	85.96	73.29	90.99	120.91
28	121.06	121.23	121.2	115.57	86.9	74.38	91.88	120.98
28.5	121.06	121.2	121.2	115.69	87.68	75.56	92.64	121.08
29	121.08	121.18	121.25	115.59	88.62	76.65	93.42	121.08
29.5	121.16	121.23	121.31	116.01	89.49	77.81	94.08	121.18
30	121.14	121.29	121.35	115.88	90.43	78.94	94.75	120.91
30.5	121.14	121.25	121.29	116.01	91.14	79.87	95.53	120.98
31	121.16	121.35	121.35	116.67	91.97	80.9	96.15	120.98
31.5	121.14	121.29	121.33	116.86	92.79	81.96	96.93	121.08
32	121.16	121.29	121.35	117.38	93.44	82.84	97.51	121.06
32.5	121.12	121.33	121.31	117.65	94.15	83.85	98.19	120.85
33	121.12	121.23	121.35	117.69	94.9	84.82	98.79	120.94
33.5	121.1	121.29	121.35	118.17	95.62	85.69	99.42	120.96
34	121.16	121.27	121.27	117.82	96.26	86.64	100.06	121.02
34.5	121.2	121.31	121.29	117.94	96.93	87.49	100.59	121
35	121.14	121.27	121.31	118.17	97.57	88.38	101.1	121.06
35.5	121.14	121.31	121.31	117.94	98.13	89.14	101.7	120.98
36	121.18	121.29	121.27	118.07	98.73	89.97	102.26	121.18
36.5	121.14	121.25	121.37	118.15	99.35	90.75	102.7	121.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 380 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)					9%(1/2	9%(1/3	9%(1/6	อากาศ
	0%	3%	5%	7%	ของความ สูง)	ของความ สูง)	ของความ สูง)	
37.5	121.18	121.35	121.37	117.88	100.49	92.31	103.66	120.91
38	121.06	121.25	121.31	118.38	101.04	93.05	104.21	120.94
38.5	121.1	121.29	121.27	118.19	101.55	93.72	104.58	120.85
39	121.08	121.18	121.27	118.38	102.06	94.39	105.13	120.98
39.5	121.08	121.23	121.27	118.3	102.53	95.12	105.51	120.94
40	121.06	121.2	121.27	118.4	103.02	95.79	105.95	120.83
40.5	121.06	121.25	121.25	118.38	103.53	96.45	106.34	120.85
41	121.12	121.23	121.25	118.8	104.02	97.16	106.78	121
41.5	121.1	121.2	121.25	118.76	104.47	97.74	107.18	120.94
42	121.04	121.2	121.2	118.86	104.89	98.32	107.46	120.98
42.5	121	121.16	121.18	118.8	105.36	98.99	107.88	120.85
43	121	121.14	121.25	118.82	105.76	99.48	108.24	120.94
43.5	120.98	121.2	121.14	119.34	106.14	100.08	108.58	120.83
44	121.04	121.18	121.18	119.48	106.55	100.51	109.02	120.91
44.5	120.98	121.14	121.2	119.36	106.97	101.17	109.23	120.77
45	121	121.2	121.14	119.13	107.31	101.66	109.55	120.96
45.5	121.02	121.16	121.18	119.21	107.63	102.09	109.95	120.89
46	120.96	121.1	121.14	119.44	108.05	102.73	110.14	120.85
46.5	121.02	121.16	121.23	119.48	108.41	103.11	110.49	120.77
47	121.04	121.18	121.14	119.55	108.66	103.6	110.81	121
47.5	120.94	121.12	121.14	119.61	109.02	104.04	111.04	120.87
48	121	121.14	121.16	119.71	109.4	104.55	111.19	120.81
48.5	121.04	121.18	121.16	119.61	109.65	104.91	111.57	120.87
49	121	121.06	121.18	119.79	109.97	105.36	111.82	120.87
49.5	120.98	121.16	121.1	119.84	110.24	105.72	112.11	120.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 380 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)					9%(1/2	9%(1/3	9%(1/6	อากาศ
	0%	3%	5%	7%	ของความ สูง)	ของความ สูง)	ของความ สูง)	
50	121.04	121.08	121.2	119.98	110.54	106.1	112.32	120.87
50.5	121.02	121.16	121.16	119.92	110.81	106.44	112.6	120.87
51	120.96	121.16	121.2	119.84	111.12	106.91	112.7	120.67
51.5	121.04	121.14	121.2	119.9	111.4	107.2	113.04	120.96
52	121.02	121.16	121.23	119.88	111.61	107.65	113.14	120.96
52.5	121.06	121.23	121.18	119.73	111.88	107.94	113.39	120.85
53	120.98	121.16	121.23	119.73	112.11	108.32	113.56	120.81
53.5	121.06	121.14	121.29	119.67	112.36	108.68	113.81	120.98
54	121.08	121.2	121.2	119.75	112.62	108.98	114.02	120.83
54.5	120.96	121.1	121.1	119.61	112.76	109.25	114.25	120.89
55	120.98	121.14	121.16	119.48	113.08	109.65	114.35	120.85
55.5	121	121.18	121.16	119.57	113.22	109.82	114.61	120.79
56	121	121.1	121.18	119.59	113.45	110.16	114.77	120.89
56.5	120.94	121.08	121.14	119.65	113.64	110.49	114.84	120.85
57	120.96	121.16	121.12	119.59	113.85	110.75	115	120.87
57.5	120.94	121.04	121.16	119.55	114.1	110.98	115.21	120.77
58	120.98	121.14	121.12	119.69	114.19	111.21	115.44	120.87
58.5	120.96	121.14	121.14	119.67	114.4	111.5	115.5	120.79
59	120.96	121.1	121.08	119.82	114.61	111.86	115.71	120.91
59.5	120.91	121.04	121.1	119.75	114.75	112.03	115.78	120.75
60	120.89	121.02	121.14	119.3	114.96	112.28	115.94	120.69
60.5	120.94	121.08	121.06	119.09	115.05	112.47	116.15	120.89
61	120.94	121.08	121.08	119.38	115.23	112.7	116.21	120.96
61.5	120.91	121	121.12	120.06	115.42	112.93	116.34	120.81
62	120.96	121.12	121.08	120.02	115.55	113.14	116.51	120.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 380 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)					9%(1/2	9%(1/3	9%(1/6	อากาศ
	0%	3%	5%	7%	ของความ สูง)	ของความ สูง)	ของความ สูง)	
62.5	120.85	121.08	121	120.15	115.67	113.35	116.57	120.69
63	120.83	120.98	121.06	120.21	115.88	113.6	116.67	120.62
63.5	120.89	121.04	121.06	120.23	115.94	113.69	116.86	120.75
64	120.87	121	121.02	120.29	116.07	113.87	116.99	120.79
64.5	120.85	120.94	121.1	120.29	116.3	114.1	116.99	120.71
65	120.96	121.12	121.08	120.27	116.38	114.29	117.07	120.85
65.5	120.87	121.04	121.08	120.31	116.51	114.54	117.24	120.75
66	120.89	121.06	121.02	120.19	116.63	114.61	117.32	120.69
66.5	120.83	120.94	121.06	120.44	116.76	114.79	117.38	120.69
67	120.81	120.91	121.06	120.56	116.88	114.98	117.51	120.64
67.5	120.89	121	121.02	120.42	116.92	115.11	117.65	120.94
68	120.85	121	121.06	120.5	117.11	115.36	117.59	120.69
68.5	120.91	121.02	121.04	120.46	117.17	115.36	117.8	120.73
69	120.83	120.98	121.04	120.48	117.32	115.63	117.82	120.64
69.5	120.89	121.04	120.98	120.46	117.32	115.76	117.94	120.89
70	120.87	121	121.06	120.5	117.44	115.84	118.03	120.73
70.5	120.87	121	121.02	120.48	117.57	115.92	118.17	120.75
71	120.83	120.98	121.02	120.5	117.61	116.09	118.24	120.73
71.5	120.81	120.98	121.02	120.6	117.76	116.32	118.17	120.71
72	120.85	121	121	120.44	117.82	116.44	118.34	120.73
72.5	120.94	121.06	121.04	120.54	117.9	116.53	118.4	120.94
73	120.89	121.02	121.04	120.42	118.01	116.63	118.4	120.71
73.5	120.85	121	121.02	120.54	118.09	116.8	118.38	120.64
74	120.87	121	121.04	120.4	118.17	116.84	118.57	120.75
74.5	120.87	121.02	121.04	120.54	118.24	117.03	118.55	120.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 380 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9%(1/2 ของความ สูง)	9%(1/3 ของความ สูง)	9%(1/6 ของความ สูง)	อากาศ
75	120.85	120.98	121.04	120.56	118.32	117.11	118.67	120.77
75.5	120.87	121.02	121.06	120.58	118.34	117.11	118.8	120.67
76	120.81	120.94	121.08	120.71	118.42	117.28	118.76	120.67
76.5	120.83	120.98	121.04	120.67	118.46	117.4	118.8	120.67
77	120.87	121.08	121.06	120.54	118.53	117.49	118.92	120.77
77.5	120.87	121.06	121.04	120.52	118.57	117.55	118.94	120.69
78	120.89	121.1	121.02	120.52	118.67	117.63	119.01	120.81
78.5	120.89	121.06	121.02	120.44	118.73	117.72	119.07	120.75
79	120.89	121.02	121.06	120.64	118.8	117.88	119.05	120.73
79.5	120.83	120.98	121.02	120.67	118.8	117.9	119.17	120.64
80	120.89	121.08	121.06	120.62	118.9	117.99	119.23	120.87
80.5	120.89	121.02	121.1	120.64	118.96	118.07	119.17	120.71
81	120.89	121.08	121.08	120.64	119.03	118.13	119.21	120.71
81.5	120.89	121.08	121.04	120.46	119.07	118.21	119.23	120.81
82	120.85	120.94	121.1	120.67	119.13	118.3	119.36	120.71
82.5	120.87	121.02	121.06	120.54	119.21	118.42	119.36	120.67
83	120.87	121.06	121.02	120.42	119.17	118.4	119.44	120.87
83.5	120.87	121.02	121.04	120.58	119.25	118.55	119.44	120.73
84	120.91	121.1	121.06	120.48	119.32	118.55	119.46	120.94
84.5	120.91	121.04	121.04	120.64	119.3	118.65	119.65	120.77
85	120.83	120.96	121.02	120.58	119.34	118.67	119.65	120.73
85.5	120.81	120.98	120.98	120.6	119.44	118.82	119.59	120.64
86	120.85	121.02	121.02	120.5	119.48	118.78	119.71	120.71
86.5	120.83	120.85	121.08	120.69	119.52	118.86	119.71	120.64
87	120.87	121	121	120.58	119.48	118.92	119.79	120.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 380 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9%(1/2 ของความ สูง)	9%(1/3 ของความ สูง)	9%(1/6 ของความ สูง)	อากาศ
87.5	120.83	120.96	121.02	120.54	119.63	119.03	119.75	120.77
88	120.87	121.04	121.02	120.69	119.61	119.05	119.75	120.73
88.5	120.89	121.02	121.02	120.62	119.63	119.01	119.86	120.67
89	120.89	121	121.04	120.62	119.69	119.17	119.88	120.87
89.5	120.89	121.04	121.04	120.67	119.75	119.13	119.96	120.75
90	120.89	121.08	121.04	120.58	119.75	119.28	119.92	120.89
90.5	120.87	120.96	121.06	120.67	119.82	119.21	119.96	120.71
91	120.89	121.04	121.06	120.64	119.79	119.3	120.04	120.87
91.5	120.81	121.02	121	120.67	119.82	119.38	120.04	120.75
92	120.79	120.98	121.06	120.75	119.9	119.5	119.94	120.67
92.5	120.85	120.98	121.04	120.54	119.94	119.5	120.04	120.67
93	120.81	120.96	121.08	120.75	119.98	119.52	120.04	120.69
93.5	120.79	120.96	121.02	120.69	120	119.61	120	120.67
94	120.81	120.96	121.08	120.77	120.02	119.61	120.08	120.79
94.5	120.83	121	121	120.64	120	119.63	120.11	120.71
95	120.81	121	121.04	120.64	120.11	119.73	120.08	120.6
95.5	120.85	120.91	121	120.69	120.02	119.69	120.19	120.71
96	120.83	120.96	121.04	120.75	120.08	119.79	120.13	120.77
96.5	120.83	120.94	121.04	120.75	120.13	119.82	120.17	120.75
97	120.83	121.04	120.98	120.58	120.13	119.79	120.19	120.6
97.5	120.85	120.94	121.02	120.71	120.06	119.82	120.23	120.75
98	120.83	120.96	121.08	120.71	120.21	119.9	120.25	120.71
98.5	120.81	120.89	121.06	120.69	120.21	119.92	120.21	120.64
99	120.87	121.04	121.02	120.58	120.23	119.92	120.23	120.71
99.5	120.79	120.96	121	120.71	120.19	119.96	120.19	120.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ความถี่ 380 ครั้งต่อนาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	0%	3%	5%	7%	9%(1/2 ของความ สูง)	9%(1/3 ของความ สูง)	9%(1/6 ของความ สูง)	อากาศ
100	120.85	120.96	121.02	120.52	120.25	120	120.31	120.69
100.5	120.96	121.06	121.04	120.67	120.25	119.96	120.33	120.81
101	120.89	120.98	121.04	120.73	120.27	120	120.33	120.62
101.5	120.98	121.08	121.02	120.67	120.27	120.11	120.35	121.08



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] วิเชียร วรพุทธพร. ภาชนะบรรจุอาหารและการบรรจุ.พิมพ์ครั้งที่ 2.
ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2534
- [2] เมธาณี เปรมศรี, รัตนสินทร์ วรากุล,ศุภชัย สว่างพิทักษ์พรและสัมรี ดะแข็ง,2548 ,
การศึกษาและออกแบบหม้อฆ่าเชื้อแบบ Water spray Retort ขนาดเล็กสำหรับ
ทดสอบคุณภาพบรรจุภัณฑ์.ปริญญาานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา
วิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง,หน้า 2-13
- [3] ดร.ชนะบุลย์ สัจจอนันตกุล “ชนิดและการใช้งานของหม้อฆ่าเชื้อสำหรับบรรจุภัณฑ์อ่อน
ตัว” สัมมนาวิชาการ ปี 2548 คณะอุตสาหกรรมเกษตร,มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [4] สุวิช สิริวัฒน์ โยธิน.(2545.) ทำการวิจัยเรื่อง Thermal Processing of Food ศษ.
(หน่วยปฏิบัติการวิจัยและพัฒนาวิศวกรรมชีวเคมีและ โรงงานต้นแบบ)
- [5] ผศ.ดร. วิไล รังสาตทอง. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร.พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร :
พิมพ์ที่บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด. 2546.
- [6] University of Bolton. “Shear Shrength.” [Online]. Available :
http://www.ami.ac.uk/courses/topics/0123_mpm/images/met_mpm_imge.gif
- [7] Saint Joseph ‘s University. “Viscosity.” [Online]. Available :
<http://www.sju.edu/~phabdas/physics/nonN.gif>
- [8] เกียรติศักดิ์ แรงงาม, ธนพิทักษ์ ทิพย์เทียมพงษ์, วสันต์ บันคำ. “การศึกษาผลของการเขย่าต่อ
การแทรกผ่านความร้อนในกระป๋องฆ่าเชื้อแบบพาสเจอร์ไรซ์.” ปริญญาานิพนธ์
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2549.
- [9] กรมวิทยาศาสตร์บริการ. “Viscosity”. [Online]. Available :
<http://www.dss.go.th/dssweb/index2.html>
- [10] ผศ.ดร. วิไล รังสาตทอง. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร.พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร :
พิมพ์ที่บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด. 2546.
- [11] Yang Meng, Hosahalli S. Ramaswamy.(2006). System variables affecting heat
transfer in a canned particle in Newtonian fluid system during end-over-end
rotation.Journal of Food Science,40,1240-1245

[12] Yang Meng, Hosahalli S. Ramaswamy.(2006).

Visualization of particle/liquid movements in high viscous fluids during end-over-end rotation. *Journal of Food Science*,80,545-552



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันอาหารบรรจุกระป๋องเป็นที่นิยมผลิตในกลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร เพราะเก็บรักษา
ง่ายและป้องกันการเสียหายได้ดี ซึ่งจะทำให้การฆ่าเชื้อด้วยความร้อนด้วยหม้อฆ่าเชื้อ (Retort) ซึ่งหม้อ
ฆ่าเชื้อในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นประเภทที่ผลิตกันอยู่หนึ่ง แต่มีการคิดค้นพัฒนาหม้อฆ่าเชื้อแบบ
หมุนและแบบเขย่าขึ้น เพื่อต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการแทรกผ่านความร้อนให้ความร้อนสามารถ
ผ่านเข้าไปได้อย่างรวดเร็ว ทั้งถึงและต้องการขจัดจุลินทรีย์ภายในอาหารกระป๋อง แม้มีการศึกษา
ถึงการแทรกผ่านความร้อนในหม้อฆ่าเชื้อระบบต่างๆ เป็นจำนวนมาก แต่การศึกษาการแทรกผ่าน
ความร้อนในหม้อฆ่าเชื้อแบบเขย่ายังมีการศึกษาน้อยมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาปัจจัยใน
การแทรกผ่านความร้อนในกระป๋องที่มีการเขย่าขณะให้ความร้อนในหม้อฆ่าเชื้อ

ผลจากการศึกษาดังกล่าว จะทำให้ทราบความสัมพันธ์ของการเขย่าต่อการแทรกผ่านความ
ร้อน ช่วยลดเวลาในการให้ความร้อนแก่อาหารซึ่งจะเป็นการช่วยให้อาหารยังคงรักษาคุณค่าของ
สารอาหาร เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และช่วยประหยัดต้นทุนการผลิตช่วยประหยัดเงินลงทุน และ
พลังงานอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปัจจัยในการเขย่าต่อการแทรกผ่านความร้อนในกระป๋องระหว่างการให้ความร้อน
ระดับสเตอริไลส์ในหม้อฆ่าเชื้อ
2. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และประหยัดพลังงาน

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ศึกษาผลของการเขย่าที่มีต่อการแทรกผ่านความร้อนภายในกระป๋องขณะให้ความร้อนใน
หม้อฆ่าเชื้อ โดยมีการควบคุมปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1. ความถี่ในการเขย่าที่แตกต่างกัน 5 ความถี่ คือ 0 160 230 310 และ 380 ครั้งต่อนาที
2. กระป๋องถูกเขย่าทิศทางเดียวตามแนวนอน
3. แอมพิจูดในการเขย่า เท่ากับ 1 เซนติเมตร
4. กระป๋องบรรจุขนาด 84 × 116 มิลลิเมตร
5. สารละลายเบนโทไนต์ความเข้มข้น 0 3 5 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
6. ช่องว่างเหนืออาหารเท่ากับ 1 เซนติเมตร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการเขย่าต่อการแทรกผ่านความร้อนในกระป๋อง
2. ทำให้ทราบอิทธิพลของความถี่และความเข้มข้นที่มีผลต่อการแทรกผ่านความร้อนในกระป๋อง
3. สร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างการแทรกผ่านความร้อนกับตัวแปรที่ศึกษาได้
4. เป็นแนวทางในการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ได้หม้อฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Bichier และ Teixeira (1993). [7] ได้ศึกษากระบวนการทางความร้อนของอาหารกระป๋องภายใต้การหมุนแบบอัตโนมัติ โดยใช้ซอสมะเขือเทศที่มีของแข็งเป็นองค์ประกอบ 5.9 เปอร์เซ็นต์บรรจุในกระป๋องขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว สูง 7/16 นิ้ว มีช่องว่างเหนืออาหาร (headspace) 1/4 นิ้ว และอุณหภูมิภายในหม้อฆ่าเชื้อ 121.1 องศาเซลเซียส จากผลการศึกษาพบว่าหากไม่มีการหมุนระหว่างการฆ่าเชื้อ แสดงว่ามีการแทรกผ่านความร้อนแบบนำความร้อนเพียงอย่างเดียวจะได้ค่า j เท่ากับ 2 และเมื่อมีการหมุนกระป๋องระหว่างฆ่าเชื้อ จะมีการแทรกผ่านความร้อนแบบการพาความร้อนเพียงอย่างเดียวได้ค่า j เท่ากับ 1

Abbatemarco และคณะ (1993). [8] ได้สร้างแบบจำลองศึกษาอัตราการแทรกผ่านความร้อนและปัจจัยในการเก็บรักษาคุณภาพของอาหารกระป๋อง โดยอาศัยกระบวนการทางความร้อนภายในหม้อฆ่าเชื้อแบบหมุน (Rotary retort) ศึกษาการแทรกผ่านความร้อนจากแบบจำลองของแป้งเปียก (gelatinized starch) ภายใต้สภาวะที่แตกต่างกันคือ อุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ 110-130 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 10 ถึง 20 รอบต่อนาที และ ช่องว่างเหนืออาหาร (headspace) 6.4-12.8 มิลลิเมตร และความเข้มข้นของแป้งเปียก 3 ถึง 4 เปอร์เซ็นต์ กำหนดค่า F_0 เท่ากับ 10 นาที โดยทำการตรวจสอบค่าความหนืดและสีก่อนและหลังการทดลองแต่ละครั้ง พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการแทรกผ่านความร้อนขึ้นกับปัจจัยทั้งหมด ยกเว้น ช่องว่างเหนืออาหาร (headspace) โดยอุณหภูมิและความเร็วรอบที่สูงกว่าจะช่วยรักษาปัจจัยทางคุณภาพได้ดีกว่า และทำให้ใช้เวลาในการเดินเครื่องลดลง

Price และ Bhowmik, (1994). [9] ศึกษาอัตราการแทรกผ่านความร้อนของอาหารกระป๋องที่ได้รับจากการปรับปรุงให้หม้อฆ่าเชื้อแบบอยู่นิ่ง (Still retort) เกิดการหมุนของกระป๋องระหว่างดำเนินการให้ความร้อน ซึ่งใช้สารละลายกัวกัม (guar gum) โดยศึกษาลักษณะการหมุนของกระป๋องทั้งแนวตั้งและแนวนอน ที่อัตราเร็วในการหมุนแตกต่างกัน จากการศึกษาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (h) เพิ่มขึ้นเมื่อมีการหมุนของกระป๋อง ขณะที่ค่าความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง โดยสารละลายกัวกัม 0.45 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น 75 เปอร์เซ็นต์ สารละลายกัวกัม 0.5 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น 14 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สารละลายกัวกัม 0.75 เปอร์เซ็นต์

ให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นน้อยกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ ตำแหน่งของกระป๋องมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ปานกลาง และการวางกระป๋องในแนวนอนให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ที่สูงกว่าการวางกระป๋องในแนวตั้ง

Yang Meng และคณะ (2006). [10] ศึกษาการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายในกระป๋องเมื่อมีการหมุนภายในหม้อฆ่าเชื้อ โดยการเฝ้าสังเกตการเคลื่อนไหวของอนุภาคในสารละลาย C.M.C. (Carboxymethyl cellulose) ภายใต้การเขย่าแบบหัวถึง (End-Over-End) ซึ่งในการทดลองจะใช้อนุภาคไนลอนเพื่อเลียนแบบอนุภาคอาหาร ภาชนะที่ใช้ใช้แก้วโปร่งใสแทนกระป๋อง การทดลองทั้งหมดดำเนินการที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งฝาประตูของหม้อฆ่าเชื้อจะถูกเปิดไว้เพื่อบันทึกเทป โดยก็ตามความเข้มข้นของของเหลวเหนียวจะถูกปรับให้สัมพันธ์กับระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้น จากผลการทดลองพบว่าการเคลื่อนไหวของอนุภาคจะเร็วขึ้นในสารละลาย C.M.C. ที่มีความหนืดต่ำอนุภาคจะเคลื่อนที่เร็ว และการเคลื่อนไหวของอนุภาคจะรุนแรง การหมุนตัวของอนุภาคจะถี่มาก และการไหลเวียนของของเหลวเหนียวจะอยู่ทั่วในบริเวณภาชนะบรรจุ ในทางกลับกันอนุภาคในของเหลวที่มีความหนืดสูงจะเคลื่อนที่ช้า ลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุภาคจะไม่รุนแรง การหมุนตัวของอนุภาคจะถูกจำกัด และการไหลเวียนของของเหลวจะอยู่ตามบริเวณกำแพงของภาชนะบรรจุ

นอกจากนี้ Yang Meng และคณะ (2006). [11] ศึกษาผลกระทบของความเร็วในการหมุนของหม้อฆ่าเชื้อ ความเข้มข้นของสารละลาย อุณหภูมิภายในหม้อฆ่าเชื้อ ขนาดกระป๋อง และขนาดของอนุภาคที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน โดยในการทดลองจะใช้ของเหลวประเภท Newtonian คือ สารละลายกลีเซอรีนที่มีความหนืดสูงบรรจุในกระป๋อง ตั้งแต่ความเข้มข้น 75 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วในการหมุน อุณหภูมิภายในหม้อฆ่าเชื้อและความหนาแน่นของอนุภาคเพิ่มขึ้น โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การแทรกผ่านความร้อนจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายและขนาดกระป๋องเพิ่มขึ้น

Sablani และRamaswamy (1998). [12] ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหม้อฆ่าเชื้อแบบหมุน ปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ ความเข้มข้นของอนุภาค (20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ขนาดของอนุภาค (เส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 0.019 0.022 และ 0.025 เมตร) รูปร่างของอนุภาค (ทรงกลม ทรงกระบอกและสี่เหลี่ยม) ความหนืดของของเหลว (1×10^{-6} และ 1×10^{-4} ตารางเมตรต่อวินาที) และความเร็วของการหมุน (10 15 และ 20 รอบต่อนาที) จากการศึกษาพบว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะลดลงเมื่อ ความหนืดของสารละลาย ขนาดของอนุภาค และความเข้มข้นของอนุภาคเพิ่มขึ้น สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วของการหมุนเพิ่มขึ้น ส่วนผลของรูปร่างที่แตกต่างกันของอนุภาคมีผลต่อช่องว่างภายในภาชนะเพื่อใช้ในการเคลื่อนที่ของอนุภาค โดยถ้ามีช่องว่างในการเคลื่อนที่มากก็จะมีผลทำให้การแทรกผ่านความร้อนได้ดี ซึ่งจากการพิจารณาปริมาตรของ สี่เหลี่ยม มากกว่าทรงกระบอก และทรงกลมตามลำดับ ซึ่งมีผลทำให้มีช่องว่างภายในภาชนะเพิ่มขึ้นตามลำดับ

Garrote และคณะ (2006). [13] ศึกษาผลของการหมุนที่มีผลต่อการแทรกผ่านความร้อนในหม้อฆ่าเชื้อแบบทั่วถึง (End-over-end) ในการทดลองสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ กระป๋องขนาด 107×69.8 มิลลิเมตร ช่องว่างเหนืออาหาร เท่ากับ 10 มิลลิเมตร อุณหภูมิภายในหม้อฆ่าเชื้อเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส โดยใช้ความเร็วในการหมุนที่แตกต่างกันคือ 5 10 15 และ 20 รอบต่อนาที ซึ่งจากผลการทดลองจะได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์การแทรกผ่านความร้อนรวมจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วในการหมุนมีค่าเพิ่มขึ้น



บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร [1]

การใช้ภาชนะบรรจุจะขึ้นอยู่กับการบรรจุเป็นสำคัญคือ บรรจุอาหารในภาชนะบรรจุก่อนแล้วจึงนำไปทำให้ปราศจากเชื้อหรืออาหารที่ผ่านกระบวนการถนอมอาหารต่างๆ แล้วจึงนำมาบรรจุเพียงอย่างเดียว ซึ่งพอจะแบ่งอาหารออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 6 กลุ่ม ตามลักษณะของอาหารและการใช้ภาชนะบรรจุ ดังนี้

1. อาหารที่ต้องผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนหลังบรรจุ
2. อาหารแห้ง
3. อาหารแช่เย็น และแช่เยือกแข็ง
4. อาหารฉายรังสี
5. อาหารสด
6. อาหารเหลวบรรจุในสภาพปลอดเชื้อ

โดยในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะกลุ่มที่ 1 คือ อาหารที่ต้องผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนหลังบรรจุ

อาหารในกลุ่มนี้โดยทั่วไป ได้แก่ อาหารกระป๋องและอาหารที่บรรจุในภาชนะขวด ซึ่งโดยทั่วไปจะเข้าใจกันว่า เป็นอาหารที่บรรจุอยู่ในกระป๋องซึ่งผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนสูง แต่ในที่นี้จะรวมถึงภาชนะใดๆ ก็ได้ที่ปิดสนิทและสามารถให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อได้ ภาชนะบรรจุสำหรับอาหารประเภทนี้ ได้แก่

กระป๋องโลหะภาชนะบรรจุจำพวกกระป๋องโลหะนี้มีความสำคัญมาก ต่ออุตสาหกรรมอาหาร กระป๋อง เมื่อเทียบกับภาชนะบรรจุที่ทำด้วยวัสดุอย่างอื่น เนื่องจากมีความแข็งแรง ป้องกันการเปลี่ยนแปลงของอาหารที่บรรจุอยู่ภายในอันเนื่องจากแสงแดดและจุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดี และทนต่อความร้อนและความดันสูงในขณะฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ในกรรมวิธีการผลิตอาหารกระป๋องการเลือกใช้กระป๋องให้เหมาะกับอาหารมีหลักเกณฑ์ ดังนี้

1. กระป๋องเคลือบดีบุก ใช้บรรจุอาหารแห้งหรืออาหารที่ไม่เกิดปฏิกิริยากับกระป๋อง ส่วนใหญ่จะใช้บรรจุผลไม้ที่มีส่วนประกอบของสีแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นสีในดอกไม้และผลไม้บางชนิดสารนี้จะให้สีแดงม่วงหรือน้ำเงิน ซึ่งมีในพวกสตอเบอรี่และองุ่น ดังนั้นจึงควรใช้บรรจุผลไม้แห้งจำพวกสับปะรด ลำไย มะม่วง และแอปเปิ้ล เป็นต้น

2. กระป๋องเคลือบแลคเกอร์ เหมาะสำหรับบรรจุอาหารที่ทำปฏิกิริยากับเหล็กหรือดีบุกได้

ซึ่งจะทำให้คุณภาพอาหารเสียไป เช่น ผลไม้ต่างๆ ผักบางชนิด อาหารจำพวกเนื้อสัตว์ และปลาที่มีสารประกอบของกำมะถัน กระจกแอคเกอร์แบ่งออกได้อีก 2 ประเภทคือ

- แลคเกอร์ทนกรด (Acid resistant lacquer) กระจกด้านในมีสีทอง ใช้บรรจุผลไม้ที่มีสีจัด และสีละลายน้ำได้ เช่น องุ่น และสตอเบอรี่ หากใช้กระจกเคลือบดีบุก ดีบุกที่หลุดออกมาจากกระจกจะฟอกสีของผลไม้ทำให้สีผลไม้ซีดลง

- แลคเกอร์ทนกำมะถัน (sulfur resistant lacquer) กระจกด้านในมีสีเทา ใช้บรรจุอาหารที่ความเป็นกรดต่ำ และมีโปรตีนสูง เช่น ถั่ว ข้าวโพด และปลา เป็นต้น

ข้อดีของกระจกคือ กระจกเป็นตัวนำความร้อนที่ดี ทนทาน ไม่แตกง่าย มีน้ำหนักเบา และง่ายต่อการขนส่ง

ข้อเสียของกระจกคือ มองไม่เห็นอาหารภายใน หากไม่เคลือบแลคเกอร์อาจผุกร่อนได้ บางครั้งอาจทำให้อาหารมีกลิ่น โลหะ เมื่อใช้หมดแล้วไม่สามารถนำมาใช้ใหม่ได้

2.2 อาหารในภาชนะบรรจุปิดสนิท

อาหารในภาชนะบรรจุปิดสนิทคือ อาหารที่ผ่านกรรมวิธีที่ใช้ทำลายหรือยับยั้งการขยายพันธุ์ของจุลินทรีย์ด้วยความร้อนภายหลังหรือก่อนการบรรจุหรือปิดผนึก ซึ่งเก็บรักษาไว้ในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่เป็นโลหะหรือวัสดุอื่นที่คงรูป สามารถป้องกันมิให้อากาศภายนอกเข้าไปในภาชนะบรรจุ และสามารถเก็บรักษาไว้ได้ในอุณหภูมิปกติ หรืออาหารในภาชนะบรรจุชนิดลามิเนต (Laminate) ฉาบ เคลือบ อัด หรือติดด้วยโลหะหรือสิ่งอื่นใด หรืออาหารในภาชนะบรรจุที่เป็นขวดแก้วที่มีฝายาง หรือวัสดุอื่นผนึก หรืออาหารในภาชนะบรรจุอื่น ซึ่งสามารถป้องกันมิให้เกิดความชื้นหรืออากาศผ่านซึมเข้าภายในภาชนะบรรจุได้ในสภาวะปกติ และสามารถเก็บรักษาไว้ได้ในอุณหภูมิปกติ

2.2.1 อาหารในภาชนะบรรจุปิดสนิทจำแนกตามค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าแอกติวิตีของน้ำ

2.2.1.1 อาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (Low acid food)

หมายถึงอาหารที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 4.5 และมีค่าแอกติวิตีของน้ำมากกว่า 0.85

2.2.1.2 อาหารที่ปรับสภาพกรด (Acidified food)

หมายถึงอาหารที่ธรรมชาติของผลิตภัณฑ์นั้นมีค่าความเป็นกรด-ด่าง มากกว่า 4.5 แต่ในการผลิตมีการปรับสภาพกรดของอาหาร โดยการลวกหรือแช่ขึ้นอาหารในสารละลายกรด หรือเติมกรดหรือเติมอาหารที่มีความเป็นกรด จนทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่เกิน 4.5 และมีค่าแอกติวิตีของน้ำมากกว่า 0.85

2.2.1.3 อาหารที่มีความเป็นกรด (Acid food)

หมายถึงอาหารที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างไม่เกิน 4.5 และมีค่าแอกติวิตีของน้ำมากกว่า 0.85

2.3 จุลวิทยาของอาหารกระป๋อง (Microbiology of Canned Foods) [2]

จุลินทรีย์เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กมาก แต่ละหน่วยของจุลินทรีย์อาจเป็นเซลล์เดี่ยวหรือประกอบด้วยหลายเซลล์ หน่วยของจุลินทรีย์แต่ละหน่วยสามารถดำรงชีพอยู่ได้อย่างอิสระ จุลินทรีย์เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีหลากหลายชนิดที่สุด และมีการแพร่กระจายในสิ่งแวดล้อมของโลกมากที่สุด จุลินทรีย์ที่มีความสำคัญต่อการผลิตอาหารได้แก่ แบคทีเรีย ยีสต์ และรา ตัวที่สำคัญที่สุดคือ *Clostridium botulinum* ซึ่งเป็นเชื้อแบคทีเรียที่สร้างสารพิษและไม่ต้องใช้ออกซิเจนในการเจริญเติบโต สามารถทนความร้อนได้สูง ดังนั้นจึงใช้เชื้อมันนี้เป็นดัชนีที่บ่งบอกว่าปริมาณความร้อนที่ให้แก่อาหารนั้นเพียงพอหรือไม่

อาหารกระป๋องเป็นกรรมวิธีการถนอมอาหารที่บรรจุในภาชนะปิดสนิท และให้ความร้อนเพื่อป้องกันการเน่าเสีย ความร้อนที่ใช้ในนั้นมีจุดหมายเพื่อทำลายจุลินทรีย์ทั้งหมด แต่ในทางปฏิบัติมักทำได้เพียงการฆ่าจุลินทรีย์ที่จะทำให้เกิดการเน่าเสียในภาชนะเก็บรักษาปกติเท่านั้น ซึ่งเรียกว่า “การฆ่าเชื้อเชิงการค้า” (Commercial Sterile) ซึ่งหมายถึงสภาวะที่ได้จากการให้ความร้อนอย่างเดียวนในปริมาณที่เพียงพอหรือใช้ความร้อนร่วมกับวิธีการอื่น ที่จะทำให้อาหารปราศจากจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญเติบโตได้ในลักษณะที่ไม่ต้องเก็บแช่เย็น ซึ่งเป็นสภาพปกติที่อาหารถูกเก็บรักษาหรือจัดจำหน่าย เซลล์ของสปอร์ของจุลินทรีย์สามารถทนความร้อนได้ต่างๆ กัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญได้แก่

- ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา
- ปริมาณของเซลล์หรือสปอร์ของจุลินทรีย์เมื่อเริ่มให้ความร้อน
- สุขภาพของจุลินทรีย์ในขณะให้ความร้อนที่มีผลต่อการทนความร้อน
- ส่วนประกอบของอาหารที่ผ่านกรรมวิธีให้ความร้อน

2.4 กระบวนการผลิตอาหารกระป๋อง

การผลิตอาหารกระป๋องประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้คือ

2.4.1 การเตรียมวัตถุดิบ (Prepare raw material)

ขั้นตอนนี้มีความแตกต่างกันไปตามชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ เริ่มจากการทำความสะอาดวัตถุดิบเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกหรือสิ่งแปลกปลอมออกไป แล้วทำการคัดขนาดและความแก่อ่อนเพื่อความสม่ำเสมอของคุณภาพผลิตภัณฑ์ จากนั้นจึงทำการตัดแต่งส่วนที่ไม่ต้องการออกไป

2.4.2 การลวกด้วยน้ำร้อน (Blanching)

มีหลายวิธีทั้งการจุ่มบรรจุภัณฑ์ลงในน้ำเดือดหรือการนึ่งด้วยไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม อาหารจะมีเครื่องมือเฉพาะที่ใช้สำหรับลวกวัตถุดิบเรียกว่า “Blancher” ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิและเวลาได้อย่างเหมาะสม

2.4.3 การบรรจุ (Filling)

เป็นขั้นตอนการนำวัตถุดิบบรรจุลงในภาชนะบรรจุ ที่ทำจากขวดแก้วหรือกระป๋องโลหะ โดยจะบรรจุส่วนที่เป็นของแข็งลงไปก่อนแล้วจึงบรรจุส่วนที่เป็นของเหลว

2.4.4 การไล่อากาศ (Exhausting)

เป็นขั้นตอนการไล่อากาศในภาชนะบรรจุออกไปให้มากที่สุดเพื่อวัตถุประสงค์ต่อไปนี้คือ

- ลดแรงดันภายในภาชนะบรรจุอาหาร
- รักษาคุณภาพของอาหาร
- ช่วยให้เก็บอาหารกระป๋องได้นาน

2.4.5 การปิดผนึก (Sealing)

สำหรับกระป๋องโลหะจะมีการยึดกันระหว่างฝาและขอบกระป๋อง หลังการผนึกเป็นแบบตะเข็บคู่ ถ้าเป็นขวดแก้วจะใช้ฝาเหล็กเคลือบดีบุกแบบหมุนเกลียวหรือตะเข็บงอ

2.4.6 การฆ่าเชื้อ (Processing)

หมายถึง การให้ความร้อนทำลายจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหาร ซึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะปิดสนิท

2.4.7 การทำให้เย็น (Cooling)

มีจุดประสงค์เพื่อป้องกันการสูญเสียคุณภาพของอาหารเนื่องจากความร้อนส่วนเกิน โดยการลดอุณหภูมิของอาหารหลังการฆ่าเชื้อแล้วลงอย่างรวดเร็วด้วยน้ำเย็น จนอุณหภูมิลดลงถึงระดับหนึ่งซึ่งยังมีความร้อนเหลืออยู่พอที่จะทำให้ผิวนอกของกระป๋องแห้งสนิท ปราศจากหยดน้ำที่เกาะอยู่บนกระป๋องเพื่อป้องกันการเกิดสนิมบนกระป๋องขณะเก็บรักษา

2.4.8 การปิดฉลากและบรรจุหีบห่อ (Labeling)

เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการผลิต ก่อนที่จะจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ไปยังผู้บริโภคต่อไป

2.5 กระบวนการทำงานของหม้อฆ่าเชื้อ

กระบวนการทำงานของหม้อฆ่าเชื้อแบบใช้ไอน้ำเป็นตัวกลางให้ความร้อน และหลักการควบคุมอุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อมีดังต่อไปนี้

2.5.1 การปฏิบัติในการใช้หม้อฆ่าเชื้อ

วัฏจักรโดยสมบูรณ์ของการใช้หม้อฆ่าเชื้อแบ่งเป็น 5 ขั้นตอนคือ

1. การนำผลิตภัณฑ์เข้า (Loading)
2. ช่วงการไล่อากาศ (Venting Period)
3. ช่วงการฆ่าเชื้อ (Cooking Period)
4. ช่วงการทำเย็น (Cooling Period)
5. การนำผลิตภัณฑ์ออก (Unloading)

2.5.1.1 การนำผลิตภัณฑ์เข้า (Loading)

เป็นการบรรจุกระป๋องเข้าหม้อฆ่าเชื้อ โดย

- นำกระป๋องใส่ตะกร้าแบบเรียงหรือไม่เรียง ต้องระวังไม่ให้กระป๋องบุง
- ต้องควบคุม Delay Time ของผลิตภัณฑ์อย่างเคร่งครัด
- การเข็นตะกร้าเข้าหม้อ ควรหลีกเลี่ยงการกระแทกอย่างรุนแรง
- ถ้ามีการใช้หม้อฆ่าเชื้อก่อนหน้านี้ ต้องแน่ใจว่าได้นำกระป๋องออกจากหม้อแล้ว
- ตรวจสอบว่าลว่น้ำและวาล์วลมว่าได้ปิดสนิท และปราศจากลมรั่ว
- ตรวจสอบเครื่องบันทึกอุณหภูมิว่าตั้งอุณหภูมิตรงตามที่กำหนดหรือไม่ เกจวัดความดัน และเทอร์โมมิเตอร์ ปกติดีหรือไม่
- ตรวจสอบอุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์

2.5.1.2 ช่วงการไล่อากาศ (Venting or Bring up Preiod)

เป็นช่วงการไล่อากาศ และตั้งอุณหภูมิให้ถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อ (Come up Time)

- เปิดท่อไอน้ำเพื่อไล่อากาศออกให้หมด
- วิธีการไล่อากาศจะต้องผ่านการตรวจสอบการกระจายความร้อน (Heat Distribution Test)

ตัวอย่างขั้นตอนการไล่อากาศ

1. เปิดท่อ Vent ท่อ Drain และ Bleeders อย่างเต็มที่
2. เปิดไอน้ำเข้าเต็มที่
3. ปิดท่อ Drain เมื่ออ่านอุณหภูมิได้มากกว่า 100 องศาเซลเซียส ตามเวลาที่กำหนด

4. ปิดท่อ Vent เมื่ออ่านอุณหภูมิได้มากกว่า 107 องศาเซลเซียส ตามเวลาที่กำหนด
5. ควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามอุณหภูมิที่ใช้น้ำเชื้อ

2.5.1.3 ช่วงการฆ่าเชื้อ (Cooking or Holding Preiod)

คือ ช่วงการควบคุมอุณหภูมิและเวลาให้ได้ตามที่กำหนด โดยผู้ควบคุมต้องรักษาอุณหภูมิให้คงที่ไม่เกิน ± 0.5 องศาเซลเซียส จากอุณหภูมิที่กำหนดตลอดเวลาการฆ่าเชื้อ

2.5.1.4 ช่วงการทำเย็น (Cooling Preiod)

ผลิตภัณฑ์หลังการฆ่าเชื้อแล้วต้องรีบทำเย็นทันทีเพื่อ

- Microbial shock ทำให้สปอร์ของจุลินทรีย์เสื่อมความสามารถในการเจริญเติบโต
- รักษาคุณภาพของอาหาร ไม่ให้เสื่อมคุณภาพจากความร้อนที่หลงเหลือ โดยอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เมื่อออกจากหม้อฆ่าเชื้อควรมีอุณหภูมิ 35 ถึง 40 องศาเซลเซียส และน้ำเย็นสำหรับทำเย็นผลิตภัณฑ์ควรมีอุณหภูมิต่ำและมีความสะอาด

ของเสียที่เกิดขึ้นในช่วงการทำเย็นมี 2 ลักษณะคือ

- การบวม (Peaking) เกิดจากความดันภายในกระป๋องผลิตภัณฑ์สูงกว่าความดันภายนอกจนฝาพาทนแรงดันไม่ได้จึงถูกดันออกจนเสียรูปเป็นสันนูน
- การบุบ (Paneling) เกิดจากภายในกระป๋องผลิตภัณฑ์เป็นสุญญากาศมาก และถูกแรงดันภายนอกกระป๋องกระทำตัวให้กระป๋องบุบ

ดังนั้น การทำเย็นจึงต้องใช้ลมเป่าเข้าไปรักษาความดันในหม้อฆ่าเชื้อเรียกว่า การทำเย็นแบบควบคุมความดัน (Pressure Cooling) โดยพนักงานควบคุมความดัน โดยดูจากเกจวัดความดัน

2.5.1.5 การนำผลิตภัณฑ์ออก (Unloading)

เป็นการนำกระป๋องออกจากหม้อฆ่าเชื้อโดย

- ตรวจสอบว่าน้ำถูกระบายออกจากหม้อฆ่าเชื้อหมดแล้ว โดยดูที่วาล์วระบายน้ำทิ้ง
- เปิดฝาหม้อฆ่าเชื้อ นำผลิตภัณฑ์ออกอย่างระมัดระวัง หลีกเลี่ยงการกระทบกระแทก จับตะกั่วกระป๋องผลิตภัณฑ์

2.6 หลักการฆ่าเชื้ออาหารกระป๋อง

การถนอมอาหารโดยใช้ความร้อน การเลือกใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ในการแปรรูป โดยการใช้ความร้อนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ต้องการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ การฆ่าเชื้อโดยการใช้ความร้อนหมายถึงการใช้ความร้อนหรือระดับอุณหภูมิสูงในช่วงเวลาสั้นๆ เพื่อทำลายสารพิษ จุลินทรีย์ เอ็นไซม์ พยาธิ และแมลงต่างๆ ในการแปรรูปและถนอมรักษาอาหาร โดยแบ่งวิธีการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์เป็น 2 วิธีคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 การใช้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์ (Pasteurization)

เป็นกระบวนการให้ความร้อนไม่รุนแรง โดยอุณหภูมิที่ใช้จะต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เพื่อยืดอายุของผลิตภัณฑ์อาหารให้นานหลายวัน เช่น นม และน้ำผลไม้ วิธีนี้สามารถใช้ในการถนอมอาหารได้โดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ และทำลายจุลินทรีย์ที่มีความทนทานต่อความร้อนต่ำ เช่น แบคทีเรียที่ไม่สร้างสปอร์ ยีสต์ และรา โดยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณค่าของอาหารน้อยที่สุด แบ่งได้ 2 วิธี

2.6.1.1 Low temperature long time (LTLT)

เป็นวิธีที่ให้ความร้อนต่ำประมาณ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แล้วทำให้เย็นทันที

2.6.1.2 High temperature short time (HTST)

เป็นวิธีที่ให้ความร้อนสูงประมาณ 72 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที แล้วทำให้เย็นทันที ข้อควรพิจารณาในการใช้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์ คือ

1. องค์ประกอบของอาหาร
2. pH เกลือ และน้ำตาล
3. คุณค่าทางโภชนาการ
4. จำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้น
5. จุลินทรีย์ที่รอดชีวิต (ต้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ)

การเก็บรักษาอาหารที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ คือ

1. เก็บในตู้เย็น (4 ถึง 10 องศาเซลเซียส) เช่น นมพาสเจอร์ไรซ์
2. เติมน้ำบางชนิด เช่น เติมน้ำตาลในน้ำผลไม้
3. ควบคุมสภาพปราศจากอากาศ เช่น บรรจุในสุญญากาศ
4. ตังน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ เช่น นมข้นหวาน
5. เติมวัตถุกันเสีย เช่น โซเดียมเบนโซเอตในน้ำผลไม้

2.6.2 การใช้ความร้อนในการสเตอริไลส์อาหาร

กระบวนการสเตอริไลส์ในเชิงการค้า (Commercial Sterilization) เป็นการใช้ความร้อนเพื่อลดจำนวนของจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ และจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียตลอดอายุการเก็บรักษา ผลที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ความร้อนในการแปรรูปหรือถนอมอาหารได้แก่ การลดปริมาณจุลินทรีย์และผลจากการที่อาหารมีคุณภาพด้อยลงทั้งทางด้านคุณค่าทางโภชนาการ รสชาติ และเนื้อสัมผัส กระบวนการให้ความร้อนแบบดั้งเดิมได้แก่ การผลิตอาหารบรรจุกระป๋องซึ่งอาหารจะถูกบรรจุในภาชนะปิดสนิท และนำไปสเตอริไลส์ในหม้อฆ่าเชื้อภายใต้ความดันโดยส่วนใหญ่ใช้ความร้อนจากไอน้ำ ในกรณีที่อาหารนั้นมีความหนืดต่ำความร้อนดังกล่าว

จะถูกถ่ายเทเข้าไปภายในกระป๋องโดยการพาความร้อน (Convective) หรือถ้าอาหารมีลักษณะเป็นของแข็งหรือมีความหนืดสูง ความร้อนจะถูกถ่ายเทเข้าไปภายในกระป๋องโดยการนำความร้อน (Conduction) ซึ่งการให้ความร้อนวิธีนี้จะต้องสเตอริไลส์ทุกส่วนของอาหาร ซึ่งสามารถทำให้อาหารบางส่วนได้รับความร้อนมากเกินไป (Overcooking) ซึ่งเป็นผลมาจากการถ่ายเทความร้อนที่ค่อนข้างช้า ในทางปฏิบัติอาหารบรรจุกระป๋องจะมีคุณสมบัติด้านรสชาติและเนื้อสัมผัสแตกต่างไปจากอาหารที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน ยกเว้นอาหารบางประเภทที่ผ่านการให้ความร้อนแล้วผู้บริโภคยอมรับสูงกว่า เช่น ถั่วบรรจุกระป๋อง (Tinned bean) และซूपมะเขือเทศ เป็นต้น

2.6.2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อระยะเวลาในการสเตอริไลส์อาหาร [5] ได้แก่

- จุลินทรีย์หรือเอนไซม์ที่ทนต่อความร้อนที่อาจมีอยู่ในอาหาร
- เส้นใยการให้ความร้อน
- pH ของอาหาร
- ขนาดของบรรจุภัณฑ์

2.6.2.2 ลักษณะทางกายภาพของอาหาร

การปรับปรุงคุณภาพของอาหารบรรจุกระป๋องนั้นสามารถกระทำได้หลายวิธี ได้แก่

1. ทำให้เกิดการหมุนเวียนของอาหารบรรจุกระป๋องภายในหม้อหนึ่งความดัน เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการพาความร้อนให้สูงขึ้น

2. ลดขนาดของภาชนะบรรจุลง เพื่อลดระยะเวลาในการที่ความร้อนจะเคลื่อนที่เข้าไปสู่จุดที่ร้อนช้าที่สุด (Cool point)

3. เปลี่ยนแปลงระบบการให้ความร้อนเพื่อลดการทำให้สุกมากเกินไป (Overcooking) ในชั้นอาหาร โดยเฉพาะอาหารที่ติดอยู่กับภาชนะบรรจุด้านใน

4. เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการสเตอริไลส์อาหาร โดยมีการศึกษาพบว่าปฏิกิริยาที่ลดปริมาณสปอร์ของแบคทีเรียลงนั้นมีพลังงานกระตุ้น (Activation energy) สูงกว่าปฏิกิริยาที่ทำให้อาหารมีคุณภาพด้อยลงเช่น ในการทำลายสปอร์ของ *Clostridium botulinum* จะมีค่าพลังงานกระตุ้นประมาณ 300 กิโลจูลต่อโมล ในขณะที่พลังงานกระตุ้นเพื่อทำให้เอนไซม์สูญเสียกิจกรรมมีค่าประมาณ 120 กิโลจูลต่อโมล ซึ่งหมายความว่าในการผลิตอาหารบรรจุกระป๋องที่มีคุณภาพสูงสุดจะต้องใช้อุณหภูมิสูงสุดเท่าที่จะทำได้ซึ่งจะได้ผลดีที่สุดเมื่อดำเนินการในระบบต่อเนื่อง

(Continuous) กระบวนการนี้ประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่

- ส่วนที่ให้ความร้อน (Heating system) ซึ่งผลิตภัณฑ์ถูกทำให้ร้อนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ
- ส่วนที่ควบคุมอุณหภูมิ (Holding system) มักจะเป็นท่อที่วางในแนวนอนหรือเอียง

เล็กน้อย เพื่อที่จะใช้รักษาหรือคงอุณหภูมิให้นานพอในการสเตอริไลส์ผลิตภัณฑ์อาหาร

- ส่วนที่ทำให้เย็น (Cooling system) เพื่อลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ก่อนการบรรจุ

2.7 ผลของความร้อนต่อเชื้อจุลินทรีย์ [5]

ในการคำนวณเวลาในการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนมีลักษณะที่เกี่ยวข้องกับจูลินทรีย์อยู่ 3 ค่า คือ D Z และ F ตัวแปรเหล่านี้บอกให้ทราบถึงความทนทานต่อความร้อนของแบคทีเรียและประสิทธิภาพของความร้อนที่ใช้ในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์เป้าหมาย

1. ค่า D (Decimal Reduction Time หรือ Death Rate Constant)

ความสามารถในการทนทานต่อความร้อนของจุลินทรีย์ ถูกกำหนดให้แสดงอยู่ในรูปของค่า "D" (D Value) ซึ่งหมายถึงระยะเวลาเป็นนาทีที่ใช้ในการทำลายจำนวนสปอร์ของจุลินทรีย์ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนสปอร์ที่มีอยู่ โดยที่อุณหภูมิหนึ่งๆ จุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมีค่า D แตกต่างกันไป ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อค่า D ได้แก่ ชนิดของสปอร์และชนิดของอาหารที่สปอร์แขวนลอยอยู่ เป็นต้น

2. ค่า Z (Z Value)

ถ้าเราหาค่า D ของสปอร์ตัวเดียวกันที่หลายอุณหภูมิ แล้วแสดงข้อมูลที่ได้ในรูปของกราฟระหว่าง \log ของค่า D กับอุณหภูมิที่ใช้ในการหาค่า D แต่ละค่า เราจะได้ Thermal Death Time Curve (TDT) ค่า Z คือ จำนวนองศาฟาเรนไฮน์ หรือองศาเซลเซียสที่ต้องการเพื่อเปลี่ยน TDT ไป 1 Cycle หรืออุณหภูมิที่ทำให้ค่า D เปลี่ยนไปเป็น 10 เท่า

3. ค่า F (Sterilizing Value)

คือจำนวนนาทีที่อุณหภูมิหนึ่งๆ ใช้เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ทราบจำนวนในอาหารภายใต้สภาวะที่กำหนด ในการกล่าวถึงค่า F นั้นต้องบอกอุณหภูมิอ้างอิงและบอกค่า Z ของจุลินทรีย์ที่เป็นเป้าหมายด้วยเสมอ สัญลักษณ์ที่ใช้แทนคือ F^Z_T ถ้าค่าอุณหภูมิอ้างอิงเป็น 250 องศาฟาเรนไฮน์ และจุลินทรีย์เป้าหมายมีค่า Z เท่ากับ 18 องศาฟาเรนไฮน์ จะได้ F^{18}_{250} ซึ่งจะเขียนแทนด้วย F_0 ซึ่งเป็นจำนวนนาทีที่ 250 องศาฟาเรนไฮน์ ที่ใช้เพื่อที่จะทำลายจุลินทรีย์ดังกล่าวลงจำนวนหนึ่ง

ค่า F_0 เป็นค่าที่สำคัญมาก มักเรียกว่า Process Lethality ในกรณีที่ต้องการเปรียบเทียบกระบวนการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน เราอาจแสดงค่า F_0 หรือค่า Lethality (L) ที่อุณหภูมิอื่น ซึ่งค่านี้สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$L = 10^{(T-T_{ref})/Z} \quad (1)$$

ค่า L คือค่า F_0 ต่อนาที ซึ่งสามารถเปลี่ยน 1 นาที ที่อุณหภูมิอื่นมาเทียบเท่ากับ F_0 โดยคำนวณจากค่า F_0 เท่ากับ 1 เมื่อ T เท่ากับ 250 องศาฟาเรนไฮน์ ซึ่งทดสอบได้โดยการแทนค่าใน

สูตร (1) ค่า L มีประโยชน์ในการเปลี่ยนเวลาในการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิต่างๆ ให้เป็นเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อที่ 250 องศาฟาเรนไฮน์ ซึ่งเป็นพื้นฐานในการหาเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโดยวิธี General Method

ในระหว่างขั้นตอนการทำลายจุลินทรีย์ในอาหารบรรจุกระป๋อง อุณหภูมิภายในกระป๋องซึ่งนิยมวัดจากจุดที่เย็นที่สุดจะมีการเปลี่ยนไปตั้งแต่เริ่มให้ความร้อนจนกระทั่งการทำให้เย็นลง รวมเรียกว่า “Thermal Process Cycle” ซึ่งเราสามารถวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่เพิ่มขึ้น จากนั้นนำมาคำนวณหาค่า F_0 ของ Process ได้โดยสมการ (2)

$$F_0 = \int_0^1 L \cdot dt \quad (2)$$

เมื่อ	L	คือ	Lethality ที่เวลาต่างๆ
	T	คือ	อุณหภูมิที่จุดร้อนช้าที่สุดในภาชนะบรรจุ
	T	คือ	Reference Temperature (250 องศาฟาเรนไฮน์)
	t	คือ	เวลา (วินาที)
	F_0	คือ	Process Lethality

2.7.1 การคำนวณเวลาในการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน (Thermal Process Calculation)

ในการกำหนดอุณหภูมิและเวลาที่ถูกต้องในการฆ่าเชื้ออาหารนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องได้รับข้อมูลการให้ความร้อนหรือการทำให้อาหารเย็นลงในภาชนะบรรจุที่ถูกต้องและเที่ยงตรงด้วยการแทรกผ่านความร้อนเป็นข้อมูลที่ได้จากเส้นกราฟแทรกผ่านความร้อนและเส้นกราฟทำให้เย็น วิธีที่นิยมใช้มี 2 วิธี คือ

2.7.1.1 General หรือ Graphical method

เป็นการหาค่า Lethality ของกระบวนการฆ่าเชื้อที่สภาวะหนึ่งๆ ทำได้หลายวิธีโดยมีหลักการเดียวกันคือ วัดอุณหภูมิที่จุดร้อนช้าที่สุดของอาหารในกระป๋องที่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลาที่ฆ่าเชื้อตลอดช่วงเวลาการให้ความร้อนและช่วงต้นของการทำให้เย็น นั่นคือ จนอุณหภูมิที่จุดร้อนช้าลดลงมาถึง 200 องศาฟาเรนไฮน์ (เนื่องจากอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 200 องศาฟาเรนไฮน์ จะไม่มีผลในการฆ่าเชื้อ) โดยปกติมักวัดทุกๆ 1 นาที แล้วนำค่าอุณหภูมิที่วัดได้มาคำนวณจากสูตรในสมการ (1)

2.7.1.2 Formula method

เป็นวิธีใช้เวลาในการฆ่าเชื้อ (Process Time) ที่สภาวะอุณหภูมิของหม้อฆ่าเชื้อ (RT) และอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารกระป๋อง (IT) การหาระยะเวลาในการฆ่าเชื้อวิธีนี้จะอาศัยหลักการคำนวณโดยข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาพล็อตบนกระดาษ Semi logarithmic โดยเริ่มตั้งแต่เวลาที่เปิด

ไอน้ำเป็นต้นไปจนสิ้นสุดการทำให้เย็น เวลาที่อุณหภูมิของหม้อฆ่าเชื้อขึ้นถึงอุณหภูมิที่ต้องการ เรียกว่า “Come-up Time”

1. การเขียน Heat Penetration Curve

เป็นการพล็อตข้อมูลบนกระดาษ 3-Cycle Semi logarithmic โดยพล็อตข้อมูลบนสเกล logarithmic และเวลาบนเกลปกติ หลักการของวิธีคือการหา Heating Curve จากสมการการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก็คือ

$$\log (RT-CT) = -t/f_h + \log (j (RT-IT)) \quad (3)$$

เมื่อ CT คือ อุณหภูมิภายในกระป๋องที่จุดร้อนช้าที่สุด (องศาฟาเรนไฮน์)
 RT คือ อุณหภูมิของหม้อฆ่าเชื้อ (องศาฟาเรนไฮน์)
 IT คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารกระป๋อง (องศาฟาเรนไฮน์)

เมื่อพล็อตระหว่าง $\log (RT-CT)$ กับเวลา จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $-1/f_h$ ซึ่งก็คือเวลาที่ Heating Curve เปลี่ยนไป 1 log cycle หรือ 90 เปอร์เซ็นต์ นั่นเอง

สำหรับการพล็อตกราฟ สามารถพล็อตค่า CT ได้โดยตรง โดยกลับหัวท้ายของกระดาษกราฟ 180 องศา และให้กำหนดค่าบนบรรทัดบนสุดของ Cycle บนสุดด้วยค่า (RT-1) และบรรทัดแรกสุดของ Cycle ถัดลงมาเป็น (RT-10) และ (RT-100) ตามลำดับ แล้วพล็อตอุณหภูมิมบนสเกล Logarithmic นี้ ส่วนเวลาจะเริ่มจากซ้ายไปขวาคือ ตั้งแต่เริ่มทำการเปิดไอน้ำจนกระทั่งสิ้นสุดการให้ความร้อน ลากเส้นตรงผ่านข้อมูลที่มีอุณหภูมิตั้งแต่ 212 องศาฟาเรนไฮน์ เป็นต้นไป ซึ่งจะพบว่าในช่วงแรกอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ช่วงนี้คือ “lag” (j) ที่อาหารที่จุดร้อนช้าที่สุด (Cold point) มีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ lag นี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะการถ่ายโอนความร้อน ถ้าถ่ายโอนได้ช้าเช่น ในการนำความร้อน จะพบว่าส่วนโค้งนี้จะกว้างและกางออก ถ้าอาหารสามารถถ่ายโอนความร้อนได้เร็วแบบการพาความร้อนส่วนที่เป็นเส้นโค้งจะสั้น Heating Curve ที่มีส่วนที่เป็นเส้นตรงนี้เรียกว่า “Simple heating curve”

ในบางกรณีจะพบว่าอาหารนั้นมี Heating curve ส่วนที่เป็นเส้นตรงมากกว่า 1 เส้น ซึ่งจะเรียกว่า “Broken heating curve” ตัวอย่างอาหารแบบนี้เช่น อาหารที่มีลักษณะการถ่ายโอนความร้อนแบบผสม (Complex Heating)

2. คำจำกัดความของพารามิเตอร์ต่างๆ

- ค่า f_h และ f_c หมายถึง เวลาที่ต้องการสำหรับส่วนของกราฟที่เป็นเส้นตรงของ Heating Curve และ Cooling Curve เปลี่ยนไป 1 cycle หรือ 90 เปอร์เซ็นต์ โดยค่า f_h และ f_c นี้จะบอกถึงความเร็วในการเพิ่มหรือลดของอุณหภูมิที่จุดร้อนช้าที่สุด ตัวอย่างเช่น กระป๋อง 2 กระป๋อง

ซึ่งมีขนาดต่างกันภายในบรรจุวัสดุชนิดเดียวกัน ค่า f_h ของกระป๋องขนาดเล็กจะมีค่าน้อยกว่าค่า f_c ของกระป๋องขนาดใหญ่ ในกรณีที่ไม่ได้สร้าง Cooling curve อาจประมาณค่า $f_h = f_c$

- ค่า 'IT' หมายถึง Pseudo – initial temperature ซึ่งหมายถึงจุดตัดของส่วนที่เป็นเส้นตรงกับแกนอุณหภูมิที่เวลา Correct zero

- IT คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของกระป๋อง

- RT คือ อุณหภูมิของหม้อฆ่าเชื้อ

- ค่า j_h และ j_c คือ lag factor สำหรับ Heating curve และ Cooling curve เป็น lag time

ก่อนที่ผลต่างของ (RT-CT) จะเป็นเส้นตรงคำนวณจากสมการ (4)

$$j = (RT - IT) / (RT - IT) \quad (4)$$

เมื่อ $j = 1$ จะมีลักษณะการถ่ายโอนความร้อนเป็นแบบพาความร้อน (Pure Convection)

$j = 2$ จะมีลักษณะการถ่ายโอนความร้อนเป็นแบบนำความร้อน (Pure Conduction)

$1 < j < 2$ จะมีลักษณะการถ่ายโอนความร้อนเป็นแบบผสมระหว่างการพาความร้อนและการนำความร้อน

โดยค่า j_h และ j_c จะบอกถึงลักษณะการถ่ายโอนความร้อน

CZ (corrected zero) คือ เวลาที่เริ่มต้น process ที่แก้ไขแล้วจะคิดจาก 60 เปอร์เซ็นต์ ของ come-up time (CUT)

Thermal diffusivity คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน ∞ มีหน่วยเป็น (ตารางเมตรต่อวินาที) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$\infty_h = 0.398 / ((1/R^2) + (0.427/H^2)) f_h \quad (5)$$

$$\infty_c = 0.398 / ((1/R^2) + (0.427/H^2)) f_c \quad (6)$$

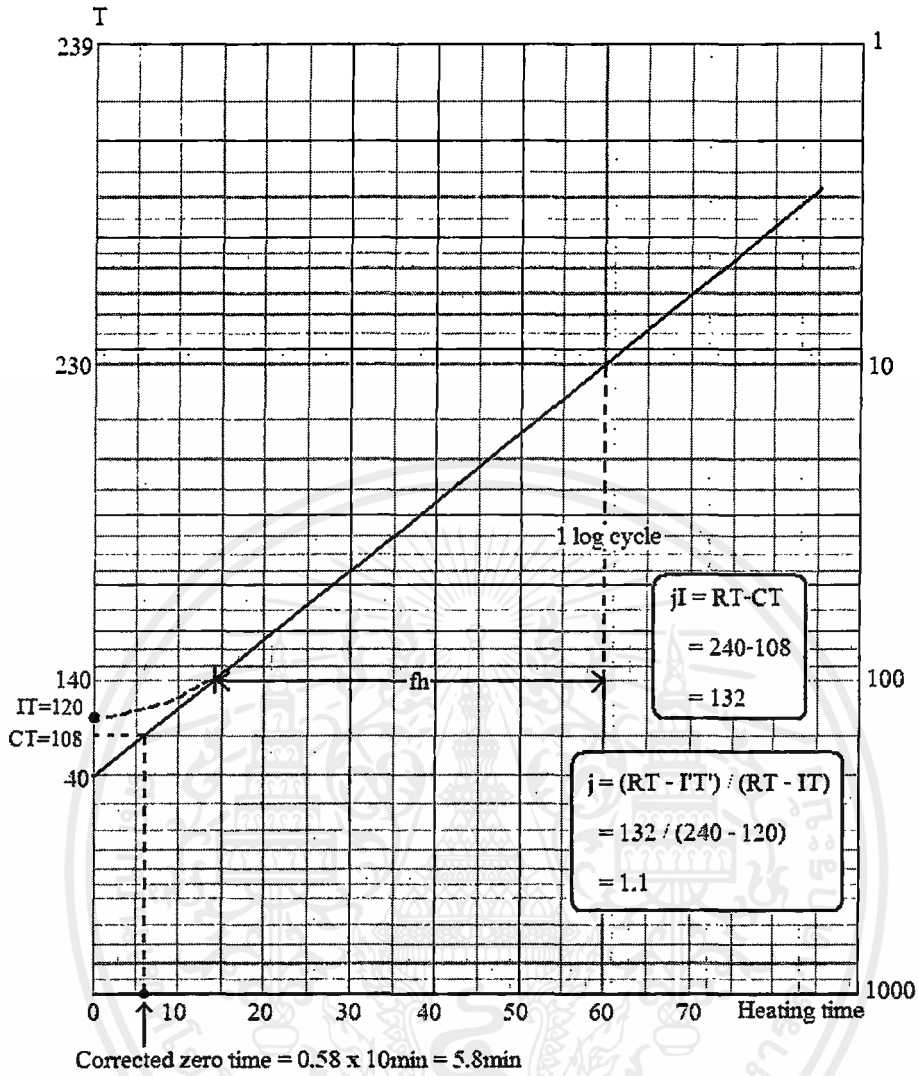
เมื่อ ∞_h คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนในช่วงของการให้ความร้อน (ตารางเมตรต่อวินาที)

∞_c คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนในช่วงของการ cooling (ตารางเมตรต่อวินาที)

R คือ รัศมีของกระป๋อง (เมตร)

H คือ ความสูงของกระป๋อง (เมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงการอ่านค่าค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

ตัวอย่าง ในการทดลองเก็บข้อมูลทาง Heat penetration ของอาหารในกระป๋องขนาด 303×406 มิลลิเมตร อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารเท่ากับ 120 องศาฟาเรนไฮน์ อุณหภูมิในการฆ่าเชื้อเท่ากับ 240 องศาฟาเรนไฮน์ CUT เท่ากับ 10 นาที

$$\begin{aligned} CZ &= 0.58 \times 10 \\ &= 5.8 \text{ นาที} \end{aligned}$$

จากรูป อ่านค่าที่ CZ = 5.8 นาที ได้ I'T' = 120

$$j = (RT - I'T') / (RT - IT)$$

$$\begin{aligned}
 &= 132 / (240 - 120) \\
 &= 1.1 \\
 f_h &= 46
 \end{aligned}$$

2.8 ความหนืดคุณลักษณะเฉพาะของของไหล [14]

ความหนืด (Viscosity) คือ ความสามารถในการต้านทานการไหลของของไหล เมื่อมีแรงกระทำ (ของไหล หมายถึง สารที่สามารถไหลได้เช่น ก๊าซ และของเหลว) ของไหลที่มีความหนืดสูงจะมีค่าความต้านทานต่อการไหลสูง ของไหลที่มีความหนืดต่ำจะมีค่าความต้านทานต่อการไหลต่ำ ของไหลธรรมดาสามารถที่จะแสดงค่าความหนืดสัมบูรณ์ได้ แต่ในขณะที่ของไหลที่มีส่วนผสมของสารหลายตัวจะมีลักษณะการไหลที่ซับซ้อน และไม่สามารถแสดงค่าความหนืดค่าเดียวได้ การวัดความหนืดทำได้โดยการวัดแรงต้านทานการไหลภายในของของไหล เมื่อมีแรงกระทำ (F) ในแนวขนานกับพื้นผิว เรียกแรงต้านที่เกิดขึ้นนี้ว่า “แรงเฉือน” (Shear force) เมื่อพิจารณาถึงก้อนของของไหลซึ่งประกอบด้วยแผ่นโมเลกุลที่ขนานกัน (ดังรูปที่ 2.2) ชั้นที่อยู่ล่างสุดของของไหลจะถูกยึดไว้ ถ้าแผ่นด้านบนของของไหลได้รับแรงกระทำให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ แผ่นด้านล่างถดถอยไปจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะทางจากแผ่นของไหล ชั้นล่างสุดที่ไม่เคลื่อนที่ ความแตกต่างของความเร็ว (dv) ระหว่างของไหลสองแผ่นกับระยะทางที่เปลี่ยนไป (dx) คืออัตราเฉือน (Shear rate) ที่อยู่ในเทอมของ Velocity gradient (dv/dx, S) ค่าแรงต่อหน่วยพื้นที่ (F/A) ที่ทำให้เกิดการไหลเรียกว่า แรงเฉือนต่อหน่วยพื้นที่ (Shear stress หรือ F') ถ้าของไหลมีความหนืดสูงขึ้นก็ต้องใช้แรงเฉือนที่สูงขึ้นเพื่อให้ได้อัตราเฉือนเท่าเดิม ดังนั้นอัตราเฉือนจึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงเฉือน ดังสมการ (7)

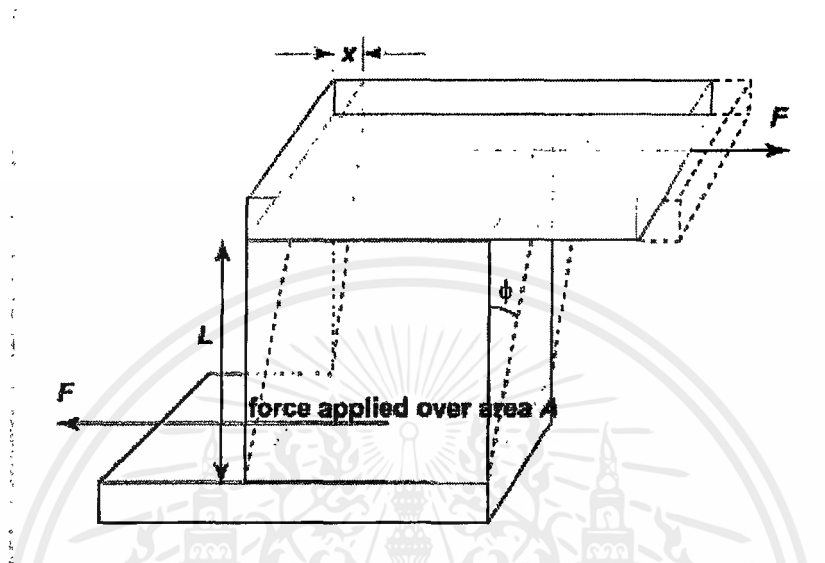
$$F/A = \eta (dv/dx) \quad (7)$$

เมื่อ η คือ สัมประสิทธิ์ของความหนืด (coefficient of viscosity) หรือเรียกง่าย ๆ ว่า “ความหนืด” ตามหลักของ เซอร์ ไอแซก นิวตัน (I Sac Newton) กำจำกัดความของความหนืดสามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ ดังสมการ (8)

$$\eta = F'/S \quad (8)$$

เมื่อ	η	คือ	ความหนืด (พอยซ์)
	F'	คือ	แรงเฉือนต่อหน่วยพื้นที่ (ปาสคาล)
	S	คือ	อัตราเฉือน (1/วินาที)

โดย 1 พอยซ์ คือ แรงที่ใช้ทำให้ของเหลวที่มีพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางเซนติเมตร หนา 1 เซนติเมตร เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว (เซนติเมตรต่อวินาที) ซึ่ง 1 พอยซ์ เท่ากับ 100 เซนติเมตรพอยซ์



รูปที่ 2.2 แสดงการเกิด velocity gradient เมื่อมีแรงกระทำในแนวนอนกับพื้นผิวของของไหล [15]

2.9 ลักษณะการไหลของของไหล

ลักษณะการไหลของของไหลโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้ 2 แบบ

2.9.1 Newtonian Fluid

เป็นลักษณะการไหลของของไหลที่เป็นไปตามการสันนิษฐานของนิวตัน คือ ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ ของไหลจะมีค่าความหนืดเป็นค่าคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงขึ้นกับอัตราเลื่อนหรือความเร็วในการกวนไม่ว่าจะกวนเร็วหรือกวนช้า ตัวอย่างเช่น น้ำ น้ำมัน น้ำเชื่อม น้ำผลไม้ น้ำผึ้ง นมกาแฟ กลีเซอริน และแอลกอฮอล์ เป็นต้น

2.9.2 Non Newtonian Fluid

เป็นลักษณะการไหลของของไหลที่ไม่เป็นไปตามการสันนิษฐานของนิวตัน คือ ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ ของไหลมีค่าความหนืดเป็นค่าไม่คงที่ การเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับอัตราเลื่อนหรือความเร็วในการกวน ลักษณะการไหลแบบนี้แบ่งเป็น 4 แบบ ได้แก่

2.9.2.1 Pseudoplastic

ของไหลที่มีค่าความหนืดลดลงเมื่อเพิ่มอัตราเฉือนหรือยิ่งกววนเร็วยิ่งไหลง่าย พฤติกรรมแบบนี้แสดงสมบัติเป็น Shear thinning ตัวอย่างเช่น น้ำผลไม้เข้มข้น กาวน้ำใส สารช่วยแขวนตะกอน สารละลายพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ และสารละลายพอลิเมอร์สังเคราะห์ เป็นต้น

2.9.2.2 Dilatant

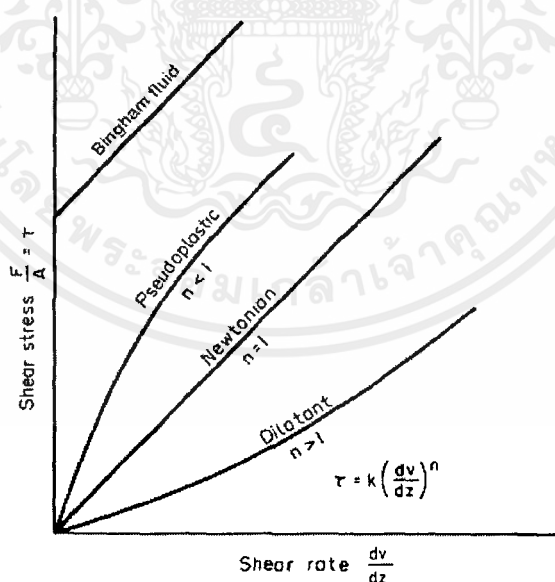
ของไหลที่มีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราเฉือนหรือยิ่งกววนเร็วยิ่งหนืด พฤติกรรมแบบนี้แสดงสมบัติเป็น Shear thickening เช่น น้ำดินขุ่น และน้ำแป้ง เป็นต้น

2.9.2.3 Bingham Plastic

ของไหลที่เมื่อมีแรงกระทำสูงพอจึงจะเกิดลักษณะการไหลแบบ Newtonian Fluid เช่น ยาสีฟัน น้ำสลিপของเซรามิก และนมช็อกโกแลต เป็นต้น

2.9.2.4 Plastic

ของไหลที่เมื่อมีแรงกระทำสูงพอเพื่อเอาชนะค่าความเค้น ณ จุดคราก (Yield stress) ถึงจะเริ่มไหลได้ และจะไหลแบบ Pseudo plastic หรือตามโมเดลของ Herschel-Buckley เช่น ซอสมะเขือเทศ สี ดินเหนียว มายองเนส และยาน้ำแขวนตะกอน เป็นต้น



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงลักษณะการไหลของของเหลว [16]

เนื่องจากความหนืดเป็นลักษณะเฉพาะตัวของของไหลแต่ละชนิด การวัดค่าความหนืดจึงเป็นการหาลักษณะเฉพาะของของไหล ลักษณะการไหลจะเป็นการตอบสนองคุณสมบัติต่างๆ ของของไหล เช่น น้ำหนักโมเลกุล และการกระจายตัวของโครงสร้างโมเลกุล ซึ่งจากความสัมพันธ์นี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในขบวนการผลิตภาคอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับของเหลว เช่น สาเหตุของการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีในขบวนการผลิต การสังเคราะห์พอลิเมอร์ การขึ้นรูปพอลิเมอร์ การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการผลิต ควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์ได้กับการเตรียมวัตถุดิบที่เป็นของเหลวเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตและการควบคุมคุณภาพของยาได้อีกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หม้อฆ่าเชื้อ

3.1 กระบวนการหม้อฆ่าเชื้อ [2]

กระบวนการฆ่าเชื้ออาหารกระป๋องถือว่าเป็นจุดวิกฤติที่ต้องควบคุม สำหรับกระบวนการวิเคราะห์อันตรายจุดสำคัญที่ต้องควบคุม (Hazard Analysis Critical Control Point concept : HACCP) ซึ่งเป็นระบบป้องกันการควบคุมการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เกี่ยวข้องกับอันตรายจากเชื้อจุลินทรีย์ โดยในปัจจุบันเริ่มมีการบังคับให้โรงงานผลิตอาหารต้องผ่านการตรวจสอบระบบ HACCP ด้วย ดังนั้นสำหรับโรงงานผลิตอาหารกระป๋อง ระบบที่ใช้ควบคุมกระบวนการหม้อฆ่าเชื้อต้องเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติเท่านั้น

หม้อฆ่าเชื้ออาหารกระป๋องคือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่อาหารกระป๋องโดยผ่านตัวกลางไอน้ำหรือน้ำร้อนเพื่อทำลายจุลินทรีย์หรือสปอร์ภายในภาชนะปิดสนิท สร้างจากโลหะหนา ประกอบเป็นรูปทรงปิดที่มีฝาครอบ ซึ่งสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัยที่ความดัน 30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรือมากกว่า หม้อฆ่าเชื้อต้องมีส่วนประกอบต่างๆ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานประเภทของหม้อฆ่าเชื้อ

หม้อฆ่าเชื้อที่ใช้กันมีอยู่หลายประเภท ซึ่งสามารถแบ่งได้ตามลักษณะต่างๆ ดังนี้

1. แบ่งตามลักษณะการฆ่าเชื้อ
2. แบ่งตามลักษณะการหมุนของกระป๋อง หรือการบรรจุ
3. แบ่งตามการวางของหม้อฆ่าเชื้อ
4. แบ่งตามตัวกลางการให้ความร้อน

3.1.1 ประเภทของหม้อฆ่าเชื้อแบ่งตามลักษณะการฆ่าเชื้อ

3.1.1.1 หม้อฆ่าเชื้อแบบทำงานเป็นรอบการทำงาน (Discontinuous Batch Retort)

หม้อฆ่าเชื้อประเภทนี้เป็นเครื่องมือที่เก่าที่สุดที่ใช้ในการแปรรูปด้วยความร้อน (Thermal Processing) ซึ่งนิยมใช้ในโรงงานอาหารกระป๋องทั้งขนาดใหญ่และเล็ก รวมทั้งผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในภาชนะแก้วด้วย

วิธีการโดยพื้นฐานประกอบด้วยการนำตะกร้าภาชนะเข้าไปยังภาชนะเหล็ก ปิดฝาหม้อและให้ความร้อน โดยมีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ โดยระยะเวลาที่ให้ความร้อนหาได้จากอัตราถ่ายเทความร้อนเข้าไปยังภาชนะ เมื่อได้เวลาตามที่กำหนดแล้วจะให้ความเย็นโดยการปิดท่อจ่ายความร้อน แล้วเปิดน้ำเย็นเข้าไป อย่างไรก็ตามภาชนะบรรจุโลหะขนาดใหญ่ และขวดแก้วที่มีฝาแบบกด

(Press-on) จำเป็นต้องกำจัดความดันอากาศก่อนเริ่มต้นให้ความเย็น เนื่องจากความดันที่แตกต่างระหว่างภายนอกและภายในภาชนะจะทำให้กระป๋อง โค้งงอ (Buckle) และฝ่าหลุดได้ (Dislodge)

หม้อฆ่าเชื้อแบบทำงานเป็นรอบการทำงานมักนิยมใช้กันมาก แม้ว่าจะต้องใช้แรงงานมากก็ตาม เนื่องจากสามารถใช้ได้กับภาชนะขนาดใดก็ได้ และยังใช้ได้กับอาหารชนิดต่างๆ กัน

3.1.1.2 เครื่องฆ่าเชื้อแบบทำงานต่อเนื่อง (Continuous Retort)

1. Continuous Pressure Cooker-Cooler เป็นเครื่องฆ่าเชื้อที่ไม่มีภาชนะ ภาชนะจะอยู่บนล้อหมุนหรือสายพาน ส่วนที่ให้ความร้อนเบื้องต้น การฆ่าเชื้อและการทำให้เย็น การส่งผ่านไปแต่ละส่วนซึ่งมีความดันแตกต่างกันกระทำโดยใช้ตัวล๊อคความดัน

2. Continuous Rotary Sterilizer กระป๋องจะเคลื่อนที่ไปตามทางที่เป็นวงก้นหอย ซึ่งยึดแน่นกับผนังด้านในของกระบอกทั้งสามส่วน ส่วนปีก (Flanges) ซึ่งติดกับเส้นรอบวงดังกล่าวที่หมุนอย่างช้าๆ จะส่งกระป๋องไปรอบตลอดความยาวของแต่ละส่วนของทรงกระบอก โดยมีตัวล๊อคความดันช่วยขนถ่ายเข้าและออกจากเครื่อง และระหว่างนั้นการกวนภายในกระป๋องจะเกิดขึ้นจากการหมุนและคลื่นไปลงขณะที่กระป๋องเคลื่อนที่รอบวงโค้ง (Helix)

เครื่องฆ่าเชื้อประเภทนี้มีความจุสูงถึง 500 กระป๋องต่อนาที และทำให้การฆ่าเชื้อเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ แต่มีข้อเสียคือ กระป๋องจำนวนมากจะได้รับความร้อน ณ เวลาหนึ่งๆ ดังนั้นถ้ามีการขาดช่วงขึ้นระหว่างการขนถ่ายจะทำให้เกิดปัญหาขึ้น รวมทั้งเกิดความเครียดจากความดัน (Presser Strain) และเกิดการช็อคเนื่องจากความร้อน (Thermal Shock)

3. Hydrostatic Sterilizer เครื่องฆ่าเชื้อชนิดนี้จะใช้วิธีกักไอน้ำด้วยคอลัมน์น้ำ กระป๋องจะเคลื่อนที่ผ่านหอไอน้ำ (Steam Tower) แล้วได้รับความดันจากน้ำที่อยู่ในคอลัมน์ (Water Column) สายพานประกอบด้วยคู่อ้อยหมุนที่เคลื่อนที่อย่างช้าๆ (ประมาณ 2 เมตรต่ออนาที) กระป๋องจะเคลื่อนที่ในลักษณะแนวอนตามแนวยาวกระป๋อง ซึ่งช่วยถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อนภายในกระป๋อง

กระป๋องจะเข้าสู่ส่วนที่ให้ความร้อนเบื้องต้น (Lag) ในท่อของน้ำที่เป็นรูปตัวยู จะพบว่าอุณหภูมิเริ่มต้นของส่วนนี้ประมาณ 82 ถึง 88 องศาเซลเซียส และทางออกประมาณ 107 ถึง 118 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นกระป๋องจะเคลื่อนที่ไปยังห้องไอน้ำ (Steam Chamber) ภายในช่วงเวลาที่เหมาะสมค่าหนึ่ง ซึ่งกระป๋องจะเคลื่อนที่ขึ้นและลง และออกจากห้องนี้ไปยังท่อน้ำรูปตัวยูด้านหนึ่ง จากนั้นจะให้ความเย็นแก่กระป๋อง

เครื่องฆ่าเชื้อแบบนี้มีข้อดี คือ อาหารและกระป๋องเกิดการช็อคเนื่องจากอุณหภูมิและความดันน้อยที่สุด ใช้ได้กับภาชนะบรรจุทุกชนิด และใช้ไอน้ำและน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.1.2 ประเภทของหม้อฆ่าเชื้อแบ่งตามลักษณะการหมุนของกระป๋องหรือการบรรจุ

3.1.2.1 หม้อฆ่าเชื้อที่มีการหมุนของบรรจุภัณฑ์ขณะฆ่าเชื้อ (Agitation Retort)

ลักษณะการหมุนในขณะฆ่าเชื้อนั้น ภายในจะสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าแบบไม่หมุน ดังนั้นจึงประหยัดพลังงานได้มากกว่า แต่ราคาค่อนข้างแพง

3.1.2.2 หม้อฆ่าเชื้อที่ไม่มีมีการหมุนของบรรจุภัณฑ์ขณะฆ่าเชื้อ (Non-agitation Retort)

หม้อฆ่าเชื้อแบบไม่หมุนจะใช้พลังงานมากกว่าเนื่องจาก มีการถ่ายเทความร้อนภายในได้ช้ากว่า แต่ส่วนใหญ่ยังใช้กันอยู่มากเนื่องจากราคาถูก

3.1.3 ประเภทของหม้อฆ่าเชื้อแบ่งตามลักษณะการวางของหม้อฆ่าเชื้อ

3.1.3.1 หม้อฆ่าเชื้อแบบตั้ง (Vertical Retort)

หม้อฆ่าเชื้อแบบนี้ไม่ค่อยเป็นที่นิยมใช้ เนื่องจากโหลคของบรรจุภัณฑ์และไม่สะดวก แต่ก็มีข้อดีคือ ประหยัดพื้นที่

3.1.3.2 หม้อฆ่าเชื้อแบบนอน (Horizontal Retort)

เป็นแบบที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากสะดวกในการขนย้ายบรรจุภัณฑ์

3.1.4 ประเภทของหม้อฆ่าเชื้อแบ่งตามตัวกลางให้ความร้อน

3.1.4.1 หม้อฆ่าเชื้อที่ใช้ไอน้ำในการฆ่าเชื้อ

หม้อฆ่าเชื้อประเภทนี้เป็นที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากราคาถูกกว่าแบบใช้น้ำร้อนมาก และการปฏิบัติงานส่วนใหญ่ยังใช้พนักงานเป็นผู้ควบคุมการทำงาน แต่มีข้อเสียคือใช้ได้เฉพาะบรรจุภัณฑ์ที่เป็นกระป๋องเท่านั้น

3.1.4.2 หม้อฆ่าเชื้อที่ต้องใช้ความดันสูงในการฆ่าเชื้อ

หม้อฆ่าเชื้อประเภทนี้ส่วนใหญ่พบในอุตสาหกรรมขนาดกลางและใหญ่ เนื่องจากมีราคาแพงและต้องใช้พนักงานควบคุมที่มีความชำนาญ โดยมีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ได้ดีมาก และใช้กับบรรจุภัณฑ์ได้หลากหลายเช่น ขวดแก้ว และถุงพลาสติก เป็นต้น สามารถแบ่งเป็นแบบต่างๆ ได้ดังนี้

1. ใช้น้ำร้อนความดันสูง

- Water Immersion Retort
- Water Cascading Retort
- Water Spray Retort

2. ใช้น้ำและอากาศผสมกันโดยใช้พัดลมดูดไอน้ำและอากาศที่ผสมกันเข้ามาให้ความร้อนภายใน ซึ่งทำให้การกระจายความร้อนดีมาก

3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายความร้อนภายในหม้อฆ่าเชื้อ (Critical Factors that Affect Temperature Distribution in Retort) [4]

- อุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ (Initial Temperature) ในสถานะที่อุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์มีค่าต่ำ จะทำให้ต้องกำหนดช่วงเวลาที่ใช้ในการไล่อากาศนานขึ้น
- ลักษณะการออกแบบหม้อฆ่าเชื้อและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง (Retort Design) ลักษณะและรูปร่างของหม้อฆ่าเชื้อแต่ละตัวมีผลต่อการกระจายความร้อน รวมถึงการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ ขนาดของท่อที่ติดตั้งเข้ากับตัวถังของหม้อฆ่าเชื้อควรเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ หรือการเจาะรูตัวถังหม้อฆ่าเชื้อเพิ่มเติมจะมีผลต่อการกระจายความร้อนของไอน้ำ ดังนั้นจึงต้องทำการทดสอบการกระจายความร้อนใหม่
- ปริมาณการบรรจุ (Number of Container) ถ้าปริมาณการบรรจุน้อยก็จะช่วยลดเวลาที่ใช้ในการไล่อากาศลง แต่ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการฆ่าเชื้อในแต่ละครั้งก็จะมีค่าน้อยลงด้วย ดังนั้นจึงควรหาจุดที่เหมาะสมระหว่างเวลาที่ใช้ในการทำงานแต่ละครั้ง แต่ในการทำงานจริงมักจะบรรจุกระป๋องเข้าไปจนเต็มแล้วใช้ความดันไอน้ำสูงๆ เพื่อลดช่วงเวลากการไล่อากาศให้น้อยลงเพื่อสามารถฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ให้ได้ปริมาณมาก ใช้เวลาน้อย เพื่อเป็นการลดต้นทุนค่าแรงงาน
- ขนาดและรูปร่างของกระป๋อง (Size and Dimension of Can) การกระจายความร้อนภายในหม้อฆ่าเชื้อขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของกระป๋อง การใช้กระป๋องขนาดเล็กจะทำให้เวลาที่ใช้ในการกระจายความร้อนภายในหม้อฆ่าเชื้อเพิ่มขึ้น
- การจัดเรียงกระป๋องภายในตะกร้า (Can Configuration) การจัดเรียงกระป๋องและการใช้แผ่นกั้น (Divider Plate) ในการฆ่าเชื้อมีผลต่อการกระจายความร้อนในหม้อฆ่าเชื้อเป็นอย่างมาก เนื่องจากการจัดเรียงกระป๋องและการใช้แผ่นกั้น เป็นสิ่งที่กำหนดทางเดินของไอน้ำไหลจากรอบๆ ตะกร้าและท่อไอน้ำไปสู่กระป๋องที่อยู่ภายในตะกร้า เช่น กรณีใช้แผ่นกั้นจะทำให้ไอน้ำไม่สามารถไหลผ่านขึ้นลงระหว่างแต่ละชั้นของกระป๋องได้สะดวก ทำให้ต้องใช้เวลาในการไล่อากาศนานขึ้นและการกระจายความร้อนเลวลง หรือกรณีที่การจัดเรียงกระป๋องแบบสลับจะทำให้ไอน้ำไหลเข้าสู่ภายในตะกร้าได้ช้ากว่าในกรณีเรียงแบบวางซ้อนกันตรงๆ เพราะการเรียงแบบสลับกระป๋องเป็นตัวขัดขวางการไหลของไอน้ำที่เข้าสู่ภายในตะกร้า

3.3 การกระจายความร้อนภายในหม้อฆ่าเชื้อ [4]

ในช่วงเวลาเริ่มต้นของการระบายอากาศในหม้อฆ่าเชื้อ หม้อฆ่าเชื้อเริ่มมีอุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากได้รับความร้อนจากไอน้ำที่ป้อนเข้าหม้อฆ่าเชื้อ อากาศที่อยู่ภายในจะเริ่มมีอุณหภูมิสูงขึ้น

และถูกระบายออกจากหม้อน้ำเชื้อทางท่อระบายอากาศด้านบน ไอน้ำที่เข้ามาแทนที่อากาศภายในหม้อน้ำเชื้อทำให้อุณหภูมิของหม้อน้ำเชื้อสูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ ซึ่งเป็นการสิ้นสุดช่วงเวลาในการไล่อากาศภายในหม้อน้ำเชื้อ ส่วนน้ำที่ได้จากการกลั่นตัว (Condensate) จะถูกกำจัดออกโดยกั๊บดักไอน้ำ (Stream Trap) ออกทางส่วนล่างของหม้อน้ำเชื้อ

การระบายอากาศที่อยู่ภายในหม้อน้ำเชื้อจะปรากฏว่า อากาศที่อยู่ตามช่องว่างระหว่างกระป๋องจะถูกระบายออกไปได้ช้ากว่า อากาศที่อยู่ตามช่องว่างระหว่างตะกร้ากับผนังหม้อน้ำเชื้อ โดยเฉพาะอากาศที่อยู่บริเวณกระป๋องที่อยู่กลางๆ มักจะถูกระบายออกได้ยาก ดังนั้นหากทางระบายอากาศไม่ถูกเปิดออกให้กว้างเต็มที่ในเวลาที่นานเพียงพอ ก็จะมีอากาศบางส่วนที่แทรกอยู่ในบริเวณช่องว่างระหว่างกระป๋อง

ปัญหาของการระบายอากาศขึ้นอยู่กับ การเปิดทางระบายอากาศกว้างเต็มที่ในเวลายาวนานเท่าใดจึงจะเป็นที่แน่ใจว่า อากาศทั้งหมดถูกไล่ออกจากภายในหม้อน้ำเชื้อได้หมดก่อนที่จะนำไปสู่อุณหภูมิฆ่าเชื้อ ปัญหาการระบายอากาศนั้นไม่สามารถประเมินได้จากการสังเกตอุณหภูมิหม้อน้ำเชื้อ ในทางปฏิบัติอุณหภูมิที่ทำการไล่อากาศมักสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลาที่อุณหภูมิเกิน 100 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นค่อนข้างช้าและมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อย่างไรก็ตามกราฟบันทึกอุณหภูมิที่ผู้ควบคุมซึ่งอ่านได้ในช่วงเวลาก่อนถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อไม่อาจแสดงถึงผลการระบายอากาศได้สมบูรณ์

ในช่วงเวลาสุดท้ายของการระบายอากาศ เมื่อปิดทางระบายอากาศอุณหภูมิภายในหม้อน้ำเชื้อจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และค่อยๆ ช้าลงเมื่อใกล้ถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อ ในขั้นนี้ถือว่ามีเฉพาะไอน้ำบริสุทธิ์เข้าหม้อน้ำเชื้อ ดังนั้นอุณหภูมิจึงแปรผันกับความดัน แต่นั่นก็ไม่ใช่ว่าการไล่อากาศอย่างสมบูรณ์ วิธีการตรวจสอบการไล่อากาศจะพิจารณาจากข้อมูลการกระจายความร้อนภายในหม้อน้ำเชื้อ ซึ่งพบว่าบริเวณที่มีอากาศตกค้างอยู่ทำให้ไอน้ำเข้าไม่ถึง และการไหลเวียนของไอน้ำไม่ดีพอทำให้อุณหภูมิลดลงต่ำกว่าบริเวณอื่นแต่ความดันและอุณหภูมิหม้อน้ำเชื้อคงที่ ในหม้อน้ำเชื้อแบบตั้งมักพบว่าจุดที่มีอุณหภูมิต่ำจะอยู่บริเวณกึ่งกลาง แต่ในหม้อน้ำเชื้อแบบนอนไม่สามารถบอกได้ว่าอยู่ที่จุดใดเพราะมีความแตกต่างกันในการวางตำแหน่งของอุปกรณ์

3.4 การถ่ายเทความร้อน [4]

ในกระบวนการแปรรูปอาหารที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อน ไม่ว่าจะเป็นการถ่ายเทเข้ามาหรือออกไป ความร้อนเกิดการถ่ายเทได้ 3 แบบ คือ การแผ่รังสีความร้อน การนำความร้อน และการพาความร้อน การแผ่รังสีความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น การใช้เครื่องอย่างไฟฟ้า การนำความร้อนเป็นการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการถ่ายเทความร้อนโดยตรงจากพลังงานของโมเลกุลภายในของแข็งเช่น การถ่ายเทผ่านภาชนะบรรจุโลหะหรืออาหารแข็ง การพาความร้อนเป็นการถ่ายเทโดยกลุ่มโมเลกุลซึ่งเกิดการเคลื่อนที่เนื่องจากมีความหนาแน่น

ต่างกัน เช่น อากาศที่ได้รับความร้อนหรือมีการกวน และของเหลวที่ถูกกวน โดยทั่วไปจะเกิดการถ่ายเทความร้อนทั้ง 3 แบบพร้อมกัน แต่การถ่ายเทความร้อนชนิดหนึ่งอาจสำคัญกว่าอีก 2 ชนิดตามแต่กรณี

การถ่ายเทความร้อนแบบสภาวะคงที่ (Steady - state) จะเกิดขึ้นเมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างวัตถุสองชนิดมีค่าคงที่ อย่างไรก็ตามอุณหภูมิของอาหารหรือตัวกลางในการให้ความร้อนหรือทำให้เย็นในกระบวนการแปรรูปอาหารส่วนใหญ่มักจะเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ จะเป็นแบบสภาวะไม่คงที่ (Unsteady - state)

3.4.1 การนำความร้อน

อัตราการถ่ายเทความร้อน โดยการนำความร้อนกำหนดโดยความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอาหารและตัวกลางในการให้ความร้อนหรือทำให้เย็น และความต้านทานโดยรวมของการถ่ายเทความร้อน ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนแสดงโดยการนำความร้อนของวัตถุหรือแสดงในรูปค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) ที่สภาวะ steady-state อัตราการถ่ายเทความร้อนคำนวณได้โดย

$$Q = \frac{kA(\theta_1 - \theta_2)}{x} \quad (9)$$

เมื่อ	Q	=	อัตราการถ่ายเทความร้อน (จูลต่อวินาที)
	K	=	ค่าการนำความร้อน (จูลต่อเมตร · วินาที · เคลวิน หรือ วัตต์ต่อเมตร · เคลวิน)
	A	=	พื้นที่ผิว (ตารางเมตร)
	$\theta_1 - \theta_2$	=	ความแตกต่างของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
	x	=	ความหนาของวัตถุ (เมตร)
	$(\theta_1 - \theta_2)/x$	=	การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (temperature gradient)

ปัจจัยที่มีผลต่อการนำความร้อนมีหลายประการเช่น ลักษณะธรรมชาติของอาหาร อุณหภูมิและความดันรอบๆ อาหาร

ในการนำความร้อนภายใต้สภาวะ Unsteady - state นั้นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ณ จุดใดๆ ในอาหารระหว่างการแปรรูปขึ้นอยู่กับเวลาของการให้ความร้อนหรือการทำให้เย็น และตำแหน่งภายในอาหาร อุณหภูมิดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างต่อเนื่องและปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้แก่

1. อุณหภูมิของตัวกลางในการให้ความร้อนแก่อาหาร
2. ค่าการนำความร้อนของอาหาร
3. ความร้อนจำเพาะของอาหาร

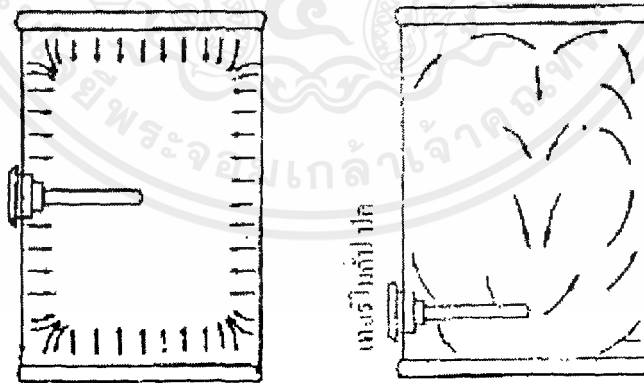
3.4.2 การพาความร้อน

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของของเหลว จะทำให้ความหนาแน่นของของเหลวเปลี่ยนไปด้วย มีผลทำให้เกิดการไหลเวียนหรือการพาความร้อนแบบธรรมชาติ เช่น เครื่องระเหยที่ใช้การพาความร้อนแบบธรรมชาติ การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced convection) เกิดขึ้นเมื่อใช้เครื่องกวนหรือพัดลมกวนของเหลวหรืออากาศ มีผลทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นและกระจายอุณหภูมิได้รวดเร็วกว่าการพาความร้อนแบบธรรมชาติ

อัตราการถ่ายเทความร้อนจากของเหลวไปยังผิวอาหารคำนวณได้จากสมการ (10)

$$Q = h_s A (\theta_b - \theta_s) \quad (10)$$

เมื่อ Q = อัตราการถ่ายเทความร้อน (จูลต่อวินาที)
 A = พื้นที่ผิว (ตารางเมตร)
 θ_s = อุณหภูมิผิวหน้าวัตถุ
 h_s = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิวหน้าหรือฟิล์ม



การนำความร้อน

การพาความร้อน

รูปที่ 3.1 แสดงการวัดจุดร้อนซ้ำที่สุดในอาหารกระป๋องที่บรรจุอาหารแข็งและเหลว [10]

3.4.3 การแผ่รังสี

กลไกการถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสี มีความแตกต่างจากการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำและการพาความร้อน เนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนไม่ต้องอาศัยตัวกลาง โดยถ่ายเทความร้อนในรูปของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า การแผ่รังสีที่เกิดขึ้นในช่วงความยาวช่วงคลื่น 0.1 ถึง 100 ไมโครเมตรนี้ จัดเป็นรังสีความร้อน

3.5 ประเภทของอาหารตามลักษณะการถ่ายเทความร้อน [3]

เนื่องจากอัตราเร็วที่ปริมาณความร้อนแทรกผ่านไปยังจุดที่ร้อนช้าที่สุด (Cold point หรือ CT) ของอาหารกระป๋องขึ้นอยู่กับลักษณะการถ่ายเทความร้อนของอาหารนั้นๆ ซึ่งมีดังนี้

3.5.1 อาหารที่ถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อน (Conductive heating packs)

โดยความร้อนจะถูกถ่ายเทในทุกทิศทางผ่านผนังกระป๋องแล้วผ่านโมเลกุลของอาหารที่ไม่เคลื่อนที่ ซึ่งจุดที่ร้อนช้าที่สุดจะอยู่ตรงกึ่งกลางกระป๋อง (Geometric center)

3.5.2 อาหารที่ถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน (Convective heating packs)

ความร้อนจะถูกถ่ายเทโดยโมเลกุลของอาหารจะเคลื่อนที่ไปด้วย เช่น อาหารเหลวที่มีความข้นหนืดต่ำหรือผลิตภัณฑ์ที่มีชิ้นอาหารขนาดเล็กในน้ำเกลือ โดยจุดที่ร้อนช้าที่สุดสำหรับกระป๋องขนาดเล็กอยู่ที่ประมาณ 3/4 นิ้ว จากด้านล่าง ซึ่งถ้าอาหารนั้นมีการถ่ายเทความร้อนแบบการพาบังคับ (Forced convection) คือมีแรงภายนอกมาบังคับให้โมเลกุลของอาหารเคลื่อนที่และเกิดการผสมกันภายในกระป๋องจะส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนเกิดได้เร็วขึ้น

3.5.3 อาหารที่ถ่ายเทความร้อนแบบผสม (Complex heating packs)

เช่น อาหารที่มีส่วนผสมของสารให้ความหนืด โดยช่วงแรกจะเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน เมื่อให้ความร้อนต่อไปจะทำให้อาหารข้นหนืดมากขึ้นและการถ่ายเทความร้อนจะเปลี่ยนเป็นแบบการนำความร้อน หรือผลิตภัณฑ์ที่มีชิ้นอาหารขนาดใหญ่ๆ ในของเหลวซึ่งส่วนที่เป็นของเหลวจะร้อนเร็วกว่าส่วนที่เป็นของแข็ง

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบการกระจายความร้อนแบบต่างๆ ในกระป๋อง [6]

ลักษณะที่เกิด	การนำความร้อน (Pure conduction heating)	การพาความร้อน (Pure convection heating)
การเคลื่อนที่ของความร้อนและอาหาร	อาหารที่ไม่มีการเคลื่อนที่หรือมีการเคลื่อนที่น้อยมากระหว่างการให้ความร้อนโดยความร้อนที่เคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลของอาหาร	อาหารมีการเคลื่อนที่โดยผลต่างของอุณหภูมิ (Natural convection) หรือการบังคับให้เคลื่อนที่ด้วยการหมุน (Force convection)
จุดร้อนซ้ำที่สุด	มักอยู่ที่จุดกึ่งกลางของกระป๋องถ้ากระป๋องมีลักษณะสมดุค เช่น ทรงกระบอก, สี่เหลี่ยม, วงรี	-
อัตราการถ่ายเทความร้อน	ช้ากว่า ขึ้นกับค่า $\alpha = K/(\rho C_p)$	เร็วกว่า ขึ้นกับความหนืด
อุณหภูมิฆ่าเชื้อที่เหมาะสม	มีอุณหภูมิที่เหมาะสมค่าหนึ่ง ขึ้นกับค่า D และ Z ของคุณภาพอาหารที่ต้องการรักษาและคุณสมบัติทางความร้อนของอาหาร	อุณหภูมิสูง เวลาสั้น (HTST) ทำให้อาหารคงคุณภาพได้ดี
ตัวอย่างอาหาร	อาหารที่บรรจุแน่น เช่น ปลาทูนำ ดับบด และอาหารสุนซ์	น้ำผลไม้ นม และซุฟ

3.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน

ปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนจากหม้อฆ่าเชื้อ จะแทรกผ่านเข้าไปในจุดร้อนซ้ำที่สุดของกระป๋อง ได้ช้าเร็วเพียงใดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางความร้อนของอาหาร

คุณสมบัติที่สำคัญที่มีผลต่ออัตราเร็วของการแทรกผ่านความร้อนในอาหารคือ ค่าการแพร่กระจายความร้อน (Thermal diffusivity หน่วย ตารางเมตรต่อวินาที) ใช้อักษรย่อว่า α (แอลฟา) ได้มาจากความสัมพันธ์ดังสมการ (11)

$$\alpha = K/\rho C_p \quad (11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ ∞	=	การนำความร้อน (วัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส)
ρ	=	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
C_p	=	ความร้อนจำเพาะ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

อาหารที่มีค่า ∞ มากจะมีการแทรกผ่านความร้อนเข้าไปยังจุดร้อนช้าที่สุดได้อย่างรวดเร็ว ค่า ∞ เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของอาหารแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมีของอาหาร ปริมาณน้ำ และอาจจะมีค่าแตกต่างกันตามชนิดและสายพันธุ์อาหาร ค่า ∞ จะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 3.2 ค่าการแพร่กระจายความร้อนของวัสดุชนิดต่างๆ [6]

ชนิดอาหาร	$\infty = (\times 10^{-7}$ ตารางเมตรต่อวินาที)
มะเขือ	1.48
เนื้อวัว	1.32
มันฝรั่งสด	1.70
มันฝรั่งต้มบด	1.23
น้ำ	1.48
น้ำแข็ง	11.82
เหล็ก	203.00
อลูมิเนียม	841.00

ค่า f_u (นาทีก) เป็นค่าที่บอกว่าคุณสมบัติที่จุดร้อนช้าที่สุดเพิ่มขึ้นเร็วแค่ไหน จะเห็นได้ว่า f_u เป็นส่วนกลับของ slope ยิ่ง f_u มีค่ามากขึ้นก็ต้องใช้เวลาในการทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงขึ้นมากด้วย

ค่า ∞ ที่ได้จะเป็นคุณสมบัติโดยรวมของเนื้ออาหารที่บรรจุอยู่ในกระป๋อง จากสมการ (11) พบว่าค่าของ ∞ อาหารกระป๋องแปรผันกับความหนาแน่น (ρ) คือสัดส่วนของน้ำหนักต่อปริมาตร ดังนั้นปริมาณน้ำบรรจุ สัดส่วนของของแข็ง สัดส่วนของของเหลว และขนาดชิ้นอาหารมีผลทำให้ความหนาแน่นของอาหารมากขึ้น แต่มีผลทำให้การแทรกผ่านความร้อนช้าลง

ปริมาณความร้อนของการถ่ายเทความร้อน จากหม้อน้ำเชื่อมผ่านกระป๋องเข้าสู่ผิวอาหารเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อนที่มีค่าดังสมการ (12)

$$Q = UA (T_{out} - T_{wall}) \quad (12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	Q	=	ปริมาณความร้อน (วัตต์)
	A	=	พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน (ตารางเมตร)
	T_{out}	=	อุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อรอบนอก (องศาเซลเซียส)
	T_{wall}	=	อุณหภูมิกับอาหารที่ติดกับกระป๋อง (องศาเซลเซียส)
	U	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

ค่า U เป็นปัจจัยที่สำคัญมากที่จะชี้ว่าความร้อนจากหม้อเชื้อจะสามารถถ่ายเทผลักดันเข้าสู่อาหารภายในกระป๋องได้ช้าเร็วเพียงใด โดยค่า U ขึ้นอยู่กับ

- ตัวกลางถ่ายเทความร้อนที่ใช้ เช่น ใช้น้ำอ้อมตัว น้ำภายใต้ความดันและไอน้ำผสม

ตารางที่ 3.3 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิวหน้าวัตถุ [5]

ประเภทผิวหน้าวัตถุ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิวหน้า h_s (วัตต์ต่อตารางเมตร·เคลวิน)
ของเหลวกำลังเดือด	2,400 – 60,000
ไอน้ำอ้อมตัวที่กำลังควบแน่น	12,000
ไอน้ำควบแน่น	
- มีอากาศผสม 3 เปอร์เซ็นต์	35,000
- มีอากาศผสม 6 เปอร์เซ็นต์	1,200
แอมโมเนียควบแน่น	6,000
ของเหลวไหลผ่านท่อ	
- ของเหลวที่มีของหนืดต่ำ	1,200-6,000
- ของเหลวที่มีความหนืดสูง	120-1,200
อากาศที่กำลังเคลื่อนที่ (3 เมตรต่อวินาที)	30
อากาศนิ่ง	6

ไอน้ำบริสุทธิ์กลั่นตัวในหม้อฆ่าเชื้อแบบไอน้ำ มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงสุด ไอน้ำที่มีอากาศผสมทำให้การถ่ายเทความร้อนลดลง ดังนั้นในขั้นตอนไล่อากาศต้องมั่นใจว่าอากาศหมดจากหม้อฆ่าเชื้อจริงๆ ถ้าไล่อากาศไม่หมดและมีอากาศถูกกักอยู่บริเวณใดในหม้อฆ่าเชื้อจะทำให้กระป๋องบริเวณดังกล่าวได้รับความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อไม่พอ

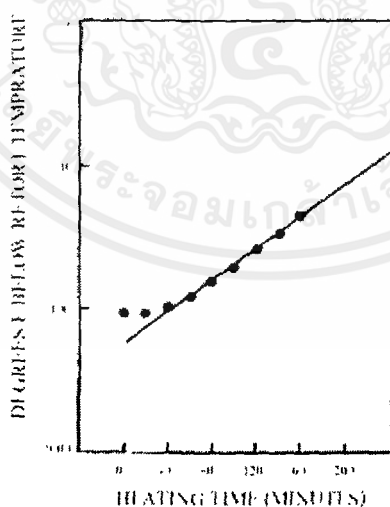
- ชนิดของภาชนะบรรจุ ภาชนะบรรจุที่ทำจากวัสดุที่นำความร้อนได้ดี มีค่าสัมประสิทธิ์การ

นำความร้อนสูง (K) เช่น อะลูมิเนียม จะช่วยให้ความร้อนจากภายนอกผ่านเข้าสู่อาหารอย่างรวดเร็ว สำหรับภาชนะที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ เช่น แก้วและพลาสติก จะทำให้ความร้อนผ่านช้าลง โดยยังมีความหนามากยิ่งทำให้ช้ายิ่งขึ้น

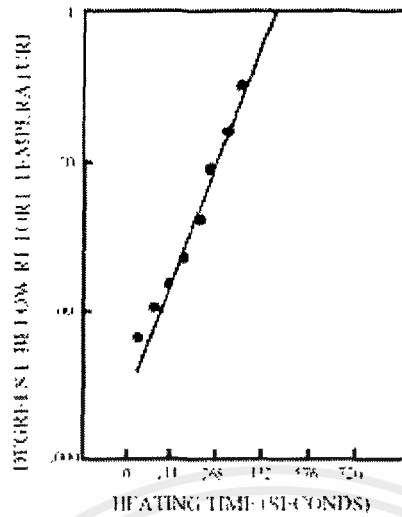
ตารางที่ 3.4 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุต่างๆ [5]

วัสดุชนิดต่างๆ	K (วัตต์ต่อเมตร-องศาเซลเซียส)
อลูมิเนียม	204
เหล็ก	73
แก้ว	0.78
พลาสติก	0.15

- พื้นที่ผิวของภาชนะบรรจุสำหรับถ่ายเทความร้อน เมื่อเปรียบเทียบภาชนะบรรจุที่มีขนาดบรรจุเดียวกัน ภาชนะที่มีพื้นที่ผิวมากกว่าจะถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าเร็วกว่า
- ภาชนะรูปทรงแบนบาง เช่น กระป๋องทรงเตี้ย ทรงรี ทรงสี่เหลี่ยม และ Retort pouch มีพื้นที่ถ่ายเทความร้อนมากเมื่อเทียบต่อหน่วยปริมาตร ช่วยให้ปริมาณความร้อนถ่ายเทเข้าสู่ภายในได้มาก
- รูปแบบการจัดเรียงภาชนะในหม้อฆ่าเชื้อมีผลกับพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อน การเรียงตัวซ้อนติดกันทำให้กระป๋องเสียพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนบริเวณก้นและฝากระป๋อง



รูปที่ 3.2 แสดงเส้นกราฟการแทรกผ่านความร้อนของอาหารกระป๋องโดยวัดจากจุดร้อนช้าที่สุดในอาหารต่างชนิดในขนาดการบรรจุต่างกัน แต่ใช้อุณหภูมิของหม้อฆ่าเชื้อเท่ากัน [5]



รูปที่ 3.3 แสดงเส้นกราฟการแทรกผ่านความร้อนของ Peas puree ในกระป๋องขนาด 603×700 มิลลิเมตร อุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ เท่ากับ 252 องศาฟาเรนไฮต์ [5]

บทที่ 4

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

4.1 วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

4.1.1 วัสดุดิบ

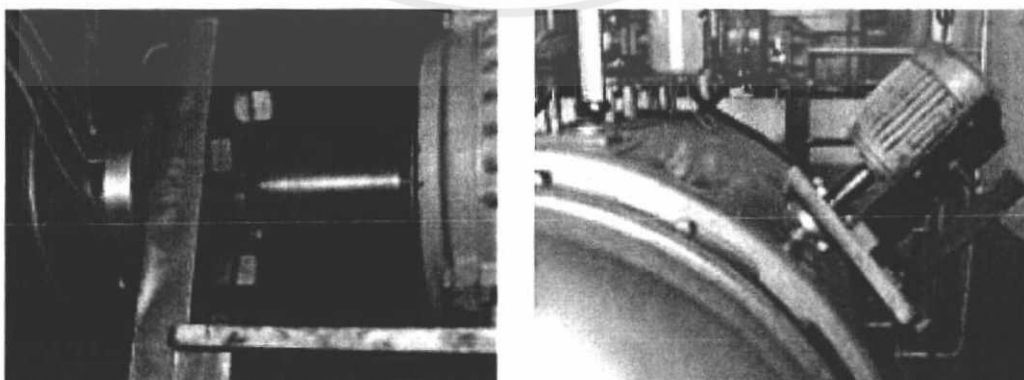
- น้ำเปล่า
- เบนโทไนต์ (Bentonite)

4.1.2 อุปกรณ์

- เครื่องเขย่าที่ติดตั้งเพิ่มในหม้อฆ่าเชื้อ

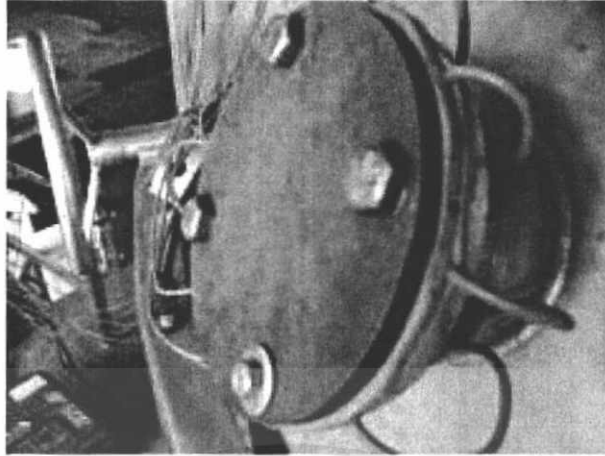


รูปที่ 4.1 แสดงการจัดวางมอเตอร์กับสายวัดอุณหภูมิในหม้อฆ่าเชื้อที่ติดตั้งเครื่องเขย่า

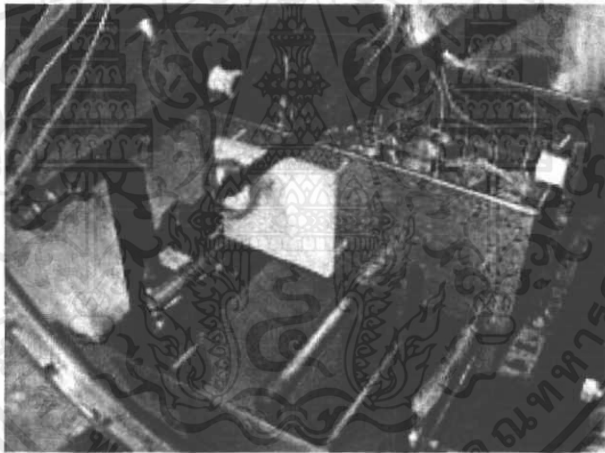


รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะและตำแหน่งการติดตั้งมอเตอร์กับหม้อฆ่าเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

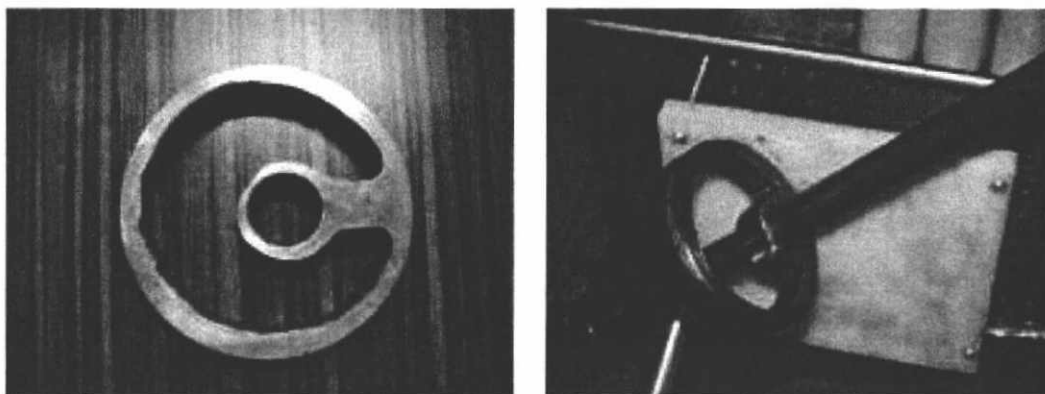


รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะการจัดเรียงสายวัดอุณหภูมิและฝาปิดกันรั่ว

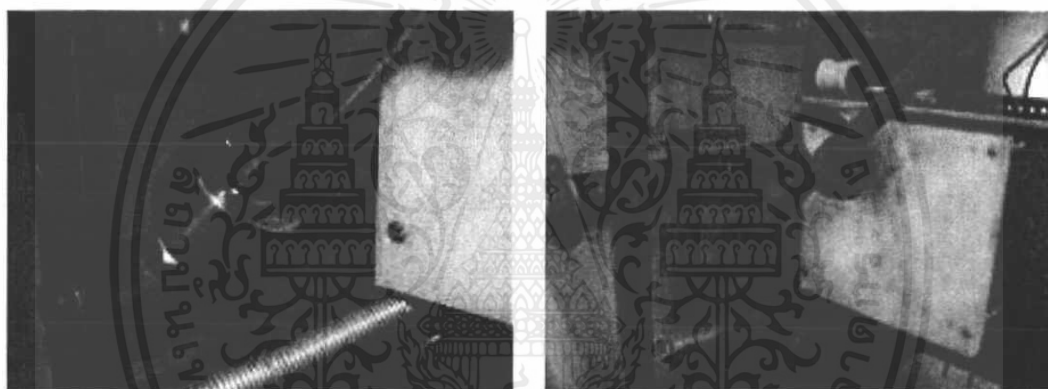


รูปที่ 4.4 แสดงการจัดวางตะกร้าและอุปกรณ์เขย่าในหม้อน้ำเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

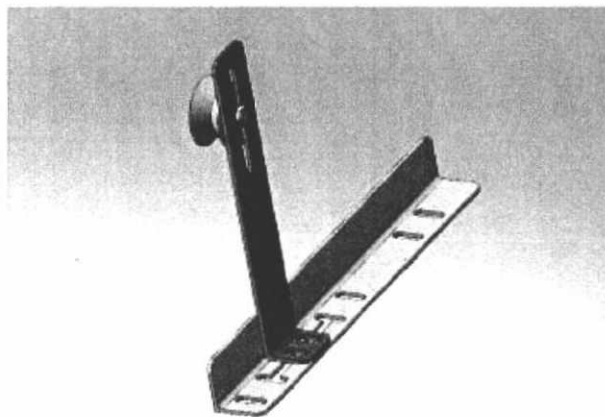


รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะลูกเบี้ยวและการติดตั้งลูกเบี้ยวเข้ากับเครื่องเขย่าในหม้อฆ่าเชื้อ

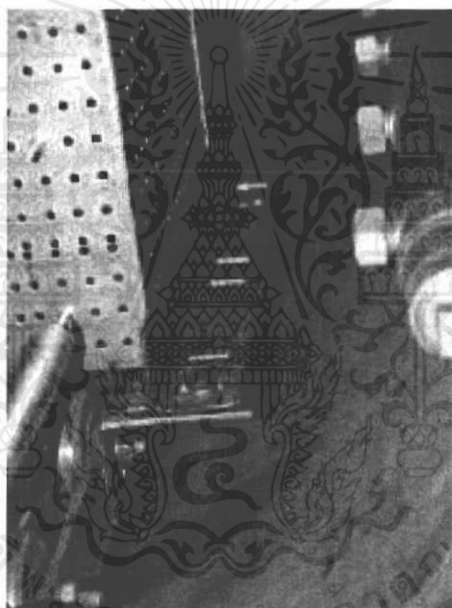


รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะของการติดตั้งจุดนำศูนย์และเพลลาที่ใช้ช่วยในการเขย่าในหม้อฆ่าเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

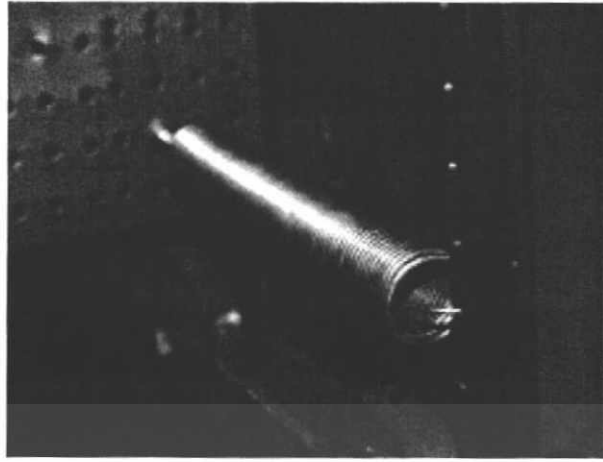


รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะรางที่ใช้ในการบังคับทิศทางการเคลื่อนที่ของตะกร้า



รูปที่ 4.8 แสดงการติดตั้งรางบังคับการเคลื่อนที่ของตะกร้าในหม้อฆ่าเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



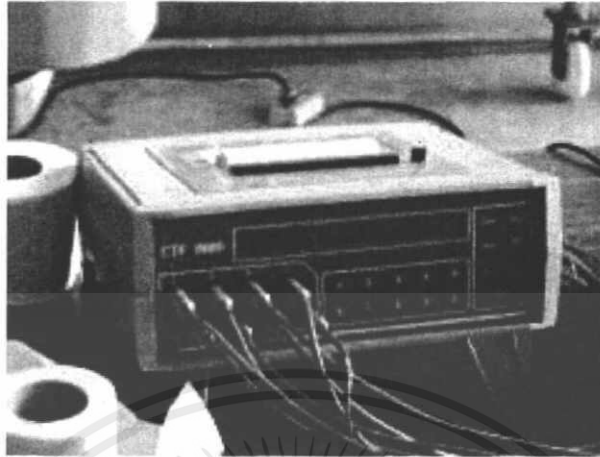
รูปที่ 4.9 แสดงการติดตั้งสปริงกับตะกร้าในหม้อฆ่าเชื้อ



รูปที่ 4.10 แสดงการจัดวางกระป๋องในตะกร้าในหม้อฆ่าเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เครื่อง Data logger รุ่น CTF 5008



รูปที่ 4.11 แสดงเครื่อง Data logger รุ่น CTF 5008

- เครื่องเจาะกระป๋อง
- เครื่องผสมแป้ง
- เครื่องวัดความหนืด
- เครื่องเจาะกระป๋อง
- เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
- เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง
- อินเวอร์เตอร์
- กระป๋องขนาด 84 × 116 มิลลิเมตร
- กระจกฟอยล์
- บีกเกอร์
- ซ้อนดักสาร
- แท่งแก้ว
- เวอร์เนีย
- ไม้บรรทัด
- เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple Type K)

4.2 ขั้นตอนการทดลอง

ในการศึกษาผลของการเขย่า ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนในกระป๋องขณะทำการฆ่าเชื้อภายในหม้อฆ่าเชื้อ ทำการทดลองที่ความถี่ในการเขย่าและเปอร์เซ็นต์ความหนืดที่แตกต่างกัน เพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำผลการทดลองที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับการฆ่าเชื้อ ทำให้ใช้เวลาในการฆ่าเชื้อลดลง ซึ่งช่วยให้ใช้พลังงานลดลง อีกทั้งยังสามารถรักษาคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไว้ได้อีกด้วย

1. ออกแบบ และดัดแปลงเครื่องเขย่า ภายในหม้อฆ่าเชื้อแบบ Water spray retort ให้สามารถเขย่ากระป๋องในการทดลองได้

2. การเตรียมสารละลายเบนโทไนด์

- ชั่งน้ำหนักน้ำเปล่าด้วยเครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง และเบนโทไนด์ด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง ดังตาราง

ความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	น้ำเปล่า (กรัม)	เบนโทไนด์ (กรัม)
0	800	0
3	800	24
5	800	40
7	800	56
9	800	72

- ผสมเบนโทไนด์กับน้ำเปล่าในบีกเกอร์ ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน แล้วใช้กระดาษฟอยล์ปิดปากบีกเกอร์ให้สนิท วางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 คืน เพื่อให้เบนโทไนด์ดูดน้ำ

- นำสารละลายเบนโทไนด์ที่เตรียมไว้แต่ละความเข้มข้นมาตีปั่นด้วยเครื่องผสมแป้งจนได้สารละลายเบนโทไนด์ที่เป็นเนื้อเดียวกัน

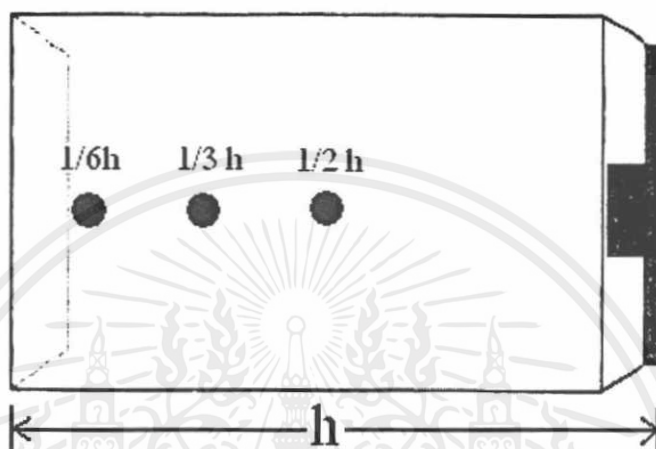


รูปที่ 4.12 แสดงสารละลายเบนโทไนด์ที่ความเข้มข้น 3 5 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเตรียมกระป๋อง

- นำกระป๋องขนาด 84 × 116 มิลลิเมตร มาเจาะรูแล้วเสียบเทอร์โมคัปเปิลที่ตำแหน่งวัดจากฐานกระป๋องขึ้นมา 1/2 ส่วนของความสูงกระป๋องจำนวน 5 กระป๋อง 1/3 ส่วนของความสูงกระป๋องจำนวน 1 กระป๋อง และ 1/6 ส่วนของความสูงกระป๋องจำนวน 1 กระป๋อง



รูปที่ 4.13 แสดงตำแหน่งของการเจาะรูกระป๋อง

- บรรจุสารละลายเบนโทไนด์ที่มีความเข้มข้น 0 3 5 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในกระป๋องที่เจาะรูตำแหน่งวัดจากฐานกระป๋องขึ้นมา 1/2 ส่วนของความสูงกระป๋อง และบรรจุสารละลายเบนโทไนด์ที่มีความเข้มข้น 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในกระป๋องที่เจาะรูตำแหน่งวัดจากฐานกระป๋องขึ้นมา 1/3 ส่วนของความสูงกระป๋อง และ 1/6 ส่วนของความสูงกระป๋อง
- ใช้เวอร์เนียวัดช่องว่างเหนืออาหาร (Headspace) ให้มีค่าเท่ากับ 1 เซนติเมตร
- นำกระป๋องไปปิดฝาด้วยเครื่องปิดฝา

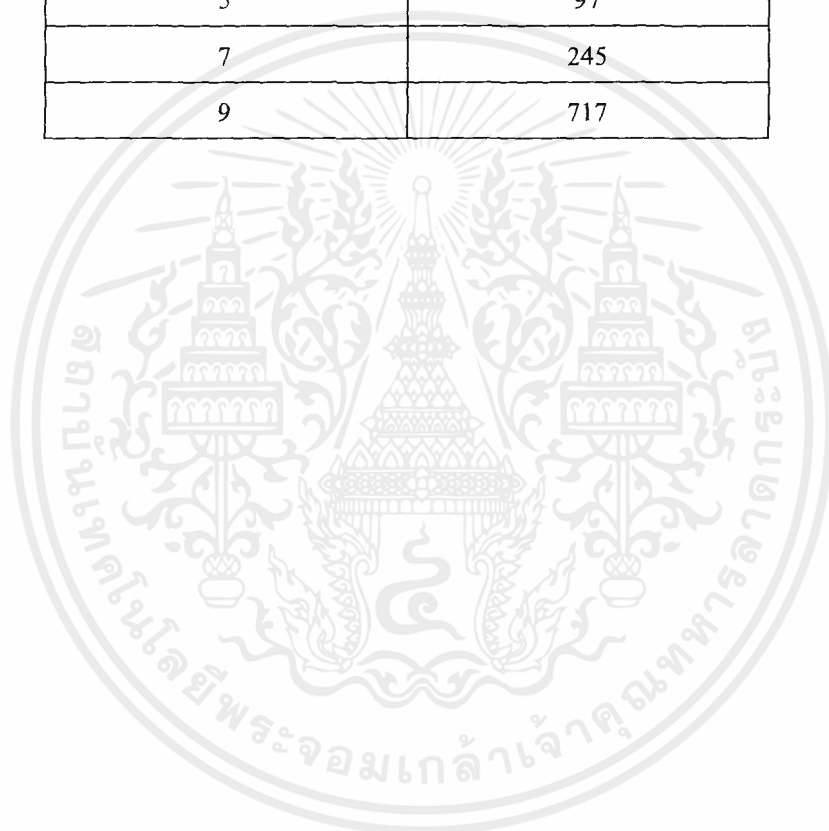
4. การทดลอง

- จัดวางกระป๋องในแนวนอนภายในตะกร้า โดยกำหนดตำแหน่งให้กระป๋องอยู่กับที่
- เสียบสายวัดอุณหภูมิ (Probe) จากกระป๋องต่อเข้ากับเครื่อง Data logger
- ติดตั้งตะกร้าเข้าที่ในตำแหน่งภายในเครื่องเขย่า
- ต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับเครื่องเขย่า ตั้งค่าความเร็วในการเขย่าเป็น 160 ครั้งต่อนาที
- เริ่มการทำงานของหม้อฆ่าเชื้อพร้อมทั้งบันทึกค่า อุณหภูมิ และ F_0 กับ เวลา
- เมื่อทุกกระป๋องมีอุณหภูมิถึง 121 องศาเซลเซียส แล้วหยุดการเดินเครื่อง
- เก็บค่าเพื่อนำมาเขียนกราฟและวิเคราะห์ผลการทดลอง

- ทำการทดลองเหมือนเดิม แต่เปลี่ยนความเร็วในการเขย่าเป็น 230 310 และ 380 ครั้งต่อนาที ตามลำดับ

5. การวัดค่าความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืด RVA (Rapid Visco Analyser) ดังตาราง

ความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ค่าความหนืด (เซ็นติพอยซ์ ,cP)
3	17
5	97
7	245
9	717



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลองและวิจารณ์

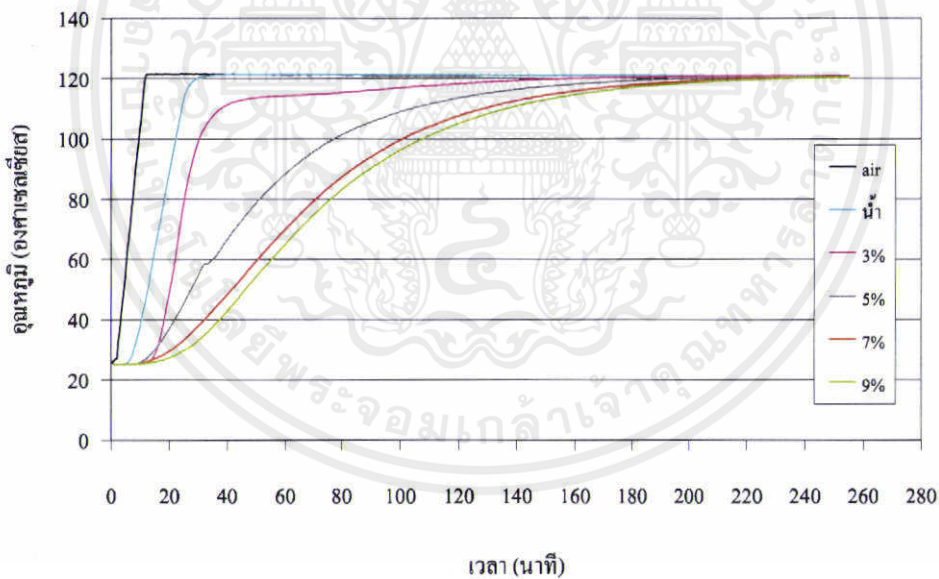
5.1 ผลการทดลองและวิเคราะห์การทดลอง

จากการวิเคราะห์กราฟที่เขียนได้จากค่าที่ได้จากการทดลองนั้นเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ความเข้มข้นของสารละลายเบนโทไนด์ที่ใช้ในการทดลองและความถี่ในการเขย่ากระป๋อง ขณะทำการฆ่าเชื้อมีผลต่อการแทรกผ่านความร้อนภายในกระป๋อง

5.1.1 ผลของความเข้มข้นที่มีต่อการแทรกผ่านความร้อน

ความถี่เท่ากับ 0 ครั้งต่อนาที (อยู่นิ่ง)

ความเข้มข้นของสารละลายเบนโทไนด์และตำแหน่งของสายวัดอุณหภูมิ มีผลต่อเวลาในการแทรกผ่านความร้อน จากกราฟแสดงให้เห็นว่า เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นการแทรกผ่านความร้อนภายในกระป๋องจะช้าลงตามลำดับดังนี้คือ อากาศ 0 3 5 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

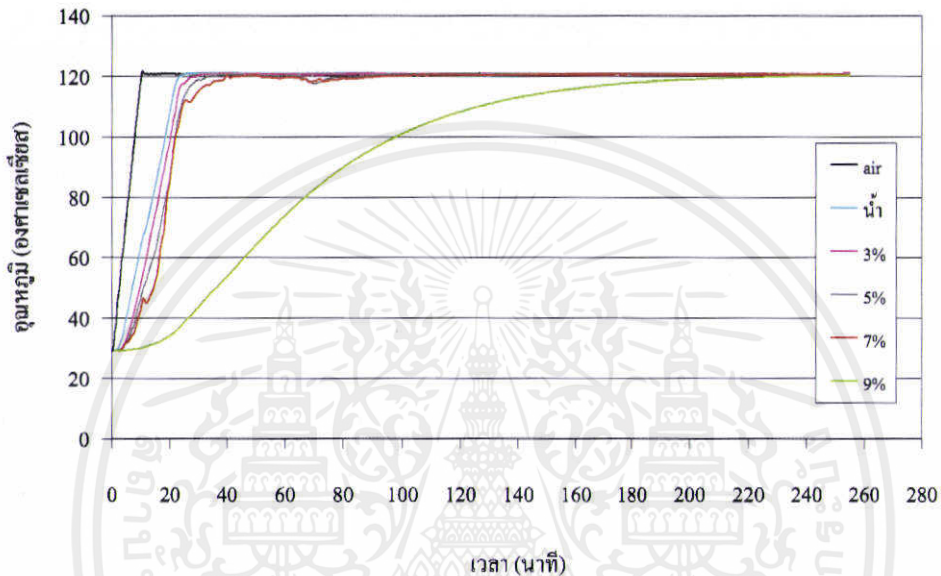


รูปที่ 5.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนที่การเขย่า 0 ครั้งต่อนาที (อยู่นิ่ง)

ความถี่เท่ากับ 160 ครั้งต่อนาที

ความเข้มข้นของสารละลายเบนโทไนด์มีผลต่อเวลาในการแทรกผ่านความร้อน จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น การแทรกผ่านความร้อนภายในกระป๋องจะช้าลงตามลำดับ

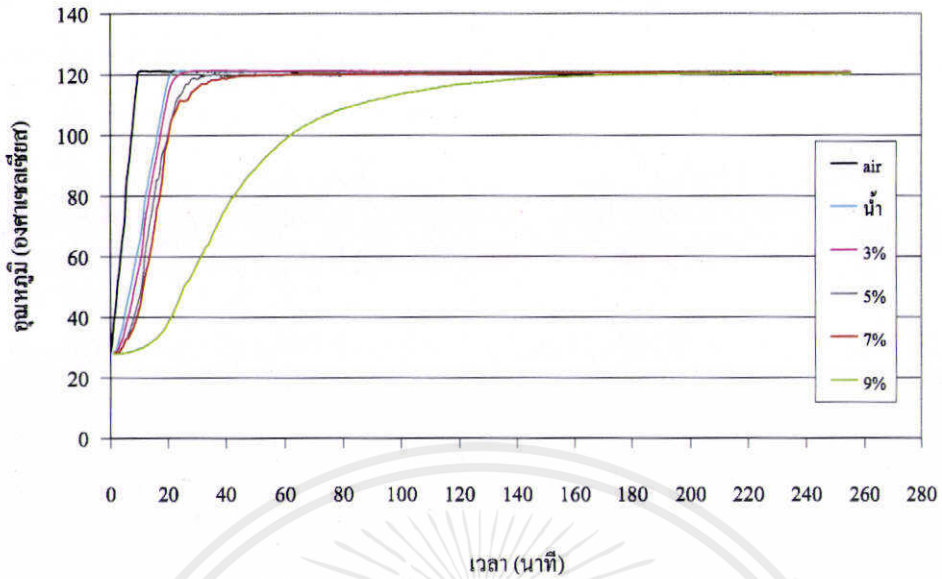
ดังนั้นคือ อากาศ 0 3 5 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยที่ความถี่เท่ากับเท่ากับ 160 ครั้งต่อนาที ส่งผลให้สารละลายเบนโทไนด์ที่มีความเข้มข้น 0 3 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แทรกผ่านความร้อนได้เร็วขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่ส่งผลน้อยต่อสารละลายเบนโทไนด์ที่มีความเข้มข้น 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเนื่องจากความถี่ในการเขย่านี้ไม่เพียงพอ ต่อการเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวภายในสารละลายเบนโทไนด์ได้ ทำให้สารละลายเคลื่อนที่ได้น้อยจึงทำให้แทรกผ่านความร้อนได้ช้า



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนที่การเขย่า 160 ครั้งต่อนาที

ความถี่เท่ากับ 230 ครั้งต่อนาที

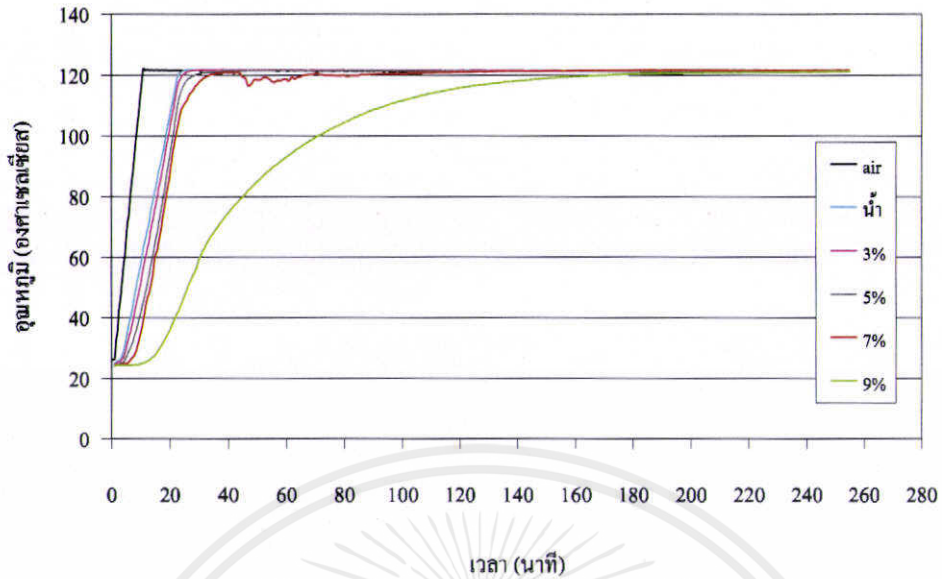
ความเข้มข้นของสารละลายเบนโทไนด์มีผลต่อเวลาในการแทรกผ่านความร้อน จากกราฟแสดงให้เห็นว่า เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นการแทรกผ่านความร้อนภายในกระป๋องจะช้าลงตามลำดับ ดังนั้นคือ อากาศ 0 3 5 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยที่ความถี่เท่ากับ 230 ครั้งต่อนาที นี้ ส่งผลให้สารละลายเบนโทไนด์ที่มีความเข้มข้น 0 3 และ 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แทรกผ่านความร้อนได้เร็วขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่ส่งผลน้อยต่อสารละลายเบนโทไนด์ที่มีความเข้มข้น 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เนื่องจากความถี่ในการเขย่านี้ไม่เพียงพอต่อการเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวภายในสารละลายเบนโทไนด์ได้ทำให้สารละลายเคลื่อนที่ได้น้อยจึงทำให้แทรกผ่านความร้อนได้ช้า



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนที่การเขย่า 230 ครั้งต่อนาที

ความถี่เท่ากับ 310 ครั้งต่อนาที

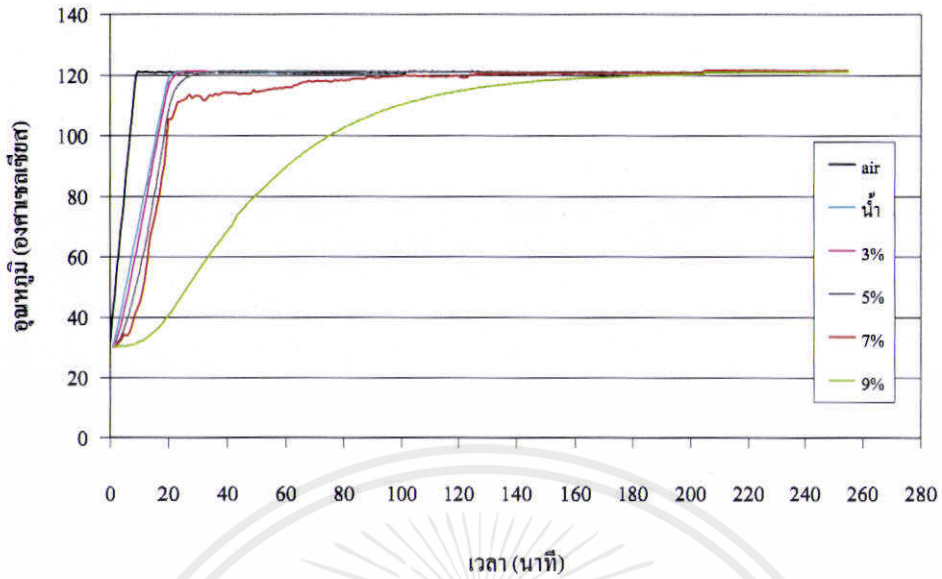
ความเข้มข้นของสารละลายเบนโทโนต์มีผลต่อเวลาในการแทรกผ่านความร้อน จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น การแทรกผ่านความร้อนภายในกระป๋องจะช้าลงตามลำดับ ดังนี้คือ อากาศ 0 3 5 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยที่ความถี่เท่ากับเท่ากับ 310 ครั้งต่อนาที ส่งผลให้สารละลายเบนโทโนต์ที่มีความเข้มข้น 0 3 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แทรกผ่านความร้อนได้เร็วขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่ส่งผลน้อยต่อสารละลายเบนโทโนต์ที่มีความเข้มข้น 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเนื่องจากความถี่ในการเขย่านี้ไม่เพียงพอ ต่อการเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวภายในสารละลายเบนโทโนต์ได้ ทำให้สารละลายเคลื่อนที่ได้ช้าลง จึงทำให้แทรกผ่านความร้อนได้ช้า



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนที่การเขย่า 310 ครั้งต่อนาที

ความถี่เท่ากับ 380 ครั้งต่อนาที

ความเข้มข้นของสารละลายเบนโทไนด์ มีผลต่อเวลาในการแทรกผ่านความร้อน จากกราฟแสดงให้เห็นว่า เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นการแทรกผ่านความร้อนภายในกระป๋องจะช้าลงตามลำดับ ดังนี้คือ อากาศ 0 3 5 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยที่ความถี่เท่ากับเท่ากับ 380 ครั้งต่อนาที ส่งผลให้สารละลายเบนโทไนด์ที่มีความเข้มข้น 0 3 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แทรกผ่านความร้อนได้เร็วขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่ส่งผลน้อยต่อสารละลายเบนโทไนด์ที่มีความเข้มข้น 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเนื่องจากความถี่ในการเขย่านี้ไม่เพียงพอ ต่อการเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวภายในสารละลายเบนโทไนด์ได้ ทำให้สารละลายเคลื่อนที่ได้ช้าลง จึงทำให้แทรกผ่านความร้อนได้ช้า

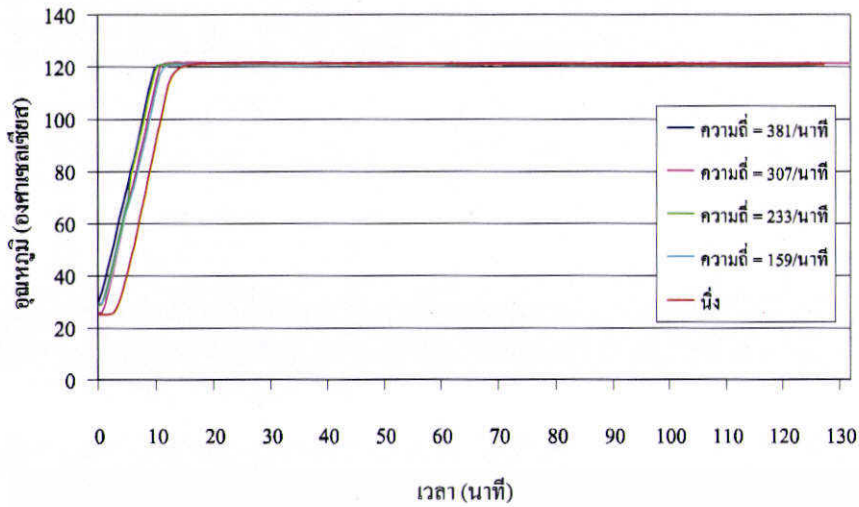


รูปที่ 5.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนที่การเข้า 380 ครั้งต่ออนาที

5.1.2 ผลของความถี่ที่มีต่อการแทรกผ่านความร้อน

สารละลายเบนโทไนต์ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (น้ำ)

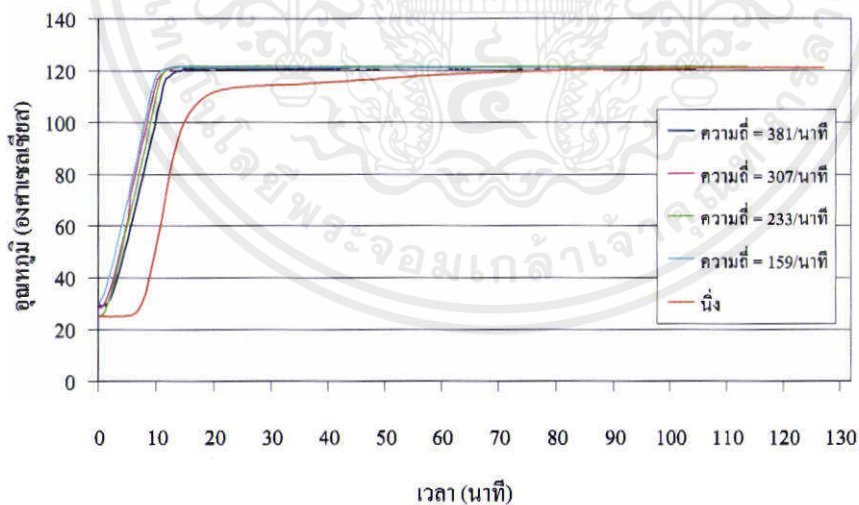
จากกราฟแสดงให้เห็นว่าขณะที่ให้ความถี่แก่น้ำจะจะทำให้ น้ำ มีการแทรกผ่านความร้อน ดีกว่าในขณะที่อยู่นิ่งไม่มากนักคือ อาจกล่าวได้ว่าการเพิ่มความถี่ในการเข้าให้แก่น้ำส่งผลต่อการแทรกผ่านความร้อนไม่มากนัก ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าแม้เราจะเพิ่มความถี่มากขึ้นเท่าใด (ความถี่ 160 230 310 และ 380 ครั้งต่ออนาที) ลักษณะการแทรกผ่านความร้อนก็แตกต่างจากเดิมเพียงเล็กน้อยเท่านั้น



รูปที่ 5.6 กราฟการกระจายความร้อนของน้ำ

สารละลายเบนโทไนต์ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

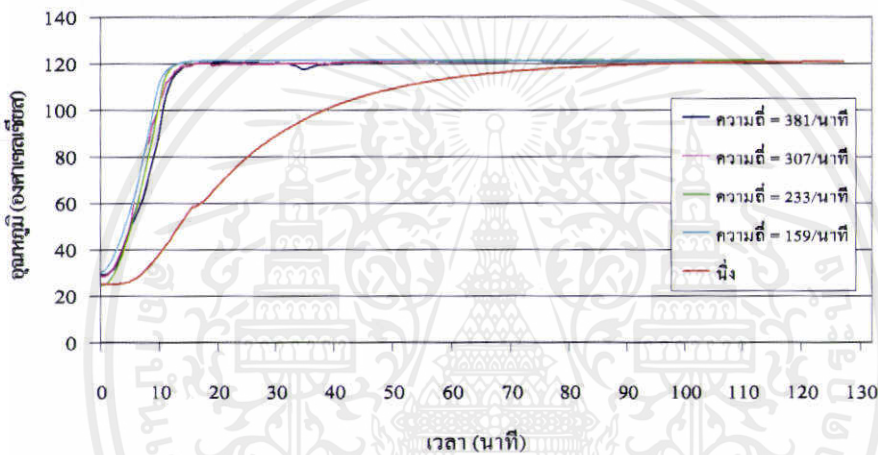
จากกราฟแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความถี่ในการสารละลายเบนโทไนต์ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีผลทำให้การแทรกผ่านความร้อนที่ดีขึ้น โดยถ้าเปรียบเทียบระหว่างการให้ความถี่กับอยู่นิ่งจะเห็นว่ามิลักษณะกราฟที่แตกต่างกันคือ เมื่อเพิ่มความถี่จะทำให้สารละลายเบนโทไนต์ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมีการแทรกผ่านความร้อนที่ดีขึ้น แต่จากการสังเกตจะเห็นว่าผลของความถี่ 230 กับ 310 ครั้งต่อนาที มีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 5.7 กราฟการกระจายความร้อนของสารละลายเบนโทไนต์ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

สารละลายเบนโทไนด์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

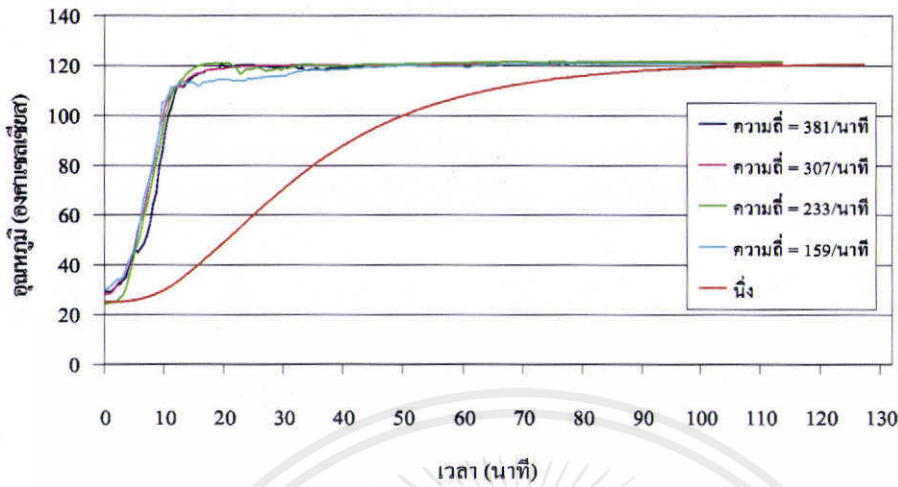
จากกราฟแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความถี่ในการสารละลายเบนโทไนด์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีผลทำให้การแทรกผ่านความร้อนที่ดีขึ้น โดยถ้าเปรียบเทียบระหว่างการให้ความถี่กับอยู่นิ่งจะเห็นว่า มีลักษณะกราฟที่แตกต่างกันคือ เมื่อเพิ่มความถี่จะทำให้สารละลายเบนโทไนด์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีการแทรกผ่านความร้อนที่ดีขึ้นแต่จากการสังเกตจะเห็นว่าผลของความถี่ 230 กับ 310 ครั้งต่อนาที มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงแรกแต่ในช่วงปลายจะมีการแทรกผ่านความร้อนที่ดีจากซ้ายไปเร็วดังนี้ นิ่ง ความถี่ 160 230 310 และ 380 ครั้งต่อนาที ตามลำดับ



รูป 5.8 กราฟการกระจายความร้อนของสารละลายเบนโทไนด์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

สารละลายเบนโทไนด์ 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

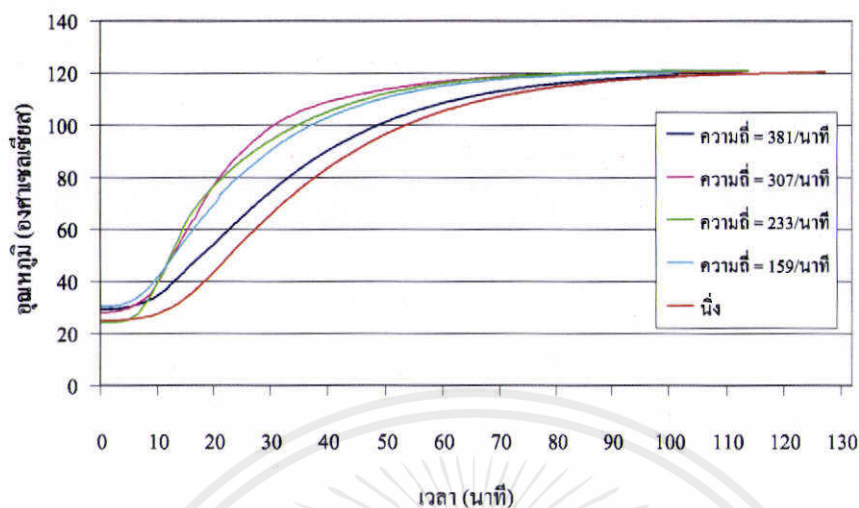
จากกราฟแสดงให้เห็นว่าการให้ความถี่แก่สารละลายเบนโทไนด์ 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะมีผลทำให้การแทรกผ่านความร้อนดีกว่าในขณะที่อยู่นิ่งอย่างเห็นได้ชัด แต่ถ้าเปรียบเทียบระหว่าง การให้ความถี่ที่แตกต่างกันกล่าวได้ว่า การเพิ่มความถี่ในการเขย่าให้มีค่าแตกต่างกันของสารละลายเบนโทไนด์ 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่งผลต่อการแทรกผ่านความร้อนไม่มากนักซึ่งจะสังเกตเห็นว่าแม้เราจะเพิ่มความถี่มากขึ้นเท่าใด (ความถี่ 160 230 310 และ 380 ครั้งต่อนาที) ลักษณะการแทรกผ่านความร้อนก็แตกต่างจากเดิมเพียงเล็กน้อยเท่านั้น



รูป 5.9 กราฟการกระจายความร้อนของสารละลายเบนโทไนด์ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

สารละลายเบนโทไนด์ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความถี่ในการสารละลายเบนโทไนด์ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (1/2 ของความสูง) มีผลทำให้การแทรกผ่านความร้อนที่ดีขึ้นไม่มากนักคือ ขณะที่อยู่นิ่งกับให้ความถี่ ลักษณะกราฟแตกต่างกันไม่มากนักแต่ถ้าทำการเปรียบเทียบระหว่างการให้ความถี่ที่แตกต่างกันนั้นจะสรุปได้ว่า เมื่อเพิ่มความถี่จะทำให้สารละลายเบนโทไนด์ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (1/2 ของความสูง) มีการแทรกผ่านความร้อนที่ดีขึ้นจากช้าไปเร็วดังนี้ นิ่ง ความถี่ 160 380 310 และ 230 ครั้งต่อนาที ตามลำดับ



รูป 5.10 กราฟการกระจายความร้อนของสารละลายเบนโทไนต์ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (1/2 ของความสูง)

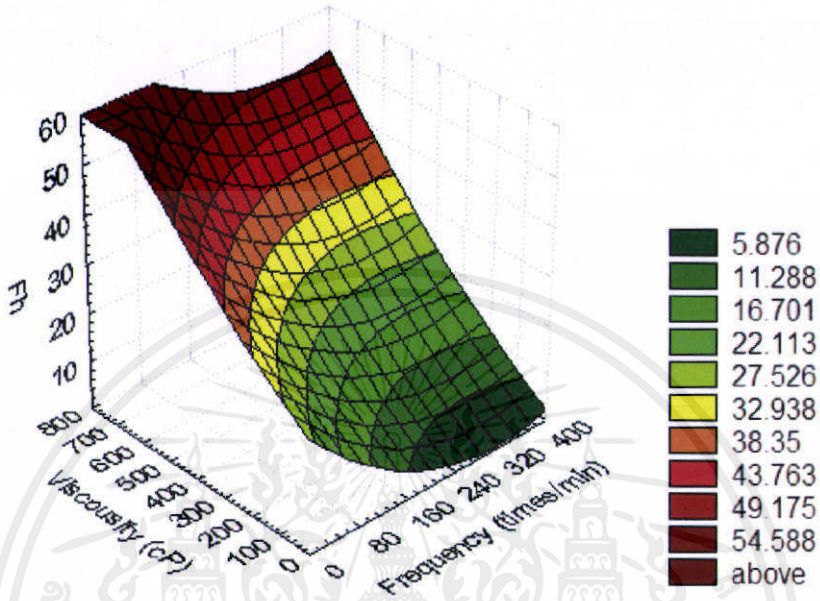
พิจารณาผลของค่าตัวแปรที่ทำการศึกษาที่มีต่อค่า f_h

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าของ f_h

ความถี่	น้ำ	3%	5%	7%	9% (1/3 ของ ความสูง)	9% (1/2 ของ ความสูง)	9% (1/6 ของ ความสูง)
นิ่ง	6.22	11.48	52.35	55.55	62.50	58.14	58.48
160	5.96	6.27	6.84	6.93	58.48	57.47	50.00
230	5.63	6.00	6.29	6.56	53.47	47.62	50.00
310	4.95	5.79	6.11	6.34	50.00	44.44	45.45
380	3.17	3.98	4.74	6.13	46.51	44.64	43.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการความสัมพันธ์นี้ทำให้เราสามารถทำนายค่า f_{η} ค่าความถี่ในการเขย่า หรือค่าความหนืดของสารละลายเบนโทไนด์ได้ เมื่อเราทราบตัวแปรอีกสองตัวที่สัมพันธ์กันในสมการ



รูปที่ 5.12 กราฟพื้นที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนืดของสารละลาย ความถี่และค่า f_{η}

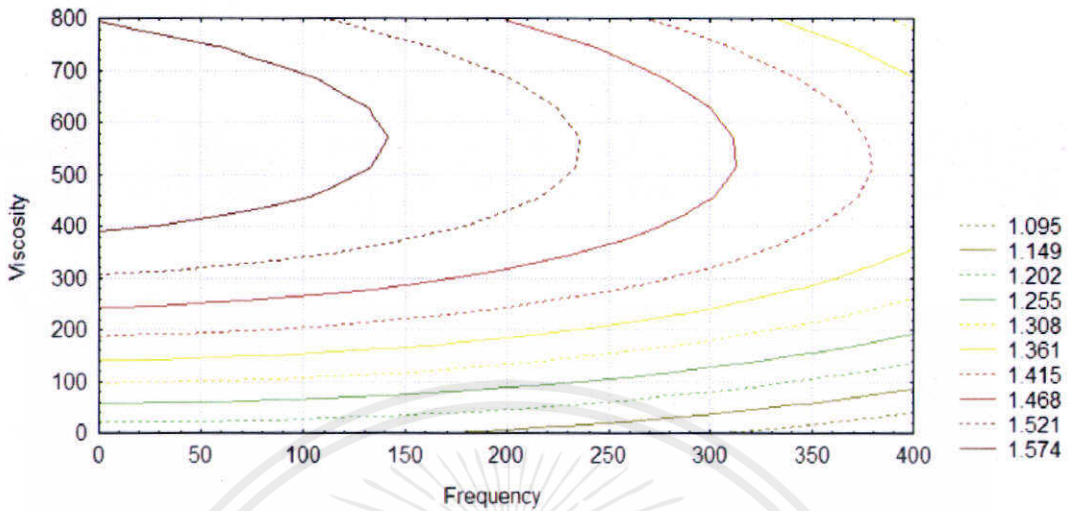
พิจารณาผลของค่าตัวแปรที่ทำการศึกษาที่มีต่อค่า j

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าของ j

ความถี่	น้ำ	3%	5%	7%	9% (1/2 ของ ความสูง)
นิ่ง	1.12	1.22	1.33	1.48	1.57
160	1.10	1.20	1.33	1.38	1.57
230	1.06	1.19	1.30	1.35	1.51
310	1.05	1.14	1.24	1.31	1.41
380	1.00	1.12	1.20	1.31	1.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ผลโดยกราฟ 3 มิติ



รูปที่ 5.13 กราฟ contour แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนืดของสารละลาย ความถี่ และค่า j

จากกราฟ แกน x คือความถี่ แกน y คือ ความหนืด และ แกน z คือ ค่า j

จากกราฟแสดงให้เห็นว่า

ที่ความถี่เดียวกันค่า j จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเบนโทไนด์เพิ่มขึ้น
ที่ความเข้มข้นของสารละลายเบนโทไนด์เดียวกัน ค่า j จะเพิ่มลดลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น
สรุปคือ ค่า j จะลดลง เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น หรือ เมื่อความเข้มข้นของสารละลาย

เบนโทไนด์ลดลง

โดยค่า j จะเป็นตัวบ่งบอกถึงลักษณะการถ่ายโอนความร้อนซึ่งถ้าค่า

$j = 1$ จะมีลักษณะการถ่ายโอนความร้อนเป็นแบบพาความร้อน (Pure Convection)

$j = 2$ จะมีลักษณะการถ่ายโอนความร้อนเป็นแบบนำความร้อน (Pure Conduction)

$1 < j < 2$ จะมีลักษณะการถ่ายโอนความร้อนเป็นแบบผสมระหว่างการพาความร้อน
และการนำความร้อน

จากความสัมพันธ์ของผลที่ได้จากการทดลองดังกล่าวสามารถทำให้เราสามารถสร้างสมการ
ความสัมพันธ์ของทั้งสามตัวแปรได้ คือสมการดังนี้

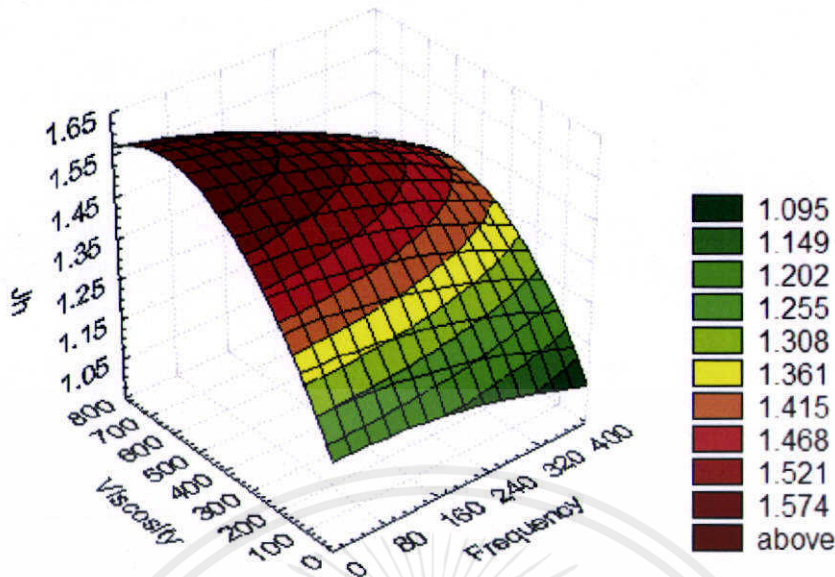
$$j = 1.172 - (1.272e^{-6} \times f) + (0.002 \times \mu) - (8.085e^{-7} \times f^2) - (4.538e^{-7} \times f \times \mu) - (1.302e^{-6} \times \mu^2); R^2 = 94\%$$

เมื่อ j = ค่าพารามิเตอร์ที่บ่งบอกลักษณะการถ่ายเทความร้อน

f = ความถี่ในการเขย่า (ครั้งต่อนาที)

μ = ความหนืดของสารละลายเบนโทไนด์ (เซ็นติพอยซ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

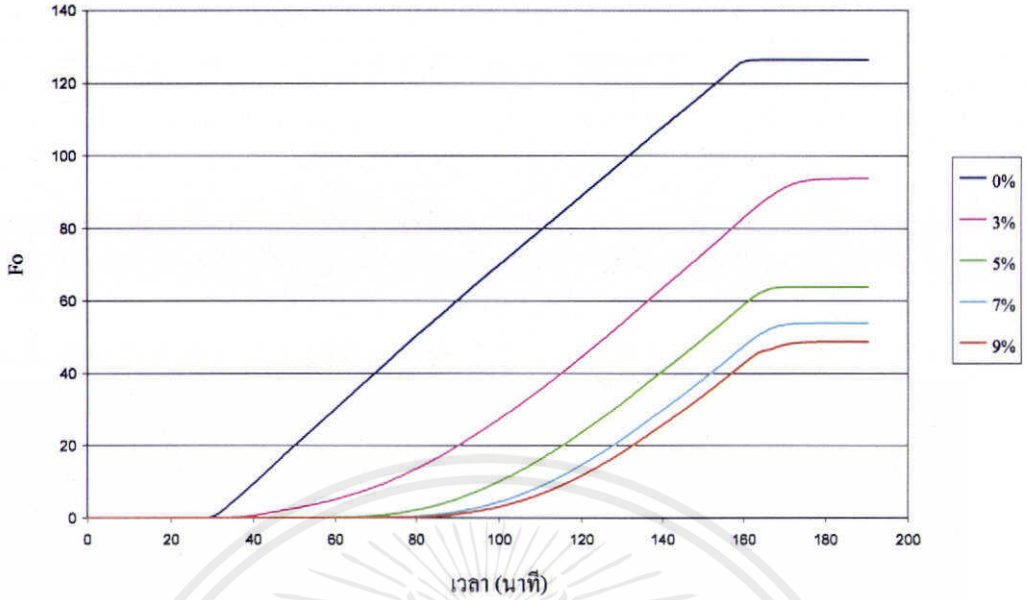


รูปที่ 5.14 กราฟพื้นที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนืดของสารละลาย ความถี่และค่า j

5.1.3 ผลของความเข้มข้นของสารละลายเบนโทไนด์ที่มีผลต่อค่า F_0

ความถี่เท่ากับ 0 ครั้งต่อนาที (นิ่ง)

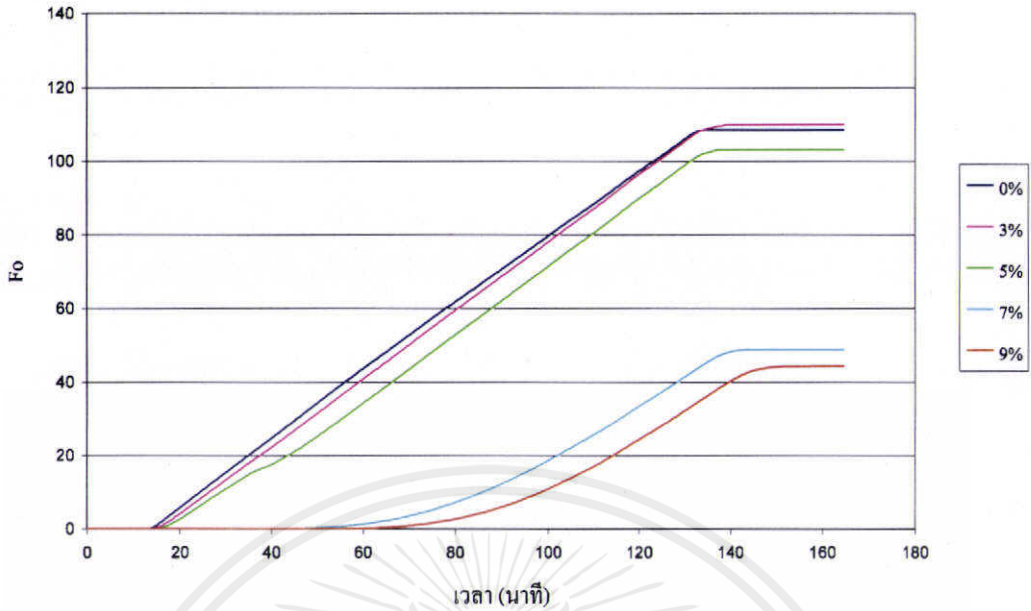
จากกราฟจะเห็นว่าที่ค่า F_0 เท่ากับ 3 เมื่อเพิ่มความเข้มข้น เวลาที่ใช้ถึงค่าดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นจากน้อยไปมากตามลำดับดังนี้ สารละลายเบนโทไนด์ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้เวลาเท่ากับ 34 นาที 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้เวลาเท่ากับ 53.5 นาที 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้เวลาเท่ากับ 84.5 นาที 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้เวลาเท่ากับ 97 นาที 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (1/6 ของความสูง) ใช้เวลาเท่ากับ 99 นาที 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (1/2 ของความสูง) ใช้เวลาเท่ากับ 101 นาที และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (1/3 ของความสูง) ใช้เวลาเท่ากับ 104.5 นาที



รูปที่ 5.15 กราฟแสดงค่า F_0 กับเวลา ที่ความถี่เท่ากับ 0 ครั้งต่อนาที

ความถี่เท่ากับ 160 ครั้งต่อนาที

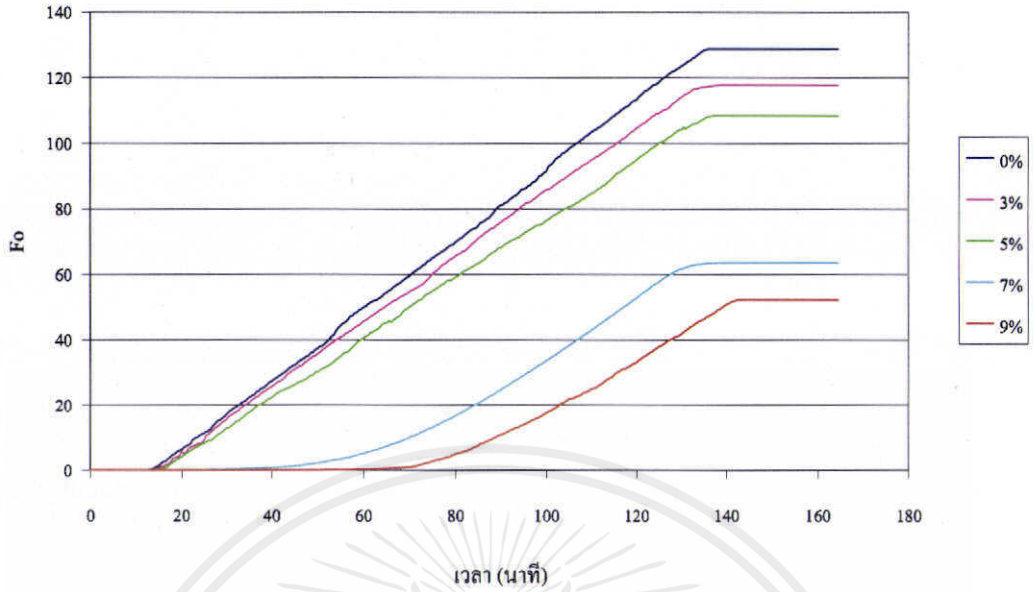
จากกราฟจะเห็นว่าที่ค่า F_0 เท่ากับ 3 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเวลาที่ใช้ถึงค่าดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นจากน้อยไปมากตามลำดับดังนี้ สารละลายเบนโทไนด์ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้เวลาเท่ากับ 17.5 นาที 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้เวลาเท่ากับ 19 นาที 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้เวลาเท่ากับ 20.5 นาที 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้เวลาเท่ากับ 69 นาที 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (1/3 ของความสูง) ใช้เวลาเท่ากับ 76.5 นาที 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (1/6 ของความสูง) ใช้เวลาเท่ากับ 82 นาที และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (1/2 ของความสูง) ใช้เวลาเท่ากับ 82.5 นาที



รูปที่ 5.16 กราฟแสดงค่า F_0 กับเวลา ที่ความถี่เท่ากับ 160 ครั้งต่อนาที

ความถี่เท่ากับ 230 ครั้งต่อนาที

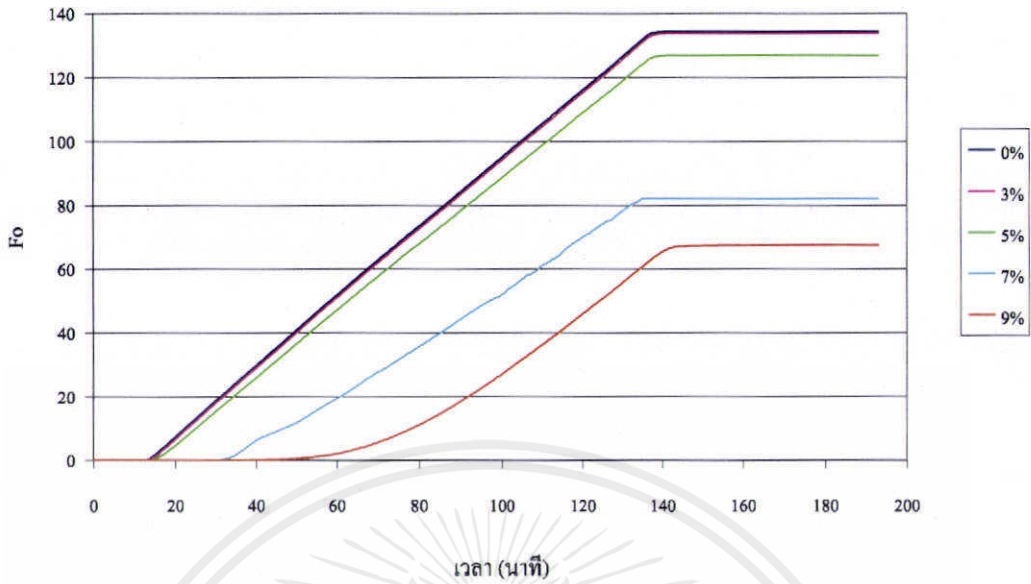
จากกราฟจะเห็นว่าที่ค่า F_0 เท่ากับ 3 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเวลาที่ใช้ถึงค่าดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นจากน้อยไปมากตามลำดับดังนี้ สารละลายเบนโทไนด์ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้เวลาเท่ากับ 17 นาที 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้เวลาเท่ากับ 18 นาที 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้เวลาเท่ากับ 19 นาที 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้เวลาเท่ากับ 54 นาที 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (1/6 ของความสูง) ใช้เวลาเท่ากับ 71 นาที 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (1/2 ของความสูง) ใช้เวลาเท่ากับ 76.5 นาที และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (1/3 ของความสูง) ใช้เวลาเท่ากับ 71 นาที



รูปที่ 5.17 กราฟแสดงค่า F_0 กับเวลา ที่ความถี่เท่ากับ 230 ครั้งต่อนาที

ความถี่เท่ากับ 310 ครั้งต่อนาที

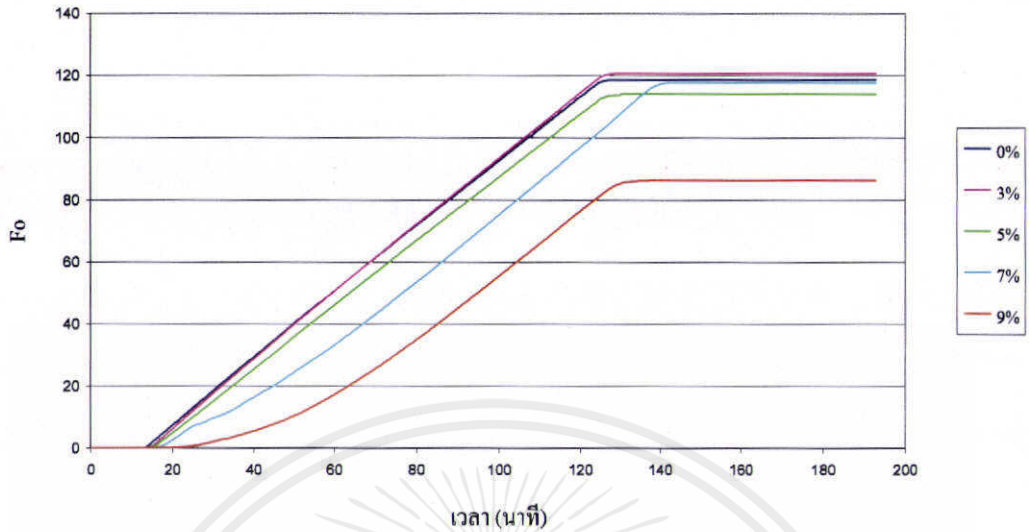
จากกราฟจะเห็นว่าที่ค่า F_0 เท่ากับ 3 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเวลาที่ใช้ถึงค่าดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นจากน้อยไปมากตามลำดับดังนี้ สารละลายเบนโทไนด์ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้เวลาเท่ากับ 16.5 นาที 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้เวลาเท่ากับ 17 นาที 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้เวลาเท่ากับ 18.5 นาที 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้เวลาเท่ากับ 37 นาที 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (1/6 ของความสูง) ใช้เวลาเท่ากับ 63.5 นาที 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (1/2 ของความสูง) ใช้เวลาเท่ากับ 63.5 นาที และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (1/3 ของความสูง) ใช้เวลาเท่ากับ 76 นาที



รูปที่ 5.18 กราฟแสดงค่า F_o กับเวลา ที่ความถี่เท่ากับ 310 ครั้งต่อนาที

ความถี่เท่ากับ 380 ครั้งต่อนาที

จากกราฟจะเห็นว่าที่ค่า F_o เท่ากับ 3 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเวลาที่ใช้ถึงค่าดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นจากน้อยไปมากตามลำดับดังนี้ สารละลายเบนโทไนด์ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้เวลาเท่ากับ 16.5 นาที 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้เวลาเท่ากับ 17.5 นาที 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้เวลาเท่ากับ 18.5 นาที 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้เวลาเท่ากับ 21 นาที 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (1/2 ของความสูง) ใช้เวลาเท่ากับ 33.5 นาที 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (1/6 ของความสูง) ใช้เวลาเท่ากับ 63.5 นาที และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (1/3 ของความสูง) ใช้เวลาเท่ากับ 75 นาที

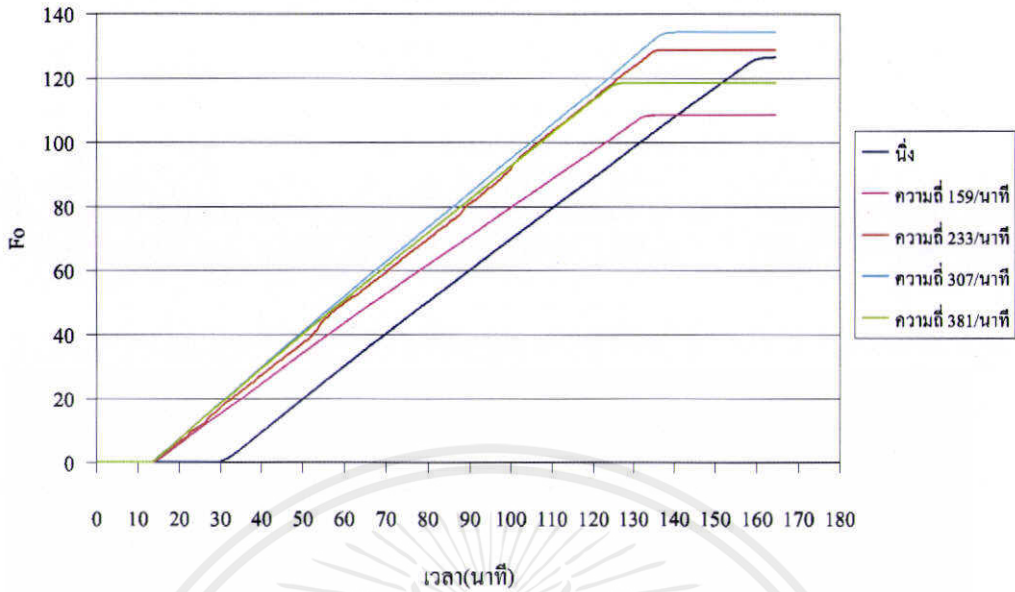


รูปที่ 5.19 กราฟแสดงค่า F_0 กับเวลา ที่ความถี่เท่ากับ 380 ครั้งต่อนาที

5.1.4 ผลของความถี่ในการเขย่าที่มีผลต่อค่า F_0

สารละลายเบนโทไนด์ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (น้ำ)

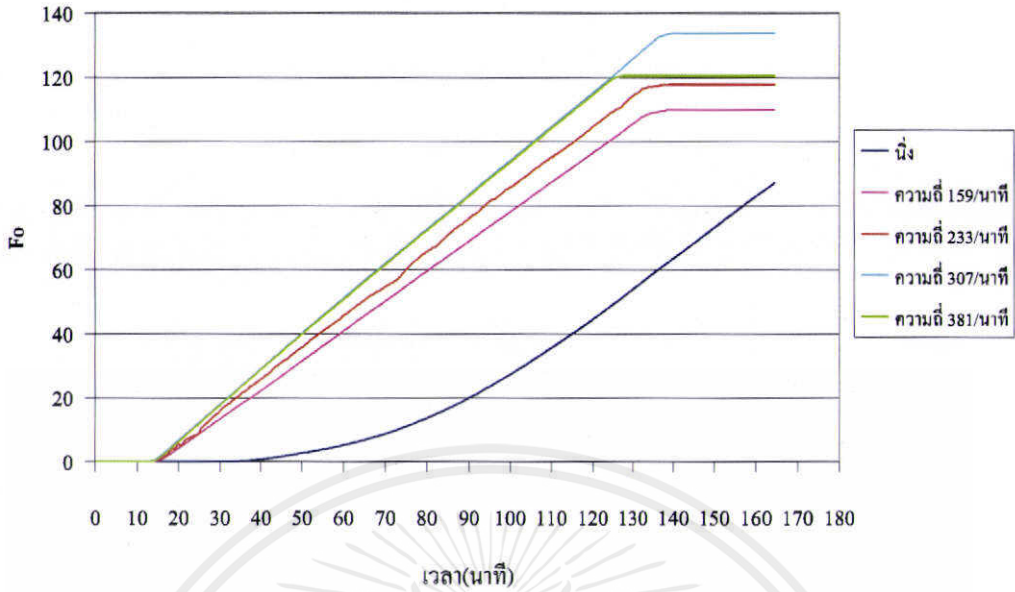
จากกราฟที่ค่า F_0 เท่ากับ 3 เมื่อเพิ่มความถี่จะมีผลทำให้เวลาที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 3 เร็วขึ้น ซึ่งเมื่อคิดค่าเป็นเปอร์เซ็นต์โดยการเทียบกับขณะอยู่นิ่งจะได้อัตราเร็วที่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความถี่จากน้อยไปมากดังนี้ ความถี่ 160 ครั้งต่อนาที เร็วขึ้น 48.52 เปอร์เซ็นต์ ความถี่ 230 ครั้งต่อนาที เร็วขึ้น 50 เปอร์เซ็นต์ ความถี่ 310 ครั้งต่อนาที เร็วขึ้น 51.47 เปอร์เซ็นต์ และความถี่ 380 ครั้งต่อนาที เร็วขึ้น 51.47 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.20 กราฟแสดงค่า F_0 กับเวลา ที่ความถี่ในการเขย่าแตกต่างกันของ สารละลายเบนโทไนต์ 0 โดยน้ำหนัก

สารละลายเบนโทไนต์ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

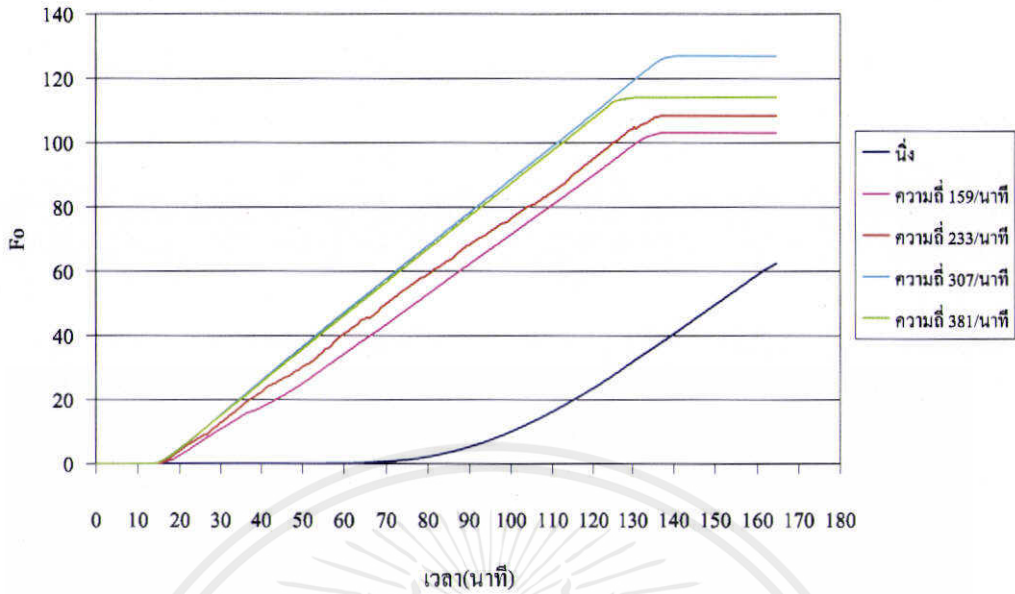
จากกราฟที่ค่า F_0 เท่ากับ 3 เมื่อเพิ่มความถี่จะมีผลทำให้เวลาที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 3 เร็วขึ้น ซึ่งเมื่อคิดค่าเป็นเปอร์เซ็นต์โดยการเทียบกับขณะอยู่นิ่งจะได้ความเร็วที่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความถี่จากน้อยไปมากดังนี้ ความถี่ 160 ครั้งต่อนาที เร็วขึ้น 64.48 เปอร์เซ็นต์ ความถี่ 230 ครั้งต่อนาที เร็วขึ้น 66.35 เปอร์เซ็นต์ ความถี่ 310 ครั้งต่อนาที เร็วขึ้น 68.22 เปอร์เซ็นต์ และความถี่ 380 ครั้งต่อนาที เร็วขึ้น 67.28 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.21 กราฟแสดงค่า F_0 กับเวลา ที่ความถี่ในการเขย่าแตกต่างกันของสารละลายเบนโทไนด์ 3 โดยน้ำหนัก

สารละลายเบนโทไนด์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

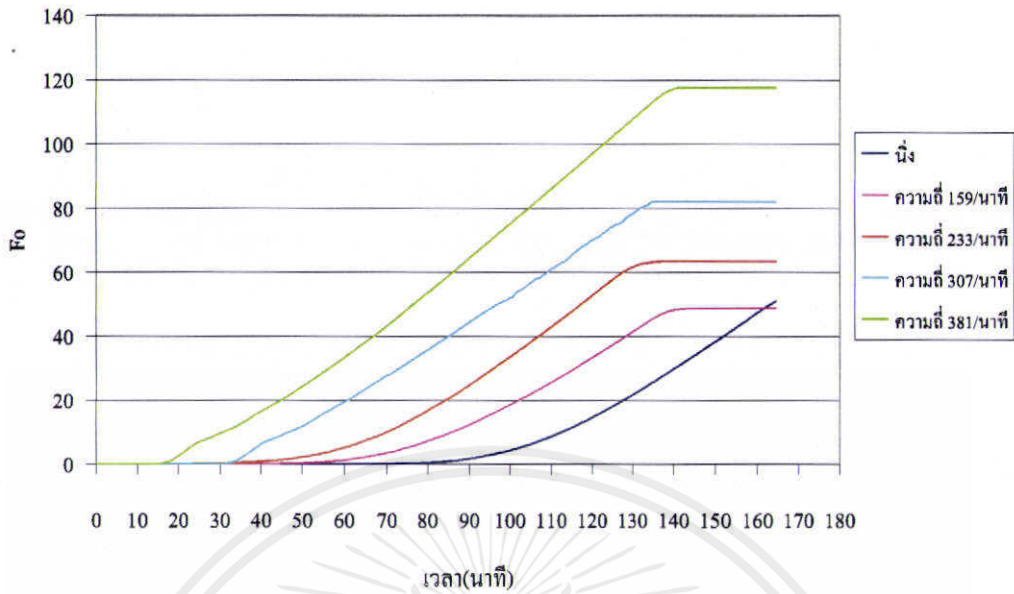
จากกราฟที่ค่า F_0 เท่ากับ 3 เมื่อเพิ่มความถี่จะมีผลทำให้เวลาที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 3 เร็วขึ้น ซึ่งเมื่อคิดค่าเป็นเปอร์เซ็นต์โดยการเทียบกับขณะอยู่นิ่งจะได้อัตราเร็วที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความถี่จากน้อยไปมากดังนี้ ความถี่ 160 ครั้งต่อนาที เร็วขึ้น 75.73 เปอร์เซ็นต์ ความถี่ 230 ครั้งต่อนาที เร็วขึ้น 77.51 เปอร์เซ็นต์ ความถี่ 310 ครั้งต่อนาที เร็วขึ้น 78.1 เปอร์เซ็นต์ และความถี่ 380 ครั้งต่อนาที เร็วขึ้น 78.1 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.22 กราฟแสดงค่า F_0 กับเวลา ที่ความถี่ในการเขย่าแตกต่างกันของสารละลายเบนโทไนด์ 5 โดยน้ำหนัก

สารละลายเบนโทไนด์ 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

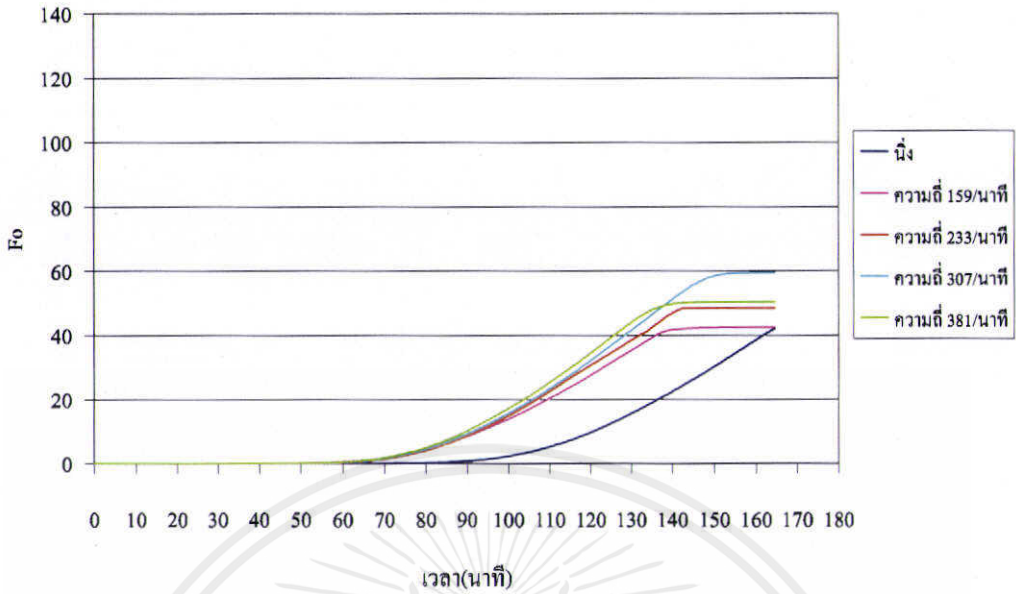
จากกราฟที่ค่า F_0 เท่ากับ 3 เมื่อเพิ่มความถี่จะมีผลทำให้เวลาที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 3 เร็วขึ้น ซึ่งเมื่อคิดค่าเป็นเปอร์เซ็นต์โดยการเทียบกับขณะอยู่นิ่งจะได้อัตราเร็วที่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความถี่จากน้อยไปมากดังนี้ ความถี่ 160 ครั้งต่อนาที เร็วขึ้น 28.86 เปอร์เซ็นต์ ความถี่ 230 ครั้งต่อนาที เร็วขึ้น 44.32 เปอร์เซ็นต์ ความถี่ 310 ครั้งต่อนาที เร็วขึ้น 61.85 เปอร์เซ็นต์ และความถี่ 380 ครั้งต่อนาที เร็วขึ้น 78.35 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.23 กราฟแสดงค่า F_0 กับเวลา ที่ความถี่ในการเขย่าแตกต่างกันของ สารละลายเบนโทไนต์ 7 โดยน้ำหนัก

สารละลายเบนโทไนต์ 9 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก (1/3 ของความสูง)

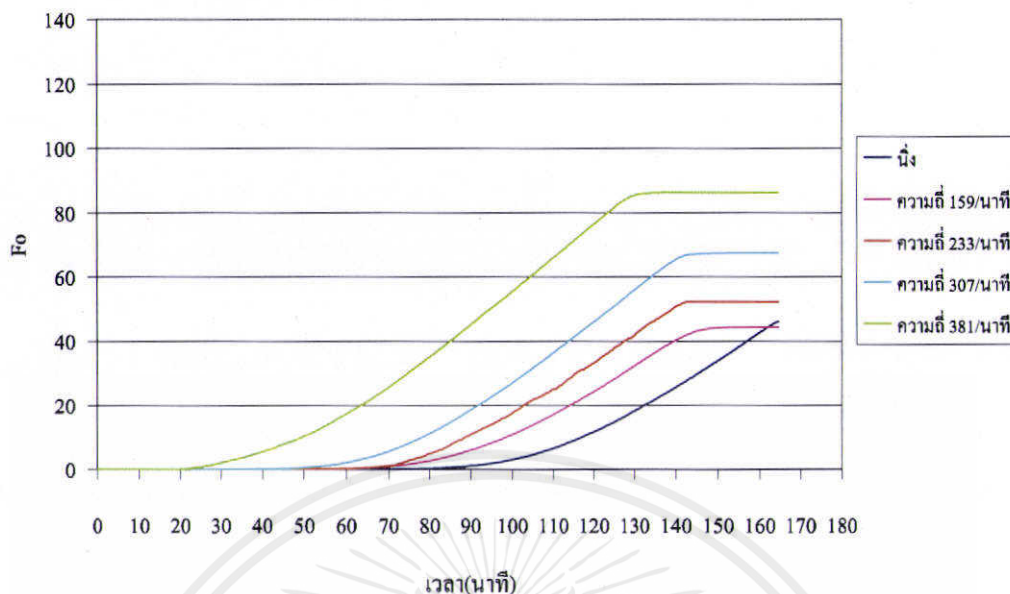
จากกราฟที่ค่า F_0 เท่ากับ 3 เมื่อเพิ่มความถี่จะมีผลทำให้เวลาที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 3 เร็วขึ้น ซึ่งเมื่อคิดค่าเป็นเปอร์เซ็นต์โดยการเทียบกับขณะอยู่นิ่งจะได้ความเร็วที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความถี่จากน้อยไปมากดังนี้ ความถี่ 160 ครั้งต่อนาที เร็วขึ้น 26.79 เปอร์เซ็นต์ ความถี่ 230 ครั้งต่อนาที เร็วขึ้น 26.31 เปอร์เซ็นต์ ความถี่ 310 ครั้งต่อนาที เร็วขึ้น 27.27 เปอร์เซ็นต์ และความถี่ 380 ครั้งต่อนาที เร็วขึ้น 28.22 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.24 กราฟแสดงค่า F_0 กับเวลา ที่ความถี่ในการเขย่าแตกต่างกันของ สารละลายเบนโทไนด์ 9 โดยน้ำหนัก (1/3 ของความสูง)

สารละลายเบนโทไนด์ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (1/2 ของความสูง)

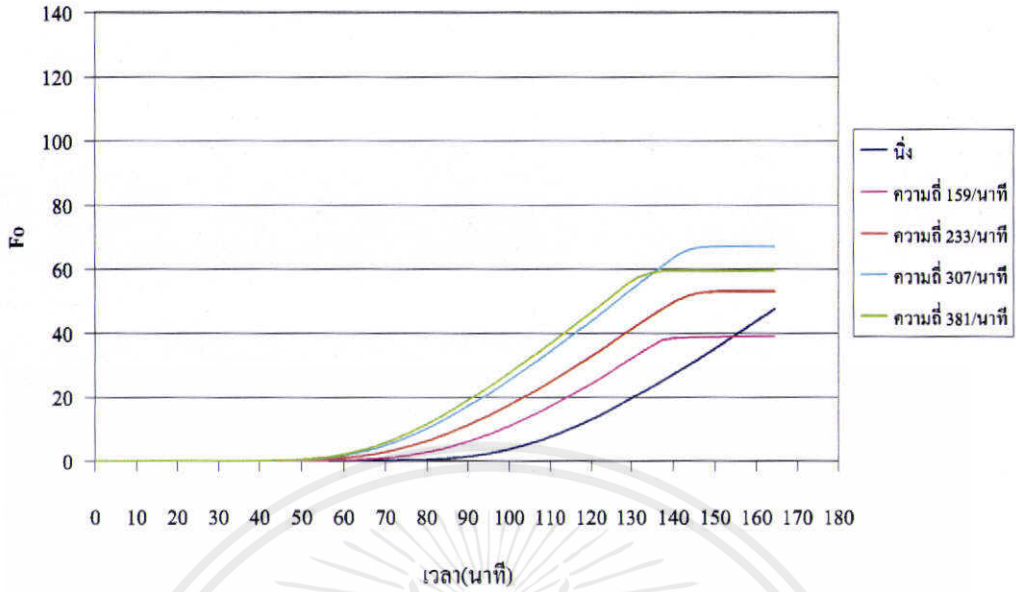
จากกราฟที่ค่า F_0 เท่ากับ 3 เมื่อเพิ่มความถี่จะมีผลทำให้เวลาที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 3 เร็วขึ้น ซึ่งเมื่อคิดค่าเป็นเปอร์เซ็นต์โดยการเทียบกับขณะอยู่นิ่งจะ ได้ความเร็วที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความถี่จากน้อยไปมากดังนี้ ความถี่ 160 ครั้งต่อนาที เร็วขึ้น 18.31 เปอร์เซ็นต์ ความถี่ 230 ครั้งต่อนาที เร็วขึ้น 24.25 เปอร์เซ็นต์ ความถี่ 310 ครั้งต่อนาที เร็วขึ้น 37.12 เปอร์เซ็นต์ และความถี่ 380 ครั้งต่อนาที เร็วขึ้น 66.83 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.25 กราฟแสดงค่า F_0 กับเวลา ที่ความถี่ในการเขย่าแตกต่างกันของสารละลายเบนโทไนด์ 9 โดยน้ำหนัก (1/2 ของความสูง)

สารละลายเบนโทไนด์ 9 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก (1/6 ของความสูง)

จากกราฟที่ค่า F_0 เท่ากับ 3 เมื่อเพิ่มความถี่จะมีผลทำให้เวลาที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 3 เร็วขึ้น ซึ่งเมื่อคิดค่าเป็นเปอร์เซ็นต์โดยการเทียบกับขณะอยู่นิ่ง จะได้ความเร็วที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความถี่จากน้อยไปมากดังนี้ ความถี่ 160 ครั้งต่อนาที เร็วขึ้น 17.17 เปอร์เซ็นต์ ความถี่ 230 ครั้งต่อนาที เร็วขึ้น 28.28 เปอร์เซ็นต์ ความถี่ 310 ครั้งต่อนาที เร็วขึ้น 33.83 เปอร์เซ็นต์ และความถี่ 380 ครั้งต่อนาที เร็วขึ้น 35.85 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.26 กราฟแสดงค่า F_0 กับเวลา ที่ความถี่ในการเขย่าแตกต่างกันของสารละลายเบนโทไนด์ 9 โดยน้ำหนัก (1/6 ของความสูง)

ตารางที่ 5.3 แสดงผลเวลาเป็นนาทีของสารละลายเบนโทไนด์ ที่ค่า F_0 เท่ากับ 3

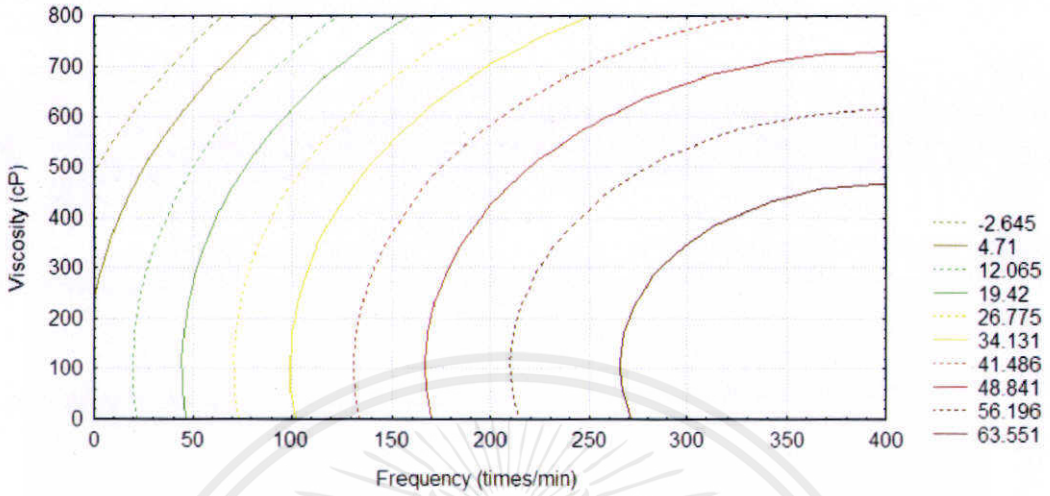
สารละลายเบนโทไนด์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ความถี่ในการเขย่า (ครั้งต่อนาที)				
	นิ่ง	160	230	310	380
0	34.0	17.5	17.0	16.5	16.5
3	53.5	19.0	18.0	17.0	17.5
5	84.5	20.5	19.0	18.5	18.5
7	97.0	69.0	54.0	37.0	21.0
9% (1/3ของความสูง)	104.5	76.5	77.0	76.0	75.0
9% (1/2ของความสูง)	101.0	82.5	76.5	63.5	33.5
9% (1/6ของความสูง)	99.0	82.0	71.0	65.5	63.5

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าร้อยละของเวลาที่เร็วขึ้นที่เวลา $F_0 = 3$ นาที

สารละลายเบนโทไนด์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ความถี่ในการเขย่า (ครั้งต่อนาที)			
	160	230	310	380
0	48.52	50.00	51.47	51.47
3	64.48	66.35	68.22	67.28
5	75.73	77.51	78.1	78.10
7	28.86	44.32	61.85	78.35
9% (1/3ของความสูง)	26.79	26.31	27.27	28.22
9% (1/2ของความสูง)	18.31	24.25	37.12	66.83
9% (1/6ของความสูง)	17.17	28.28	33.83	35.85

หมายเหตุ F_0 เท่ากับ 3 ค่าร้อยละที่เพิ่มขึ้นเทียบกับสภาวะอยู่นิ่ง (0 ครั้งต่อนาที)

วิเคราะห์ผลโดยกราฟ 3 มิติ



รูปที่ 5.27 กราฟ contour แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของเวลาที่เร็วขึ้น ความถี่ และความหนืด ของสารละลาย

จากกราฟ แกน x คือความถี่ แกน y คือ ความหนืด และ แกน z คือ ค่าร้อยละของเวลาที่เร็วขึ้น เมื่อ F_0 เท่ากับ 6

จากกราฟแสดงให้เห็นว่า

ที่ความถี่เดียวกันค่าร้อยละของเวลาที่เร็วขึ้นจะลดลงเมื่อความหนืดเพิ่มขึ้น

ที่ความหนืดเดียวกันค่าร้อยละของเวลาที่เร็วขึ้นจะเพิ่มเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น

สรุปรวมคือ ค่าร้อยละของเวลาที่เร็วขึ้นจะลดลง เมื่อความหนืดเพิ่มขึ้น หรือเมื่อความถี่ลดลง

จากความสัมพันธ์ของผลที่ได้จากการทดลองดังกล่าว สามารถทำให้เราสามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ของทั้งสามตัวแปรได้ คือสมการดังนี้

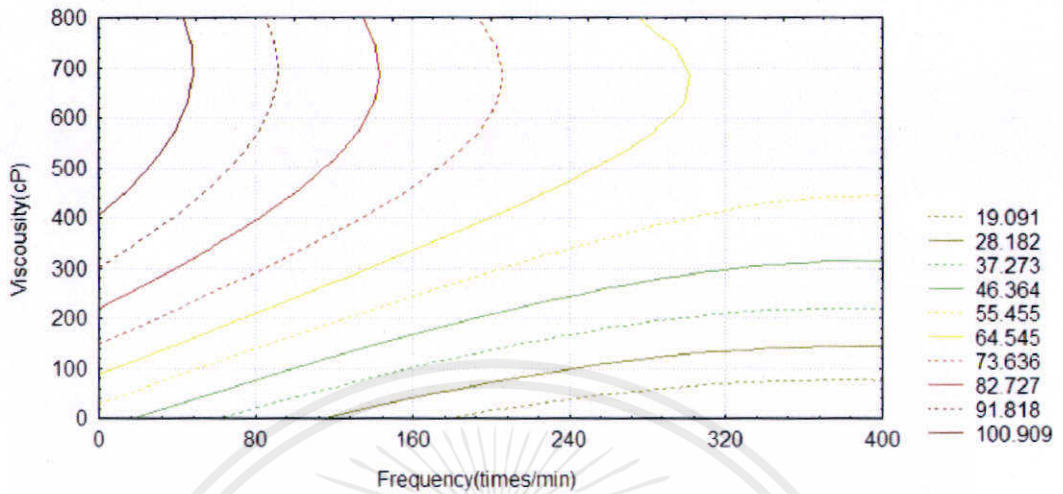
$$Z = 5.264 + (0.326 \times f) + (0.01 \times \mu) - (0.487e^{-4} \times f^2) + (2.652e^{-6} \times f \times \mu) - (5.746e^{-5} \times \mu^2); R^2 = 80.0 \%$$

เมื่อ z = ค่าร้อยละของเวลาที่เร็วขึ้น

f = ความถี่ในการเขย่า (ครั้งต่อนาที)

μ = ความหนืดของสารละลายเบนโทไนด์ (เซ็นติพอยซ์)

วิเคราะห์ผลโดยกราฟ 3 มิติ



รูปที่ 5.28 กราฟ contour แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนืดของสารละลาย ความถี่ และค่า F_0 .

จากกราฟ แกน x คือความถี่ แกน y คือ ความหนืด และ แกน z คือ ค่าเวลาเป็นนาทีที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 3

จากกราฟแสดงให้เห็นว่า

ที่ความถี่เดียวกันค่าเวลาเป็นนาทีที่ใช้ จะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนืดเพิ่มขึ้น

ที่ความหนืดเดียวกัน ค่าเวลาเป็นนาทีที่ใช้ จะลดลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น

สรุปรวมคือ ค่าเวลาเป็นนาทีที่ใช้ จะลดลง เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น หรือ เมื่อความหนืดลดลง

ซึ่งค่าเวลาเป็นนาทีที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 3 นี้จะสามารถทำให้เราสามารถทราบเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อได้ โดยถ้าค่านี้มีค่าน้อยลง จะหมายถึงใช้เวลาในการเชื่อน้อย (การแทรกผ่านความร้อนที่ดีขึ้น)

จากความสัมพันธ์ของผลที่ได้จากการทดลองดังกล่าว สามารถทำให้เราสามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ของทั้งสามตัวแปรได้ คือสมการดังนี้

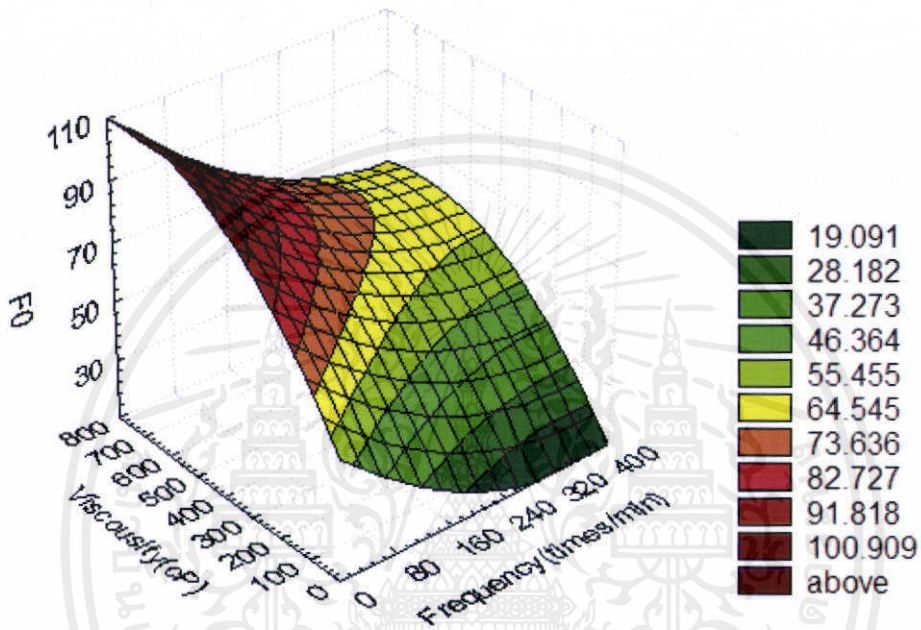
$$t = 50.369 - (0.23 \times f) + (0.175 \times \mu) + (3.067e^{-4} \times f^2) - (3.05e^{-5} \times f \times \mu) - (1.232e^{-4} \times \mu^2) ; R^2 = 89.3\%$$

เมื่อ t = ค่าเวลาที่ใช้ให้ค่า $F_0 = 3$ (นาที)

f = ความถี่ในการเขย่า (ครั้งต่อนาที)

μ = ความหนืดของสารละลายเบนโทไนด์ (เช่นติพอยซ์)

จากสมการความสัมพันธ์นี้ทำให้เราสามารถทำนายค่าเวลาเป็นนาฬิกาที่ใช้ในการถึง ค่า F_0 เท่ากับ 3 ค่าความถี่ในการเขย่า หรือค่าความหนืดของสารละลายเบนโทไนด์ได้ เมื่อเราทราบตัวแปรอีกสองตัวที่สัมพันธ์กันในสมการ



รูปที่ 5.29 กราฟพื้นที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนืดของสารละลาย ความถี่และค่า เวลาเป็นนาฬิกาที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 3

ตารางที่ 5.5 แสดงผลเวลาเป็นนาทีของสารละลายเบนโทไนด์ ที่ค่า F_0 เท่ากับ 6

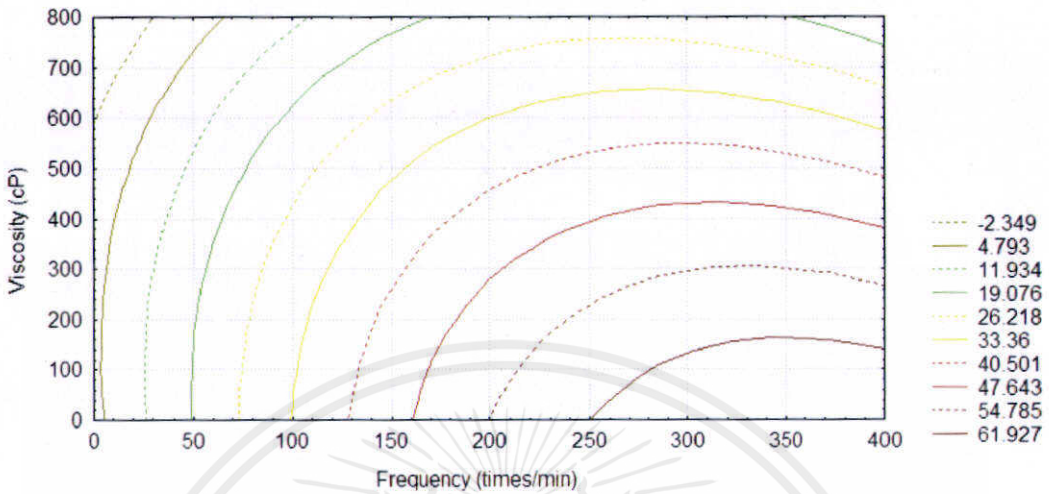
สารละลายเบนโทไนด์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ความถี่ในการเขย่า (ครั้งต่อนาที)				
	นิ่ง	160	230	310	380
0	37.0	20.5	20.0	19.0	19.0
3	63.0	22.0	21.3	19.5	20.0
5	92.0	24.3	22.0	21.5	21.0
7	104.5	77.5	71.0	62.5	24.0
9% (1/3ของความสูง)	112.0	84.5	85.0	84.0	82.5
9% (1/2ของความสูง)	109.0	90.5	82.5	71.0	41.5
9% (1/6ของความสูง)	106.5	90.0	79.5	72.5	70.5

ตารางที่ 5.6 แสดงค่าร้อยละของเวลาที่เร็วขึ้นที่เวลา $F_0 = 6$ นาที

สารละลายเบนโทไนด์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ความถี่ในการเขย่า (ครั้งต่อนาที)			
	160	230	310	380
0	44.59	45.94	48.64	48.64
3	65.07	66.27	69.04	69.04
5	73.64	76.08	76.63	77.17
7	25.83	32.05	40.19	77.03
9% (1/3ของความสูง)	16.97	24.31	34.86	61.92
9% (1/2ของความสูง)	24.55	24.55	25.00	26.33
9% (1/6ของความสูง)	15.49	25.35	31.92	33.80

หมายเหตุ F_0 เท่ากับ 6 ค่าร้อยละที่เพิ่มขึ้นเทียบกับสถานะอยู่นิ่ง (0 ครั้งต่อนาที)

วิเคราะห์ผลโดยกราฟ 3 มิติ



รูปที่ 5.30 กราฟ contour แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของเวลาที่เร็วขึ้น ความถี่ และความหนืดของสารละลาย

จากกราฟ แกน x คือความถี่ แกน y คือ ความหนืด และ แกน z คือ ค่าร้อยละของเวลาที่เร็วขึ้น เมื่อ F_0 เท่ากับ 3

จากกราฟแสดงให้เห็นว่า

ที่ความถี่เดียวกันค่าร้อยละของเวลาที่เร็วขึ้นจะลดลงเมื่อความหนืดเพิ่มขึ้น

ที่ความหนืดเดียวกันค่าร้อยละของเวลาที่เร็วขึ้นจะเพิ่มเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น

สรุปรวมคือ ค่าร้อยละของเวลาที่เร็วขึ้นจะลดลง เมื่อความหนืดเพิ่มขึ้น หรือเมื่อความถี่ลดลง

จากความสัมพันธ์ของผลที่ได้จากการทดลองดังกล่าว สามารถทำให้เราสามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ของทั้งสามตัวแปรได้ คือสมการดังนี้

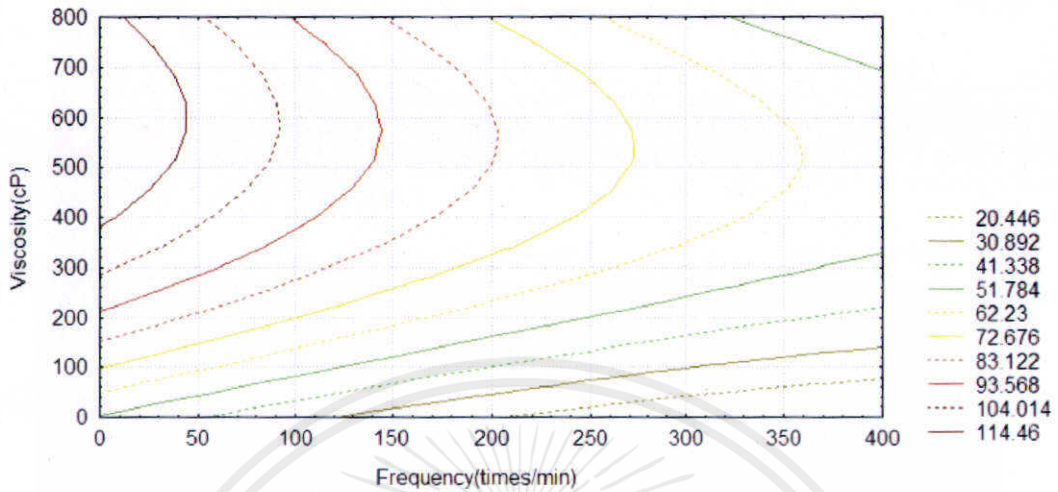
$$Z = 2.955 + (0.355 \times f) + (0.009 \times \mu) - (4.762e^{-4} \times f^2) + (1.321e^{-4} \times f \times \mu) - (3.094e^{-5} \times \mu^2); R^2 = 77.2 \%$$

เมื่อ z = ค่าร้อยละของเวลาที่เร็วขึ้น

f = ความถี่ในการเขย่า (ครั้งต่อนาที)

μ = ความหนืดของสารละลายเบนโทไนด์ (เซ็นติพอยซ์)

วิเคราะห์ผลโดยกราฟ 3 มิติ



รูปที่ 5.31 กราฟ contour แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนืดของสารละลาย ความถี่ และค่า F_0 .

จากกราฟ แกน x คือความถี่ แกน y คือ ความหนืด และ แกน z คือ ค่าเวลาเป็นนาทีที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 6

จากกราฟแสดงให้เห็นว่า

ที่ความถี่เดียวกันค่าเวลาเป็นนาทีที่ใช้ จะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนืดเพิ่มขึ้น

ที่ความหนืดเดียวกัน ค่าเวลาเป็นนาทีที่ใช้ จะลดลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น

สรุปรวมคือ ค่าเวลาเป็นนาทีที่ใช้ จะลดลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น หรือ เมื่อความหนืดลดลง ซึ่งค่าเวลาเป็นนาทีที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 6 นี้จะสามารถทำให้เราสามารถทราบเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อได้ โดยถ้าค่านี้มีค่าน้อยลง จะหมายถึงใช้เวลาในการเช็อน้อย (การแทรกผ่านความร้อนที่ดีขึ้น)

จากความสัมพันธ์ของผลที่ได้จากการทดลองดังกล่าว สามารถทำให้เราสามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ของทั้งสามตัวแปรได้ คือสมการดังนี้

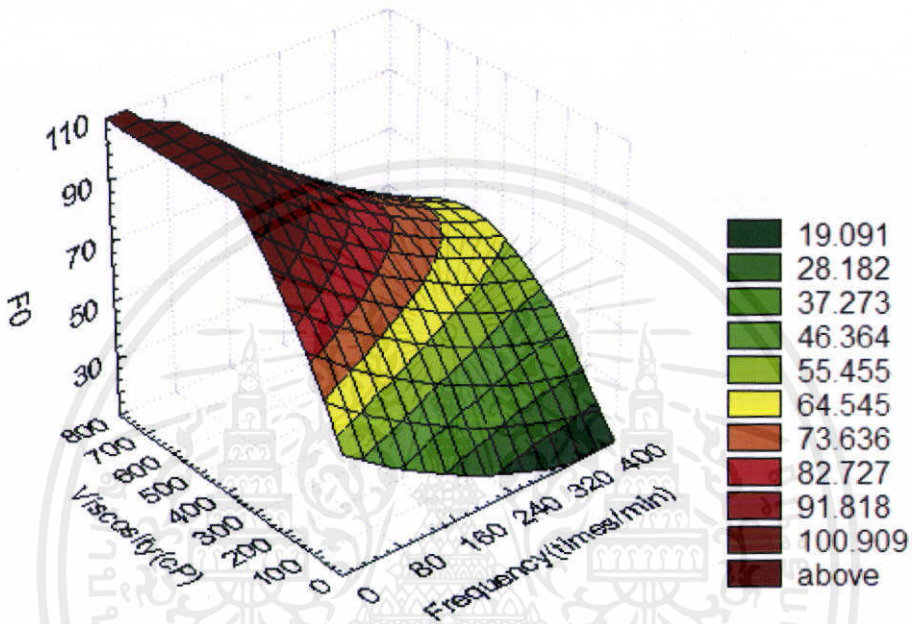
$$t = 50.882 - (0.187 \times f) + (0.244 \times \mu) + (1.875e^{-4} \times f^2) - (9.788e^{-5} \times f \times \mu) - (2.002e^{-4} \times \mu^2) ; R^2 = 86.8\%$$

เมื่อ t = ค่าเวลาที่ใช้ให้ค่า F_0 เท่ากับ 6 (นาที)

f = ความถี่ในการเขย่า (ครั้งต่อนาที)

μ = ความหนืดของสารละลายเบนโทโนล (เซ็นติพอยซ์)

จากสมการความสัมพันธ์นี้ ทำให้เราสามารถทำนายค่าค่าเวลาเป็นนาทีที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 6 ค่าความถี่ในการเขย่า หรือค่าความหนืดของสารละลายเบนโทไนด์ได้ เมื่อเราทราบตัวแปรอีกสองตัวที่สัมพันธ์กันในสมการ

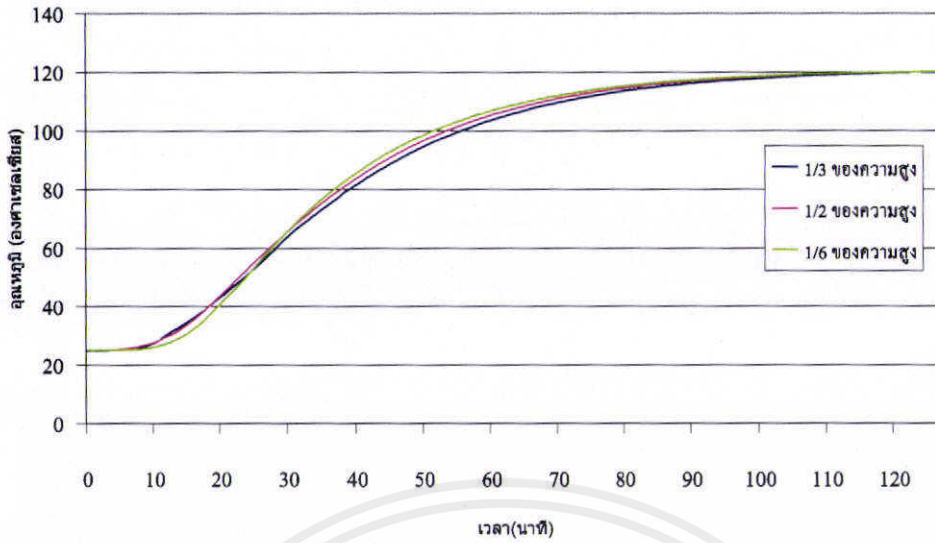


รูปที่ 5.32 กราฟพื้นที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนืดของสารละลาย ความถี่และค่า เวลาเป็นนาทีที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 6

5.1.5 ผลของตำแหน่งวัตถุหมกภายในกระป๋องที่มีต่อการแทรกผ่านความร้อน

ความถี่เท่ากับ 0 ครั้งต่อนาที (อยู่นิ่ง)

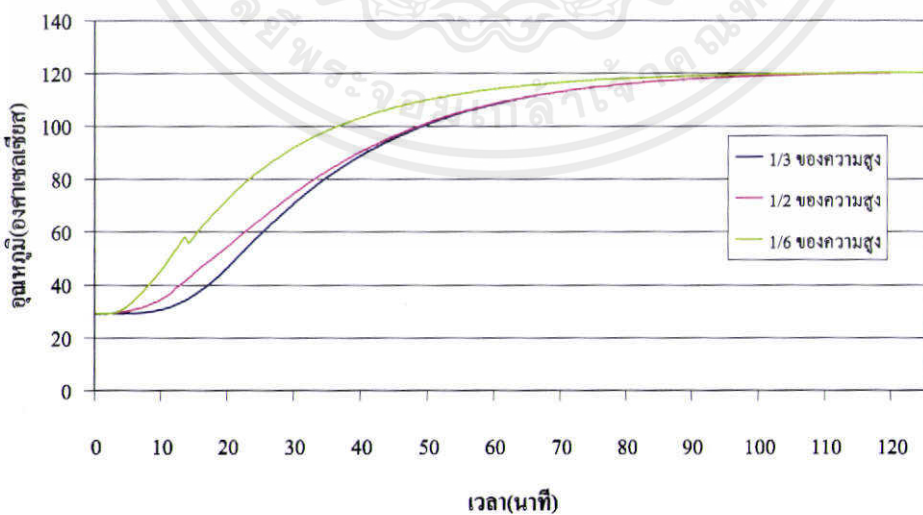
จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อสภาวะอยู่นิ่ง ตำแหน่งของสายวัตถุหมกที่แตกต่างกันมีผลต่อการแทรกผ่านความร้อนเพียงเล็กน้อย โดยการแทรกผ่านความร้อนจะช้าลงตามลำดับดังนี้ ตำแหน่ง 1/2 ส่วนของความสูงกระป๋อง ตำแหน่ง 1/6 ส่วนของความสูงกระป๋อง และ ตำแหน่ง 1/3 ส่วนของความสูงกระป๋อง ตามลำดับ จากการทดลองครั้งนี้ทำให้สามารถทราบจุดร้อนช้าของกระป๋อง (cool point) ซึ่งก็คือ ตำแหน่ง 1/3 ส่วนของความสูงกระป๋อง



รูปที่ 5.33 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนของสารละลายเบนโทไนต์ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่ตำแหน่งแตกต่างกัน

ความถี่เท่ากับ 160 ครั้งต่อนาที

จากกราฟจะเห็นได้ว่าการแทรกผ่านความร้อนของสายวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งแตกต่างกันมีผลต่อการแทรกผ่านความร้อนอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งการแทรกผ่านความร้อนจะลดลงตามลำดับดังนี้ คือ ที่ตำแหน่ง 1/6 ของความสูงกระป๋อง 1/2 ของความสูงกระป๋อง และ 1/3 ของความสูงกระป๋องโดยที่ความถี่ที่ตำแหน่ง 1/6 ของความสูงกระป๋องจะมีการแทรกผ่านความร้อนได้เร็วที่สุด

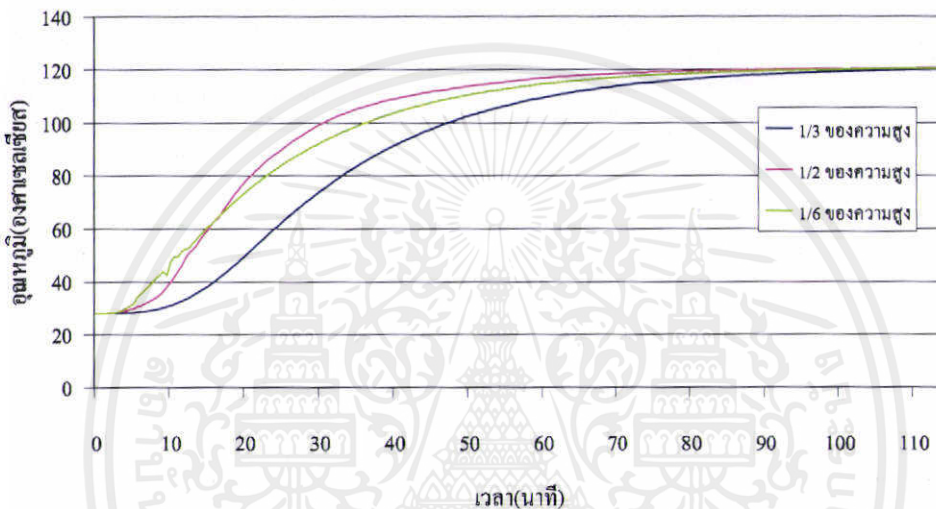


รูปที่ 5.34 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนของสารละลายเบนโทไนต์ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ตำแหน่งแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่เท่ากับ 230 ครั้งต่อนาที

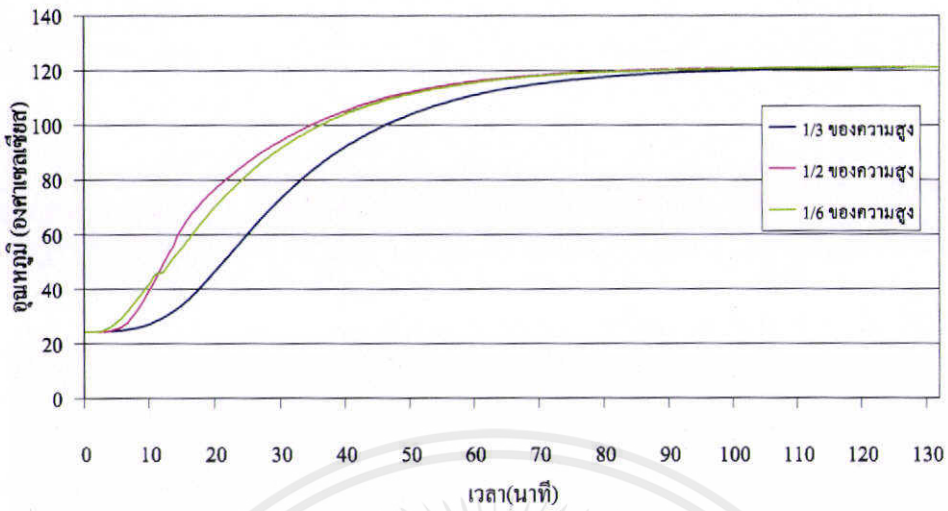
จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเขย่า ตำแหน่งของสายวัดอุณหภูมิที่แตกต่างกันมีผลต่อการแทรกผ่านความร้อนอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งการแทรกผ่านความร้อนจะลดลงตามลำดับดังนี้ คือ ที่ตำแหน่ง 1/2 ของความสูงกระป๋อง 1/6 ของความสูงกระป๋อง และ 1/3 ของความสูงกระป๋อง โดยที่ความถี่นี้ที่ตำแหน่ง 1/2 ของความสูงกระป๋องจะมีการแทรกผ่านความร้อนได้เร็วที่สุด



รูปที่ 5.35 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนของสารละลายเบนโทไนด์ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ตำแหน่งแตกต่างกัน

ความถี่เท่ากับ 310 ครั้งต่อนาที

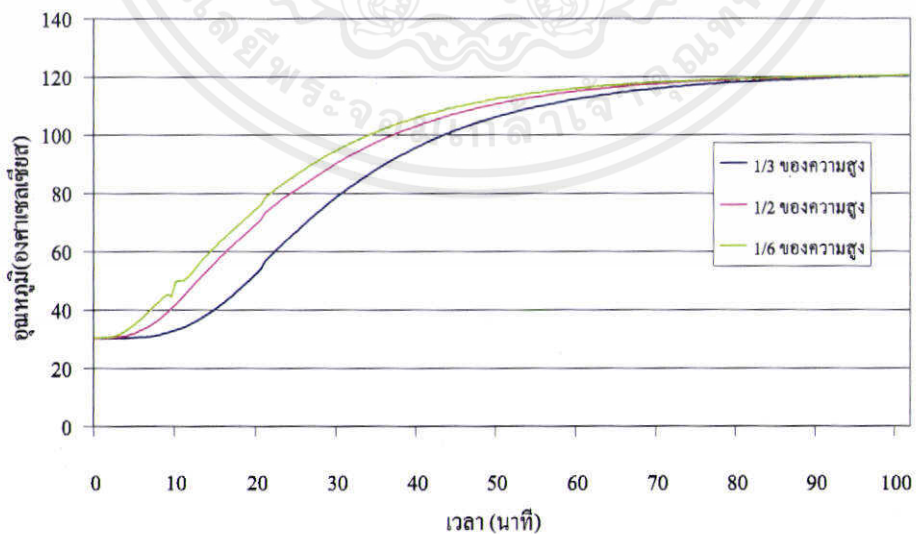
จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเขย่า ตำแหน่งของสายวัดอุณหภูมิที่แตกต่างกันมีผลต่อการแทรกผ่านความร้อนอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งการแทรกผ่านความร้อนจะลดลงตามลำดับดังนี้ คือ ที่ตำแหน่ง 1/2 1/6 และ 1/3 ของความสูงกระป๋อง ในการเขย่าที่ความถี่นี้ผลของตำแหน่ง 1/2 1/6 ของความสูงกระป๋องมีผลใกล้เคียงกัน ซึ่งตำแหน่ง 1/2 ของความสูงกระป๋องจะมีการแทรกผ่านความร้อนได้เร็วที่สุด



รูปที่ 5.36 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนของสารละลายเบนโทไนด์ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ตำแหน่งแตกต่างกัน

ความถี่เท่ากับ 380 ครั้งต่อนาที

จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเขย่า ตำแหน่งของสายวัดอุณหภูมิที่แตกต่างกันมีผลต่อการแทรกผ่านความร้อนอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งการแทรกผ่านความร้อนจะลดลงตามลำดับดังนี้ คือ ที่ตำแหน่ง 1/6 ของความสูงกระป๋อง 1/2 ของความสูงกระป๋อง และ 1/3 ของความสูงกระป๋อง โดยที่ความถี่นี้ที่ตำแหน่ง 1/6 ของความสูงกระป๋องจะมีการแทรกผ่านความร้อนได้เร็วที่สุด



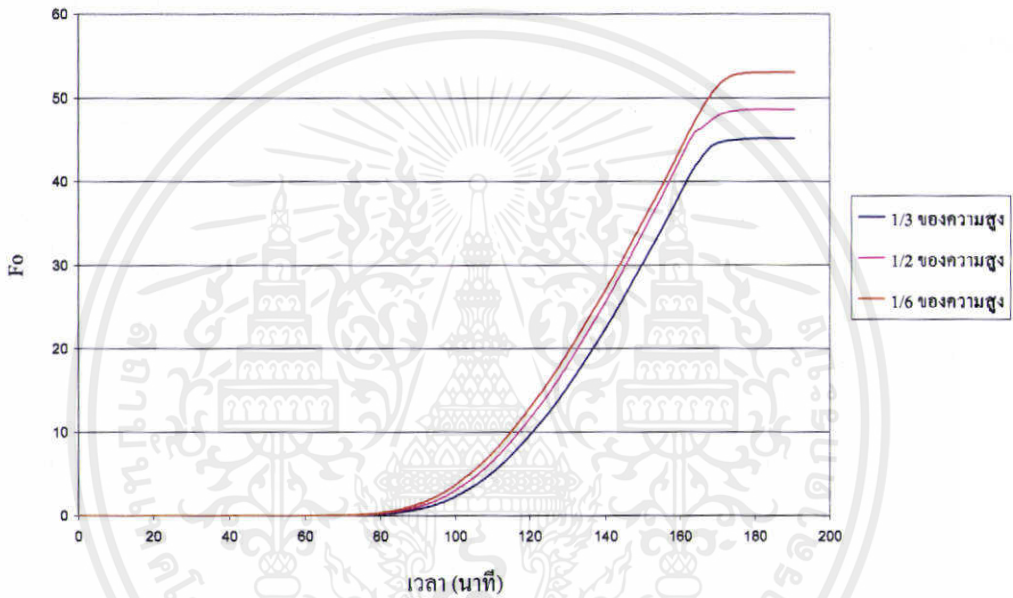
รูปที่ 5.37 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนของสารละลายเบนโทไนด์ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ตำแหน่งแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.6. ผลของการเข้ต่อการกระจายความร้อนในกระป๋องวัดโดยเสียบสายวัด 3 ตำแหน่ง ความเข้มข้น 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ความถี่เท่ากับ 0 ครั้งต่อนาที (นิ่ง)

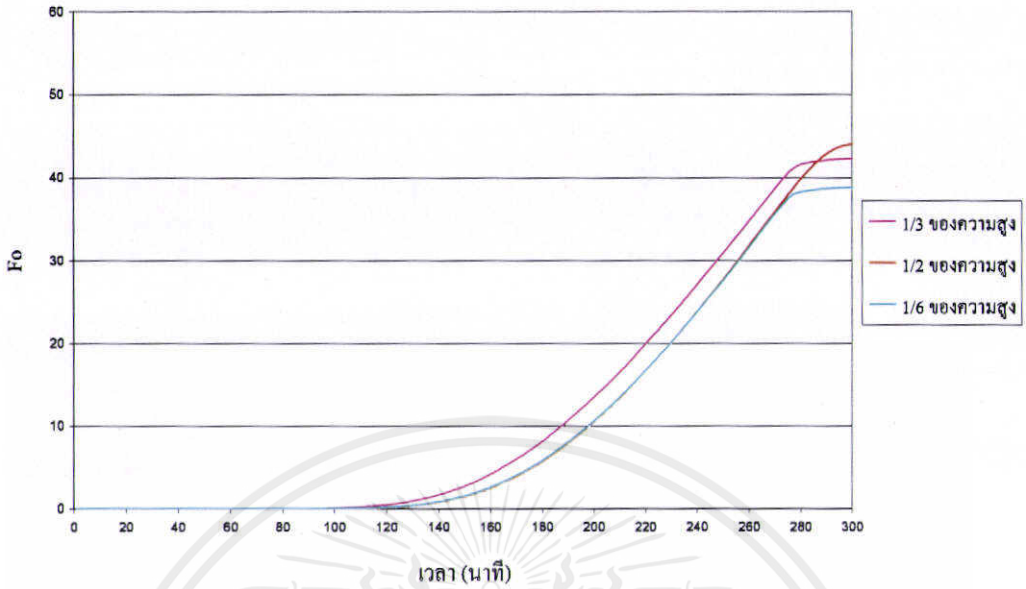
จากกราฟที่ค่า F_0 เท่ากับ 3 เมื่อตำแหน่งของสายวัดอุณหภูมิเปลี่ยนไป จะมีผลทำให้เวลาที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 3 เปลี่ยนเช่นกัน โดยที่ตำแหน่ง 1/6 1/2 และ 1/3 ของความสูง การแทรกผ่านความร้อนช้าลงตามลำดับ โดยที่ตำแหน่ง 1/6 ของความสูง จะใช้เวลา 99 นาที ที่ตำแหน่ง 1/2 ของความสูงจะใช้เวลา 101 นาที และที่ตำแหน่ง 1/3 ของความสูงจะเร็วกว่านี้อยู่ 104.5 นาที



รูปที่ 5.38 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนที่ตำแหน่งของสายวัดอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

ความถี่เท่ากับ 160 ครั้งต่อนาที

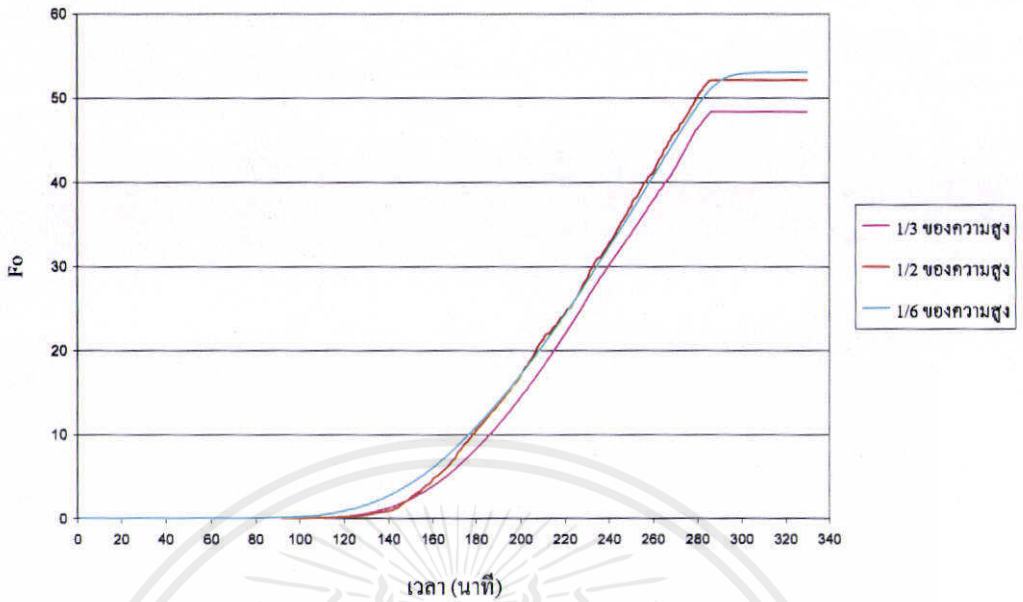
จากกราฟที่ค่า F_0 เท่ากับ 3 เมื่อตำแหน่งของสายวัดอุณหภูมิเปลี่ยนไป จะมีผลทำให้เวลาที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 3 เปลี่ยนเช่นกัน โดยที่ตำแหน่ง 1/3 1/6 และ 1/2 ของความสูง การแทรกผ่านความร้อนช้าลงตามลำดับ โดยที่ตำแหน่ง 1/3 ของความสูง จะใช้เวลา 76.5 นาที ที่ตำแหน่ง 1/6 ของความสูงจะใช้เวลา 82 นาที และที่ตำแหน่ง 1/2 ของความสูงจะเร็วกว่านี้อยู่ 82.5 นาที



รูปที่ 5.39 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนที่ตำแหน่งของสายวัดอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

ความถี่เท่ากับ 230 ครั้งต่อนาที

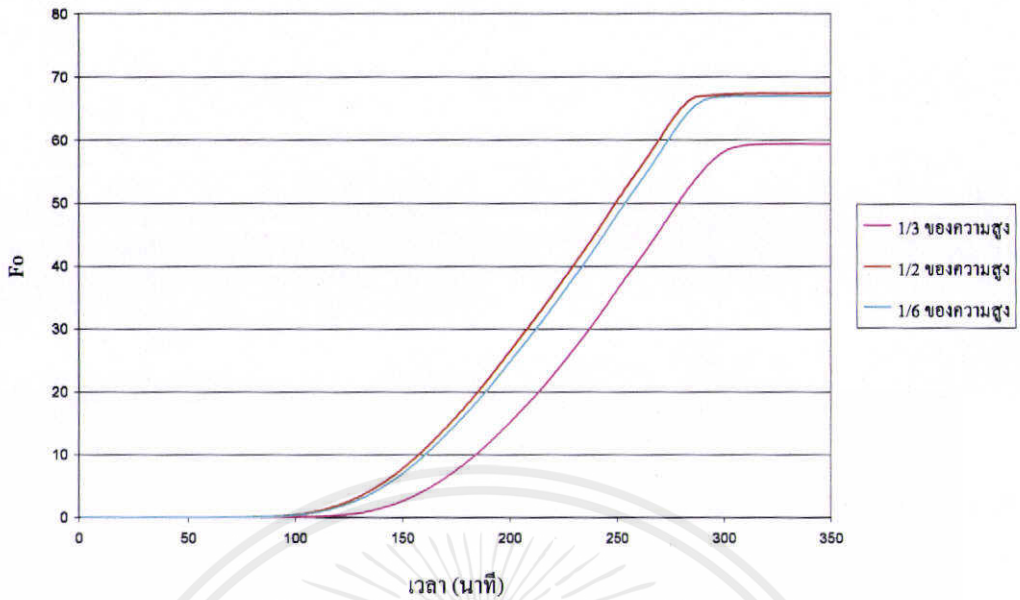
จากกราฟที่ค่า F_0 เท่ากับ 3 เมื่อตำแหน่งของสายวัดอุณหภูมิเปลี่ยนไป จะมีผลทำให้เวลาที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 3 เปลี่ยนเช่นกัน โดยที่ตำแหน่ง 1/6 1/2 และ 1/3 ของความสูง การแทรกผ่านความร้อนช้าลงตามลำดับ โดยที่ตำแหน่ง 1/6 ของความสูง จะใช้เวลา 71 นาที ที่ตำแหน่ง 1/2 ของความสูงจะใช้เวลา 76.5 นาที และที่ตำแหน่ง 1/3 ของความสูงจะเร็วกว่านี้อยู่ 77 นาที



รูปที่ 5.40 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนที่ตำแหน่งของสายวัดอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

ความถี่เท่ากับ 310 ครั้งต่อนาที

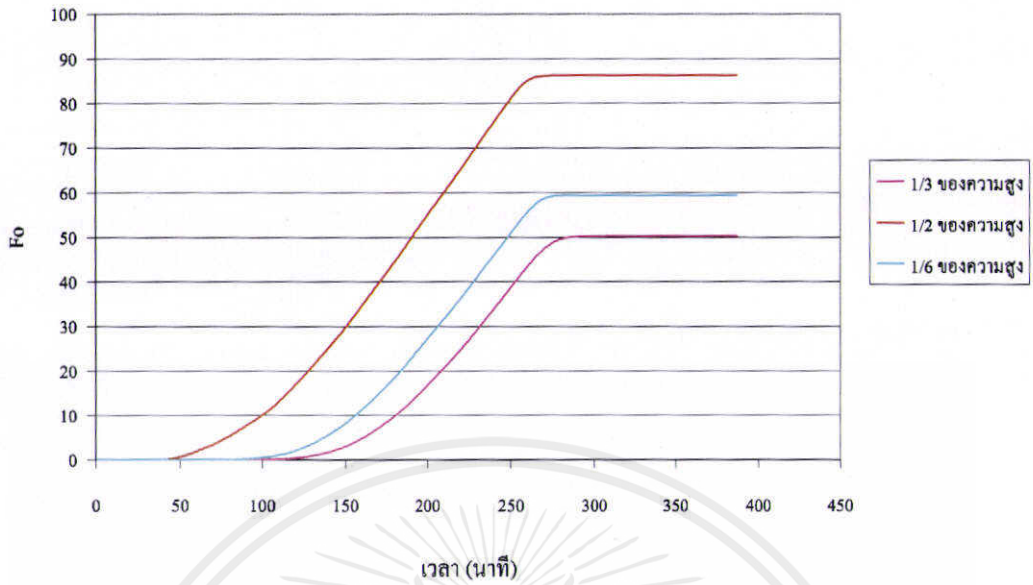
จากกราฟที่ค่า F_0 เท่ากับ 3 เมื่อตำแหน่งของสายวัดอุณหภูมิเปลี่ยนไป จะมีผลทำให้เวลาที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 3 เปลี่ยนเช่นกัน โดยที่ตำแหน่ง 1/2 1/6 และ 1/3 ของความสูง การแทรกผ่านความร้อนช้าลงตามลำดับ โดยที่ตำแหน่ง 1/2 ของความสูง จะใช้เวลา 63.5 นาที ที่ตำแหน่ง 1/6 ของความสูงจะใช้เวลา 65.5 นาที และที่ตำแหน่ง 1/3 ของความสูงจะเร็วกว่านี้อยู่ 76 นาที



รูปที่ 5.41 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนที่ตำแหน่งของสายวัดอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

ความถี่เท่ากับ 380 ครั้งต่อนาที

จากกราฟที่ค่า F_0 เท่ากับ 3 เมื่อตำแหน่งของสายวัดอุณหภูมิเปลี่ยนไป จะมีผลทำให้เวลาที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 3 เปลี่ยนเช่นกัน โดยที่ตำแหน่ง 1/2 1/6 และ 1/3 ของความสูง การแทรกผ่านความร้อนช้าลงตามลำดับ โดยที่ตำแหน่ง 1/2 ของความสูง จะใช้เวลา 33.5 นาที ที่ตำแหน่ง 1/6 ของความสูงจะใช้เวลา 63.5 นาที และที่ตำแหน่ง 1/3 ของความสูงจะเร็วกว่านี้ถึง 75 นาที



รูปที่ 5.42 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแทรกผ่านความร้อนที่ตำแหน่งของสายวัดอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

บทที่ 6

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

6.1 ผลของความเข้มข้นที่มีต่อการแทรกผ่านความร้อน

จากการทดลองพบว่าเมื่อสารละลายเบนโทไนด์มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น การแทรกผ่านความร้อนจะลดลงดังนี้คือ 0 3 5 7 และ 9 (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ตามลำดับ โดยทุกการทดลองจะได้ผลลัพธ์เหมือนกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Price และ Bhowmik, (1994). ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่า f_u จะพบว่าที่ความถี่ในการเขย่าเดียวกัน เมื่อสารละลายเบนโทไนด์มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ค่า f_u จะมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งค่า f_u นี้จะบ่งบอกความเร็วในการเพิ่มหรือลดของอุณหภูมิที่จุ่มร้อนช้าที่สุด โดยถ้าค่านี้มีค่าเพิ่มขึ้นก็แสดงว่าการแทรกผ่านความร้อนจะมีค่าลดลง

6.2 ผลของความถี่ที่มีต่อการแทรกผ่านความร้อน

จากการทดลองพบว่าเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น การแทรกผ่านความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นดังนี้คือ 0 ครั้งต่อนาที (อยู่นิ่ง) 160 230 310 และ 380 ครั้งต่อนาที ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่า f_u จะพบว่าสารละลายเบนโทไนด์ที่มีความเข้มข้นเดียวกับ เมื่อความถี่ในการเขย่าเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ค่า f_u มีค่าลดลง โดยการที่ค่า f_u มีค่าลดลงนี้แสดงให้เห็นว่าการแทรกผ่านความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น

โดยจากผลการทดลอง สามารถวิเคราะห์ว่าการเพิ่มความถี่ให้แก่สารละลายเบนโทไนด์ 0 3 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เพียงแค่ความถี่ค่าแรกก็สามารถแทรกผ่านความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับอยู่นิ่ง แต่การเพิ่มความถี่ในการเขย่าให้แก่ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักทำให้การแทรกผ่านความร้อนเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งเนื่องมาจากความถี่ในการเขย่าอาจมีค่าไม่เพียงพอต่อการชนะแรงยึดเหนี่ยวภายใน สรุปคือการเพิ่มความถี่จะส่งผลมากกับสารละลายที่มีความเข้มข้นน้อย แต่จะส่งผลน้อยต่อสารละลายเบนโทไนด์ที่มีความเข้มข้นมาก แต่การที่ความถี่ในการเขย่าเพิ่มขึ้น พบว่าอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายเบนโทไนด์ก็ยังผลต่อการแทรกผ่านความร้อน ซึ่งเมื่อความถี่ในการเขย่าเพิ่มขึ้นเพิ่มขึ้นอิทธิพลของความเข้มข้นจะมีค่าลดลง

6.3 ผลของความเข้มข้นที่มีต่อค่าเวลาเป็นนาทีที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 3

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเบนโทไนด์มีค่าเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เวลาเป็นนาทีที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 3 มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งก็หมายถึงว่าการแทรกผ่านความร้อนจะมีค่าลดลงดังนี้คือ 0 3 5 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยการให้ความถี่แก่สารละลาย 0 3 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะส่งผลให้เวลาลดลงอย่างมาก และส่งผลเพียงเล็กน้อยกับสารละลายเบนโทไนด์ที่มีความเข้มข้นมาก (9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ซึ่งเมื่อพิจารณา

เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นเทียบกับสถานะ 0 ครั้งต่อนาที (อยู่นิ่ง) ก็จะได้ผลสอดคล้องกัน คือ เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเบนโทไนด์เพิ่มขึ้นค่าเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นจะมีแนวโน้มลดลง

6.4 ผลของความถี่ที่มีต่อค่าเวลาเป็นนาทีที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 3

จากผลการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายเบนโทไนด์เดียวกัน เมื่อความถี่ในการเขย่ามีค่าเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เวลาเป็นนาทีที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 3 มีค่าลดลง ซึ่งก็หมายถึงว่าการแทรกผ่านความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นดังนี้คือ 0 160 230 310 และ 380 ครั้งต่อนาที ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นเทียบกับสถานะ 0 ครั้งต่อนาที (อยู่นิ่ง) ก็จะได้ผลสอดคล้องกัน คือ เมื่อความถี่ในการเขย่ามีค่าเพิ่มขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน

เวลาเป็นนาทีที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 3 เป็นค่าที่บ่งบอกถึง เวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ (process time) การที่สามารถลดเวลาฆ่าเชื้อลงได้นี้จะทำให้ช่วยประหยัดพลังงาน ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการลงได้ อีกทั้งเป็นการช่วยให้อาหารยังคงรักษาคุณค่าทางอาหารด้วย

6.5 ผลของชนิดที่มีต่อค่าเวลาเป็นนาทีที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 6

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเบนโทไนด์มีค่าเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เวลาเป็นนาทีที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 6 มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งก็หมายถึงว่าการแทรกผ่านความร้อนจะมีค่าลดลงดังนี้คือ 0 3 5 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยการให้ความถี่แก่สารละลาย 0 3 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะส่งผลให้เวลาลดลงอย่างมาก และส่งผลเพียงเล็กน้อยกับสารละลายเบนโทไนด์ที่มีความเข้มข้นมาก (9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ซึ่งเมื่อพิจารณาเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นเทียบกับสถานะ 0 ครั้งต่อนาที (อยู่นิ่ง) ก็จะได้ผลสอดคล้องกัน คือ เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเบนโทไนด์เพิ่มขึ้นค่าเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นจะมีแนวโน้มลดลง

6.6 ผลของความถี่ที่มีต่อค่าเวลาเป็นนาทีที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 6

จากผลการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายเบนโทไนด์เดียวกัน เมื่อความถี่ในการเขย่ามีค่าเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เวลาเป็นนาทีที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 6 มีค่าลดลง ซึ่งก็หมายถึงว่าการแทรกผ่านความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นดังนี้คือ 0 160 230 310 และ 380 ครั้งต่อนาที ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นเทียบกับสถานะ 0 ครั้งต่อนาที (อยู่นิ่ง) ก็จะได้ผลสอดคล้องกัน คือ เมื่อความถี่ในการเขย่ามีค่าเพิ่มขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน

เวลาเป็นนาทีที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 6 เป็นค่าที่บ่งบอกถึง เวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ (process time) การที่สามารถลดเวลาฆ่าเชื้อลงได้นี้จะทำให้ช่วยประหยัดพลังงาน ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการลงได้ อีกทั้งเป็นการช่วยให้อาหารยังคงรักษาคุณค่าทางอาหารด้วย

จากผลการทดลองนี้ทำให้สามารถสร้างสมการความสัมพันธ์

1. ค่าความถี่ ความหนืดของสารละลาย และค่า f_0 ได้สมการความสัมพันธ์ ดังนี้

$$f_0 = 23.655 - (0.149 \times f) + (0.043 \times \mu) + (2.388e^{-4} \times f^2) - (6.639e^{-6} \times f \times \mu) + (2.592e^{-5} \times \mu^2); R^2 = 81.6\%$$

2. ค่าความถี่ ความหนืดของสารละลาย และค่าเวลาเป็นนาทีที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 3 ได้สมการความสัมพันธ์ ดังนี้

$$t = 50.369 - (0.23 \times f) + (0.175 \times \mu) + (3.067e^{-4} \times f^2) - (3.05e^{-5} \times f \times \mu) - (1.232e^{-4} \times \mu^2); R^2 = 89.3\%$$

3. ค่าความถี่ ความหนืดของสารละลาย และค่าเวลาเป็นนาทีที่ใช้ในการถึงค่า F_0 เท่ากับ 6 ได้สมการความสัมพันธ์ ดังนี้

$$t = 50.882 - (0.187 \times f) + (0.244 \times \mu) + (1.875e^{-4} \times f^2) - (9.788e^{-5} \times f \times \mu) - (2.002e^{-4} \times \mu^2); R^2 = 86.8\%$$

4. ค่าร้อยละของเวลาที่เร็วขึ้น ความถี่ และความหนืดของสารละลายเมื่อ F_0 เท่ากับ 3 ได้สมการความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Z = 5.264 + (0.326 \times f) + (0.01 \times \mu) - (0.487e^{-4} \times f^2) + (2.652e^{-6} \times f \times \mu) - (5.746e^{-5} \times \mu^2); R^2 = 80.0\%$$

5. ค่าร้อยละของเวลาที่เร็วขึ้น ความถี่ และความหนืดของสารละลายเมื่อ F_0 เท่ากับ 6 ได้สมการความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Z = 2.955 + (0.355 \times f) + (0.009 \times \mu) - (4.762e^{-4} \times f^2) + (1.321e^{-4} \times f \times \mu) - (3.094e^{-5} \times \mu^2); R^2 = 77.2\%$$

ซึ่งสมการความสัมพันธ์นี้ ค่า f_0 และ ค่าเวลาเป็นนาทีที่ใช้ในการถึงค่า F_0 นี้มีความสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ ทำให้เราสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการคำนวณปริมาณการผลิตต่อปี จัดตารางการผลิตต่อปี หรือถ้าเราต้องการกำหนดปริมาณการผลิตต่อปี ก็จะสามารถทำให้ทราบได้ว่าควรใช้ในการฆ่าเท่าไรเพื่อให้ได้ปริมาณการผลิตตามที่ต้องการ

4. ค่าความถี่ ความหนืดของสารละลาย และค่า j ได้สมการความสัมพันธ์ ดังนี้

$$j = 1.172 - (1.272e^{-6} \times f) + (0.002 \times \mu) - (8.085e^{-7} \times f^2) - (4.538e^{-7} \times f \times \mu) - (1.302e^{-6} \times \mu^2); R^2 = 94\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากค่า j เป็นดัชนีที่บ่งบอกลักษณะการถ่ายเทความร้อน จากสมการความสัมพันธ์ที่ได้ นี้จึงทำให้เราสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการคำนวณความถี่ที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการเขย่าภายใน หม้อฆ่าเชื้อเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุด ภายในกระป๋องมีการผสมกันดีที่สุด (ค่า j เท่ากับ 1)

6.7 ผลของการเขย่าต่อการกระจายความร้อนในกระป๋อง

เมื่อพิจารณาผลของตำแหน่งของสายวัดอุณหภูมิจะพบว่าเมื่อสถานะอยู่หนึ่ง ผลของตำแหน่งของสายวัดอุณหภูมิมิมีผลต่อการแทรกผ่านความร้อนเพียงเล็กน้อย ซึ่งผลของตำแหน่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเขย่า โดยความถี่ในการเขย่า และตำแหน่งของสายวัดอุณหภูมิที่ต่างกัน ส่งผลให้อัตราการแทรกผ่านความแตกต่างกันด้วย โดยจากการทดลองพบว่าตำแหน่งที่แทรกผ่านความร้อนน้อยสุด คือ ตำแหน่ง 1/3 ของความสูงกระป๋อง ซึ่งก็คือจุดร้อนช้าของสารละลายเบนโทไนด์ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

