

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและสร้างเครื่องหุงต้มอาหารพร้อมระบบอุลตราโซนิก

Design and Fabrication of Cooker with Ultrasonic System



โดย

นางสาวภัทรี

ถาวรรัตน์

นายศตยุทธ

เฟิงสุวรรณ

นางสาวสุวรรณวลัย

สว่างเนตร

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 62637

วัน,เดือน,ปี 21 ส.ค. 2549

b..... 11521396
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องหุงต้มอาหารพร้อมระบบอุลตราโซนิก

Design and Fabrication of Cooker with Ultrasonic System

ผู้จัดทำ

นางสาวภัทรี

ถาวรรัตน์

นายสลยุทธ

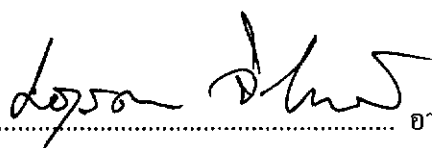
เพ็งสุวรรณ

นางสาวสุวรรณวลัย

สว่างเนตร

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ มรุรดา จิโนรส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การออกแบบและสร้างเครื่องหุงต้มอาหารพร้อมระบบอุลตราโซนิก

นางสาวภัทรี ภาวรัตน์

นายสลยุทธ เฟ็งสุวรรณ

นางสาวสุวรรณวลัย สว่างเนตร

ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์มธุรดา จิโนรส อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2548

## บทคัดย่อ

ปัจจุบันแนวโน้มของการนำคลื่นอุลตราโซนิกมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารด้านต่าง ๆ มีมากขึ้นตามลำดับ อาทิเช่น ใช้ในการสเตอริไลซ์ การสกัด การตกผลึก การล้างสิ่งสกปรก เป็นต้น การใช้ประโยชน์จากคลื่นอุลตราโซนิกในกระบวนการแปรรูปอาหารจำเป็นต้องรู้และเข้าใจถึงลักษณะการเกิดคลื่นรวมทั้งวิธีการนำพลังงานคลื่นที่สร้างขึ้นไปใช้ในกระบวนการดังกล่าว ดังนั้นโครงการนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องหุงต้มอาหารที่มีการติดตั้งระบบอุลตราโซนิก พร้อมทั้งศึกษาถึงผลกระทบของอุณหภูมิและความถี่ต่อลักษณะสัญญาณและพฤติกรรมของคลื่นอุลตราโซนิกภายในเครื่องหุงต้มที่สร้างขึ้น เพื่อทำการออกแบบและสร้างเครื่องหุงต้มอาหารพร้อมระบบอุลตราโซนิกโดยมุ่งเน้นเพื่อใช้ในการลวกและทอดอาหาร ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นประกอบด้วยเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า ทรานส์ดีวเซอร์ และระบบส่งถ่ายพลังงาน ตัวเครื่องมีขนาดความจุ 12-15 ลิตร สามารถทำงานภายใต้สภาวะความถี่คลื่นอุลตราโซนิกที่ 28 kHz และ 40 kHz โดยความเข้มของสัญญาณคลื่นที่ส่งผ่านตัวกลางจะขึ้นกับระยะห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่นและอุณหภูมิตัวกลาง จากการทดสอบในงานอาหารด้านการลวกสามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 100 °C ในตัวกลางที่เป็นน้ำ โดยใช้คลื่นอุลตราโซนิกความถี่ 28 kHz ร่วมด้วย พบว่าจะสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 30.67% เมื่อเทียบกับการลวกธรรมดา ส่วนในการทอดสามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 200 °C ในตัวกลางที่เป็นน้ำมัน เมื่อใช้คลื่นอุลตราโซนิกที่ความถี่ 28 kHz ร่วมด้วย จะช่วยให้ประหยัดพลังงานได้ 15.77% เมื่อเทียบกับการทอดแบบธรรมดา และอัตราการขยายตัวของข้าวเกรียบจะสูงที่สุดเมื่อทอดโดยใช้คลื่นอุลตราโซนิกที่ความถี่ 40 kHz ร่วมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# DESIGN AND FABRICATION OF COOKER WITH ULTRASONIC SYSTEM

PATTAREE THAVORNRAT

SALAYUTH PENGSUWAN

SUWANWALAI SAWANGNATE

ASST.PROF.DR. MARADEE PHONGPIPATPONG ADVISOR

MATURADA JINOROSE ADVISOR

2004

## ABSTRACT

At present, the tendency of applying ultrasonics in such food industrial applications as sterilization, extraction, crystallization and cleaning has been on a continuous rise. For effective use of ultrasonics, however, the knowledge and understanding of the wave property as well as its implementation are needed. Therefore, the objective of this project were to design and fabricate an ultrasonic-assisted cooker as well as to study the effects of temperature and frequency of ultrasonic wave on the cooking behavior of the cooker so as to gain basic information for future development of a cooker for blanching and frying applications. The cooker used in this study consists of a power generator, a transducer and a power transmission system; the unit can be operated at both 28 kHz and 40 kHz, For water blanching applications, the cooker could operate at temperatures not higher than 100°C. Comparing with conventional water blanching this ultrasonic-assisted blancher at 28 kHz could save energy up to 30.67%. For frying applications, the cooker was used at temperatures not higher than 200°C. It was also found that the cooker could save approximately 15.77% of energy when operating at 28 kHz comparing with a conventional frying. It was also noted that the volume expansion ratio of the rice cracker, which was used as a model material, was at its maximum when using an ultrasonic wave frequency of 40 kHz. The information obtained in this work could be used as guidelines for future development of similar types of cookers in the future.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการการออกแบบและสร้างเครื่องหุงต้มเอนกประสงค์โดยมีระบบอุลตราโซนิกเข้าร่วมด้วยสำเร็จได้ ต้องขอขอบคุณ

ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ และอาจารย์ มธุรดา จิโนรส อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ และให้แนวความคิดหลักการต่างๆ ทั้งที่เป็นประโยชน์ในโครงการและประโยชน์ต่อการดำเนินชีวิต ตลอดระยะเวลาดำเนินโครงการรวมทั้งอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมที่คอยเอาใจใส่ดูแลให้ความรู้มาโดยตลอด เจ้าหน้าที่ภายในภาควิชาที่คอยช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทำงาน ข้าพเจ้าเชื่อว่าทุกสิ่งทุกอย่างที่ได้ระยะเวลา 4 ปีที่ได้ศึกษา ณ ที่นี้ เป็นส่วนสำคัญในการหล่อหลอมทั้งตัวข้าพเจ้าและเพื่อนๆ เป็นวิศวกรที่มีประสิทธิภาพ ขอกล่าวด้วยความซาบซึ้งไว้ ณ ที่นี้

ดร.ชุติมา และคณะเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติทุกท่านที่คอยช่วยเหลือเรื่องหัวกำเนิดความถี่เพียโซอิเล็กทริกขนาด 40 KHz

คุณวันชัย และเจ้าหน้าที่ บริษัท T Ultrasonic จำกัด สำหรับความช่วยเหลือในการติดตั้งหัวกำเนิดความถี่เพียโซอิเล็กทริกขนาด 28 kHz

คุณนันท ภัคดี บริษัท สุนัย กรุ๊ป จำกัด สำหรับให้ความอนุเคราะห์เครื่องอุลตราโซนิกในการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเพื่อใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่อง

คุณภัคดีโสภณ บริษัท ศรีวิศาล จำกัด สำหรับความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆ ในการสร้างเครื่อง

เจ้าหน้าที่ฝ่ายยานพาหนะ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือในด้านยานพาหนะในการเดินทางระหว่างดำเนินโครงการ

ขอบคุณเพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา

สุดท้ายพวกเรามีวันนี้ไม่ได้หากขาด บิดามารดาที่ให้กำเนิดและให้ทุกสิ่งทุกอย่างแก่พวกเรา จนสามารถก้าวมาถึงจุดนี้ ขอขอบพระคุณ

โครงการนี้จะไม่สามารถสำเร็จได้เลย หากขาดองค์ประกอบใดๆ ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

# สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ซ
รายการสัญลักษณ์.....	ญ

## บทที่ 1 บทนำ

1.1 หลักการและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2

## บทที่ 2 การตรวจเอกสาร

2.1 คลื่นอุลตราโซนิก.....	3
2.1.1 ความหมายของคลื่นอุลตราโซนิก.....	3
2.1.2 ปฏิกิริยาการหักเหและสะท้อน.....	4
2.1.3 การเกิดคลื่นอุลตราโซนิก.....	4
2.1.4 เพียโซอิเล็กทริกเอฟเฟกต์.....	7
2.1.5 การออกแบบระบบอุลตราโซนิก.....	7
2.1.6 ประเภทของเครื่องอุลตราโซนิก.....	8
2.2 การประยุกต์ใช้คลื่นอุลตราโซนิกในกระบวนการแปรรูปอาหาร.....	11
2.2.1 กระบวนการออกซิเดชัน.....	11
2.2.2 การกระตุ้นเซลล์สิ่งมีชีวิต.....	12
2.2.3 กระบวนการสเตอริไลเซชัน.....	12
2.2.4 การใช้คลื่นอุลตราโซนิกในการทำให้เกิดอิมัลชัน.....	12
2.2.5 การสกัด.....	12
2.2.6 การใช้คลื่นอุลตราโซนิกกับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์.....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ1)

หน้า

2.2.7 การตกผลึก.....	13
2.2.8 การใช้คลื่นอัลตราโซนิกช่วยในการกรอง.....	13
2.2.9 การทำแห้ง.....	13
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13

## บทที่ 3 การออกแบบ

3.1 ข้อมูลพื้นฐานจำเพาะที่ใช้.....	16
3.2 การออกแบบส่วนประกอบ.....	16
3.2.1 ถัง.....	17
3.2.2 ชุดเพียโซอิเล็กทริกทรานส์ดีวเซอร์.....	18
3.2.3 ชุดระบายความร้อน.....	19
3.2.4 ชุดให้ความร้อน.....	22
3.2.5 โครงภายนอกตัวถังและฐานรอง.....	23
3.2.6 ฝาปิดถัง.....	25
3.2.7 กล่องอุปกรณ์ควบคุมทางไฟฟ้า.....	25
3.3 การออกแบบระบบควบคุม.....	26
3.3.1 การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิของเหลวตัวกลางในกระบวนการ.....	27
3.3.2 การควบคุมอุณหภูมิภายในชุดระบายความร้อน.....	27
3.4 ขั้นตอนการสร้างเครื่อง.....	28
3.4.1 ถัง.....	28
3.4.2 ฝาปิดถัง.....	28
3.4.3 ชุดให้ความร้อนหรือ Heater.....	29
3.4.4 ชุดระบายความร้อน Cooling.....	29
3.4.5 ชุดให้กำเนิดคลื่น.....	30
3.4.6 ชุดจับยึด Heater.....	31
3.4.7 เทอร์โมคัปเปิล.....	31
3.4.8 โครงสร้างภายนอกและฐานรองถัง.....	32
3.4.9 Fitting ลม.....	32
3.4.10 หุ้มฉนวนตัวถัง.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ2)

หน้า

3.4.11 ลักษณะเครื่องประกอบ.....	33
3.5 ขั้นตอนการใช้งานเครื่อง.....	34
3.5.1 การใช้งานชุดควบคุม Heater ชุดกำเนิดคลื่นขนาดความถี่ 40 kHz.....	35
3.5.2 ชุดกำเนิดคลื่นขนาดความถี่ 28 kHz.....	35
3.6 วงจรไฟฟ้าควบคุมการทำงานของเครื่อง.....	37
บทที่ 4 การทดสอบสมรรถนะ	
4.1 การทดสอบการทำงานของเครื่อง.....	38
4.1.1 ลักษณะสัญญาณของคลื่น.....	38
4.1.2 ขั้นตอนการทดสอบกระดาศพอยล์.....	42
4.1.3 ผลการทดลองการทดสอบการทำงานของเครื่อง.....	44
4.2 การทดสอบการทำงานของระบบควบคุม.....	47
4.3 การทดสอบในการนำไปประยุกต์ใช้กับงานอาหาร.....	51
4.3.1 การตรวจ.....	51
4.3.2 การทอด.....	54
4.4 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงพลังงาน.....	60
4.4.1 การทดสอบขณะเดินเครื่องเปล่า.....	60
4.4.2 การทดสอบขณะทำการทดลองกับตัวอย่างอาหาร.....	61
บทที่ 5 สรุป	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	63
5.2 ปัญหาที่พบ.....	63
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการปรับปรุง.....	63
เอกสารอ้างอิง.....	64
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.....	65
ภาคผนวก ข.....	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แผนการทดสอบการทำงานของเครื่อง.....	38
4.2 แสดงพื้นที่ที่ทะลุจากการทดสอบกระดาศพอยล์ที่ความถี่ 28 kHz.....	44
4.3 แสดงพื้นที่ที่ทะลุจากการทดสอบกระดาศพอยล์ที่ความถี่ 40 kHz.....	44
4.4 สัญญาณความเข้มในตัวกลางน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	46
4.5 เวลาคงที่ของกระบวนการ ( $\tau_p$ ) ของ Heater ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	50
4.6 แผนการทดสอบการประยุกต์ใช้กับงานอาหาร.....	51
4.7 ตารางบันทึกผลการทดลองการลวกเม็ดบัวลอย (แป้งข้าวเหนียว) ที่อุณหภูมิ 100 °C. ....	53
4.8 เวลาที่ใช้ในการลวกเม็ดบัวลอยโดยเฉลี่ย.....	54
4.9 ตารางบันทึกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของข้าวเกรียบก่อนทอด.....	57
4.10 ผลการทดลองการทอดข้าวเกรียบโดยใช้คลื่นอุลตราโซนิกที่ความถี่ 28 kHz ร่วมด้วย.....	58
4.11 ผลการทดลองการทอดข้าวเกรียบโดยใช้คลื่นอุลตราโซนิกที่ความถี่ 40 kHz ร่วมด้วย.....	58
4.12 ผลการทดลองการทอดข้าวเกรียบโดยไม่ใช้คลื่นอุลตราโซนิกร่วมด้วย.....	59
4.13 เวลาในการสุกพองและอัตราการขยายตัวของข้าวเกรียบโดยเฉลี่ย.....	60
4.14 พลังงานที่ใช้ในการทำงานของเครื่องหุงต้มระบบอุลตราโซนิก.....	60
4.15 ผลการใช้พลังงานของเครื่องหุงต้มอาหารพร้อมระบบอุลตราโซนิกสำหรับการลวก.....	61
4.16 ผลการใช้พลังงานของเครื่องหุงต้มอาหารพร้อมระบบอุลตราโซนิกสำหรับการทอด.....	61
4.17 ความสามารถประหยัดพลังงานในการลวกเทียบกับการทำงานโดยไม่ใช้คลื่น.....	61
4.18 ความสามารถประหยัดพลังงานในการทอดเทียบกับการทำงานโดยไม่ใช้คลื่น.....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูปภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ความถี่คลื่นอัลตราโซนิกในช่วงต่างๆ.....	3
2.2 การเกิดฟองอากาศในตัวกลางเนื่องจากคลื่นอัลตราซาวนด์ .....	4
2.3 Liquid Driven Transducer.....	5
2.4 Magnetostrictive Transducer.....	6
2.5 Piezoelectric Transducer.....	6
2.6 อ่างอัลตราโซนิก .....	8
2.7 อ่างอัลตราโซนิกแบบคัพฮอร์.....	9
2.8 ลักษณะของฮอร์นชนิดต่าง ๆ.....	10
2.9 ระบบอัลตราโซนิกแบบโพรบ.....	10
3.1 โครงสร้างถังอเนกประสงค์.....	16
3.2 โครงสร้างภายในถังอเนกประสงค์.....	17
3.3 แบบถังสแตนเลส.....	17
3.4 ชุดเพียโซอิเล็กทริกทรานส์ดีวเซอร์ 28 kHz.....	18
3.5 ชุดเพียโซอิเล็กทริกทรานส์ดีวเซอร์ 40 kHz .....	18
3.6 แบบชุดระบายความร้อน.....	19
3.7 โครงสร้างภายในชุดระบายความร้อน.....	20
3.8 แสดงการติดตั้งเพียโซอิเล็กทริกขนาดความถี่ 40 kHz.....	22
3.9 ชุดให้ความร้อน.....	22
3.10 โครงภายนอกตัวถังและฐานรอง.....	23
3.11 แบบของโครงสร้างภายนอกชั้นที่ 1.....	23
3.12 แบบของโครงสร้างภายนอกชั้นที่ 2.....	24
3.13 แบบของฐานรอง.....	24
3.14 แบบฝาปิดถัง.....	25
3.15 แบบของกล่องอุปกรณ์ควบคุมชั้นที่ 1.....	25
3.16 แบบของกล่องอุปกรณ์ควบคุมชั้นที่ 2.....	26
3.17 วงจรไฟฟ้าของเครื่อง.....	26
3.18 คอนโทรลไดอะแกรมของ Heater.....	27
3.19 การเจาะรูถังเพื่อติดตั้งชุด Cooling.....	28
3.20 ลักษณะฝาปิดถัง.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูปภาพ (ต่อ1)

ภาพที่	หน้า
3.21 ลักษณะการติดตั้ง Heater ภายในถัง.....	29
3.22 ลักษณะการติดตั้งชุด Cooling ภายในถัง.....	30
3.23 ลักษณะการติดตั้งหัวเปียโซอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์ขนาด 28 kHz.....	30
3.24 ลักษณะการติดตั้งหัวเปียโซอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์ขนาด 40 kHz.....	31
3.25 ลักษณะการติดตั้งหัวเปียโซอิเล็กทรอนิกส์ขนาด 28 kHz.....	31
3.26 ลักษณะโครงสร้างภายนอก.....	32
3.27 ลักษณะของฐานรอง.....	32
3.28 ลักษณะการหุ้มฉนวนใยแก้ว.....	33
3.29 ลักษณะเครื่องประกอบและกล่องควบคุมด้านข้าง.....	33
3.30 ลักษณะเครื่องประกอบและกล่องควบคุม.....	34
3.31 ลักษณะสวิตช์ของกล่องควบคุม Heater และชุดเปียโซอิเล็กทรอนิกส์ขนาด 40 kHz.....	34
3.32 ลักษณะชุดจ่ายพลังงานให้กับหัวเปียโซอิเล็กทรอนิกส์ความถี่ 28 kHz.....	35
3.33 วงจรไฟฟ้าควบคุมการทำงานของเครื่อง.....	37
4.1 ระยะเวลาในการทดสอบกระดาษฟอยล์.....	39
4.2 โปรแกรมที่ใช้หาพื้นที่ที่ทะเล.....	40
4.3 หลักการทำงานของโปรแกรมขั้นตอนที่ 1.....	40
4.4 หลักการทำงานของโปรแกรมขั้นตอนที่ 2.....	41
4.5 การบันทึกผลลงไฟล์ Microsoft Excel.....	41
4.6 การบันทึกไฟล์รูปภาพลงบนไฟล์ Microsoft Excel.....	41
4.7 การเตรียมชุดทดลองกระดาษฟอยล์.....	42
4.8 แสดงขั้นตอนการทดสอบกระดาษฟอยล์.....	43
4.9 กราฟแสดงพื้นที่ทะเลกระดาษฟอยล์ที่ความถี่ 28 kHz.....	45
4.10 กราฟแสดงพื้นที่ทะเลกระดาษฟอยล์ที่ความถี่ 40 kHz.....	45
4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ทะเลบนกระดาษฟอยล์.....	47
4.12 แสดงอุณหภูมิการทำงานของ Heater ที่ 40 °C.....	48
4.13 แสดงอุณหภูมิการทำงานของ Heater ที่ 60 °C.....	48
4.14 แสดงอุณหภูมิการทำงานของ Heater ที่ 80 °C.....	49
4.15 แสดงอุณหภูมิการทำงานของ Heater ที่ 100 °C.....	49
4.16 แสดงอุณหภูมิการทำงานของชุด Cooling.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปร่าง (ต่อ2)

ภาพที่	หน้า
4.17 แสดงขั้นตอนการทดสอบการลวกเมล็ดบัวลอย.....	53
4.18 แสดงขั้นตอนการทดสอบการทอดข้าวเกรียบ.....	56



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการสัญลักษณ์

$T_s$	=	อุณหภูมิผิวที่ติดกับผิวข้างถึง (กำหนดให้อุณหภูมิมีค่าใช้งานสูงสุดคือ 200 องศาเซลเซียส)
$T_i$	=	อุณหภูมิน้ำเข้าสู่ระบบระบายความร้อน (กำหนดให้อุณหภูมิมีค่า 30 องศาเซลเซียส)
$T_o$	=	อุณหภูมิน้ำออกจากระบบระบายความร้อน (กำหนดให้อุณหภูมิมีค่า 70 องศาเซลเซียส)
$T$	=	อุณหภูมิผิวที่ติดกับเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ (ต้องการควบคุมให้อยู่ที่ 70 องศาเซลเซียส)
$k$	=	ค่าการนำความร้อนของ Stainless Steel Type 304 (มีค่า $16.2 \frac{W}{m \cdot K}$ )
$D$	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อสแตนเลสตัน (ขนาด 0.05 m)
$d$	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อน้ำเข้า (ขนาด 0.03 m)
$Q$	=	พลังงานความร้อน (J)
$A$	=	พื้นที่หน้าตัดสัมผัส ( $m^2$ )
$\frac{\partial T}{\partial x}$	=	อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อระยะทางการถ่ายเทความร้อน ( $\frac{K}{m}$ )
$\dot{m}$	=	อัตราการไหลเชิงมวล ( $\frac{kg}{s}$ )
$C_p$	=	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของตัวกลาง ( $\frac{J}{kg \cdot K}$ )
$\Delta T$	=	ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ (K)
$\dot{V}$	=	อัตราการไหลเชิงปริมาตร ( $\frac{m^3}{s}$ )
$\rho$	=	ความหนาแน่นของตัวกลาง ( $\frac{kg}{m^3}$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 หลักการและที่มาของปัญหา

ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นโดยอาศัยความไม่สมมาตรของระบบผลึก ซึ่งก่อให้เกิดประจุไฟฟ้าขึ้นเมื่อวัสดุได้รับความเค้น (stress) และในทางกลับกันก็สามารถก่อให้เกิดความเครียด (strain) ขึ้นตามสัดส่วนโดยตรงกับสนามไฟฟ้าที่กระทำต่อวัสดุได้เช่นกัน ซึ่งเรียกว่าปรากฏการณ์แบบตรงและแบบกลับทางเพียโซอิเล็กทริก (direct and converse effect) ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกนี้มีอยู่ในผลึกที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติบางชนิด เช่น ควอตซ์ และ เกลือโรคเชลล์ (Rochelle salt) นอกจากนี้ยังพบในโพลีเมอร์บางชนิดด้วย เช่น ไนลอน และโคโพลิเมอร์ของไวนิลลิดีน ฟลูออไรด์ (VDF) กับไทโรฟลูออโรเอทิลีน (TrFE) หรือ กับเตตระฟลูออโรเอทิลีน (TeFE) อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติจะใช้วิธีการสังเคราะห์ผลึกขึ้นเพื่อนำมาจัดเรียงทิศทางโพลาริเซชัน และเลือกหน้าตัดผลึกตามทิศทางโครงสร้างผลึกที่ตอบสนองสมบัติเพียโซอิเล็กทริกได้ดีที่สุด [1]

ผลึกที่ได้นี้จะนำมาใช้เป็นตัวส่งสัญญาณคลื่นอัลตราโซนิค (transducer) และในปัจจุบันประเทศไทยสามารถผลิตวัสดุเพียโซอิเล็กทริกได้ที่ความถี่ 40 kHz

จากการศึกษาโดยการนำคลื่นอัลตราโซนิค ( ช่วงความถี่ 20 - 40 kHz ) มาใช้กับงานทางด้านอาหาร พบว่าความถี่ของคลื่นอัลตราโซนิคสามารถส่งผ่านตัวกลางที่เป็นของเหลว ทำให้โมเลกุลสั่นสะเทือนเกิดเป็นช่องว่างภายใน เป็นผลให้โครงสร้างทางเคมีและกายภาพเปลี่ยนแปลง จึงได้มีผู้สนใจนำคลื่นอัลตราโซนิคไปประยุกต์ใช้กับงานทางด้านอาหาร

ปัจจุบันมีแนวโน้มของการนำคลื่นอัลตราโซนิคไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมากขึ้น เช่น

1. กระบวนการการสเตอริไลซ์ ใช้ทำความสะอาดในระบบสเตอริไลซ์ที่การทำทำความสะอาดธรรมดาไม่สามารถเข้าถึงได้

2. การสกัด ช่วยในการสกัดสารด้วยตัวทำละลาย ซึ่งจะช่วยเพิ่มแรงในการซึมผ่านให้กับตัวทำละลาย เพิ่มการถ่ายเทมวลที่ผิวหน้าของตัวที่นำมาสกัด ทำให้ผนังเซลล์ที่ผิวของพืชแยกออก จึงสามารถแยกสารที่ต้องการออกมาได้ เช่น การสกัดน้ำตาลจากหัวบีท (sugar beet)

3. การตกผลึก ช่วยในการสร้างและเจริญเติบโตของคริสตอล (Crystal) รวมถึงเพิ่มอัตราการเกิดนิวเคลียส (Nucleation rate) เช่น ในอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งและไอศกรีม ทำให้ผลึกน้ำแข็ง (ice crystal) เล็กลง ช่วยลดการถูกทำลายของเซลล์ ทำให้ไอศกรีมแข็งขึ้น ยึดติดกับไม้ไอศกรีมได้ดีกว่าปกติ

4. กระบวนการออกซิเดชันในอาหารหมัก เช่น ไวน์ ทำให้แอลกอฮอล์และเอสเทอร์เข้าสู่สมดุล ช่วยลดเวลาการหมักลงได้มาก

5. การทำความสะอาดช่วยในการชะล้างสิ่งสกปรกต่าง ๆ ออกได้ง่ายและเร็วขึ้น [2]

ดังนั้นการใช้คลื่นอุลตราโซนิกกับอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร เพื่อช่วยเร่งการเปลี่ยนแปลงให้เกิดขึ้นได้เร็วขึ้น อีกทั้งยังช่วยให้คุณค่าทางอาหารไม่เสื่อมสภาพไปมากนัก จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจและควรทำการศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมมากขึ้น โดยเฉพาะเมื่อนำมาใช้ในงานอาหารที่มีอุณหภูมิสูง เช่น การลวก หรือการทอด และสร้างเครื่องที่มีการนำระบบอุลตราโซนิกมาประยุกต์ใช้อย่างเหมาะสม จึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อสามารถนำคลื่นสัญญาณที่ได้มาไว้กับงานอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องหุงต้มอาหารที่มีการติดตั้งระบบอุลตราโซนิก
2. เพื่อศึกษาผลของชนิดตัวกลาง, อุณหภูมิและความถี่ต่อลักษณะสัญญาณคลื่นอุลตราโซนิกภายในเครื่องหุงต้มที่สร้าง

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. เครื่องหุงต้มมีขนาดไม่เกิน 10 ลิตร
2. ความถี่ของสัญญาณคลื่นอุลตราโซนิกที่ใช้ คือ 28 และ 40 kHz
3. ตัวกลางที่ใช้ศึกษา คือ น้ำ และ น้ำมัน
4. อุณหภูมิที่ศึกษาอยู่ในช่วง 25 - 200 °C
5. เครื่องสามารถติดตั้งและล้างทำความสะอาดได้ง่าย

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ต้นแบบของเครื่องหุงต้มอาหารพร้อมระบบอุลตราโซนิก มี 2 ระดับความถี่
2. ทราบผลของอุณหภูมิและชนิดของตัวกลางที่ใช้ต่อลักษณะการกระจายและความเข้มของสัญญาณคลื่นอุลตราโซนิก
3. ได้แนวทางในการนำคลื่นอุลตราโซนิกไปประยุกต์ใช้กับงานด้านการลวก และการทอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### การตรวจเอกสาร

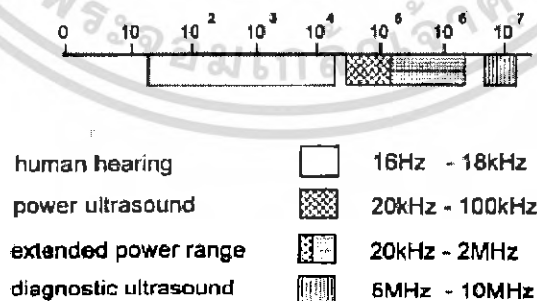
#### 2.1 คลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Wave)

##### 2.1.1 ความหมายของคลื่นอัลตราโซนิก

คลื่นอัลตราโซนิก หมายถึงพลังงานที่เกิดจากคลื่นเสียงที่มีการสั่นของคลื่นประมาณ 20,000 ครั้งต่อวินาทีหรือสูงกว่า หรือหมายถึงคลื่นความดันที่มีความถี่สูงกว่าคลื่นเสียงปกติ (สูงกว่า 20 กิโลเฮิร์ตซ์, kHz) ส่วนคำว่าอัลตราโซนิก (Ultrasonic) หรือโซนิเคชัน (Sonications) หมายถึงการศึกษาเกี่ยวกับคลื่นเสียงหรืออัลตราซาวด์ในช่วงความถี่ดังกล่าวซึ่งมนุษย์ไม่สามารถได้ยิน

โดยทั่วไปแล้วคลื่นเสียงที่มนุษย์ได้ยินนั้นเกิดจากการสั่นสะเทือนของตัวกลางที่ยืดหยุ่นที่มีความถี่อยู่ในช่วง 20 - 20,000 kHz คลื่นเสียงผ่านเข้าสู่ตัวกลางที่ยืดหยุ่นในลักษณะที่เป็นคลื่นตามยาว (Longitudinal waves) แต่คลื่นเสียงที่ผ่านเข้าไปภายในวัตถุที่เป็นของแข็งอาจอยู่ในลักษณะที่เป็นคลื่นตามยาวหรือคลื่นตามขวาง (Transverse waves)

ในการศึกษาการใช้ประโยชน์จากคลื่นอัลตราโซนิกตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน พบว่ามีการนำคลื่นอัลตราโซนิกมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหรือในกระบวนการแปรรูปอาหาร โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่ การใช้คลื่นอัลตราโซนิกกำลังต่ำและความถี่สูง (Low Power and High Frequencies) ซึ่งใช้ในด้านกรวิเคราะห์เป็นส่วนใหญ่และการใช้คลื่นอัลตราโซนิกกำลังสูงและความถี่ต่ำ (High Power and Low Frequencies) หรือที่เรียกว่าพาวเวอร์อัลตราซาวด์ (Power Ultrasound) ที่มักนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร



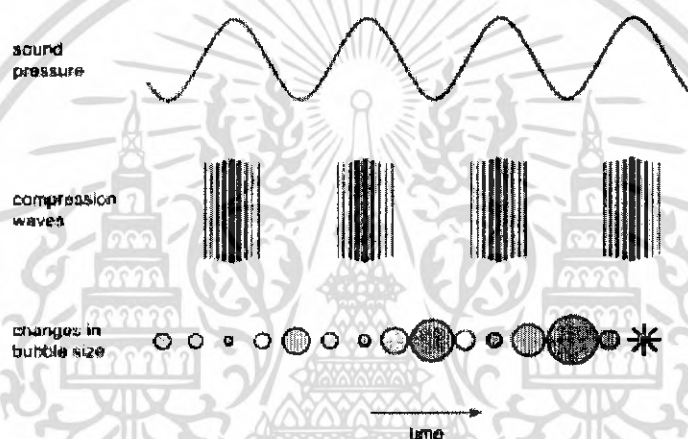
ภาพที่ 2.1 ความถี่คลื่นอัลตราโซนิกในช่วงต่างๆ [2]

การใช้คลื่นอัลตราโซนิกกำลังสูงและความถี่ต่ำในกระบวนการแปรรูปอาหาร ทำให้เกิดผลต่อคุณสมบัติทางกลและทางเคมีของอาหารเนื่องจากคลื่นดังกล่าวทำให้เกิดปรากฏการณ์แคปพิเทชัน ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Cavitation) และส่วนมากใช้คลื่นในความถี่ 20 – 40 kHz ซึ่งเป็นความถี่ที่สร้างขึ้นจากอุปกรณ์อุลตราซาวด์ทั่วไปที่ใช้ในการทำความสะดวก การทำให้เซลล์แตกและในการขึ้นรูปพลาสติก เป็นต้น

### 2.1.2 ปรากฏการณ์แคปวิเตชัน [3]

ปรากฏการณ์แคปวิเตชัน หมายถึง กระบวนการการเกิดฟองอากาศในตัวกลาง หรือสารละลายเมื่อได้รับคลื่นอุลตราซาวด์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีและกายภาพ เมื่อโครงสร้างของของเหลวได้รับคลื่นอุลตราซาวด์ ของเหลวจะถูกบีบอัด (Compress) และคลายตัว (Stretch) ซ้ำไปมาเป็นจำนวนหลายพันรอบ ทำให้เกิดฟองอากาศขึ้น ซึ่งเมื่อสัมผัสกับแรงสั่นที่เกิดจากคลื่นอุลตราซาวด์เป็นระยะเวลาหนึ่งและเกิดการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างกัน เป็นผลให้ฟองอากาศมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ จนแตกออกในที่สุด



ภาพที่ 2.2 การเกิดฟองอากาศในตัวกลางเนื่องจากคลื่นอุลตราซาวด์ [3]

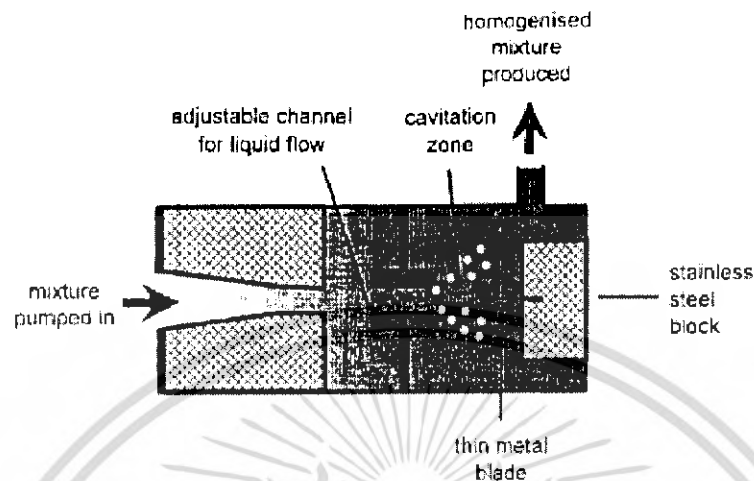
### 2.1.3 การเกิดคลื่นอุลตราซาวด์ [2]

การใช้ประโยชน์จากคลื่นอุลตราซาวด์ในกระบวนการแปรรูปอาหารจำเป็นต้องรู้และเข้าใจถึงการเกิดคลื่นรวมทั้งวิธีการนำพลังงานคลื่นที่สร้างขึ้นไปใช้ในกระบวนการดังกล่าว แหล่งของคลื่นอุลตราซาวด์และชนิดของอุปกรณ์ที่ให้กำเนิดคลื่นสร้างขึ้นจาก ทรานส์ดิวเซอร์ (Transducer) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานกลหรือพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานเสียง และถือเป็นสิ่งสำคัญอันดับแรกในการตัดสินใจนำคลื่นอุลตราซาวด์มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร โดยทั่วไปทรานส์ดิวเซอร์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่

#### 1. ลิกวิดไดรฟ์เวทราานส์ดิวเซอร์ (Liquid Driven Transducer)

ลักษณะการทำงานของทรานส์ดิวเซอร์ชนิดนี้ ทำให้เกิดคลื่นอุลตราซาวด์โดยการบังคับของเหลวให้เคลื่อนที่ผ่านช่องขนาดเล็กและผ่านไปกระทบกับแผ่นโลหะขนาดบาง (Thin Blade) ซึ่งวางอยู่ในทิศทางเคลื่อนที่ของของเหลว ทำให้แผ่นโลหะดังกล่าวเกิดการสั่นไปมา ในการสั่นแต่ละครั้ง จะทำให้ผิวหน้าของแผ่นโลหะเกิดการปะทะกับของเหลวเป็นผลทำให้เกิดคลื่นความดันขึ้นและทำให้เกิดเสียงเป็นอีกสารที่ส่งผ่านไวสหรือการเขย่าเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ญาติเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดปรากฏการณ์แคปพิเทชันขึ้นภายในของเหลวนั้น การเกิดคลื่นความดันสลับกับแคปพิเทชันเป็นผลทำให้ของเหลวสามารถผสมเข้ากันได้ดียิ่งขึ้น

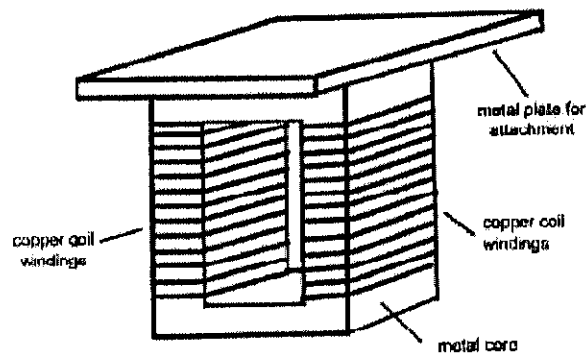


ภาพที่ 2.3 Liquid Driven Transducer [2]

## 2. แมกนีโตสตริกทีฟทรานส์ดิวเซอร์ (Magnetostrictive Transducer)

ทรานส์ดิวเซอร์ชนิดนี้เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกล โดยใช้คุณสมบัติแมกนีโตสตริกชัน (Magnetostriction) ซึ่งเป็นผลมาจากการที่สารเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic Materials) เช่น นิกเกิล (Nickel) หรือเหล็ก (Iron) ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของมิติหรือขนาดเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็ก ลักษณะของทรานส์ดิวเซอร์ชนิดนี้คล้ายกับโซลินอยด์ (Solenoid) ที่ใช้สารเฟอร์โรแมกเนติกเป็นแกน โดยแกนดังกล่าวจะประกอบขึ้นจากแผ่นนิกเกิลหรือนิกเกิลอัลลอย (Nickel Alloy) ขนาดบางจำนวนหลายชั้นโดยรูปที่ง่ายที่สุดจะมีลักษณะเป็นวงสี่เหลี่ยมที่พันด้วยลวดทองแดงในแต่ละด้านที่อยู่ตรงข้ามกัน

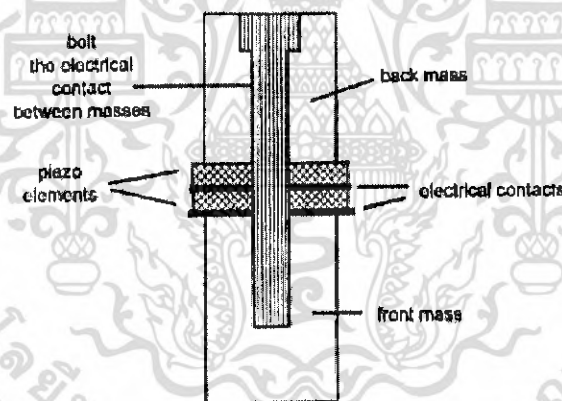
เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ขดลวด จะทำให้เกิดการลดขนาดของแกนซึ่งเกิดจากการผลิตจากสารเฟอร์โรแมกเนติก และทำให้ขนาดของทรานส์ดิวเซอร์ลดลงไปด้วยและเมื่อหยุดให้กระแสไฟฟ้าแก่ตัวแกนจะทำให้แกนหรือทรานส์ดิวเซอร์กลับมามีขนาดเท่าเดิม ดังนั้นการให้และการหยุดให้กระแสไฟฟ้าแก่ตัวแกนจะทำให้แกนมีการเปลี่ยนแปลงของขนาดอย่างต่อเนื่องและทำให้เกิดแรงสั่นที่ต้องการได้ ทั้งนี้จะต้องออกแบบทรานส์ดิวเซอร์ให้มีขนาดที่เหมาะสมเพื่อทำให้เกิดการสั่นตามความถี่ของคลื่นที่กำหนดไว้ ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 Magnetostrictive Transducer [2]

ข้อเสียของทรานส์ดิวเซอร์ชนิดนี้ได้แก่ สามารถสร้างคลื่นอัลตราโซนิกได้ต่ำกว่า 100 kHz และระบบมีประสิทธิภาพในการใช้กระแสไฟฟ้าเพียง 60% โดยจะสูญเสียพลังงานในรูปความร้อน ระบบนี้จึงมักต้องใช้การทำความเย็นภายนอกควบคู่กันไปด้วย ส่วนข้อดีได้แก่ การที่ระบบนี้มีโครงสร้างที่แข็งแรงและทนทาน

### 3. เพียโซอิเล็กทริกทรานส์ดิวเซอร์ (Piezoelectric Transducer)



ภาพที่ 2.5 Piezoelectric Transducer [2]

ทรานส์ดิวเซอร์ชนิดนี้ในการทำนียมทำด้วยเซรามิก (Ceramics) ที่มีส่วนผสมของสารเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Materials) เช่น แบเรียมไทเทเนต (Barium Titanate) หรือ เลดเมตาไนโอเบต (Lead Metaniobate) สารเพียโซเซรามิกดังกล่าวนิยมนำมาใช้ในเครื่องอัลตราโซนิกที่ใช้ในการชะล้างสกปรกที่ติดอยู่ให้หลุดออกหรือเพื่อทำความสะอาด หรือใช้กับระบบโพรบ (Probe System) โดยจะมีลักษณะเป็นแผ่นกลมที่มีรูตรงกลาง ทรานส์ดิวเซอร์ชนิดนี้จะมีความเปราะและแตกหักง่ายมาก ดังนั้นจึงต้องใช้แท่งโลหะมาประกบทั้งทางด้านหน้าและด้านหลัง ซึ่งนอกจากจะช่วยป้องกันการแตกหักแล้ว ยังช่วยป้องกันความเสียหายที่เกิดจากความร้อนส่วนเกินโดยทำหน้าที่เป็นตัวรับความร้อน โดยทั่วไปเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของทรานส์ดิวเซอร์ชนิดนี้จะประกบกันโดยใช้แผ่นเพียโซเซรามิกสองชนิด ซึ่งจะทำให้การสั่นสะเทือนเพิ่มมากขึ้นกว่าการใช้เพียงชนิดเดียว

ทรานส์ดิวเซอร์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพในการใช้กระแสไฟฟ้าสูงกว่า 95% และสามารถปรับใช้งานได้ทุกช่วงของคลื่นอัลตราโซนิก โดยปรับได้ตั้งแต่ 20 kHz ขึ้นไป

#### 2.1.4 เพียโซอิเล็กทริกเอฟเฟ็ค [4]

ปรากฏการณ์แบบเพียโซอิเล็กทริกสามารถอธิบายได้ คือ เมื่อสภาวะปกติยังไม่มีความดันหรือคลื่นมากระทบกับชั้นสารเซรามิก ประจุไฟฟ้าซึ่งอยู่ภายในชั้นสารจะเกิดการสมดุล ทำให้แผ่นเพลทเงินที่ประกบอยู่มีศักย์ไฟฟ้าที่เท่า ๆ กัน ซึ่งผลรวมของประจุไฟฟ้าบนแผ่นเพลทมีค่าเท่ากับศูนย์ แต่เมื่อมีความดันหรือคลื่นเสียงมาตกกระทบชั้นสารเซรามิก จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของชั้นสาร คือ เกิดมีประจุตรงข้ามขึ้นบนแผ่นเพลทที่ประกบชั้นสารเซรามิกอยู่ ซึ่งผลของประจุไฟฟ้าตรงข้ามนี้ทำให้เกิดเป็นแรงดันตกคร่อมแผ่นเพลททั้งสอง ขนาดของแรงดันตกคร่อมนี้จะขึ้นอยู่กับความดันหรือคลื่นที่มาตกกระทบชั้นสารเซรามิกที่โก่งงอไปมา

เพียโซอิเล็กทริกทรานส์ดิวเซอร์ สามารถเปลี่ยนแปลงไปมาระหว่างพลังงานกลกับไฟฟ้า ในกรณีการเปลี่ยนแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ตัวส่งคลื่นอัลตราโซนิกซึ่งการทำงาน คือ เมื่อเราป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งอาจมีความถี่ในช่วง 20-100 kHz แรงดันที่ป้อนนี้จะทำให้ชั้นสารเซรามิกเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง โดยที่ด้านหนึ่งของชั้นสารเซรามิกจะถูกกดกับแผ่นไดอะแฟรม เมื่อชั้นสารเซรามิกเกิดการบิดตัวไปมาจะทำให้แผ่นไดอะแฟรมอัดกับอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นความถี่เดียวกับสัญญาณที่ป้อนเข้ามาตรงกับความถี่เรโซแนนท์ ซึ่งเป็นความถี่ทางกลตามธรรมชาติของสารเซรามิกชั้นนั้น ส่วนความถี่อื่น ๆ นอกเหนือจากนี้จะทำให้มีค่าลดลงกว่าความถี่เรโซแนนท์มาก

#### 2.1.5 การออกแบบระบบอัลตราโซนิก [2]

หลังจากที่ใช้อุปกรณ์ดังกล่าวข้างต้นในการให้กำเนิดคลื่นอัลตราโซนิกแล้วจะต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งถ่ายคลื่นอัลตราโซนิกไปยังของเหลว โดยสรุปแล้วระบบอัลตราโซนิกจะต้องมีอุปกรณ์ที่สำคัญและจำเป็นอยู่ 3 ส่วน ได้แก่

1. เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า (Generator) โดยการเปลี่ยนกระแสไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นกระแสสลับที่มีความถี่ที่ต้องการและผ่านเข้าสู่ทรานส์ดิวเซอร์
2. ทรานส์ดิวเซอร์ ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงไปเป็นการสั่นเนื่องจากพลังงานกล ทรานส์ดิวเซอร์ที่นิยมในปัจจุบันคือ ชนิดที่ใช้เทคโนโลยีเพียโซอิเล็กทริก โดยรูปร่างและขนาดของทรานส์ดิวเซอร์ที่นำมาประกบกันจะขึ้นอยู่กับความถี่ที่ต้องการใช้งานและพลังงานจากทรานส์ดิวเซอร์แต่ละชนิดจะแปรผกผันกับกำลังสองของความถี่ ดังนั้นในการประยุกต์ใช้คลื่นอัลตราโซนิกจึงมักใช้ใน ช่วงความถี่ต่ำ โดยตัวทรานส์ดิวเซอร์จะติดอยู่กับบูสเตอร์ (Booster) หรือฮอร์น (Horn) ด้านบนและเชื่อมต่อกับระบบส่งถ่ายพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ระบบส่งถ่ายพลังงาน (Delivery Systems) ซึ่งจะทำหน้าที่ส่งถ่ายพลังงานจากการสั่นสะเทือนไปยังของเหลว ในกรณีที่เป็นอ่างอัลตราโซนิก (Ultrasonic Bath) ตัวทรานส์ดีวเซอร์จะอยู่บริเวณฐานตรงกลางด้านล่างของตัวอ่างหรือถึงและส่งถ่ายพลังงานโดยตรงไปยังของเหลวที่อยู่ในอ่าง ส่วนระบบที่ต้องการพลังงานที่สูงกว่านี้ จะใช้วิธีขยายสัญญาณหรือพลังงานและส่งถ่ายพลังงานไปยังของเหลว โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า ฮอ์น ซึ่งเป็นแท่งโลหะที่มีรูปร่างแตกต่างกันและจะติดกับทรานส์ดีวเซอร์ โดยตัวฮอ์นมักทำจากวัสดุที่ทำให้เกิดขนาดของความยาวคลื่นครึ่งหนึ่งหรือเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนเท่าตัวของความยาวคลื่นเสียง หลังจากใช้เป็นเวลานานจะทำให้บริเวณส่วนปลายของฮอ์นเกิดการกัดกร่อนและมีผลต่อความยาวของฮอ์นโดยทำให้สั้นลง จึงนิยมให้ส่วนปลายฮอ์นเป็นชนิดที่ถอดเข้าออกได้และเป็นเกลียวซึ่งสามารถเปลี่ยนได้ง่าย

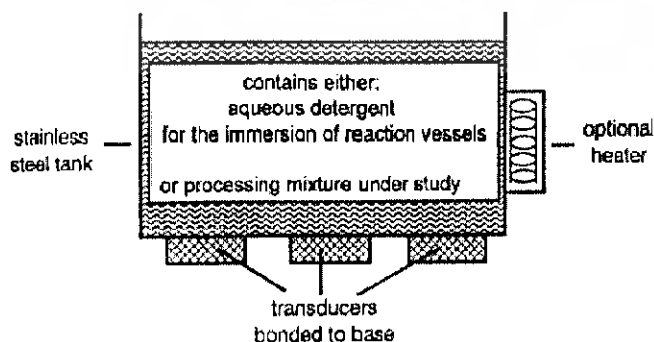
### 2.1.6 ประเภทของเครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic reactor) [2]

เครื่องอัลตราโซนิกที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีความแตกต่างกันตรงที่การออกแบบแหล่งกำเนิดไฟฟ้า แหล่งกำเนิดคลื่นและตัวเครื่องหรือเซลล์ที่ใช้ร่วมกับแหล่งกำเนิดคลื่น โดยสามารถแบ่งเป็นชนิดต่าง ๆ ดังนี้

#### 1. อ่างอัลตราโซนิก (Ultrasonic baths)

อ่างอัลตราโซนิกเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายและมีการนำมาใช้เป็นเวลานานแล้ว โดยเฉพาะในห้องปฏิบัติการเนื่องจากมีราคาไม่แพงเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องที่ใช้ระบบโพรบ โดยทั่วไปทรานส์ดีวเซอร์จะติดอยู่กับบริเวณฐานด้านล่างของอ่างและความถี่ที่ใช้งานส่วนใหญ่ประมาณ 40 kHz อ่างอัลตราโซนิกมีลักษณะดังภาพที่ 2.6

สำหรับอ่างอัลตราโซนิกนั้นพลังงานสูงสุดที่สร้างได้จะอยู่ตรงบริเวณระดับความสูงค่าหนึ่งตลอดความลึกของอ่าง ทั้งนี้เนื่องจากการสะท้อน (Reflection) ของคลื่นอัลตราซาวด์ที่ถูกสร้างขึ้นตรงบริเวณรอยต่อระหว่างอากาศและของเหลว ซึ่งแยกโดยระยะทางที่เทียบเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นเสียงของของเหลวภายในอ่าง (น้ำมีความยาวคลื่น 37 มิลลิเมตรที่ความถี่ 40 kHz) ดังนั้นถ้าระดับน้ำในอ่างลดลงต่ำกว่าค่าความยาวคลื่นจะมีผลทำให้ไม่สามารถเกิดคลื่นเสียงที่มีพลังงานสูงได้

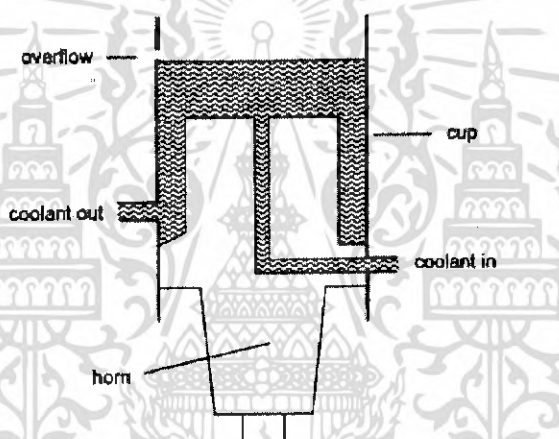


ภาพที่ 2.6 อ่างอัลตราโซนิก [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ่างอุลตราโซนิกมีอุปกรณ์เสริมประเภทต่าง ๆ ที่นำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้ดีขึ้น เช่น ตัวควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ (Thermostatically controlled heating) อุปกรณ์กระจายคลื่น (Frequency sweeps) ที่ทำให้แคปพิเทชันเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ อุปกรณ์ปรับระดับพลังงาน สวิตช์เปิดปิดแบบจิ้งหะหรือนาฬิกาจับเวลา เป็นต้น อ่างอุลตราโซนิกทั่วไปมักจะให้พลังงานต่ำ เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายจากแคปพิเทชันที่เกิดขึ้นตรงบริเวณผนังด้านในของอ่าง นอกจากนี้ของเหลวที่เติมในอ่างมักมีปริมาณมากทำให้ปริมาณพลังงานมีค่าลดลง

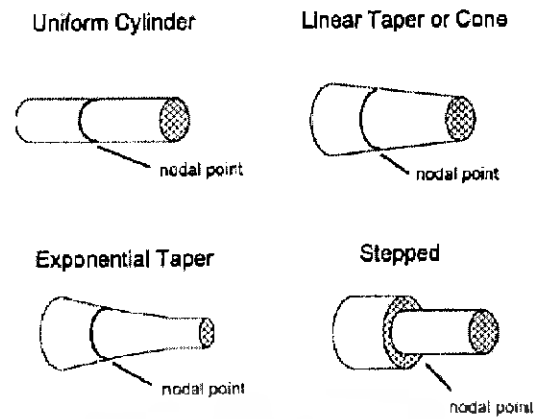
รูปแบบของอ่างอุลตราโซนิกอีกประเภทหนึ่งเรียกว่าคัพฮอร์น (Cup horn) แสดงดังภาพที่ 2.7 โดยจัดว่าเป็นอ่างอุลตราโซนิกที่สร้างพลังงานได้สูงมาก ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณผิวหน้าที่เกิดคลื่นอุลตราซาวด์ซึ่งติดอยู่กับทรานส์ดีวเซอร์จะสัมผัสกับของเหลวโดยตรงและลักษณะการทำให้เกิดพลังงานหรือคลื่นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องและระดับของของเหลวซึ่งมีความสำคัญมาก



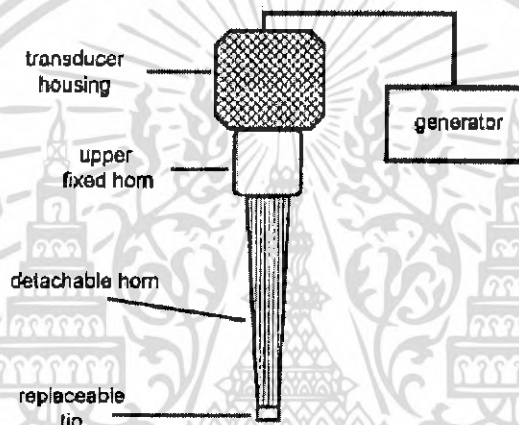
ภาพที่ 2.7 อ่างอุลตราโซนิกแบบคัพฮอร์น [2]

## 2. ระบบอุลตราโซนิกแบบโพรบ (Ultrasonic probe systems)

ในการขยายพลังงานหรือคลื่นเสียงที่เกิดขึ้นจากทรานส์ดีวเซอร์ โดยทั่วไปสามารถทำโดยนำทรานส์ดีวเซอร์มาต่อเข้ากับอุปกรณ์ที่เรียกว่าฮอร์น (Horn) ลักษณะของฮอร์นจะมีความแตกต่างกันออกไปดังภาพที่ 2.8 โดยฮอร์นส่วนใหญ่จะให้ขนาดความยาวคลื่นครึ่งหนึ่งหรือเป็นพหุคูณกับความยาวของคลื่นเสียงของวัสดุที่นำมาผลิต ระบบอุลตราโซนิกแบบโพรบแสดงดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.8 ลักษณะของฮอร์นชนิดต่าง ๆ [2]



ภาพที่ 2.9 ระบบอูลตราโซนิกแบบโพรบ [2]

รูปร่างลักษณะของฮอร์นจะมีผลต่อแอมพลิจูดที่ถูกสร้างขึ้นโดยระบบนี้ สำหรับฮอร์นที่มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอก (Uniform cylinder) แอมพลิจูดจะไม่มีเปลี่ยนแปลง แต่ฮอร์นจะทำหน้าที่ขยายหรือเพิ่มการส่งถ่ายพลังงานเสียง ขนาดความยาวคลื่นจากตัวขยาย (Amplifier) สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของผิวหน้าตัดในฮอร์นระหว่างสองพื้นที่คือ Driven face (D) และ Emitting face (d) ตัวอย่างเช่นในฮอร์นที่มีรูปร่างเป็น Exponential หรือ Linear tapered (Cone) (ภาพที่ 2.8 บนขวาหรือล่างซ้าย) จะมีอัตราส่วนเท่ากับ  $D/d$  ในขณะที่ฮอร์นแบบ Stepped จะมีความสามารถในการขยายสัญญาณได้สูงกว่าเสมอ แต่เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงความเสียหายจากความเค้นภายในตัววัสดุ (Internal stress) อัตราส่วนระหว่าง  $D/d$  จะต้องมีค่าไม่สูงจนเกินไป ในทางปฏิบัติขนาดของพลังงานสูงสุดที่ได้จากแหล่งกำเนิด พลังงานนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญสองส่วน ได้แก่ คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการผลิตทรานส์ดิวเซอร์และพื้นผิวที่ปลดปล่อยคลื่น (Emitting surface) ในส่วนของวัสดุที่นำมาใช้ผลิตทรานส์ดิวเซอร์จะนิยมใช้วัสดุที่สามารถยึดและคืนตัวกลับได้ดี เช่น ไทเทเนียม (Titanium) หรืออะลูมิเนียมอัลลอย (Aluminium alloy) ซึ่งวัสดุทั้งสองชนิดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความทนต่อการล้าเนื่องจากแรงกล แต่อะลูมิเนียมอัลลอยไม่เหมาะสมที่จะสัมผัสกับของเหลวที่เกิดปฏิกิริยาแคปิตชันเนื่องจากถูกกัดกร่อนได้ง่าย จึงควรใช้วัสดุพวกไทเทเนียมอัลลอยแทน สำหรับพื้นผิวที่ปลดปล่อยคลิ่นนั้น พบว่าพื้นที่ขนาดเล็กจะให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่า แต่ที่แอมพลิจูดสูงจะมีข้อจำกัดเนื่องจากฟองอากาศที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวหน้าจากปฏิกิริยาแคปิตชันจะรบกวนการส่งถ่ายของพลังงานไปยังของเหลว

3. อุปกรณ์ที่ใช้ระบบแผ่นสั่นคู่ขนาน (Equipment involving parallel vibrating plates)

ระบบนี้พบว่าเป็นทางเลือกที่ดีในการนำคลิ่นอูลตราชาวนมาใช้กับงานที่มีลักษณะต่อเนื่อง โดยผลิตภัณฑ์จะได้รับคลิ่นอูลตราชาวนอย่างสม่ำเสมอในระหว่างทางที่ไปยังเครื่องอูลตราชาวนซึ่งทำให้เกิดการสั่นที่บริเวณผนังด้านในตัวเครื่อง เมื่อแผ่นดังกล่าวเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันมากขึ้นจะมีผลทำให้การลดทอนพลังงาน (Attenuation) ของคลิ่นเสียงภายในของเหลวมีค่าต่ำสุดและไม่เกิดคลิ่น ข้อดีของระบบแผ่นสั่นคู่ที่ติดตั้งในแต่ละด้านของของเหลวเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ระบบแผ่นสั่นแผ่นเดียวคือคลิ่นพลังงานที่เกิดขึ้นก่อนที่จะส่งถ่ายไปยังของเหลวจะสะท้อนไปยังแผ่นที่สั่นอีกแผ่นหนึ่งที่อยู่ตรงกันข้าม ทำให้ผลที่เกิดจากแรงกลมีค่าสูงสุด

4. ระบบการสั่นตามแนวรัศมี (Radial vibrating systems)

ในการให้พลังงานคลิ่นอูลตราชาวนกับของเหลวที่ไหลอยู่ภายในท่อนั้น วิธีที่ดีที่สุดคือการใช้การสั่นของท่อเพื่อทำให้เกิดคลิ่นพลังงานขึ้น ซึ่งจะทำให้อัตราการไหลมีค่าสูงขึ้นรวมทั้งใช้ได้กับผลิตภัณฑ์ที่มีความข้นหนืดสูงได้ ลักษณะการตัดขวางของท่อดังกล่าวมีความสำคัญโดยท่อทรงกระบอกที่สั่นจะทำให้เกิดคลิ่นอูลตราชาวนสูงสุดตรงบริเวณกึ่งกลางของท่อเช่นเดียวกับท่อที่มีลักษณะหกเหลี่ยมและการเกิดพลังงานน้อยกว่าตรงบริเวณที่ใกล้พื้นผิวด้านในของท่อมีผลดีคือ ช่วยลดปัญหาที่เกิดจากการกัดกร่อนตรงบริเวณดังกล่าว การนำทรานส์ดีวเซอร์มาเชื่อมติดกับท่อโลหะโดยตรง ทำให้สามารถเกิดคลิ่นในแนวรัศมีและเกิดบัพ (Nodes) และปฏิบัพ (Antinodes) เป็นช่วงระยะเท่ากับ ครึ่งหนึ่งของความยาวคลิ่นตามความยาวของท่อ

## 2.2 การประยุกต์ใช้คลิ่นอูลตราชาวนิกในกระบวนการแปรรูปอาหาร [2]

การนำคลิ่นอูลตราชาวนิกมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารนั้น มีความหลากหลายและแตกต่างกันไปตามชนิดหรือประเภทของอาหารและวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ ทั้งนี้มีรายงานการประยุกต์ใช้คลิ่นอูลตราชาวนิกในกระบวนการแปรรูปอาหารโดยแบ่งเป็นหัวข้อต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

### 2.2.1 กระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation Process)

มีการนำคลิ่นอูลตราชาวนิกมาใช้ในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น ปฏิกิริยาการบ่ม (Aging) ของผลิตภัณฑ์หมัก ได้แก่ ไวน์และสุรา โดยทำให้เกิดกลิ่นรสและรสชาติที่เฉพาะตัวในช่วงระยะเวลา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบ่มที่สั้นลง ซึ่งมีรายงานการศึกษาการใช้คลื่นอุลตราโซนิคขนาด 1 MHz แก่ผลิตภัณฑ์หมักดังกล่าว ทำให้อัตราส่วนระหว่างแอลกอฮอล์ต่อเอสเทอร์เกิดความสมดุลและช่วยให้เกิดลักษณะปรากฏที่ดี และในส่วนของวิสกี (Whisky) พบว่าช่วยลดเวลาการบ่มให้ต่ำกว่า 1 ปีได้

### 2.2.2 การกระตุ้นเซลล์สิ่งมีชีวิต (Stimulation of Living Cells)

มีรายงานการศึกษาการใช้คลื่นอุลตราโซนิคช่วยในการผลิตโยเกิร์ต โดยพบว่าสามารถลดเวลาในการผลิตลงถึง 40% และยังช่วยปรับปรุงคุณลักษณะของโยเกิร์ต เช่นเนื้อสัมผัสให้ดีขึ้น นอกจากนี้คลื่นอุลตราโซนิคยังสามารถกระตุ้นการงอกของเมล็ดพืชได้ ทำให้ปริมาณผลผลิตในการผลิตขนาดใหญ่เพิ่มสูงขึ้น โดยคลื่นอุลตราโซนิคจะเหนี่ยวนำให้การงอกของเมล็ดเกิดได้เร็วขึ้น รวมทั้งกระตุ้นให้รากงอกเร็วขึ้น เช่น เมล็ดทานตะวันเมื่อทดลองให้คลื่นอุลตราโซนิค พบว่าจะสามารถงอกในดินได้ดีกว่าเมล็ดที่ไม่ได้รับคลื่นถึง 3 เท่า หรือในเมล็ดมะเขือเทศซึ่งพบว่าเมล็ดของมะเขือเทศที่ได้รับคลื่นอุลตราโซนิคจะลดระยะเวลาการสุกได้ถึง 10 วัน

### 2.2.3 กระบวนการสเตอริไลเซชัน (Sterilization)

มีการนำคลื่นอุลตราโซนิคมาใช้ทำความสะอาด โดยช่วยลดการปนเปื้อนที่บริเวณพื้นผิว (Surface Decontamination) เนื่องจากการเกิดคลื่นกระแทกขนาดเล็ก จากการที่ฟองอากาศเกิดการแตกตัวและมีทิศทางพุ่งเข้าสู่พื้นผิวด้วยความเร็วสูง เป็นผลให้สิ่งสกปรกและแบคทีเรียที่เกาะติดอยู่ที่บริเวณพื้นผิวหลุดออก นอกจากนี้ยังสามารถใช้คลื่นอุลตราโซนิคในการทำลายแบคทีเรียที่ปนเปื้อนบนผิวของไข่โดยใช้ร่วมกับการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย และคลื่นอุลตราโซนิคช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อด้วยสารเคมีเนื่องจากทำให้เซลล์แบคทีเรียที่เกาะกลุ่มกันอยู่เกิดการแตกกระจายเป็นผลให้สารเคมีสามารถสัมผัสกับเชื้อจุลินทรีย์ได้มากยิ่งขึ้น

### 2.2.4 การใช้คลื่นอุลตราโซนิคในการทำให้เกิดอิมัลชัน (Ultrasonic Emulsification)

คลื่นอุลตราโซนิคทำให้อิมัลชันเสถียรขึ้น เนื่องจากการที่ฟองอากาศเกิดการแตกตรงบริเวณที่เป็นรอยต่อระหว่างเฟส (Phase Boundary) ของของเหลวสองชนิดที่เข้ากันไม่ได้ ซึ่งคลื่นกระแทกที่มีแรงดันสูงเกิดขึ้นจะทำให้เกิดการผสมและของเหลวทั้งสองชนิดสามารถเข้ากันได้ดียิ่งขึ้น

### 2.2.5 การสกัด (Extraction)

คลื่นอุลตราโซนิคช่วยทำให้ตัวทำละลายแทรกซึมเข้าไปในวัสดุที่นำมาสกัดได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลสาร (Mass Transfer) เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้คลื่นอุลตราโซนิคยังไปทำลายพื้นผิวที่บริเวณผนังเซลล์และภายในเซลล์ทำให้สารที่ต้องการสกัดสามารถออกมาได้ง่ายขึ้น ตัวอย่างเช่น การสกัดน้ำตาลออกจากหัวบีท (Sugar Beets) การสกัดโปรตีนจากสาหร่ายและจากถั่วเหลืองที่ผ่านการสกัดไขมันแล้ว การสกัดสารในชาออกจากใบชาในการผลิตชาสำเร็จรูปชนิดละลายได้ทันที เป็นต้น

### 2.2.6 การใช้คลื่นอุลตราโซนิกกับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ (Meat Products)

การใช้คลื่นอุลตราโซนิกจะช่วยสกัดสารพวกโปรตีนที่ละลายในน้ำเกลือที่มีอยู่ในเนื้อสัตว์ออกมาได้เพิ่มมากขึ้น โดยใช้ร่วมกับสารละลายเกลือซึ่งคลื่นอุลตราโซนิกจะไปทำลายโครงสร้างไมโอไฟบริล (Myofibrils) ภายในเนื้อสัตว์ และทำให้สารละลายภายในเซลล์ไหลออกมา เป็นผลให้เนื้อสัตว์เกาะติดกันได้ดีขึ้น นอกจากนี้คลื่นอุลตราโซนิกยังทำให้เนื้อสัตว์มีความนุ่มเพิ่มขึ้น โดยมีผลทำลายเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective Tissues) ทำให้มีปริมาณลดลง

### 2.2.7 การตกผลึก (Crystallization)

คลื่นอุลตราโซนิกช่วยในการก่อตัวของผลึกเริ่มต้น (Initiation of Seeding) และช่วยในการขยายขนาดของผลึก (Crystal Growth) โดยมีรายงานว่าคลื่นอุลตราโซนิกช่วยเร่งอัตราการเกิดนิวเคลียส และเร่งอัตราการขยายขนาดผลึกในสารละลายอิมิตัว หรือในตัวกลางที่เย็นยิ่งยวด โดยสันนิษฐานว่าเกิดจากปรากฏการณ์แคปวิตชัน ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตยาและผลไม้แช่เยือกแข็ง เช่น สตรอเบอร์รี่แช่เยือกแข็ง โดยช่วยทำให้ลดการเปลี่ยนแปลงของขนาดผลึกของน้ำแข็งที่เกิดภายในเซลล์ รวมทั้งทำให้ผลึกน้ำแข็งที่เกิดภายในเซลล์มีขนาดเล็กลงเป็นผลให้ออกาสในการทำลายเซลล์เนื่องจากการเกิดผลึกน้ำแข็งลดลงไปด้วย

### 2.2.8 การใช้คลื่นอุลตราโซนิกช่วยในการกรอง (Acoustically Filtration)

คลื่นอุลตราโซนิกช่วยทำให้อัตราการกรองของของเหลวเพิ่มขึ้น โดยมีการเกิดผลที่สำคัญต่อการกรองสองประการได้แก่ การเกิดการรวมตัวกัน (Agglomeration) ของอนุภาคที่มีขนาดเล็ก ทำให้การกรองเกิดขึ้นได้รวดเร็ว และอีกประการหนึ่งคือคลื่นอุลตราโซนิกมีผลต่อพลังงานบางส่วนที่เกิดขึ้นจากการสั่นของวัตถุแก่ของเหลว ทำให้อนุภาคบางส่วนยังคงแขวนลอยอยู่ได้และสามารถแยกตัวทำลายออกมาได้เพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น การใช้คลื่นอุลตราโซนิกในการช่วยกรองน้ำแอปเปิ้ลทำให้มีปริมาณผลผลิตเพิ่มสูงขึ้น เป็นต้น

### 2.2.9 การทำแห้ง (Acoustic Drying)

การใช้คลื่นอุลตราโซนิกร่วมกับกระบวนการทำแห้ง จะสามารถลดอุณหภูมิการทำแห้งลงได้ และทำให้ปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันหรือการสลายตัวของสารลดลง มีการศึกษาหลากหลายเกี่ยวกับการนำคลื่นอุลตราโซนิกมาใช้ร่วมกับกระบวนการทำแห้งในการผลิตอาหารประเภทต่างๆ และมีการสภาวะที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของการเกิดแคปวิตชันทำให้โครงสร้างของวัตถุดิบถูกทำลาย เกิดการถ่ายเทความร้อนเพิ่มสูงขึ้นถึงประมาณ 30 – 60%

## 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Miles. และคณะ [5] ได้มีการทดสอบการละลายเนื้อหมูแช่แข็งและปลาแช่แข็งด้วยคลื่นอุลตราโซนิก โดยกำหนดความเข้มข้นของคลื่นที่ใช้ในการละลายอาหารแช่แข็งและทำการวัดการดูดซับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของคลื่นที่ดีที่สุดใกล้กับค่าเริ่มต้นของการเกิด Freezing Point จึงใช้คลื่นอุลตราโซนิกจาก 0.22 - 3.3 MHz และความเข้ม  $3 \text{ W/cm}^2$  ปัญหาที่เกิดขึ้นคือระยะเริ่มต้นจะเกิดแคปิวิตีที่ความถี่ต่ำประมาณ 500 kHz และที่ความเข้มประมาณ  $0.5 \text{ W/cm}^2$  ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดที่ให้ความร้อนที่ผิวหน้า

Da - Wen Sun และ Bing Li [6] กล่าวว่าคุณสมบัติของคลื่นอุลตราโซนิกพิสูจน์ให้เห็นถึงประโยชน์ในการควบคุมการเกิดผลึก ดังนั้นในการศึกษาค่าพลังงานที่ทำให้เกิดคลื่นอุลตราโซนิกจึงนำมาประยุกต์ใช้กับการแช่แข็ง โดยผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นถึงอัตราการแช่แข็งของตัวอย่างมันฝรั่งแล้วปรับปรุงการใช้คลื่นอุลตราโซนิกเทียบกับการไม่ใช้คลื่นอุลตราโซนิก โดยคลื่นอุลตราโซนิกจะช่วยให้อัตราการแช่แข็งดีขึ้น ในงานนี้อัตราการแช่แข็งที่เร็วที่สุดคือ การใช้พลังงาน 15.85 W ที่เวลา 2 นาที

Fatih และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้คลื่นอุลตราโซนิกเพื่อช่วยทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของนมมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์เพื่อดูขนาดเม็ดกลมของไขมันที่มีอยู่ในนม และนำมาหาประสิทธิภาพของการทำให้ไขมันมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันจากเครื่องโฮโมจีไนส์ เปรียบเทียบกับการใช้คลื่นอุลตราโซนิกที่ความถี่ 20 kHz ปรับแอมพลิจูดโดยระดับพลังงาน พบว่าการใช้คลื่นอุลตราโซนิกที่แอมพลิจูดสูงมีนัยสำคัญต่อลักษณะของนม คือเมื่อเวลาและพลังงานที่ใช้ในการทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของนมเป็นเนื้อเดียวกันสูงขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพของการเป็นเนื้อเดียวกันเพิ่มสูงขึ้นด้วย จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ทำให้ขนาดเม็ดกลมของไขมันที่มีอยู่ในนมมีขนาดเล็กที่สุด ( $0.725 \mu\text{m}$ ) เป็นผลมาจากการใช้คลื่นอุลตราโซนิกที่ระดับพลังงาน 100 (450 W) เป็นเวลา 10 นาที และการใช้คลื่นอุลตราโซนิกที่ระดับพลังงาน 40 (180 W) เป็นเวลา 10 นาที จะทำให้ขนาดเม็ดกลมของไขมันที่มีอยู่ในนมมีขนาดเช่นเดียวกับการใช้เครื่องโฮโมจีไนส์ทำให้ไขมันมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันโดยทั่วไป

Lopez-Malo และคณะ [8] ทำการทดลองการประยุกต์ใช้การให้ความร้อนร่วมกับการใช้คลื่นอุลตราโซนิกความถี่ต่ำ (20 kHz) ที่แอมพลิจูดต่าง ๆ ในการยับยั้งสปอร์ของจุลินทรีย์ *Aspergillus flavus* และ *Penicillium digitatum* ในน้ำซุบตามสภาวะของ  $a_w$  (0.99 หรือ 0.95), pH (5.5 หรือ 3.0), การเติมสาร Vanillin หรือ Potassium Sorbate ด้วยระบบอุลตราโซนิกที่มีลักษณะเป็นฮอร์นยาว 13 มิลลิเมตร จุ่มในน้ำซุบที่ให้ความร้อนและคลื่นอุลตราโซนิกอย่างต่อเนื่อง แสดงผลด้วยกราฟแสดงปริมาณจุลินทรีย์ที่เหลืออยู่ด้วยค่า D และ z โดยที่  $a_w = 0.99$  แอมพลิจูดคลื่นเพิ่มขึ้น และค่า pH ลดลงทำให้ค่า D มีค่าลดลง เมื่อ  $a_w$  คงที่ ค่า D ลดลงด้วย pH ที่ลดลง เมื่อ pH คงที่ ค่า D มีค่าลดลง โดยที่  $a_w = 0.99$  จะให้ค่า D ที่ต่ำกว่าที่  $a_w = 0.95$  และค่า D จากการยับยั้งจุลินทรีย์โดยใช้ความร้อนร่วมกับคลื่นอุลตราโซนิกจะมีค่าลดลงมากกว่าการยับยั้งจุลินทรีย์ด้วยความร้อนเพียงอย่างเดียว และการเติมสาร Vanillin หรือ Potassium Sorbate ร่วมกับการยับยั้งจุลินทรีย์โดยใช้ความร้อนและคลื่นอุลตราโซนิกที่มีการเพิ่มแอมพลิจูด จะทำให้ค่า D นั้นมีค่าลดลงน้อยที่สุดในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ashokkumar และคณะ [9] ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากนมและให้ข้อเสนอแนะว่า การใช้คลื่นอุลตราโซนิกช่วยในการกรองในอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์จากนม จะทำให้ลดระยะเวลาการทำความสะอาดตัวกลางการกรองที่เกิดการอุดตันขึ้น และช่วยลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต นอกจากนี้คลื่นอุลตราโซนิกที่มีความถี่สูงยังอาจทำให้ลักษณะทางกายภาพและเคมีในส่วนประกอบของนมเกิดการเปลี่ยนแปลง เกิดการปรับเปลี่ยนตัวแปรในกระบวนการหรือการเติมส่วนผสมน้อยลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

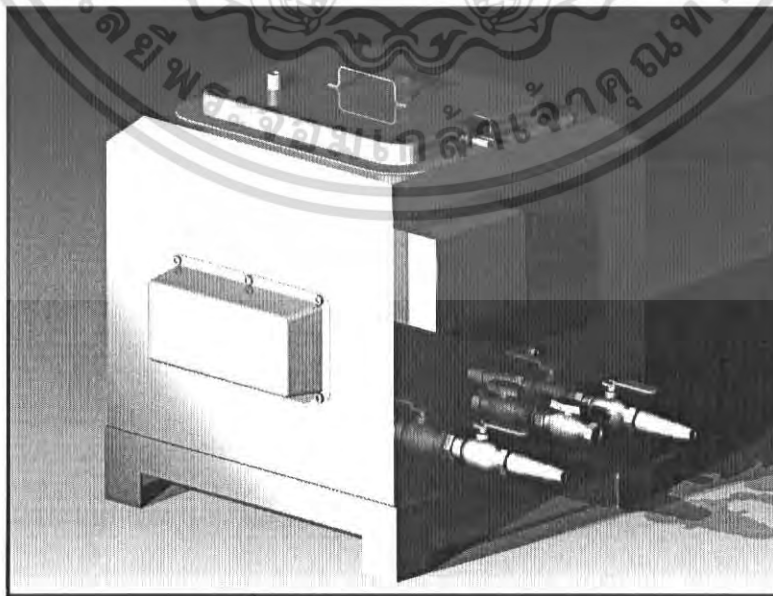
## บทที่ 3

# การออกแบบและสร้างเครื่อง

### 3.1 ข้อมูลพื้นฐานจำเพาะที่ใช้

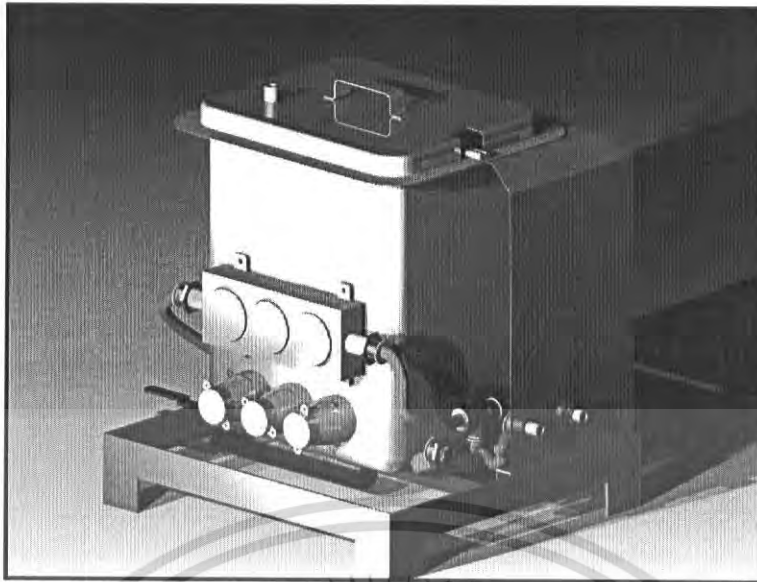
1. ขนาดปริมาตรของถังขนาด 12-15 ลิตร
2. ลักษณะรูปทรงเป็นแบบถังสี่เหลี่ยม กว้าง 200 มม. ยาว 25 มม. สูง 300 มม.
3. อุณหภูมิที่สามารถใช้ในถังนี้มีค่าไม่เกิน 200 °C
4. ตัวทรานสดิวเซอร์ที่ใช้มีขนาดความถี่ 28 kHz และ 40 kHz
5. วัสดุที่ใช้คือ แสตนเลส
6. มีความสามารถในการถอดประกอบ
7. ง่ายต่อการทำความสะอาด ไม่เกิดการสะสมคราบสกปรกต่างๆ
8. มีทางระบายของไหลทางด้านล่างของถัง
9. ประกอบด้วยชุดระบายความร้อนตัวทรานสดิวเซอร์
10. ประกอบด้วยชุดควบคุมอุณหภูมิและชุดตั้งเวลาและหน้าจอแสดงผล
11. ชุดให้ความร้อนมีขนาด 2500 W
12. สามารถปรับระดับความสูงชุดให้ความร้อนได้
13. การควบคุมอุณหภูมิภายในถังเป็นแบบพีระสแต 4-20 mA และเป็นระบบ PID

### 3.2 การออกแบบส่วนประกอบ



ภาพที่ 3.1 โครงสร้างถังอเนกประสงค์

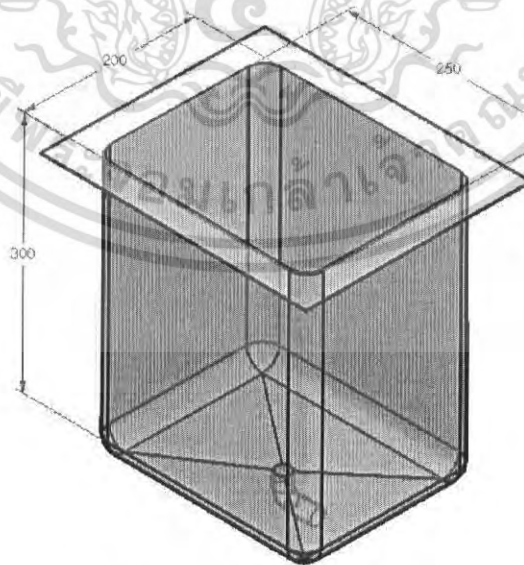
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 โครงสร้างภายในถังอเนกประสงค์

3.2.1 ถัง

เริ่มต้นในการออกแบบจำเป็นต้องทราบขนาดถังทอดหรือถังต้มทั่วไปก่อนทำการออกแบบ เมื่อได้ขนาดถังที่ต้องการจึงเริ่มต้นออกแบบ ถังที่พบเห็นกันทั่วไปนั้นจะเป็นถังที่มีลักษณะทรงกระบอกกับ ทรงสี่เหลี่ยม สำหรับถังที่เลือกออกแบบเป็นลักษณะทรงสี่เหลี่ยมถึงที่มีลักษณะทรงสี่เหลี่ยมเพื่อความสะดวกสำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆจากภายนอกถังอีกด้วยได้ประโยชน์ใช้สอยในแง่ของพื้นที่มากกว่าถังที่มีลักษณะถังทรงกระบอก



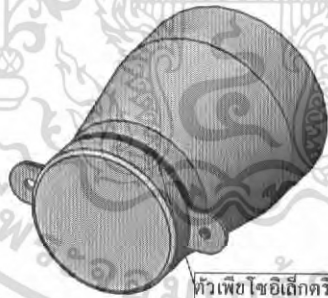
ภาพที่ 3.3 แบบถังสแตนเลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแ 62637 ละต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปเป็นลักษณะของถังสังเกตว่าลักษณะถังจะมีส่วนโค้งตามขอบหรือมุมต่างๆ เนื่องจากส่วนโค้งนี้จะช่วยให้ง่ายต่อการทำความสะอาดและยังไม่ทำให้เกิดการสะสมกับสิ่งสกปรกต่างๆ ด้านล่างถังเจาะช่องและทำส่วนลาดเอียงเพื่อสามารถปล่อยของเหลวออกจากถังได้สะดวกโดยท่อจะต่อออกไปที่วาล์วเพื่อใช้เปิดเปิดของเหลวออกจากถัง

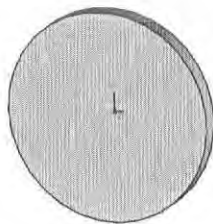
ขั้นตอนต่อไปเป็นกำหนดกระบวนการในการขึ้นรูปถังขนาด ก×ย×ส เท่ากับ 200×250×300 มม. ปริมาตรบรรจุ 15 ลิตร ถังมีความต้องการนำมาใช้กระบวนการอาหารวัสดุที่เหมาะสมจึงเป็นสแตนเลส เนื่องจากไม่เกิดสนิมและยังทนต่อการกัดกร่อนได้ดีแต่กระบวนการที่ดีในการสร้างถังขึ้นมาใช้งานคือ การปั๊มขึ้นรูปจะทำให้ไม่เกิดรอยเชื่อมโดยคลื่นอัลตราโซนิคจะส่งผลกระทบต่อรอยเชื่อม เนื่องจากตัวคลื่นอาจทำให้รอยเชื่อมชำรุดเสียหายได้ แต่ข้อจำกัดการสร้างถังด้วยการปั๊มขึ้นรูปคือจะต้องผลิตในปริมาณมากๆ เพราะค่าใช้จ่ายในการสั่งทำแม่พิมพ์สูงมาก ทำให้มีความจำเป็นที่ต้องเลือกการใช้วิธีพับแล้วเชื่อมเพื่อขึ้นรูปแทนโดยแก้ไขปัญหาแนวเชื่อมจากการใช้แนวเชื่อมหนาเป็นพิเศษและเจียรในออกเพื่อลบแนวเชื่อม ปัจจุบันอีกสาเหตุที่ต้องออกแบบถังขึ้นมาใหม่คือ ความหนาของถังทั่วไปน้อยเกินไปสำหรับการนำมาใช้ในกระบวนการสร้างเครื่องที่ได้ออกแบบ เพราะพื้นที่ส่วนของด้านข้างถังต้องถูกเจาะและนำชุด Cooling ประกอบโดยการเชื่อมหากความหนาของถังไม่มากพอจะทำให้เกิดการบิดตัวได้ระหว่างกระบวนการเชื่อมโดยความหนาจากการออกแบบคือ 1.5 มม.

### 3.2.2 ชุดเพียโซอิเล็กทริกทรานส์ดิวเซอร์



หัวเพียโซอิเล็กทริกทรานส์ดิวเซอร์

ภาพที่ 3.4 ชุดเพียโซอิเล็กทริกทรานส์ดิวเซอร์ 28 kHz

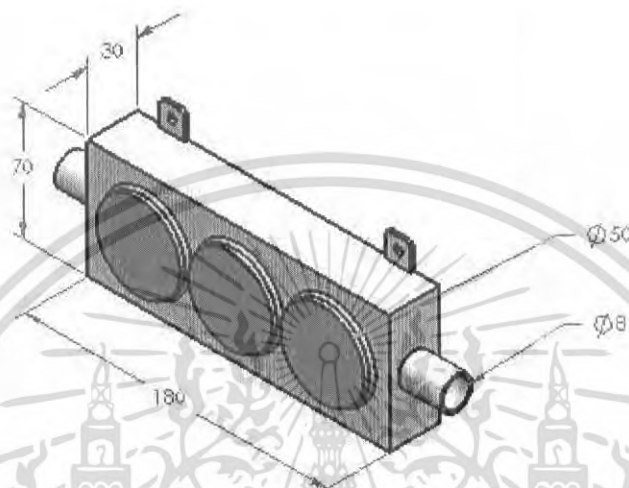


ภาพที่ 3.5 ชุดเพียโซอิเล็กทริกทรานส์ดิวเซอร์ 40 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานส์ดีวเซอร์ที่ใช้มีส่วนผสมของสารเพียโซอิเล็กทริกซึ่งทำจากเซรามิกที่มีส่วนผสมของสารประกอบเลดเซอร์โคเนตไททาเนต (Lead zirconate titanate) หรือที่เรียกว่า PZT มีลักษณะเป็นแผ่นกลมมีแผ่นโลหะประกบทั้งด้านหน้าและด้านหลังเพื่อช่วยป้องกันการแตกหัก มีความถี่ 28 kHz จำนวน 3 หัว หัวละ 70 Watts และ 40 kHz จำนวน 3 หัว หัวละ 50 Watts

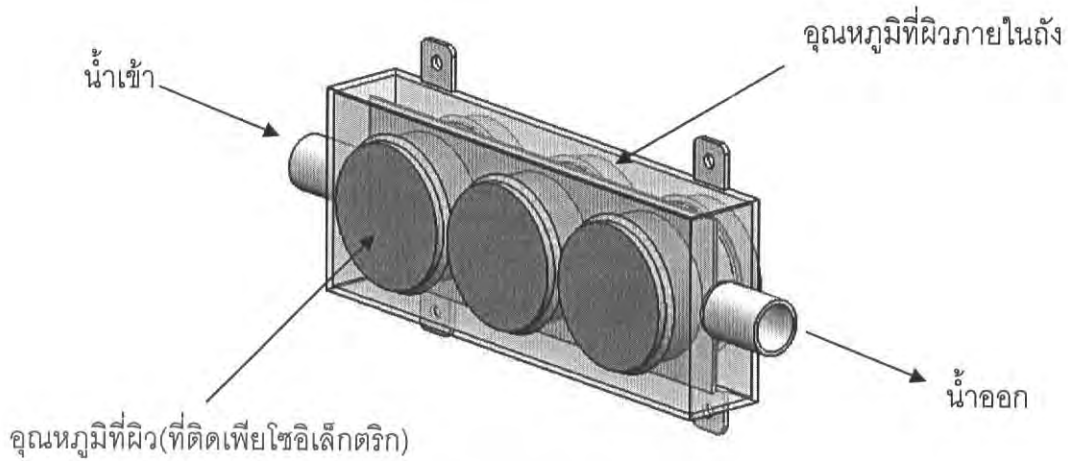
### 3.2.3 ชุดระบายความร้อน (Cooling)



ภาพที่ 3.6 แบบชุดระบายความร้อน

สาเหตุในการนำระบบระบายความร้อนด้วยน้ำเนื่องจากอุปกรณ์กำเนิดคลื่นมีส่วนประกอบที่ไม่สามารถทนความร้อนได้สูงเกิน  $80^{\circ}\text{C}$  แต่กระบวนการภายในถึงใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิดังกล่าวจึงจำเป็นต้องนำระบบระบายความร้อนเข้ามาช่วย โดยชุดระบายความร้อนออกแบบมาในลักษณะดังภาพที่ 3.6 ชุดระบายความร้อนถูกติดตั้งไว้ระหว่างถังกับชุดเพียโซอิเล็กทริก อุณหภูมิควบคุมอยู่ในช่วง  $50 - 55^{\circ}\text{C}$  จึงไม่ทำให้อุปกรณ์กำเนิดคลื่นเกิดความเสียหาย ส่วนตัวกลางใช้ในการระบายความร้อนจะใช้น้ำ จากรูปมีท่อน้ำเข้าและออกตามรูปที่แสดง โดยปริมาณน้ำที่ต้องการนั้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการ สามารถควบคุมอุณหภูมิได้โดยการปรับอัตราไหลให้อุณหภูมิน้ำภายในชุด Cooling อยู่ในช่วง  $50 - 55^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.7 โครงสร้างภายในชุดระบายความร้อน

**การคำนวณชุดระบายความร้อน**

กำหนดให้

$T_s$  คือ อุณหภูมิที่ผิวที่ติดกับผิวข้างถัง (กำหนดให้อุณหภูมิมีค่าใช้งานสูงสุดคือ  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

$T_i$  คือ อุณหภูมิน้ำเข้าชุดระบายความร้อน (กำหนดให้อุณหภูมิมีค่า  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

$T_o$  คือ อุณหภูมิน้ำออกจากชุดระบายความร้อน (กำหนดให้อุณหภูมิมีค่า  $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

$T$  คือ อุณหภูมิผิวที่ติดกับเพียโซอิเล็กทริก (ต้องการควบคุมให้อยู่ที่  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

$K$  คือ ค่าการนำความร้อนของ Stainless Steel Type 304 (มีค่า  $16.2 \frac{W}{m \cdot K}$ )

$d$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อน้ำเข้า (ขนาด  $0.03\text{ m}$ )

$D$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อสแตนเลสตัน (ขนาด  $0.05\text{ m}$ )

ในการคำนวณนั้นจะกำหนดให้อุณหภูมิภายในกล่องชุดระบายความร้อนมีค่าไม่เกิน  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  เพื่อป้องกันอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริกเกิดความเสียหายได้

**หมายเหตุ** สาเหตุที่กำหนดให้อุณหภูมิชุดระบายความร้อนไม่เกิน  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  โดยที่การควบคุม

อุณหภูมิสามารถทนได้ถึง  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  เพราะต้องการให้มีค่าความปลอดภัย

จากกฎอนุรักษ์พลังงาน

$$Q \text{ (เข้าระบบ)} = Q \text{ (ออกจากระบบ)} \dots\dots\dots (1)$$

จากสมการการนำความร้อน จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q \text{ (เข้าระบบ)} = kA \frac{\partial T}{\partial x}$$

$$\text{แทนค่า} = kA \frac{(T_s - T)}{x}$$

$$= (16.2) \times \frac{(\pi \times 0.05^2)}{4} \times 6 \times \frac{(200 - 50)}{0.01}$$

$$= 2,862.8 \quad \text{จูล}$$

จากสมการพลังงานความร้อน จะได้

$$Q \text{ (ออกจากระบบ)} = m C_p \Delta T$$

$$\text{แทนค่า} = m \times C_p \times (T_i - T_o)$$

$$= m \times (4,200) \times (36 - 30)$$

$$\text{จาก (1) แทนค่าได้} \quad 2,862.8 = m \times (4,200) \times (36 - 30)$$

$$m = \frac{2,862.8}{4,200 \times 6}$$

$$= 0.1136 \quad \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$= 6.81 \quad \frac{\text{kg}}{\text{min}} \quad \text{หรือ} \quad 6.81 \text{ ลิตร/นาที}$$

จากการคำนวณจะได้อัตราการไหลของน้ำที่ใช้ในชุดระบายความร้อน 6.81 ลิตรต่อนาที

การติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดคลื่นอุลตราโซนิคกับชุด Cooling โดยจะใช้วิธียึดด้วยกาวที่มีลักษณะเฉพาะสำหรับอุปกรณ์กำเนิดคลื่นขนาดความถี่ 40 kHz ซึ่งเป็นอุปกรณ์กำเนิดคลื่นแบบลักษณะแผ่นตลับ แต่การติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดหรือเพียโซอิเล็กทริกขนาด 28 kHz ทำการติดตั้งโดยใช้ยึดด้วยเกลียวและกาวเฉพาะ ในการติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดคลื่นหรือเพียโซอิเล็กทริกจำเป็นต้องใช้กาวที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

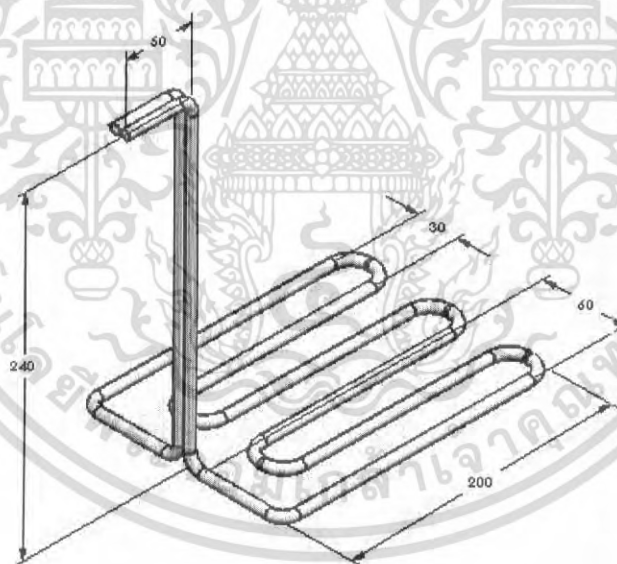
มีลักษณะเพื่อให้คลื่นสามารถส่งออกไปตามทิศทางที่ต้องการสำหรับลักษณะการติดตั้งสามารถดูได้จากรูป 3.8



เพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์  
ความถี่ 40 kHz

ภาพที่ 3.8 แสดงการติดตั้งเพียโซอิเล็กทริกขนาดความถี่ 40 kHz

### 3.2.4 ชุดให้ความร้อน (Heater)

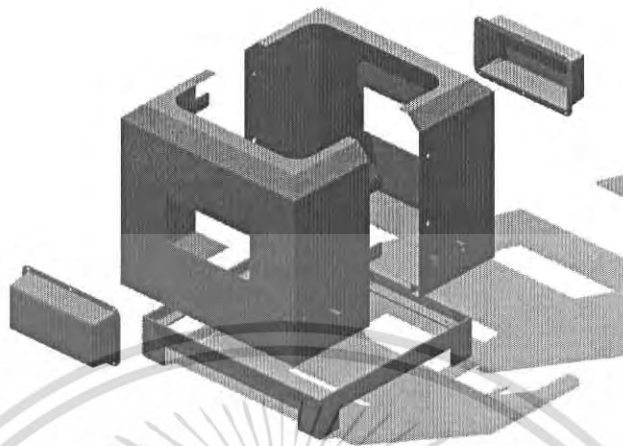


ภาพที่ 3.9 ชุดให้ความร้อน

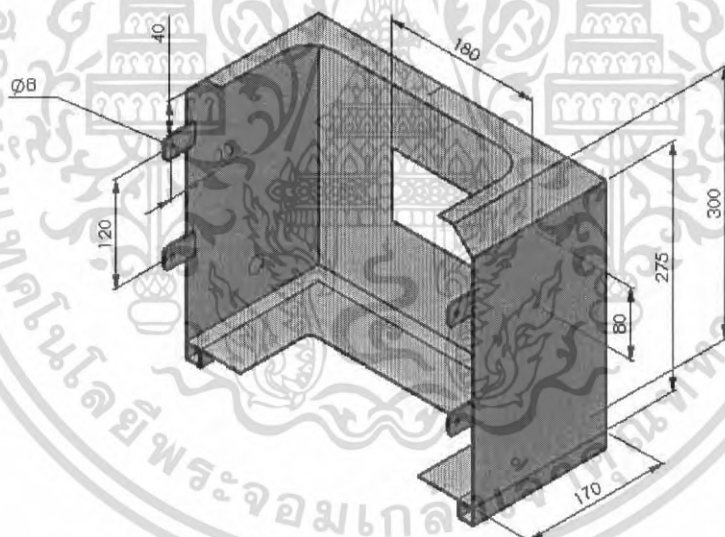
ชุดให้ความร้อนหรือ Heater ลักษณะที่ใช้คือแบบจุ่มวัสดุทำจากสแตนเลส การใช้ Heater ทำให้มีพื้นที่ทำงานภายนอกถึงมากขึ้นได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ดีและสามารถปรับระดับความสูงของ Heater ได้ หากแต่ควรมีตะแกรงและรักษาระมัดระวังความสะอาดเพราะอาจเกิดการปนเปื้อนได้ ส่วนอุปกรณ์ติดตั้งภายนอกมีทั้งชุดเพียโซอิเล็กทริกขนาด 28 kHz และชุด Cooling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.5 โครงภายนอกตัวถังและฐานรอง

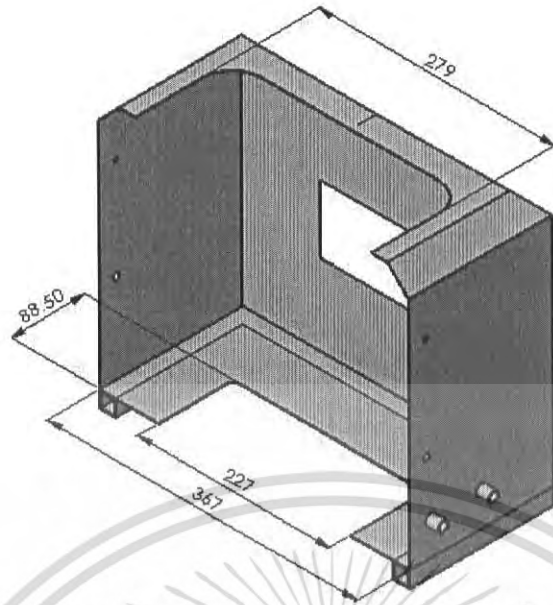


ภาพที่ 3.10 โครงภายนอกตัวถังและฐานรอง

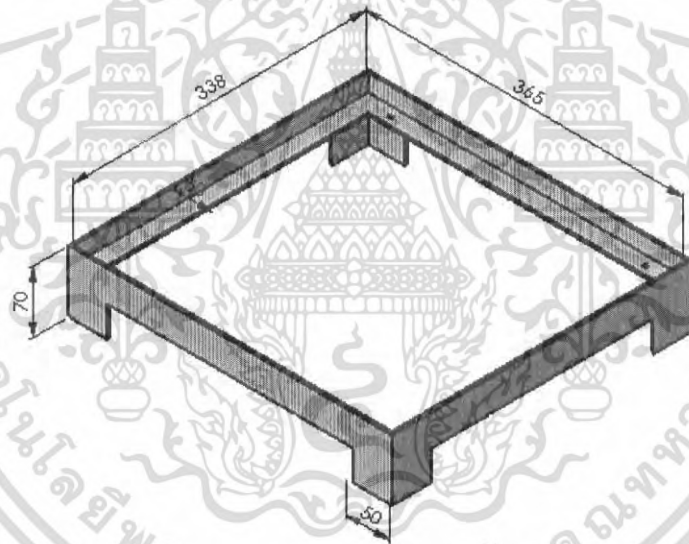


ภาพที่ 3.11 แบบของโครงสร้างภายนอกชั้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.12 แบบของโครงสร้างภายนอกชิ้นที่ 2

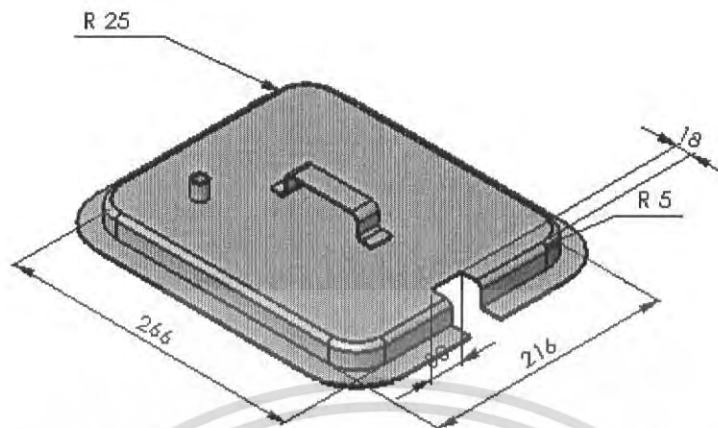


ภาพที่ 3.13 แบบของฐานรอง

ชุดหุ้มตัวถังนอกจากทำหน้าที่ในการเก็บอุปกรณ์ต่างๆภายในถังยังสามารถติดข้อต่อ Fitting ลมและกล่องเชื่อมสายไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

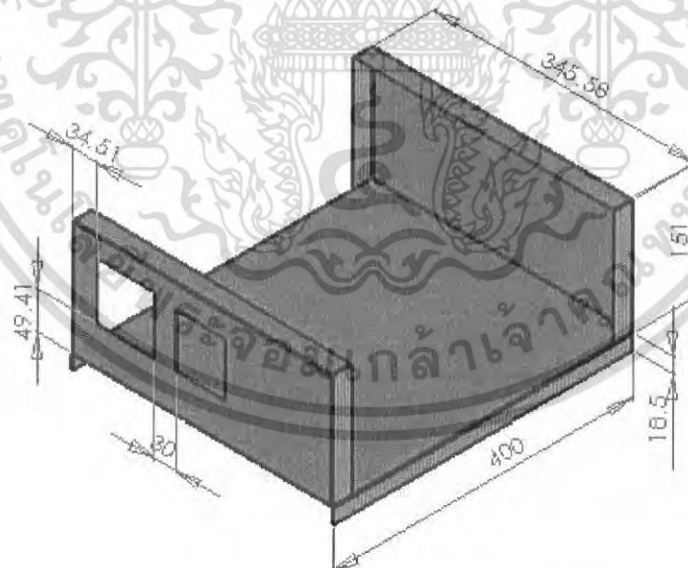
### 3.2.6 ฝาปิดถัง



ภาพที่ 3.14 แบบฝาปิดถัง

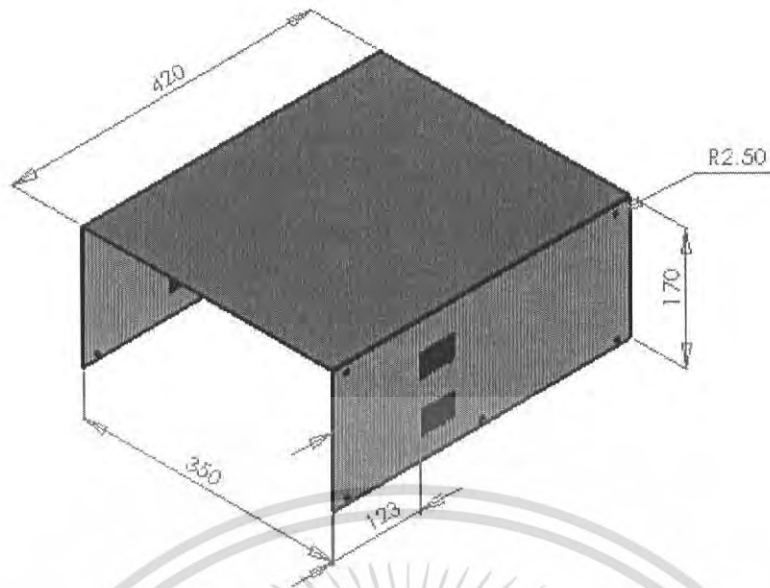
### 3.2.7 กล่องอุปกรณ์ควบคุมทางไฟฟ้า

สร้างกล่องใส่ชุดอุปกรณ์ทางไฟฟ้าในการควบคุม Heater และชุดจ่ายไฟฟ้าให้กับชุดเพียโซอิเล็กทริกขนาดความถี่ 40 kHz ซึ่งตัวกล่องเองจะประกอบด้วย 2 ชั้นส่วนทำให้สามารถถอดประกอบได้ ดังภาพที่ 3.15 และภาพที่ 3.16



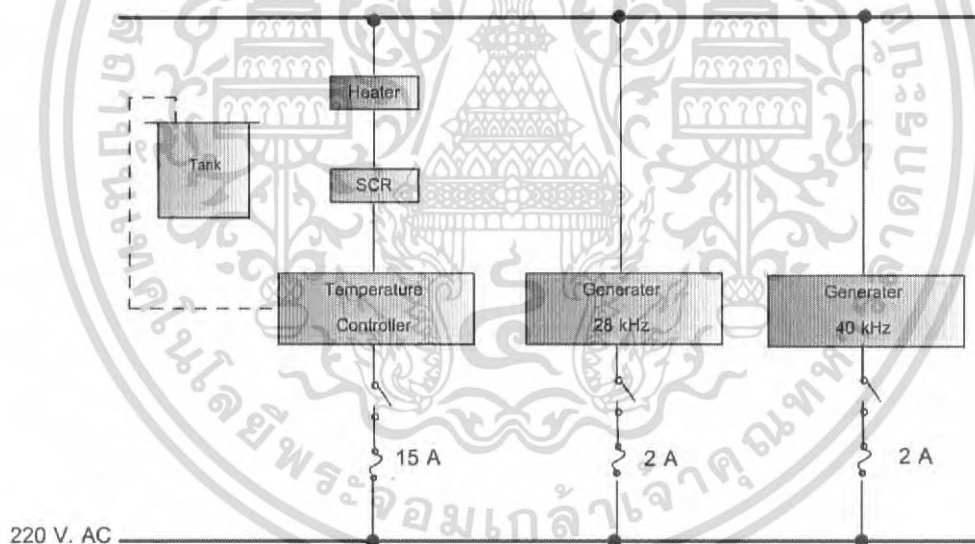
ภาพที่ 3.15 แบบของกล่องอุปกรณ์ควบคุมชั้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.16 แบบของกล่องอุปกรณ์ควบคุมชิ้นที่ 2

### 3.3 การออกแบบระบบควบคุม



ภาพที่ 3.17 วงจรไฟฟ้าของเครื่อง

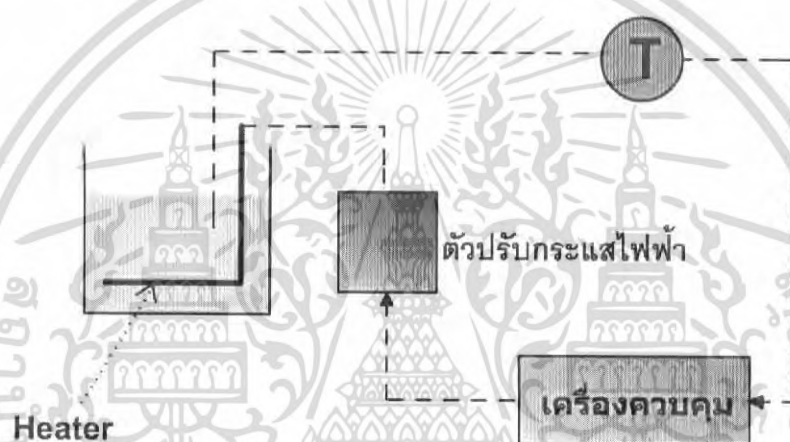
การออกแบบดังอเนกประสงค์มีจุดประสงค์เพื่อใช้เป็นเครื่องต้นแบบในการศึกษาพฤติกรรมต่างๆ และคุณสมบัติของคลื่นอุลตราโซนิกรวมทั้งประโยชน์การนำเข้ามาใช้ในกระบวนการทางอุตสาหกรรมอาหาร ศึกษาทั้งในแง่เชิงประสิทธิภาพเชิงพลังงานและลักษณะการเปลี่ยนไปทางกายหรือคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ได้จากอเนกประสงค์ คุณทฤษฎีเป็นอีกตัวแปรที่จำเป็นต้องควบคุมให้ได้ตามการทดลองเพื่อความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากการทดลองอันเป็นประโยชน์ในการพัฒนาเครื่องต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.1 การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิของเหลวตัวกลางในกระบวนการ

อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการควรให้เกิดการผิดพลาดน้อยที่สุดเพื่อความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง ดังนั้นในการควบคุมจึงใช้ระบบ 4-20 mA ในการส่งสัญญาณและปรับกระแสที่จ่ายให้กับ Heater รวมทั้งระบบการควบคุมเป็นแบบ PID จึงทำให้ประสิทธิภาพการควบคุมอุณหภูมิมิมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยอุปกรณ์ในระบบควบคุมมีดังนี้

1. Heater
2. เทอร์โมคัปเปิล Type K
3. เครื่องควบคุมกำลังไฟฟ้า (SCR) แบบปรับกระแส 4-20 mA
4. คอนโทรลเลอร์ส่งสัญญาณเอาต์พุต 4-20 mA



ภาพที่ 3.18 คอนโทรลไดอะแกรมของ Heater

สำหรับลำดับการทำงานของอุปกรณ์แต่ละชนิดมีดังนี้

1. เทอร์โมคัปเปิลจะจับอุณหภูมิจากของเหลวตัวกลางภายในถังและส่งเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าขนาด 4-20 mA มาที่ Temperature Controller
2. เมื่อ Temperature Controller รับสัญญาณเข้ามาจะทำการส่งสัญญาณต่อไปที่ SCR เพื่อสั่งให้เพิ่มหรือปรับกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Heater
3. กระบวนการควบคุมจะเป็นในลักษณะดังกล่าว โดยการควบคุมจะเป็นแบบ PID ซึ่งจะช่วยให้อุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้สามารถเข้าสู่ค่า Set point ได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง

### 3.3.2 การออกแบบระบบควบคุมชุดระบายความร้อน

การควบคุมอุณหภูมิชุดระบายความร้อนหรือชุด Cooling จะอาศัยน้ำเป็นตัวกลางในการพาความร้อนออกเพื่อทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิให้ไม่เกิน 50-55°C โดยสามารถปรับที่วาล์วน้ำออกให้มีอัตราไหลที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าอุณหภูมิมิมีค่าไม่เกินค่าที่กำหนด แต่หากถึงต้นแบบนี้จำเป็นต้องใช้งานจริงในอุตสาหกรรมระบบการควบคุมก็ควรพัฒนาเป็นระบบการควบคุมในลักษณะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดียวกับ Heater ที่ได้กล่าวข้างต้นแทน โดยจากการควบคุมอุณหภูมิด้วยการหรือกระแสที่จ่ายให้กับ Heater แต่ใช้สัญญาณที่ส่งออกมาจาก Temperature Controller ใช้การปรับอัตราไหลน้ำออกจากชุด Cooling ก็จะสามารถควบคุมอุณหภูมิชุด Cooling ได้เช่นเดียวกัน

### 3.4 ขั้นตอนการสร้างเครื่อง

หลังจากขั้นตอนการออกแบบต่อไปคือขั้นตอนการสร้างให้เป็นไปตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ โดยรายละเอียดส่วนประกอบต่างๆของเครื่องมีดังนี้

#### 3.4.1 ถัง

คือ ส่วนประกอบแรกที่ถูกสร้างขึ้นพร้อมทั้งเจาะช่องสำหรับเชื่อมติดกับชุด Cooling

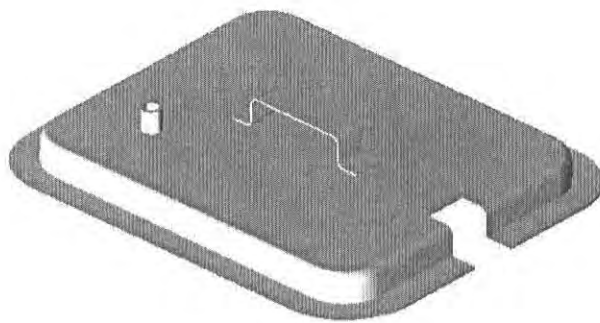


ภาพที่ 3.19 การเจาะรูถังเพื่อติดตั้งชุด Cooling

#### 3.4.2 ฝาปิดถัง

ประโยชน์ของฝาปิดถัง คือ ทำให้ประหยัดพลังงานเพราะสามารถลดการสูญเสียความร้อนได้ ฝาปิดจะมีรูเจาะเพื่อใช้วัดค่าต่างๆจากอุปกรณ์ได้ในขนาดลักษณะมีดังภาพที่ 3.20

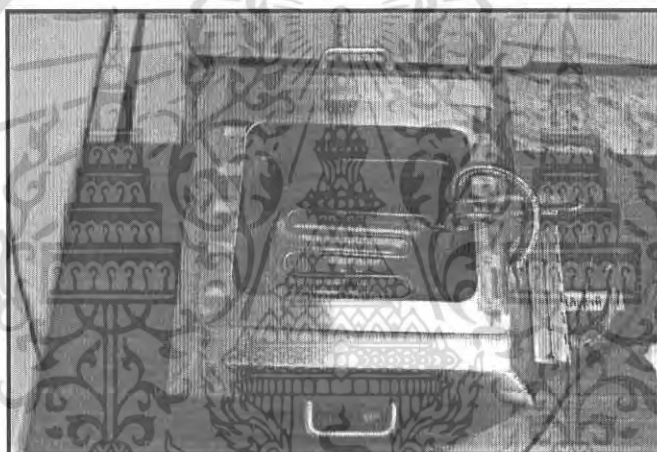
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.20 ลักษณะฝาปิดถัง

### 3.4.3 ชุดให้ความร้อนหรือ Heater

ได้สร้างตามลักษณะแบบที่ออกแบบไว้ดังภาพที่ 3.21

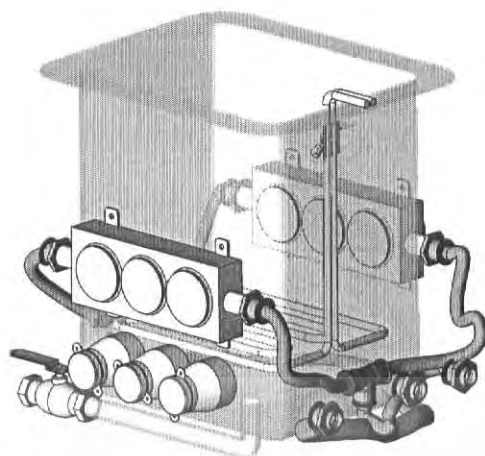


ภาพที่ 3.21 ลักษณะการติดตั้ง Heater ภายในถัง

### 3.4.4 ชุดระบายความร้อน Cooling

ในการสร้างชุด Cooling มีข้อควรระวังเรื่องรอยรั่วซึม และหลังจากสร้างแล้วนำไปเชื่อมกับติดถึงทั้งสองด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.22 ลักษณะการติดตั้งชุด Cooling ภายในถัง

### 3.4.5 ชุดให้กำเนิดคลื่น

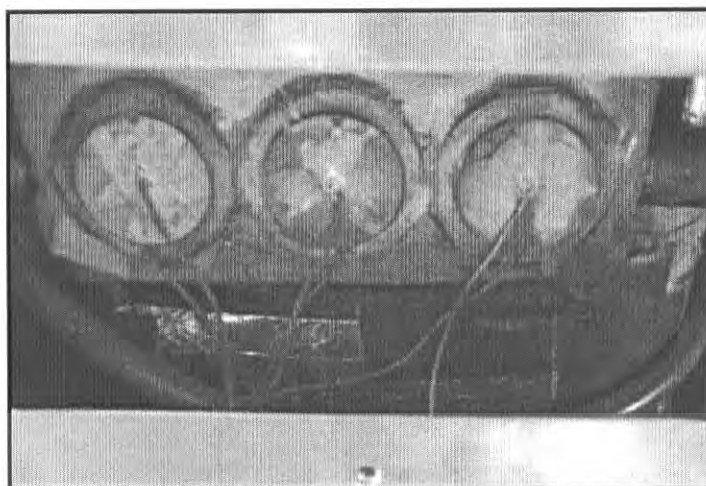
ชุดกำเนิดคลื่นเป็นส่วนที่สร้างถัดจากชุด Cooling หลังการติดตั้งแล้วจะทำการทดสอบความแรงของคลื่นที่สามารถส่งผ่านออกมาได้ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ ซึ่งในขั้นตอนนี้จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงในการติดตั้งชุดให้กำเนิดคลื่นขนาดความถี่ 28 kHz เนื่องจากหัวเพียโซอิเล็กทริกที่สามารถหาได้ขณะเป็นลักษณะแบบ Horn อย่างเดียวทำให้เกิดปัญหาในการส่งคลื่นหากผ่านชุด Cooling จึงต้องเปลี่ยนตำแหน่งในการติดตั้งมาอยู่ที่ตำแหน่งด้านล่างลงมาโดยไม่ผ่านชุด Cooling ดังภาพที่ 3.23



ภาพที่ 3.23 ลักษณะการติดตั้งหัวเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ขนาด 28 kHz

ส่วนการติดตั้งหัวเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ขนาดความถี่ 40 kHz จะติดตั้งตามแบบที่ออกแบบไว้ ดังภาพที่ 3.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.24 ลักษณะการติดตั้งหัวใยโซลิดเล็กริกทรานสมิตเตอร์ขนาด 40 kHz

#### 3.4.6 ชุดจับยึด Heater



ภาพที่ 3.25 ลักษณะการติดตั้งหัวใยโซลิดเล็กริกขนาด 28 kHz

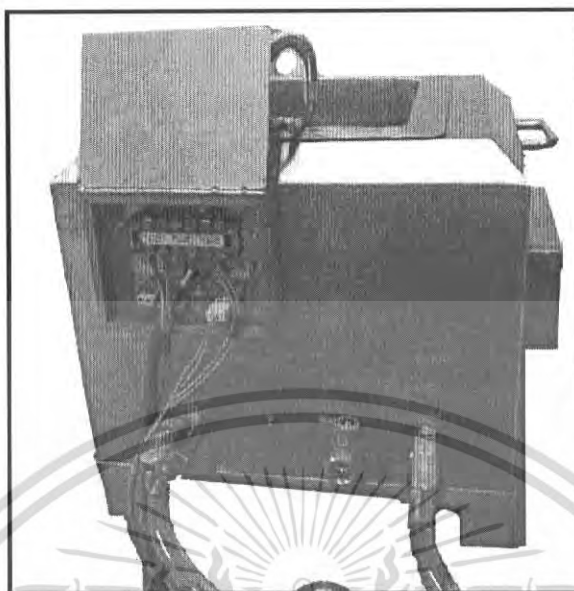
สร้างเชื่อมติดกับถังและยึด Heater ด้วยนอตเกลียวหางปลาซึ่งทำให้สามารถปรับระดับ Heater ได้ดังภาพที่ 3.25

#### 3.4.7 เทอร์โมคัปเปิล

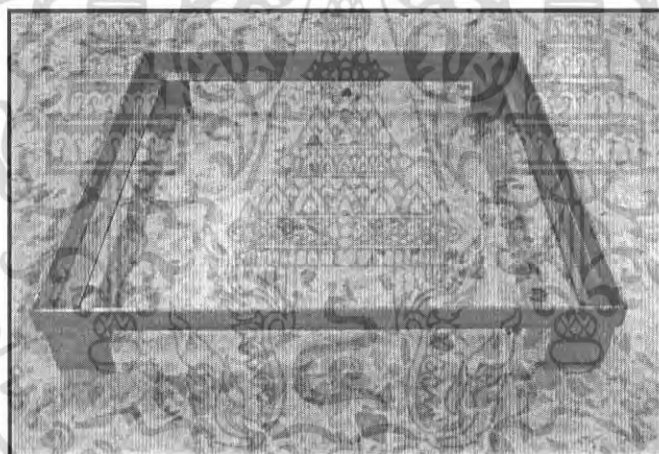
ใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K เนื่องจากราคาและการทำงานค่อนข้างเหมาะสม โดยการจับยึดให้ร่วมกับชุดจับยึด Heater

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.8 โครงสร้างภายนอกและฐานรองถัง



ภาพที่ 3.26 ลักษณะโครงสร้างภายนอก



ภาพที่ 3.27 ลักษณะของฐานรอง

โครงสร้างภายนอกถูกสร้างขึ้นตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยกล่องเชื่อมต่อสายไฟฟ้าจะถูกติดตั้งกับโครงสร้างภายนอกลักษณะตามแบบคือสามารถถอดสวมได้อย่างสะดวกภาพที่ 3.26 และภาพที่ 3.27

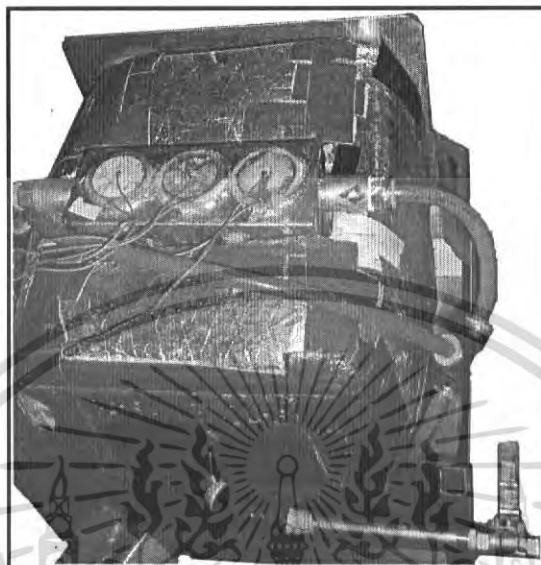
### 3.4.9 Fitting ลม

ขั้นตอนนี้เป็นารเดินสายของน้ำ Cooling ทั้งหมด โดยใช้ Fitting ลมในการเชื่อมต่อแต่ละจุด ข้อดีของการใช้ Fitting ลมคือความสะดวกในการถอดประกอบและความสามารถในการทนความดันได้ถึง 6 bars ซึ่งเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการรั่วซึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.10 หุ้มฉนวนตัวถัง

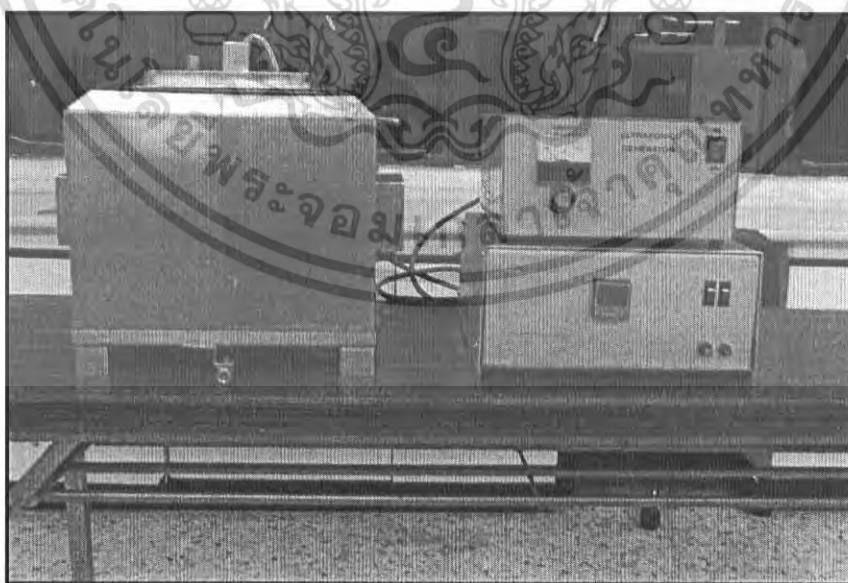
ตัวถังจะใช้ฉนวนใยแก้วหุ้มเพื่อลดการสูญเสียความร้อนและป้องกันการเสียหายของอุปกรณ์ต่างๆภายในถัง เช่น สาย Fitting ลม เป็นต้น โดยจะหุ้มในลักษณะดังภาพที่ 3.28



ภาพที่ 3.28 ลักษณะการหุ้มฉนวนใยแก้ว

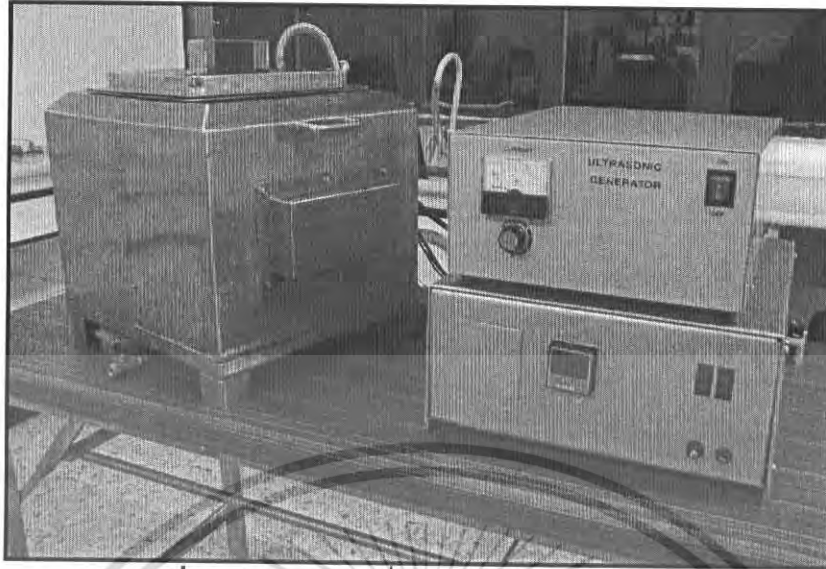
### 3.4.11 ลักษณะเครื่องประกอบ

หลังจากสร้างชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่อมาก็คือขั้นตอนการประกอบ ซึ่งเมื่อประกอบเสร็จแล้วลักษณะเครื่องจะเป็นดังภาพที่ 3.29 และภาพที่ 3.30



ภาพที่ 3.29 ลักษณะเครื่องประกอบและกล่องควบคุมด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.30 ลักษณะเครื่องประกอบและกล่องควบคุม

หลังจากออกแบบส่วนประกอบทั้งหมดแล้ว จากนั้นทำการสร้างเครื่องตามแบบที่กำหนดโดยมีต้นทุนค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องทั้งหมดประมาณ 61,700 บาท

### 3.5 ขั้นตอนการใช้งานเครื่อง

เริ่มต้นโดยการต่อสายไฟฟ้าตามสัญลักษณ์ที่กำหนดไว้ระหว่างตัวเครื่องและชุดกล่องควบคุม หลังจากต่อสายไฟสามารถดูรายละเอียดสวิตช์ตามภาพที่ 3.31



ภาพที่ 3.31 ลักษณะสวิตช์ของกล่องควบคุม Heater และชุดเพียโซอิเล็กทริกขนาด 40 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 3.31

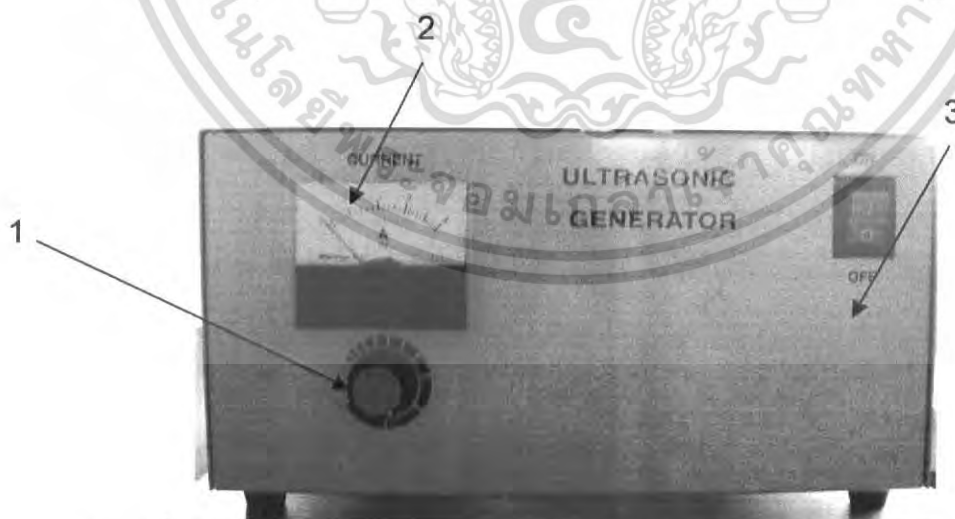
- 1 คือ ปุ่มเลือกดูฟังก์ชันต่างๆ เช่น ค่าอุณหภูมิที่ต้องการกำหนด หรือการตั้ง  
สัญญาณเตือนที่อุณหภูมิตามต้องการให้เตือนและยังเปรียบเสมือนปุ่ม Enter  
เมื่อเซตได้ตามต้องการแล้วกดอีกครั้ง
- 2 คือ ปุ่มเลื่อนตำแหน่งในการเซตค่า
- 3,4 คือ ปุ่มปรับค่าที่ต้องการเซตให้เพิ่มขึ้น
- 5 คือ สวิตช์เปิด-ปิด ชุดให้ความร้อน (Heater)
- 6 คือ สวิตช์เปิด-ปิด ชุดกำเนิดคลื่นขนาดความถี่ 40 kHz
- 7 คือ เป็นฟิวส์ของชุดให้ความร้อน (Heater) สามารถจำกัดกระแสไม่เกิน 15 A
- 8 คือ เป็นฟิวส์ของชุดกำเนิดคลื่นขนาดความถี่ 40 kHz สามารถจำกัดกระแส  
ไม่เกิน 2 A

### 3.5.1 การใช้งานชุดควบคุม Heater ชุดกำเนิดคลื่นขนาดความถี่ 40 kHz

เริ่มจากกดปุ่มที่ 1 เพื่อทำการเซตค่าอุณหภูมิที่ต้องการโดยหลังกดปุ่มที่ 1 แล้วจึงเลือกค่า  
อุณหภูมิที่ต้องการโดยสามารถเซตได้จาก ปุ่มที่ 2,3 และ 4 หลังจากนั้นอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นตามค่าที่ทำ  
การเซตไว้

### 3.5.2 ชุดกำเนิดคลื่นขนาดความถี่ 28 kHz

สามารถเปิด - ปิดการใช้งานที่สวิตช์ได้ปกติ



ภาพที่ 3.32 ลักษณะชุดจ่ายพลังงานให้กับหัวเปียโซอิเล็กทริกขนาดความถี่ 28 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

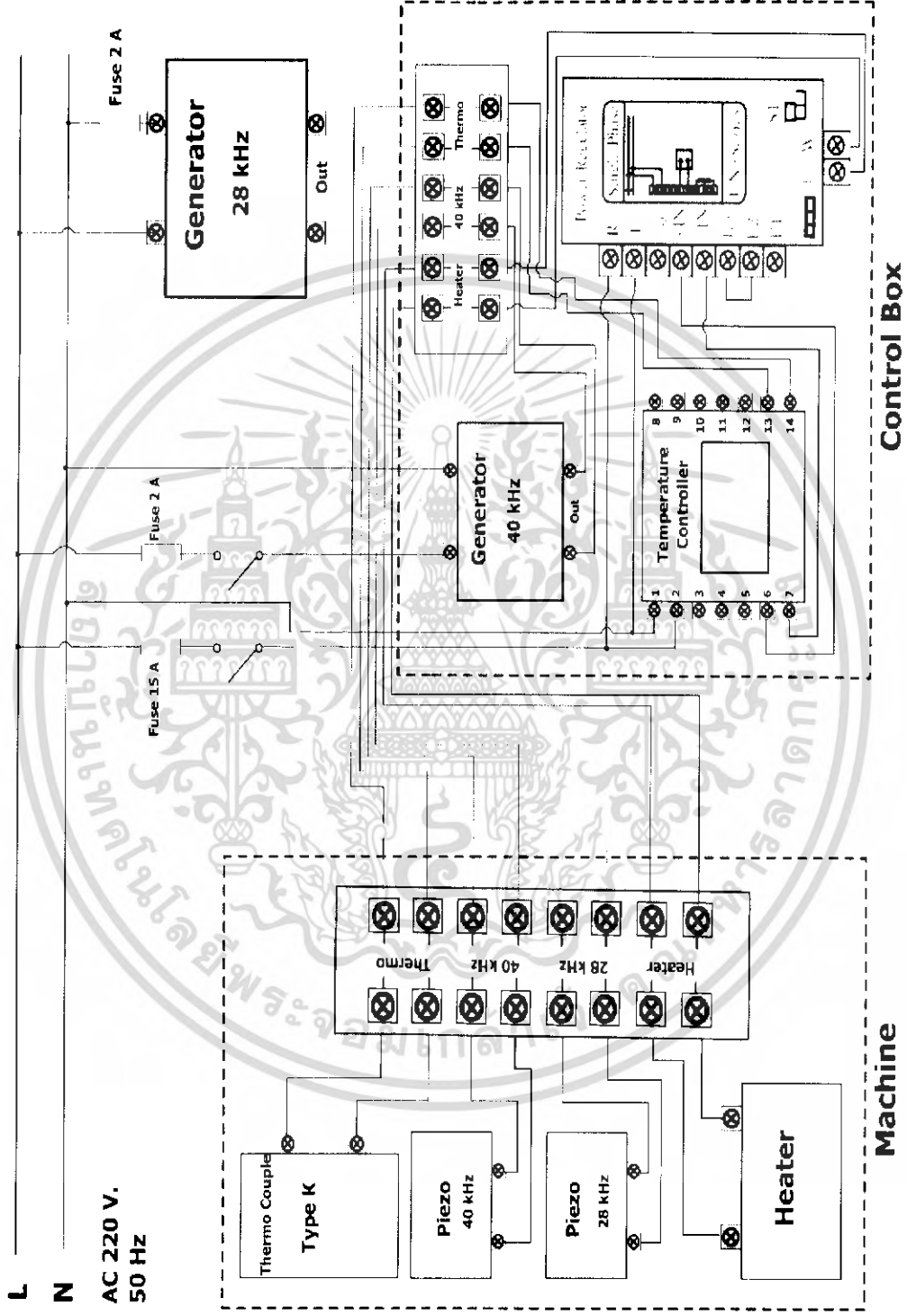
จากภาพที่ 3.32

- 1 คือ ปุ่มปรับขนาดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหัวเพียโซอิเล็กทริกขนาดความถี่ 28 kHz
- 2 คือ หน้าปัดแสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายและไมควรรให้มีค่ากระแสเกิน 0.8 A หากเกิน อาจทำให้หัวเพียโซเสียหายได้ ดังนั้นควรระมัดระวังในการหาค่ากระแสที่เหมาะสมในการใช้งาน
- 3 คือ สวิตช์เปิด - ปิด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 วงจรไฟฟ้าควบคุมการทำงานของเครื่อง



ภาพที่ 3.33 วงจรไฟฟ้าควบคุมการทำงานของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดสอบสมรรถนะ

#### 4.1 การทดสอบการทำงานของเครื่อง

เครื่องหุงต้มที่สร้างขึ้นมานี้จะต้องนำมาทดสอบการทำงานของเครื่องโดยการทดสอบโดยพิจารณาปัจจัยสำคัญ 2 ประการดังแสดงในตารางที่ 4.1 โดยใช้ น้ำเป็นตัวกลางในการทดสอบ

ตารางที่ 4.1 แผนการทดสอบการทำงานของเครื่อง

ความถี่ (kHz)	อุณหภูมิใช้งาน (°C)
28	25
	40
	60
	80
	100
40	25
	40
	60
	80
	100

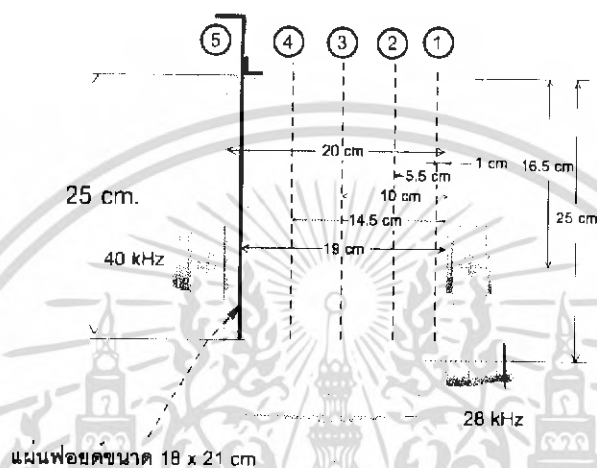
##### 4.1.1 ลักษณะสัญญาณของคลื่น

การสร้างเครื่องหุงต้มมีจุดประสงค์ในการทำงานที่ความถี่ 2 ระดับ คือ 28 kHz และ 40 kHz ดังนั้นในการทำงานจึงต้องมีการตรวจสอบความถี่คลื่นเมื่อใช้งานภายในเครื่องหุงต้มที่เกิดขึ้น จากการวัดความถี่คลื่นอุลตราโซนิกในตัวกลางที่เป็นของเหลวทำได้ยาก แต่สิ่งที่มีความเป็นไปได้ในการทดลองและมีความสำคัญไม่ด้อยไปกว่าคือ การตรวจสอบการทำงานของคลื่นอุลตราโซนิกโดยการวัดลักษณะการกระจายของคลื่นที่ตำแหน่งต่าง ๆ และความเข้มของสัญญาณที่ได้ ซึ่งทำโดยใช้กระดาษฟอยล์เป็นตัวบ่งชี้ เมื่อคลื่นอุลตราโซนิกผ่านกระดาษฟอยล์ด้วยอนุภาพการทะลุทะลวงของคลื่นทำให้กระดาษฟอยล์ที่ใส่ทดสอบนั้นทะลุเป็นรู อนุภาพกระดาษฟอยล์ที่ทะลุเป็นรูมาสแกนและทำการแปรผลภาพสแกนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาพื้นที่ที่เกิดการทะลุทะลวงเทียบกับพื้นที่ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\% \text{ ความเข้ม} = \frac{\text{พ.ท. หลังทดสอบ} - \text{พ.ท. ก่อนทดสอบ}}{\text{พ.ท. ก่อนทดสอบ}} \times 100$$

การตรวจสอบพฤติกรรมของคลื่นทำโดยการทดสอบกระดาษฟอยล์ทั้งความถี่ 28 kHz และ 40 kHz ที่ตำแหน่งต่าง ๆ แบ่งเป็น 5 ตำแหน่ง ดังภาพที่ 4.1 โดยกระดาษฟอยล์ที่ใช้มีขนาด ก×ย เท่ากับ 18×20 cm



ภาพที่ 4.1 ระยะห่างในการทดสอบกระดาษฟอยล์

สำหรับการประมวลผลพฤติกรรมคลื่นอุลตราโซนิกอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งโปรแกรมนี้ถูกสร้างขึ้นมาจากโปรแกรม Microsoft Visual Basic ความสามารถคือเพื่อค้นหาพื้นที่ที่คลื่นกระทบแผ่นฟอยล์ ฟอยล์ที่ใช้ทดสอบถูกนำมาสแกนเพื่อเปรียบเทียบพื้นที่ของความเข้มของสีที่แตกต่างไปจากเดิม หลังจากการประมวลผลโปรแกรมส่งข้อมูลบันทึกลงในไฟล์ Microsoft Excel ได้ทันที

#### หลักการทำงานของโปรแกรม

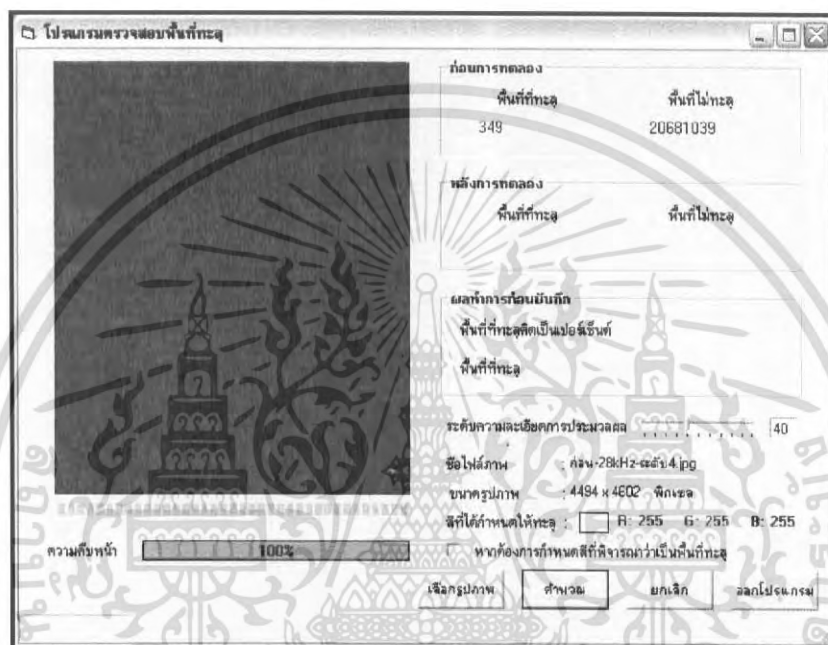
1. คลิกเลือกรูปภาพเพื่อเลือกรูปภาพที่ต้องการนำมาประมวลผลเข้ามา

โปรแกรมจะทำการโหลดไฟล์รูปภาพที่เลือกเข้ามาหลังจากนั้นคลิกคำนวณ โปรแกรมจะคำนวณพื้นที่ที่ทะลุจากภาพซึ่งเป็นภาพก่อนทำการทดลอง ในการขีดค่าก่อนคำนวณสามารถกำหนดช่วงของสีที่จะให้โปรแกรมพิจารณาเป็นพื้นที่ทะลุได้ ถ้าช่วงพิจารณามีค่ามากจะทำให้โปรแกรมสามารถคำนวณกระดาษฟอยล์ได้มากขึ้น แต่หากมากเกินไปจะทำให้ผลคำนวณที่ได้ไม่เป็นจริงเพราะโปรแกรมอาจคำนวณพื้นที่ที่ไม่ทะลุเป็นพื้นที่ทะลุได้ ดังนั้นค่าที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 35 นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดขนาดของภาพในการแสดงผลได้ตามต้องการโดยกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์จากขนาดภาพจริง ส่วนตัวเลือกในช่องเช็คบ็อกซ์จะเลือกในกรณีที่ไม่มีภาพก่อนการทดลองเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หลังจากประมวลผลเสร็จสิ้นโปรแกรมจะแสดงพื้นที่ที่ทะลุและไม่ทะลุที่ช่องก่อนการทดลองให้

3. เลือกรูปภาพหลังการทดลองเพื่อประมวลผลต่อไป ผลที่ได้จะถูกแสดงในช่องหลังการทดลองและคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ทะลุ จากนั้นโปรแกรมจะถามว่าต้องการบันทึกผลหรือไม่ หากตอบว่าบันทึกโปรแกรมจะบันทึกผลการทดลองลงไฟล์ให้อัตโนมัติและถ้าตอบว่าไม่โปรแกรมจะไม่บันทึกผล ดังภาพที่ 4.4

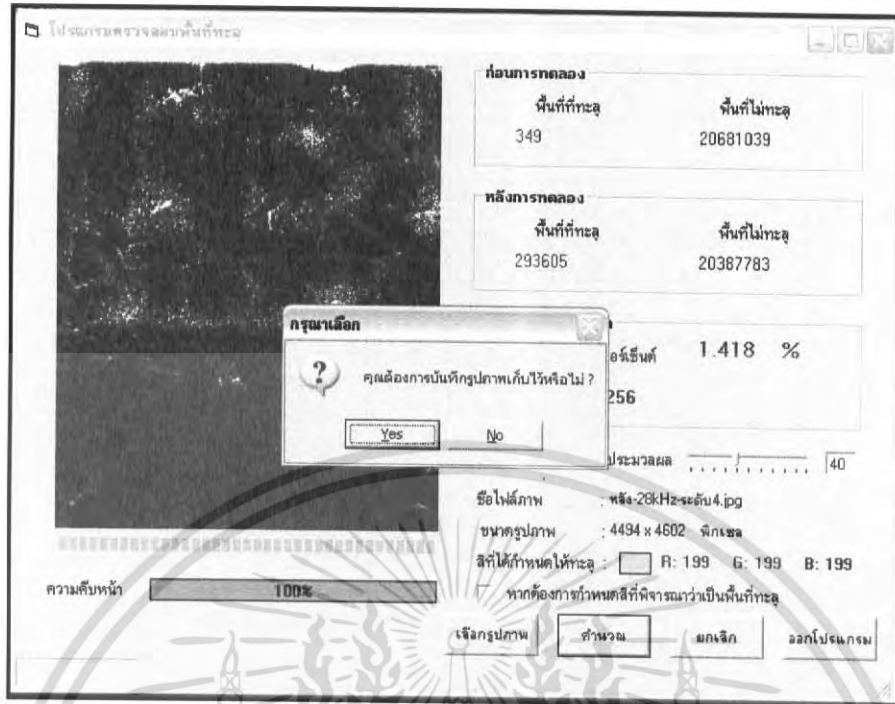


ภาพที่ 4.2 โปรแกรมที่ใช้หาพื้นที่ที่ทะลุ



ภาพที่ 4.3 หลักการทำงานของโปรแกรมขั้นตอนที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 หลักการทำงานของโปรแกรมขั้นตอนที่ 2

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	ชื่อไฟล์	พื้นที่ทั้งหมด	ก่อนทำการทดลอง		หลังทำการทดลอง			
2			พื้นที่ที่ทะลุ	พื้นที่ไม่ทะลุ	พื้นที่ที่ทะลุ	พื้นที่ไม่ทะลุ	คิดเป็น %	ระยะเวลา ที่ทำการทดลอง
3	หลังทำ2-กลาง-28(5นาท) .jpg	192 x 292 = 56064	-	56064	15,259	40,805	27,220	10/22/2006 10:57
4								
5								

ภาพที่ 4.5 การบันทึกผลลงไฟล์ Microsoft Excel

	A	B	C	D
1	ก่อนทำการทดลอง		หลังทำการทดลอง	
2	ชื่อไฟล์	รูปภาพ	ชื่อไฟล์	รูปภาพ
3	ผลการทดลองเครื่องเราEx - ก่อน	file:WD:\Project Me\Senior Project\ผลการทดลองเครื่องเราEx - หลัง	ผลการทดลองเครื่องเราEx - หลัง	file:WD:\Project Me\Senior Proj
4				
5				
6				
7				
8				

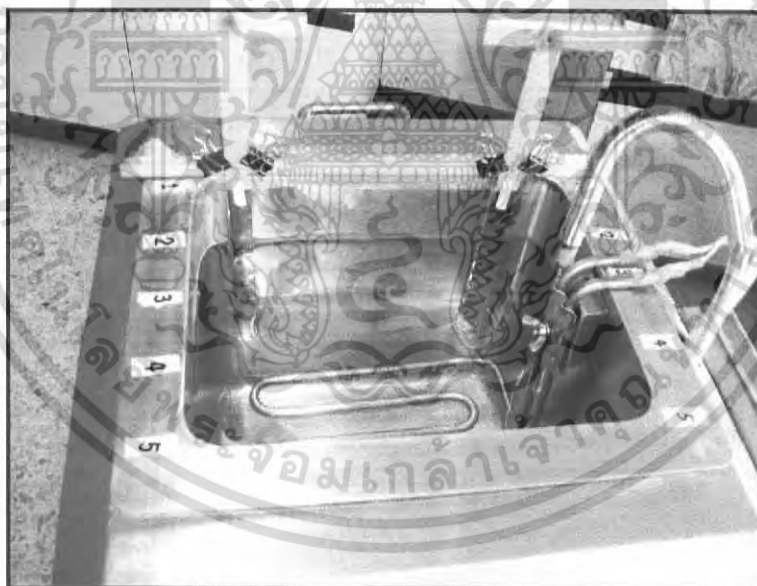
ภาพที่ 4.6 การบันทึกไฟล์รูปภาพลงบนไฟล์ Microsoft Excel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบันทึกผลจากการประมวลผลของโปรแกรม โปรแกรมจะค้นหาบรรทัดที่ยังไม่มีข้อมูลอยู่ และบันทึกข้อมูลลงไฟล์อัตโนมัติ ดังภาพที่ 4.5 และโปรแกรมยังบันทึกไฟล์รูปภาพจากการทดลองทั้ง ก่อนและหลังการทดลองลงบนไฟล์ Microsoft Excel ดังภาพที่ 4.6 ไว้ชื่อไฟล์เช่นกัน เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการใช้ประโยชน์ภายหลัง

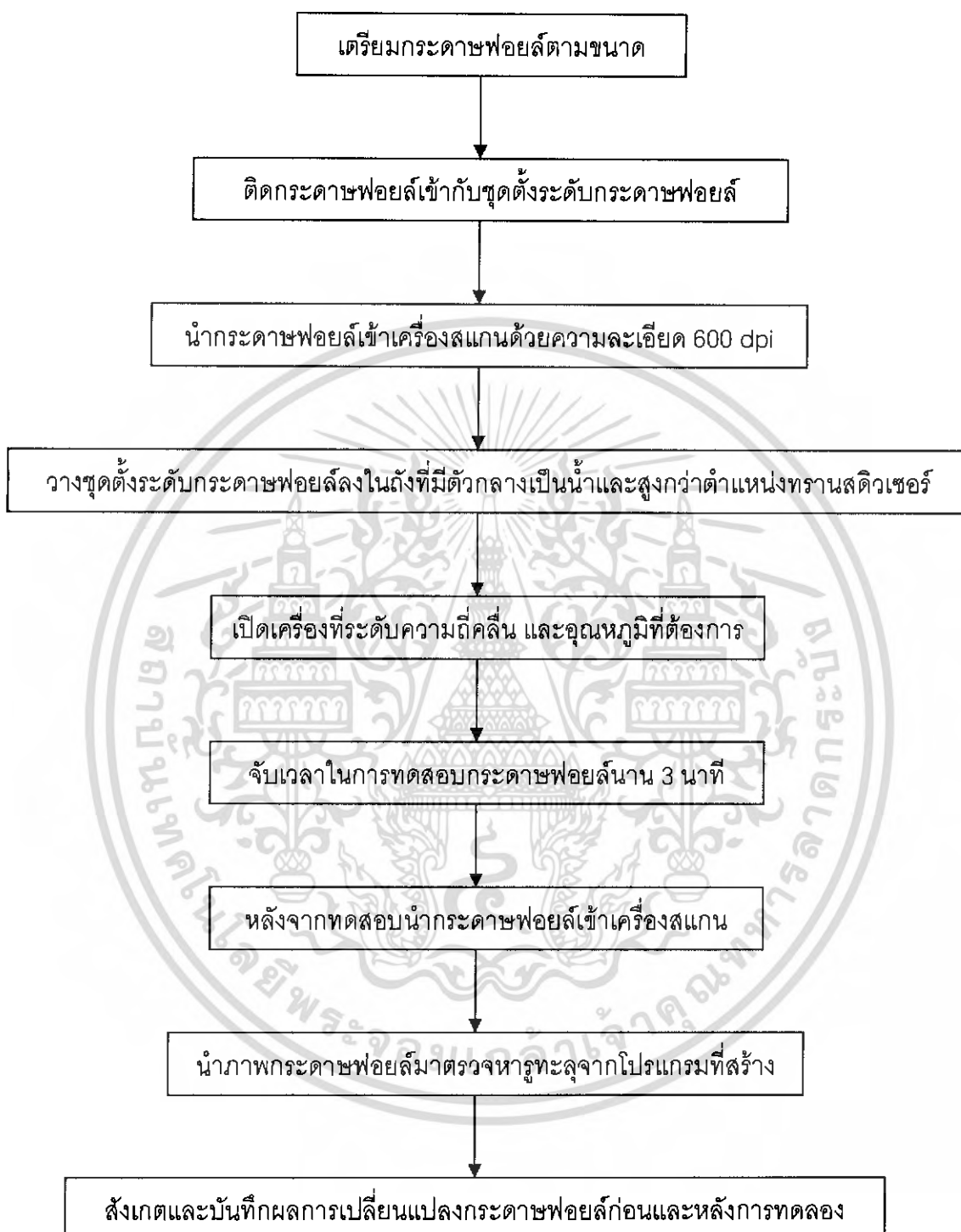
#### 4.1.2 ขั้นตอนการทดสอบกระดาษฟอยล์

1. เลือกตำแหน่งจากการตั้งระดับการวัดภายในถึงที่ 5 ตำแหน่ง ดังภาพที่ 4.1
2. เติมน้ำใส่ถังให้มีความสูง 25 cm. และทำการปรับอุณหภูมิตามการทดลองที่ตั้งไว้
3. นำกระดาษฟอยล์ขนาด ก×ย เท่ากับ 18×20 cm. ติดเข้ากับชุดยึดกระดาษฟอยล์
4. นำกระดาษฟอยล์ที่ได้ไปสแกนด้วยความละเอียด 600 dpi เพื่อบันทึกภาพก่อนการทดลอง
4. นำชุดตั้งระดับกระดาษฟอยล์ที่ติดกระดาษฟอยล์เรียบร้อยแล้วลงในถัง และทำการเปิดคลื่นอุลตราโซนิกเป็นเวลาครั้งละ 3 นาที
5. นำกระดาษฟอยล์ที่ได้จากข้อ 4 สแกนด้วยความละเอียด 600 dpi บันทึกเป็นภาพหลังการทดลองและนำภาพที่ได้ไปประมวลผลด้วยโปรแกรมที่สร้างไว้ เพื่อหาพื้นที่ที่ทะลุ
6. บันทึกผลการทดลอง



ภาพที่ 4.7 การเตรียมชุดทดลองกระดาษฟอยล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาพที่ 4.8** แสดงขั้นตอนการทดสอบกระดาษพอยล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.1.3 ผลการทดลองการทดสอบการทำงานของเครื่อง

เนื่องจากการศึกษาพฤติกรรมของสารสามารถเป็นประโยชน์ในการพัฒนาเครื่องต่อไป ดังนั้นการทดลองโดยใช้ฟอยล์จะสามารถเข้ามาอธิบายพฤติกรรมคลื่นได้อีกทาง จากตารางที่ 4.2 และ 4.3 เป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลองด้วยฟอยล์ที่ระยะตำแหน่งต่างๆ แบ่งเป็น 5 ระดับ ที่ความถี่ 28 kHz และ 40 kHz ณ อุณหภูมิห้อง(25 °C) ,40 °C,60 °C,80 °C,100 °C

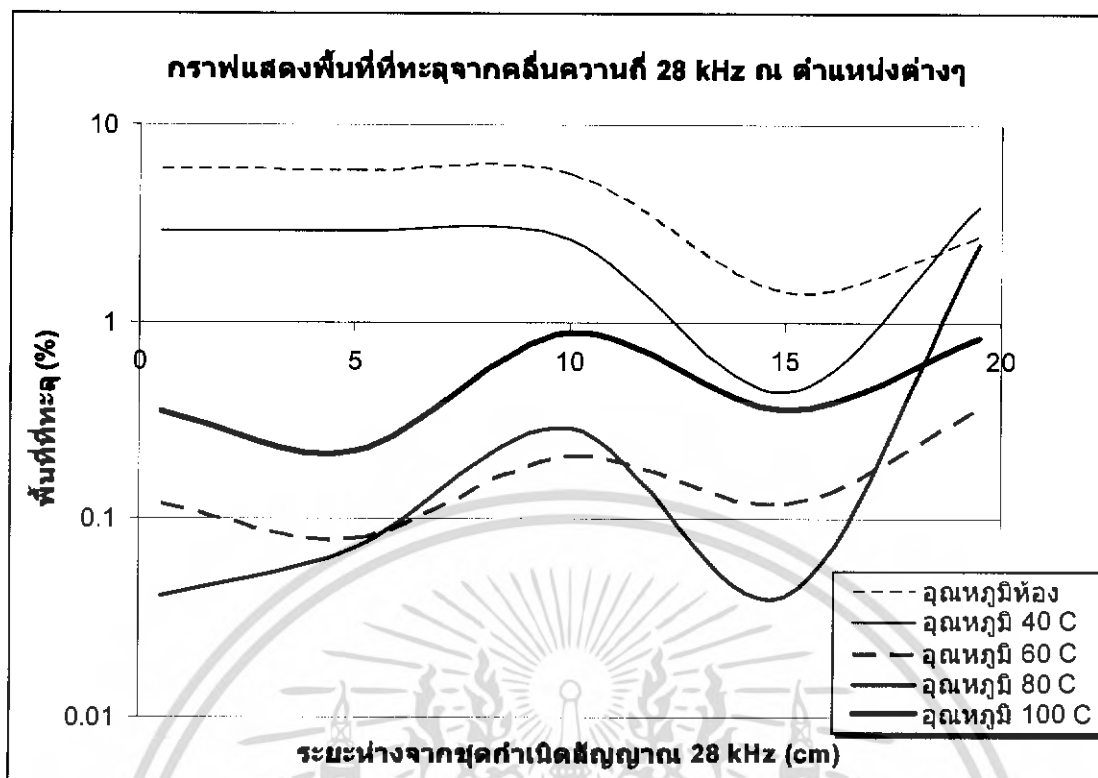
ตารางที่ 4.2 แสดงพื้นที่ที่ทะลุจากการทดสอบกระดาษฟอยล์ที่ความถี่ 28 kHz

ตำแหน่งที่ (ภาพที่ 4.1)	พื้นที่ที่ทะลุคิดเป็น %				
	อุณหภูมิห้อง	40°C	60°C	80°C	100°C
1	5.912	2.920	0.120	0.040	0.350
2	5.840	2.910	0.080	0.070	0.220
3	5.570	2.650	0.210	0.040	0.897
4	1.420	0.440	0.360	0.290	0.360
5	2.660	3.850	0.120	2.460	0.840

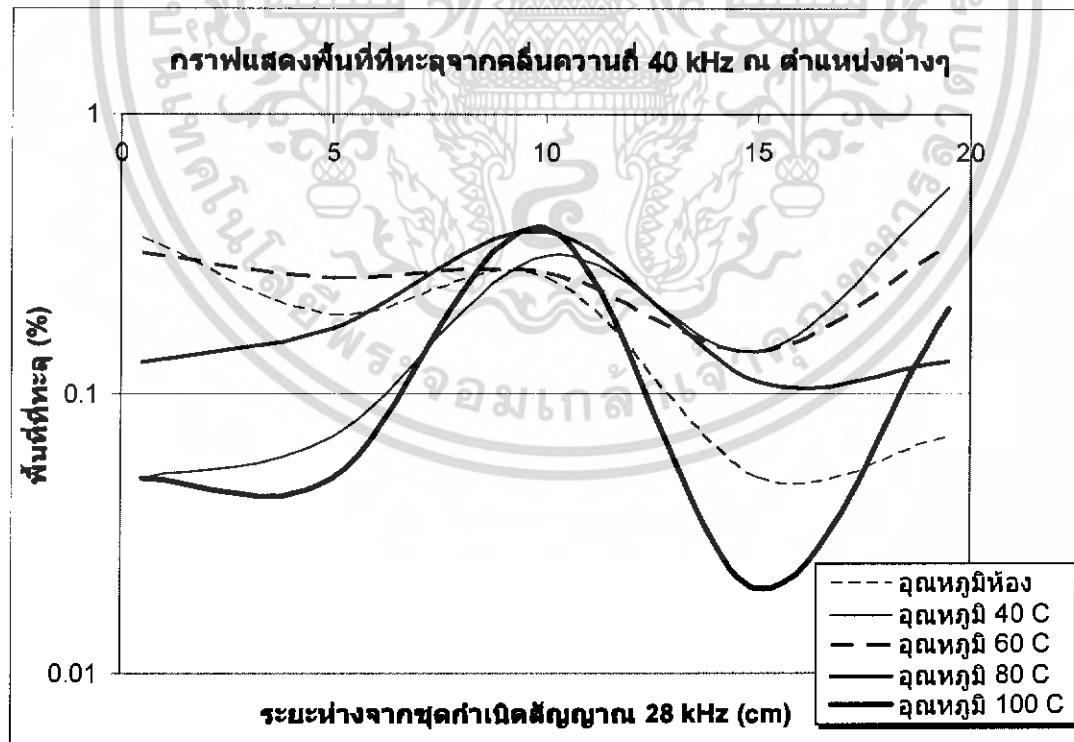
ตารางที่ 4.3 แสดงพื้นที่ที่ทะลุจากการทดสอบกระดาษฟอยล์ที่ความถี่ 40 kHz

ตำแหน่งที่ (ภาพที่ 4.1)	พื้นที่ที่ทะลุคิดเป็น %				
	อุณหภูมิห้อง	40°C	60°C	80°C	100°C
1	0.360	0.050	0.320	0.130	0.050
2	0.190	0.070	0.260	0.170	0.050
3	0.260	0.310	0.270	0.380	0.390
4	0.050	0.140	0.140	0.110	0.020
5	0.070	0.550	0.340	0.130	0.200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงพื้นที่ที่ทะเลกระจายฟอยล์ที่ความถี่ 28 kHz



ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงพื้นที่ที่ทะเลกระจายฟอยล์ที่ความถี่ 40 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.7 จะเห็นว่าคลื่นอุลตราโซนิกความถี่ 28 kHz จะทำให้กระดาษฟอยล์เกิดการทะลุมากน้อยที่ตำแหน่งต่างๆ แตกต่างกันไป นอกจากนี้ที่อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปยังทำให้กระดาษฟอยล์เกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน ซึ่งการทะลุของกระดาษฟอยล์เกิดจากคลื่นอุลตราโซนิกที่มีการอัดและขยายตัวของคลื่น เกิดเป็นปรากฏการณ์ cavitation ขึ้น

จากภาพที่ 4.8 จะเห็นว่าคลื่นอุลตราโซนิกความถี่ 40 kHz จะทำให้กระดาษฟอยล์เกิดการทะลุโดยขึ้นกับระยะห่างจากแหล่งให้กำเนิดคลื่นและอุณหภูมิตัวกลางเช่นเดียวกับที่ความถี่ 28 kHz

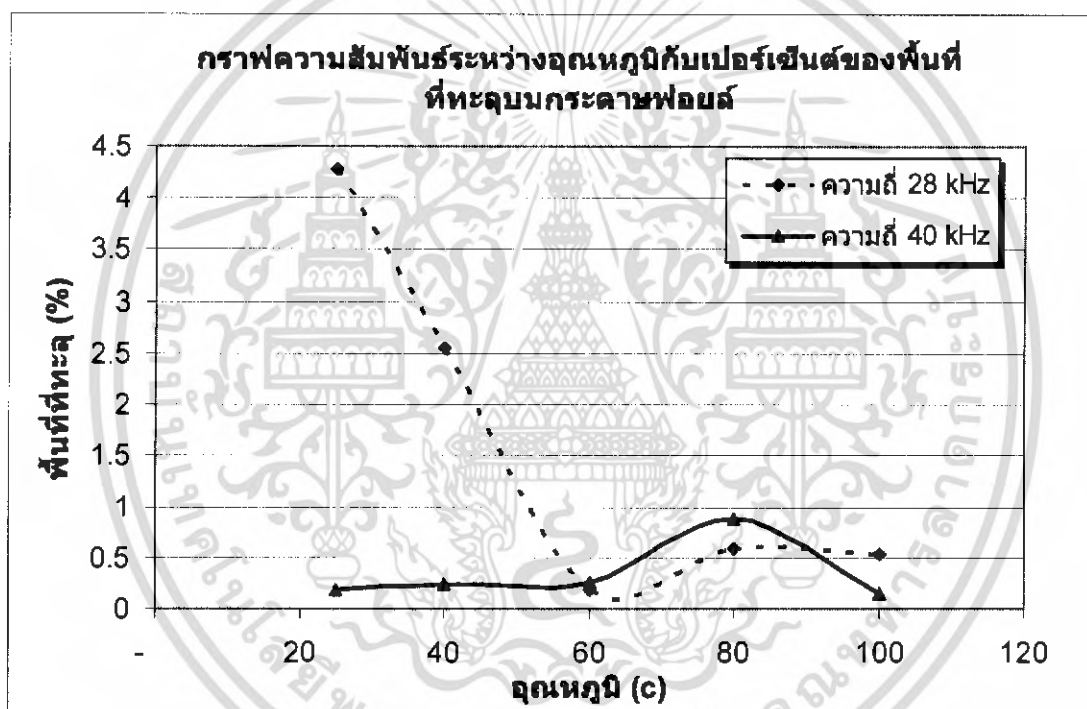
**ตารางที่ 4.4** สัญญาณความเข้มในตัวกลางน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ

ความถี่ (kHz)	อุณหภูมิ (°C)	%ความเข้ม
28	25	4.280
	40	2.554
	60	0.178
	80	0.580
	100	0.533
40	25	0.186
	40	0.244
	60	0.266
	80	0.880
	100	0.142

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของสัญญาณความเข้มคลื่นในแต่ละอุณหภูมิของความถี่คลื่นทั้ง 28 kHz และ 40 kHz มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ของระยะห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่น 28 kHz กับอุณหภูมิตัวกลางต่าง ๆ ได้ดังภาพที่ 4.11 พบว่าความเข้มของสัญญาณสำหรับความถี่ 28 kHz มีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 25°C และมีค่าต่ำสุดที่อุณหภูมิ 60 °C สัญญาณความเข้มของคลื่นมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิตัวกลางมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ส่วนความเข้มของสัญญาณสำหรับความถี่ 40 kHz มีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 80°C และมีค่าต่ำสุดที่อุณหภูมิ 100 °C สัญญาณความเข้มของคลื่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิตัวกลางมีค่าเพิ่มสูงขึ้น และจากกราฟที่อุณหภูมิ 100 °C ซึ่งเป็นจุดเดือดของน้ำที่ใช่เป็นตัวกลางในการทดสอบ จะมีฟองก๊าซเกิดขึ้น ทำให้การส่งสัญญาณคลื่นภายในถึงมีค่าน้อยลงเนื่องจากฟองก๊าซเป็นตัวต้านทานในการส่งสัญญาณคลื่นอุลตราโซนิก

จากการเปรียบเทียบสัญญาณความเข้มในตัวกลางน้ำ พบว่าเมื่อใช้ความถี่ขนาด 28 kHz จะให้สัญญาณความเข้มสูงกว่าความถี่ 40 kHz 8 เท่าโดยเฉลี่ย และเนื่องจากชุดกำเนิดคลื่นอุลตราโซนิกความถี่ 28 kHz ติดตั้งอยู่ในระดับที่ต่ำกว่ากระดาษฟอยล์ ดังนั้นค่าความเข้มของสัญญาณคลื่นความถี่ 28 kHz จึงมีค่าน้อยกว่าการติดตั้งชุดแหล่งกำเนิดคลื่นในแนวระดับเดียวกันกับการทดสอบกระดาษฟอยล์

อึ่งในการทดสอบนี้แผ่นฟอยล์มีความหนา 0.16 mm. และมีความแข็งแรงค่อนข้างสูง ทำให้การตรวจสอบพื้นที่ที่ถูกคลื่นกระทบค่อนข้างยาก และเมื่อทำการทดสอบที่อุณหภูมิสูงขึ้นพบว่ากระดาษฟอยล์จะอ่อนตัวและมีความเหนียวเพิ่มขึ้น ทำให้กระดาษฟอยล์ทะลุได้ยากขึ้น ค่าความเข้มของสัญญาณที่วิเคราะห์ได้จึงมีค่าค่อนข้างต่ำ



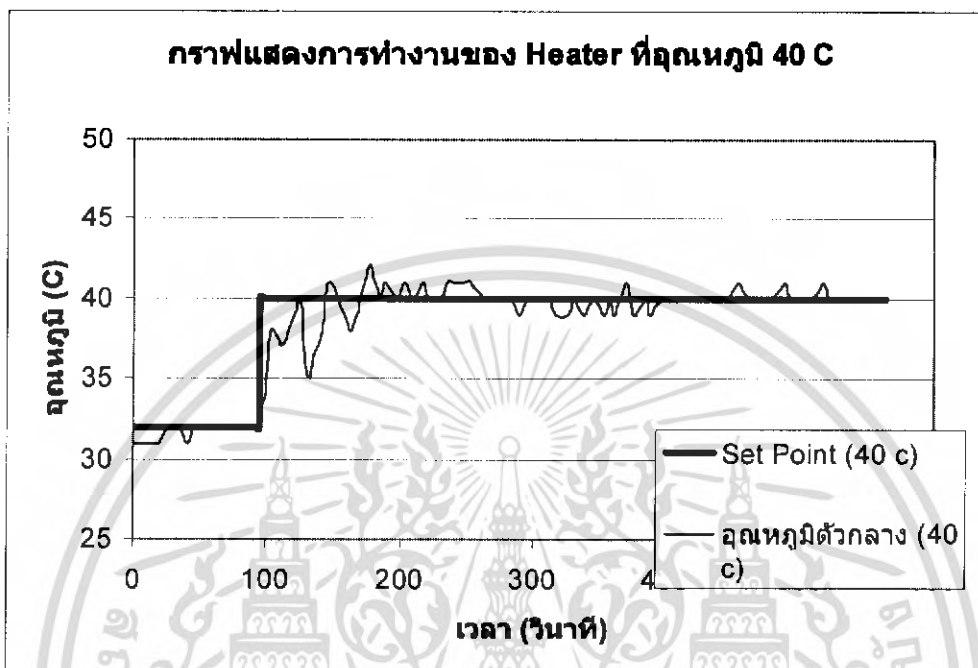
ภาพที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ทะลุบนกระดาษฟอยล์

## 4.2 การทดสอบการทำงานของระบบควบคุม

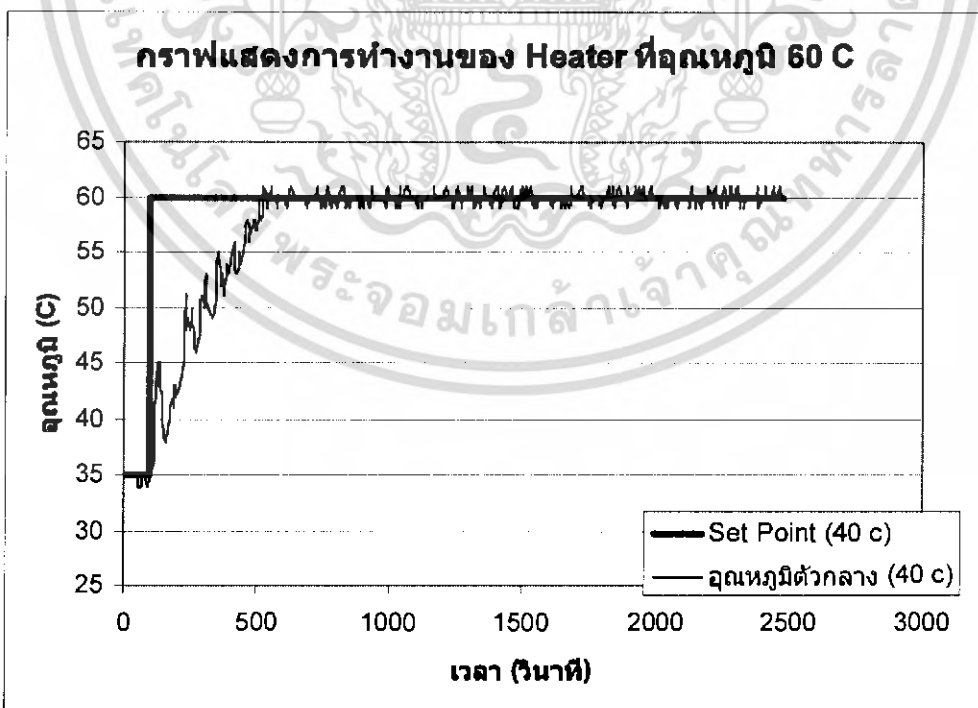
อึ่งในการแปรรูปอาหารอาหารส่วนใหญ่จะมีการให้ความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง อุณหภูมิที่ใช้ทดสอบมีค่าตั้งแต่ 25°C จนถึง 200°C การทดสอบใช้ในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว เนื่องจากต้องการนำไปใช้กับงานประเภทต่าง ๆ หลายประเภท เช่น การล้าง การลวก และการทอด ซึ่งมีอุณหภูมิการใช้งานที่ต่างกันในแต่ละประเภท การทดสอบอุณหภูมินั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ

**อุณหภูมิภายในเครื่อง** - อุณหภูมิของเหลวตัวกลาง จะทดสอบถึงความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิตามค่า set point เข้าสู่ค่าที่กำหนด เพื่อต้องการทราบความสามารถในการควบคุมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ การทดสอบทำโดยใส่น้ำในถังปริมาตร 12.5 ลิตร และเช็คค่าอุณหภูมิกับเครื่องควบคุม อุณหภูมิที่ 80 °C จากนั้น Heater จะเริ่มทำงานและทำการจับเวลาทุกครั้งที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงแล้ว จึงนำผลที่ได้มาพลอตกราฟดังภาพที่ 4.12

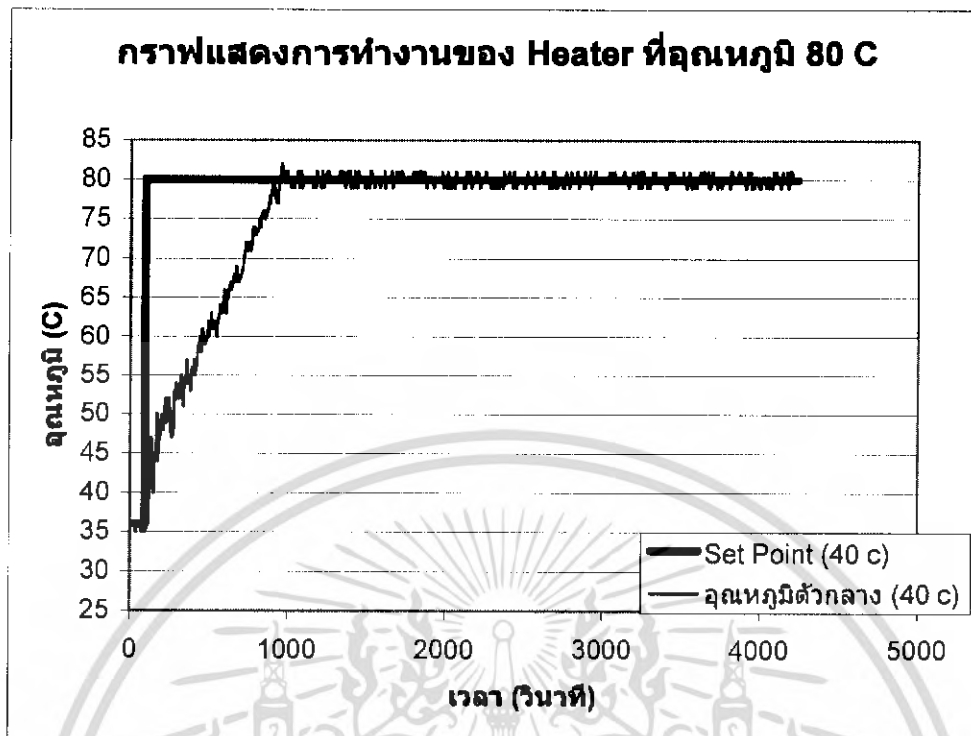


ภาพที่ 4.12 แสดงอุณหภูมิการทำงานของ Heater ที่ 40 °C

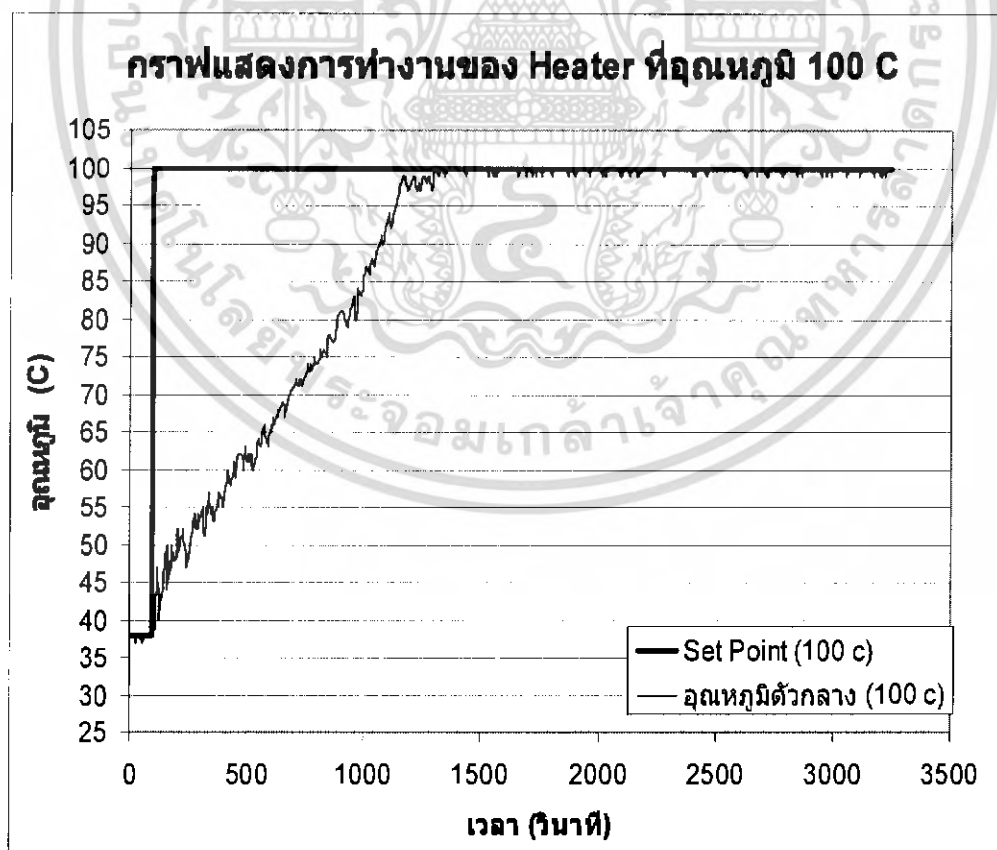


ภาพที่ 4.13 แสดงอุณหภูมิการทำงานของ Heater ที่ 60 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.14 แสดงอุณหภูมิการทำงานของ Heater ที่ 80 °C



ภาพที่ 4.15 แสดงอุณหภูมิการทำงานของ Heater ที่ 100 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิของน้ำภายในเครื่องโดยตั้งค่า set point ต่างๆ ผลที่ได้แสดงในภาพที่ 4.12, 4.13, 4.14 และ 4.15 ซึ่งสามารถหาค่าเวลาคงที่ของกระบวนการ ได้ดังตารางที่ 4.5

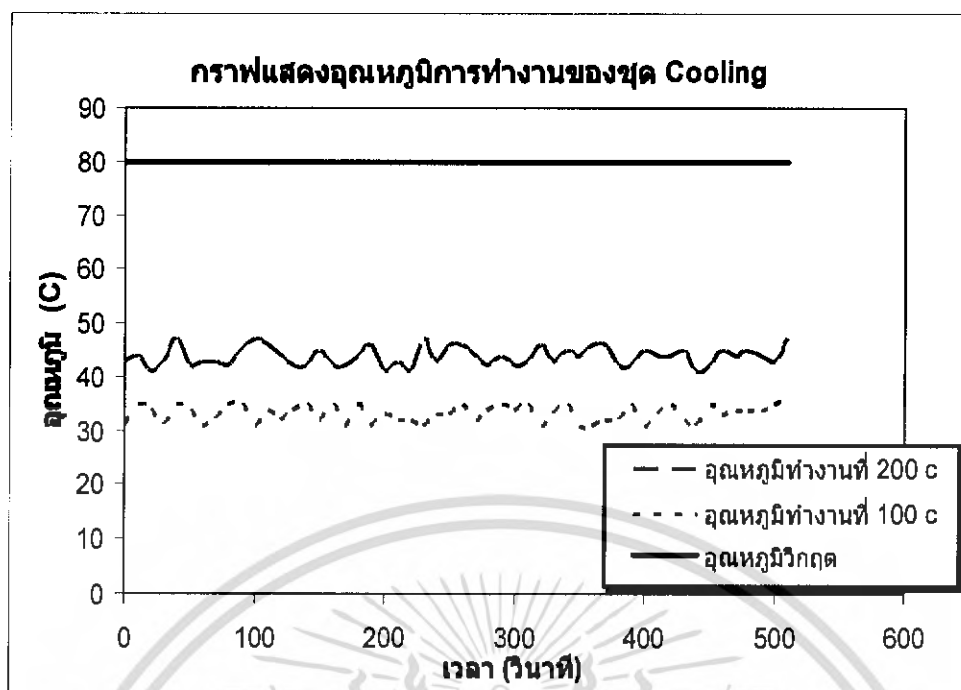
**ตารางที่ 4.5** เวลาคงที่ของกระบวนการ ( $\tau_p$ ) ของ Heater ที่อุณหภูมิต่างๆ

Set point	$\tau_p$ (sec)
40	93
60	330
80	596
100	831

การทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิของ Heater สามารถเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้อย่างแม่นยำ โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน =  $\pm 1^\circ\text{C}$  ในการทำงานทั้ง 3 อุณหภูมิข้างต้น

**อุณหภูมิของชุดระบายความร้อน** - การใช้งานเครื่องหุงต้มที่ต้องการอุณหภูมิสูงอาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับเพียโซอิเล็กทริกทรานส์ดีวเซอร์ได้ ชุดระบายความร้อนจึงเข้ามาทำหน้าที่ระบายความร้อนเพื่อถ่ายเทความร้อนก่อนสัมผัสกับเพียโซอิเล็กทริกทรานส์ดีวเซอร์ให้อุณหภูมิต่ำกว่า  $80^\circ\text{C}$  เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของชุดกำเนิดคลื่น เมื่อให้อัตราไหลของน้ำหล่อเย็นซึ่งมีอุณหภูมิ  $25^\circ\text{C}$  ที่อัตรา 6.24 ลิตร/นาที ไหลผ่านชุดระบายความร้อน ผลที่ได้แสดงในภาพที่ 4.13 พบว่าในงานลวกที่อุณหภูมิ  $100^\circ\text{C}$  อุณหภูมิบริเวณหน้าสัมผัสกับตัวเพียโซอิเล็กทริกมีค่าเพียง  $30 - 35^\circ\text{C}$  งานทอดที่อุณหภูมิ  $200^\circ\text{C}$  อุณหภูมิบริเวณหน้าสัมผัสกับตัวเพียโซอิเล็กทริกมีค่าเพียง  $40 - 45^\circ\text{C}$  ดังนั้นชุดระบายความร้อนสามารถลดอุณหภูมิให้กับเพียโซอิเล็กทริกทรานส์ดีวเซอร์ให้อุณหภูมิต่ำกว่า  $80^\circ\text{C}$  ชุดกำเนิดคลื่นจึงสามารถทำงานได้โดยไม่เสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.16 แสดงอุณหภูมิการทำงานของชุด Cooling

### 4.3 การทดสอบในการนำไปประยุกต์ใช้กับงานอาหาร

เครื่องหุงต้มที่สร้างขึ้นจะถูกนำมาใช้ทดสอบกับงานอาหาร 2 ประเภท คือ การลวก การทอด โดยเปรียบเทียบการทำงานที่สภาวะต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 4.6 แผนการทดสอบการประยุกต์ใช้กับงานอาหาร

ประเภท	ตัวกลาง	อุณหภูมิ	ความถี่	ตัวอย่างที่ใช้
การลวก	น้ำ	100°C	28 kHz 40 kHz	เม็บบัวลอย (แป้งข้าวเหนียว)
การทอด	น้ำมัน	200°C	28 kHz 40 kHz	ข้าวเกรียบ

#### 4.3.1 การลวก

การลวกกระทำเพื่อจุดประสงค์หลักคือ การยับยั้งเอนไซม์ และการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์เบื้องต้นของอาหาร ดังนั้นในการทดสอบการลวกจะศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อการลวกร่วมกับการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นอัลตราโซนิกที่ความถี่ต่างๆ เปรียบเทียบกับการลวกแบบไม่ใช้คลื่นอัลตราโซนิก ซึ่งตัวแปรที่สนใจนำมาทดลองคือ

1. ความถี่ของคลื่นอัลตราโซนิกที่ 28 kHz และ 40 kHz
2. อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการลวกไม่เกิน 100 °C
3. เม็ดบัวลอยที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ที่เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.1 เซนติเมตร
4. จำนวนเม็ดบัวลอยที่ใช้ในการทดลองคือ 20 เม็ด น้ำหนัก 12.6 กรัม
5. ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง 12.5 ลิตร

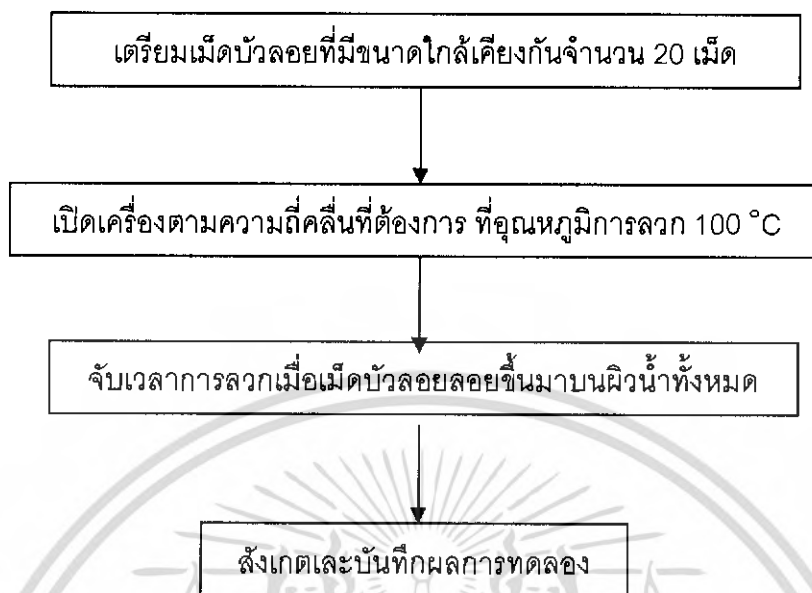
การทดสอบจะทำการเปรียบเทียบวัดค่าคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของตัวอย่างอาหารก่อนลวกและหลังลวก ซึ่งค่าที่สนใจนำมาวัดเปรียบเทียบการทดสอบคือ

1. เวลาที่ใช้ในการลวกเพื่อให้อุณหภูมิใจกลางของตัวอย่างอาหารมีค่าตามที่ต้องการ
2. ความสุกของแป้ง

#### **ขั้นตอนการทดลอง**

1. เลือกเม็ดบัวลอยที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใกล้เคียงกันประมาณ 1.1 เซนติเมตร จำนวน 20 เม็ด ในการลวกแต่ละครั้ง
2. นำเม็ดบัวลอยที่ได้ลวกในน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 100°C โดยไม่ใช้คลื่นอัลตราโซนิก และใช้คลื่นอัลตราโซนิกที่ความถี่คลื่น 28 kHz และ 40 kHz
3. จับเวลาในการลวกขึ้นทั้งหมดของเม็ดบัวลอย
4. บันทึกผลการทดลอง
5. ทำการลวกที่จำนวนเม็ดบัวลอยเท่าเดิมซ้ำอีก 3 ครั้ง ตามการทดลองข้างต้น

ผลการทดสอบที่ได้จะนำมาวิเคราะห์เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของอุณหภูมิต่อการลวกร่วมกับการใช้คลื่นอัลตราโซนิกที่ความถี่ต่างๆ ต่อลักษณะตัวอย่างอาหาร



ภาพที่ 4.17 แสดงขั้นตอนการทดสอบการลวกเม็ดบัวลอย

#### ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกผลการทดลองการลวกเม็ดบัวลอย (แบ่งข้าวเหนียว) ที่อุณหภูมิ 100 °C

ครั้งที่	อุณหภูมิ	ใช้คลื่น 28 kHz	ใช้คลื่น 40 kHz	ไม่ใช้คลื่น
		20 เม็ด	20 เม็ด	20 เม็ด
1	100 °C	93	120	120
2		82	123	150
3		93	121	120
4		75	133	167
<b>เฉลี่ย (วินาที)</b>		<b>86±8.8</b>	<b>124±6.0</b>	<b>139±23.3</b>

จากตารางบันทึกผลการทดลอง การลวกโดยไม่ใช้คลื่นอุลตราโซนิกใช้เวลาเฉลี่ย 139 วินาที การลวกโดยใช้คลื่นอุลตราโซนิกความถี่ 28 kHz ใช้เวลาเฉลี่ย 86 วินาที การลวกโดยใช้คลื่นอุลตราโซนิกความถี่ 40 kHz ใช้เวลาเฉลี่ย 124 วินาที

**ตาราง 4.8** เวลาที่ใช้ในการลวกเมล็ดบัวลอยโดยเฉลี่ย

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (C)	ความถี่คลื่น	เวลาในการลวก(sec)
เมล็ดบัวลอย	100	-	139 ±23.3
		28 kHz	86 ±8.8
		40 kHz	124 ±6.0

ผลที่ได้แสดงในตาราง 4.7 พบว่าการลวกร่วมกับการใช้คลื่นความถี่ 28 kHz ใช้เวลาในการลวกตัวอย่างอาหารน้อยกว่าการลวกแบบธรรมดาประมาณ 1.62 เท่า ส่วนการลวกที่ 40 kHz และการลวกแบบธรรมดาไม่มีความแตกต่างกันมากนัก

#### 4.3.2 การทอด

การทอดเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความร้อนเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณภาพการบริโภคของอาหาร การทำลายเชื้อจุลินทรีย์ เอนไซม์ และลดค่า Water activity ที่ผิวอาหารหรือตลอดชิ้นอาหาร การทดสอบในด้านการแปรรูปอาหารของคลื่นอุลตราโซนิกจึงเป็นการศึกษามลกระทบของอุณหภูมิต่อการทอดร่วมกับการใช้คลื่นอุลตราโซนิกที่ความถี่ต่างๆ เปรียบเทียบกับการทอดแบบไม่ใช้คลื่นอุลตราโซนิก ซึ่งตัวแปรที่สนใจนำมาทดลองคือ

1. ความถี่ของคลื่นอุลตราโซนิก ที่ 28 kHz และ 40 kHz
2. อุณหภูมิของน้ำมัน ในที่นี้จะใช้น้ำมันที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 200 °C
3. ขนาดข้าวเกรียบดิบที่ใกล้เคียงกัน ที่เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.6 เซนติเมตร
4. จำนวนข้าวเกรียบที่ใช้ในการทดลอง 1 ครั้ง คือ 15 ชิ้น
5. ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการทดลอง 12.5 ลิตร

การทดสอบจะทำการเปรียบเทียบวัดค่าคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของตัวอย่างอาหารก่อนทอดและหลังทอด ซึ่งค่าที่สนใจนำมาวัดเปรียบเทียบการทดสอบคือ

1. เวลาที่ใช้ในลวกขึ้น และการพองตัวของข้าวเกรียบ
2. ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงของตัวอย่างอาหาร

#### ขั้นตอนการทดลองการทอด

1. เลือกข้าวเกรียบดิบที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใกล้เคียงกันประมาณ 1.6 เซนติเมตร จำนวน 15 ชิ้น ในการทอดแต่ละครั้ง
2. ชั่งน้ำหนักข้าวเกรียบทั้งหมด 15 ชิ้น
3. ชั่งน้ำหนักปีกเกอร์ขนาด 250 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. หา Specific volume ของงา โดยนำงาใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 ml และชั่งน้ำหนัก จากนั้นสามารถหา Specific volume ของงาได้จาก

Specific volume ของงา

$$v = (250 / \text{น้ำหนักงาที่ชั่ง}) \times 4$$

5. หาปริมาตรข้าวเกรียบดิบได้จาก

$$V_{\text{ข้าวเกรียบดิบ}} = V_{\text{บีกเกอร์}} - [(m_{\text{รวม}} - m_{\text{บีกเกอร์}} - m_{\text{ข้าวเกรียบ}}) \times v]$$

6. นำข้าวเกรียบลงทอดในน้ำมันที่มีอุณหภูมิประมาณ 200°C โดยไม่ใช้คลื่นอุลตราโซนิก และใช้คลื่นอุลตราโซนิกที่ความถี่คลื่น 28 kHz และ 40 kHz

7. จับเวลาที่ข้าวเกรียบลอยขึ้นมาหมด และเวลาที่ข้าวเกรียบพองตัวแล้ว

8. ชั่งน้ำหนักข้าวเกรียบหลังทอด

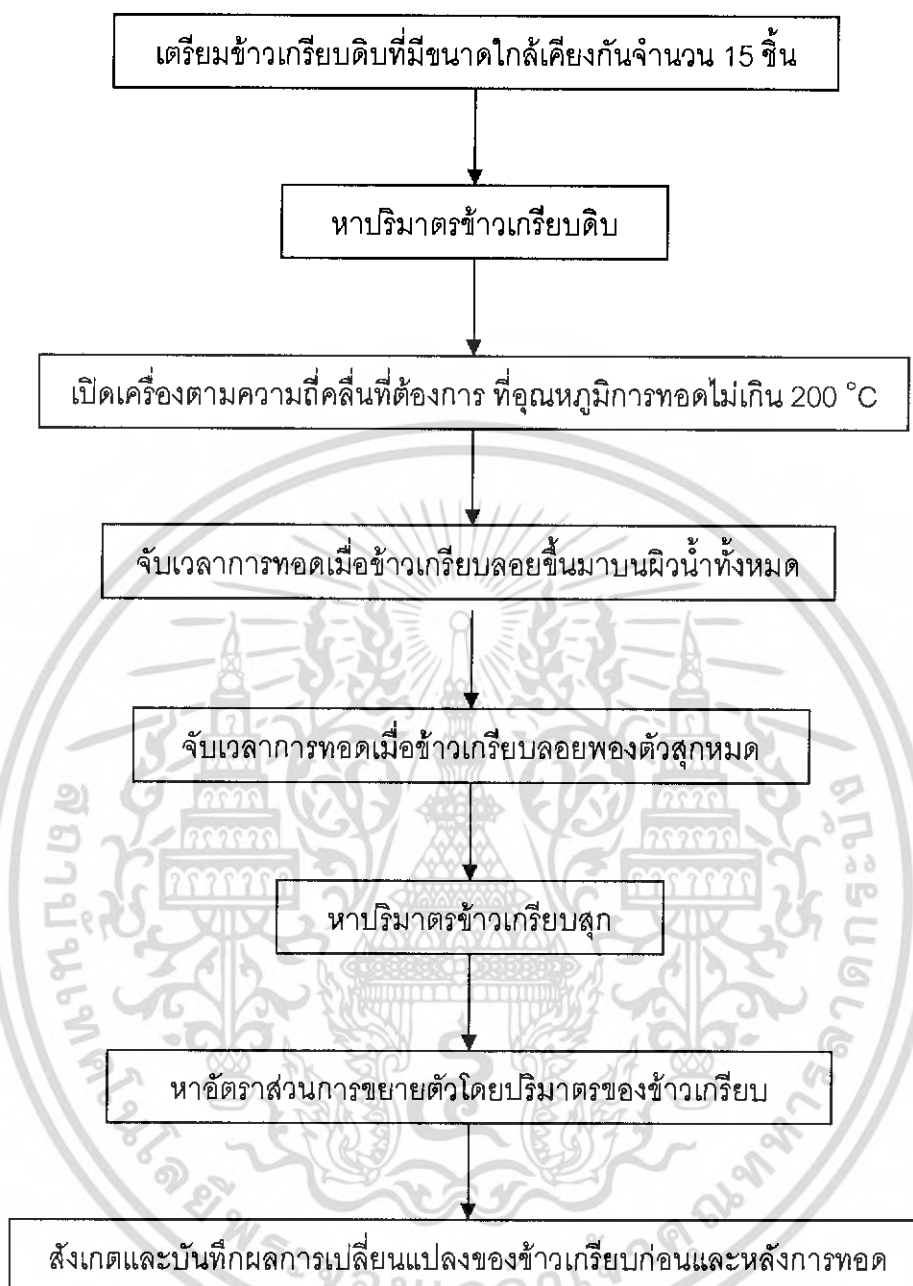
9. หาปริมาตรข้าวเกรียบสุกตามการคำนวณข้อ 5

10. วัดปริมาตรขยายตัวของข้าวเกรียบก่อนทอดและหลังทอด

11. บันทึกผลการทดลอง

12. ทำการทอดที่จำนวนข้าวเกรียบเท่าเดิมซ้ำ 3 ครั้ง ตามการทดลองข้างต้น

ผลการทดสอบที่ได้จะนำมาวิเคราะห์เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของอุณหภูมิต่อการทอดร่วมกับการใช้คลื่นอุลตราโซนิกที่ความถี่ต่างๆ ต่อลักษณะตัวอย่างอาหาร



ภาพที่ 4.18 แสดงขั้นตอนการทดสอบการทอดข้าวเกรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.9 ตารางบันทึกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของข้าวเกรียบก่อนทอด

จำนวน	ขนาดข้าวเกรียบก่อนทอด (cm)
1	1.635
2	1.610
3	1.630
4	1.660
5	1.655
6	1.660
7	1.660
8	1.655
9	1.660
10	1.695
11	1.650
12	1.635
13	1.680
14	1.680
15	1.640
16	1.660
17	1.630
18	1.700
19	1.700
20	1.660
<b>เฉลี่ย</b>	<b>1.658</b>
<b>ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน</b>	<b>± 0.02</b>
<b>น้ำหนักวัตถุดิบ</b>	<b>8.46 g</b>
<b>น้ำหนักถุง</b>	<b>1.50 g</b>
<b>น้ำหนักงา/250ml</b>	<b>132.31 g</b>
<b>ปริมาตรจำเพาะงา (ml/g)</b>	<b>1.8165</b>
<b>น้ำหนักบีกเกอร์ 250 ml(g)</b>	<b>112.20</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองการทอดข้าวเกรียบโดยใช้คลื่นอุลตราโซนิคที่ความถี่ 28 kHz ร่วมด้วย

ครั้งที่	ใช้คลื่น 28 kHz						
	เวลาดูด (วินาที)	เวลาสุก (วินาที)	เริ่มต้น			หลัง	
			ข้าวเกรียบดิบ (g)	ปริมาณข้าวเกรียบ (ml)	ข้าวเกรียบสุก (g)	ปริมาณข้าวเกรียบ (ml)	ปริมาณคราบน้ำมัน (%)
1	5.4	9.7	6.41	26.01	9.62	74.00	184.50
2	5.8	11.2	6.83	28.97	9.69	78.89	172.29
3	6.2	9.8	6.21	28.39	9.22	76.35	168.91
เฉลี่ย	5.80±0.40	10.23±0.84				เฉลี่ย	175.23±8.20

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองการทอดข้าวเกรียบโดยใช้คลื่นอุลตราโซนิคที่ความถี่ 40 kHz ร่วมด้วย

ครั้งที่	ใช้คลื่น 40 kHz						
	เวลาดูด (วินาที)	เวลาสุก (วินาที)	เริ่มต้น			หลัง	
			ข้าวเกรียบดิบ (g)	ปริมาณข้าวเกรียบ (ml)	ข้าวเกรียบสุก (g)	ปริมาณข้าวเกรียบ (ml)	ปริมาณคราบน้ำมัน (%)
1	7.54	12.4	6.53	26.18	9.45	90.01	243.86
2	8.45	14.7	6.68	28.05	9.95	84.61	201.68
3	7.54	13.9	6.66	28.90	9.87	84.36	191.89
เฉลี่ย	7.84±0.52	13.67±1.17				เฉลี่ย	212.48±27.61

**ตารางที่ 4.12** ผลการทดลองการทอดข้าวเกรียบโดยไมใช้คลื่นอุลตราโซนิกร่วมด้วย

ครั้งที่	ไมใช้คลื่น						
	เวลาทอด (นาที)	เวลาสุก (นาที)	เริ่มต้น		หลัง		
			ข้าวเกรียบดิบ (g)	ปริมาณข้าวเกรียบ (ml)	ข้าวเกรียบสุก (g)	ปริมาณข้าวเกรียบ (ml)	ปริมาณทรายตัว (%)
1	6.8	14.4	5.77	27.14	9.46	74.06	172.89
2	7.4	15.1	5.74	26.38	9.51	73.95	180.37
3	8.0	15.2	5.70	29.30	9.06	82.85	182.76
<b>เฉลี่ย</b>	<b>7.40±0.60</b>	<b>14.90±0.44</b>				<b>เฉลี่ย</b>	<b>178.68±5.15</b>

**ตาราง 4.13** เวลาในการสุกพองและอัตราการขยายตัวของข้าวเกรียบโดยเฉลี่ย

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ(C)	ความถี่คลื่น	เวลาสุกพอง(sec)	%การขยายตัว
ข้าวเกรียบ	200	-	14.9±0.44	178.68
		28 kHz	10.23±0.84	175.23
		40 kHz	13.67±1.17	212.48

จะเห็นว่าการทอดโดยใช้คลื่นอุลตราโซนิคความถี่ 40 kHz ร่วมด้วยทำให้ข้าวเกรียบขยายตัวออกได้มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของไกรวุฒิ และคณะ [10] ที่รายงานว่า การทอดที่อุณหภูมิและความถี่สูงจะมีอัตราส่วนการขยายตัวเชิงปริมาตรมากกว่าการทอดที่ความถี่ต่ำ

สำหรับการทอดนั้นพบว่า การทอดที่ความถี่ 28 kHz ใช้เวลาสั้นที่สุด ในขณะที่การทอดที่ 40 kHz และแบบไม่ใช้คลื่น ใช้เวลาเพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.10, 4.11 และ 4.12

แต่อย่างไรก็ตาม การทอดที่ 40 kHz ให้ความพองของตัวอย่างอาหารมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.13

#### 4.4 การทดสอบการสิ้นเปลืองพลังงาน

ทำการวัดค่าพลังงานที่ใช้ในการทำงานของเครื่องหุงต้มระบบอุลตราโซนิค

##### 4.4.1 การทดสอบขณะเดินเครื่องเปล่า

เมื่อเปรียบเทียบการใช้งานที่อุณหภูมิ 100 °C และ 200 °C นั้น ที่อุณหภูมิ 200 °C มีความสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าที่ 100 °C คิดเป็น 50.68% สำหรับชุดกำเนิดคลื่นที่ 28 kHz ในขณะที่สำหรับการทำงานของชุดกำเนิดคลื่นที่ 40 kHz การใช้งานที่ระดับอุณหภูมิทั้งสองไม่มีความแตกต่างกัน

จากการทดสอบการทำงานของเครื่องหุงต้มระบบอุลตราโซนิค แสดงในตารางที่ 4.14

**ตารางที่ 4.14** พลังงานที่ใช้ในการทำงานของเครื่องหุงต้มระบบอุลตราโซนิค

การใช้งาน	ตัวกลาง	การทำงาน	ใช้พลังงาน (watts)
การลวก (100 °C)	น้ำ	ไม่ใช้คลื่น	730
		28 kHz	88
		40 kHz	88
การทอด (200 °C)	น้ำมัน	ไม่ใช้คลื่น	1,100
		28 kHz	242
		40 kHz	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าการใช้พลังงานของชุดกำเนิดคลื่นอุลตราโซนิกความถี่ 28 kHz ทั้ง 2 อุณหภูมิมีค่าแตกต่างกันเนื่องมาจากชุดกำเนิดคลื่นอุลตราโซนิกความถี่ 28 kHz มีการสร้างมาเพื่อให้สามารถใช้ได้ที่หลากหลายสภาวะอุณหภูมิ ค่ากระแสที่ใช้จะแปรตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ดังนั้นเมื่อค่าอุณหภูมิสูงขึ้น ต้องมีการปรับค่ากระแส ทำให้ใช้พลังงานสูงขึ้น และสำหรับชุดกำเนิดคลื่นอุลตราโซนิกความถี่ 40 kHz จะมีค่าพลังงานที่ใช้คงที่เนื่องจากชุดกำเนิดคลื่นอุลตราโซนิกความถี่ 40 kHz สร้างมาเพื่อใช้ได้ที่สภาวะอุณหภูมิที่จำกัด ไม่ต้องมีการปรับค่ากระแส ค่าพลังงานที่ใช้จึงคงที่

#### 4.4.2 การทดสอบขณะที่การทดลองกับตัวอย่างอาหาร

จากข้อมูลข้างต้น จะเห็นว่าหากใช้คลื่นอุลตราโซนิกร่วมกับการลวกหรือการทอดอาหารแบบธรรมดา สามารถช่วยลดพลังงานได้ และการใช้ความถี่คลื่นที่ 28 kHz สามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าที่ 40 kHz

ตารางที่ 4.15 ผลการใช้พลังงานของเครื่องหุงต้มอาหารพร้อมระบบอุลตราโซนิกสำหรับการลวก

สภาวะการทดลอง			ใช้พลังงาน (kJ)
การใช้งาน	ตัวกลาง	การทำงาน	
การลวก (100°C)	น้ำ	28 kHz	70.35
		40 kHz	101.43
		ไม่ใช้คลื่น	101.47

ตารางที่ 4.16 ผลการใช้พลังงานของเครื่องหุงต้มอาหารพร้อมระบบอุลตราโซนิกสำหรับการทอด

สภาวะการทดลอง			ใช้พลังงาน (kJ)
การใช้งาน	ตัวกลาง	การทำงาน	
การทอด (200°C)	น้ำมัน	28 kHz	13.72
		40 kHz	16.24
		ไม่ใช้คลื่น	16.39

ตารางที่ 4.17 ความสามารถประหยัดพลังงานในการลวกเทียบกับการทำงานโดยไม่ใช้คลื่น

การทำงาน		ประหยัดพลังงานได้ (%)
การลวก	28 kHz	30.67
	40 kHz	0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 ความสามารถประหยัดพลังงานในการทอดเทียบกับการทำงานโดยไม่ใช้คลื่น

การทำงาน		ประหยัดพลังงานได้ (%)
การทอด	28 kHz	15.77
	40 kHz	0.92



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุป

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

เครื่องหุงต้มพร้อมระบบอุลตราโซนิกถูกสร้างขึ้นมีขนาดความจุ 15 ลิตร สามารถใช้กับงานอาหาร เช่น การลวก การทอด ที่อุณหภูมิใช้งานอยู่ระหว่าง 25 - 200 °C ความถี่คลื่นมี 2 ระดับ คือ 28 และ 40 KHz พร้อมติดตั้งชุดควบคุมอุณหภูมิใช้งานและชุดระบายความร้อน

ความเข้มของสัญญาณคลื่นที่ส่งผ่านตัวกลางขึ้นกับระยะห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่นและอุณหภูมิตัวกลางมีค่าสูงขึ้น

การนำคลื่นอุลตราโซนิกที่ความถี่ 28 KHz มาประยุกต์ใช้กับงานลวกและทอดอาหารสามารถช่วยการสิ้นเปลืองพลังงานได้ 30.67 % และ 15.77 % ตามลำดับ ผลการทดสอบการใช้งานคลื่นคลื่นอุลตราโซนิกที่ความถี่ 28 KHz ในการลวกและการทอดพบว่าใช้ระยะเวลาที่สั้นกว่าและการประหยัดพลังงานที่สูง ส่วนการใช้งานที่ความถี่ 40 KHz มีผลในด้านการประหยัดพลังงานน้อยมาก

#### 5.2 ปัญหาที่พบ

1. หากใช้งานที่อุณหภูมิสูงจะไม่สามารถหาได้ถึงความเข้มของสัญญาณคลื่นที่แน่นอนเนื่องจากแผ่นพอยล์จะมีลักษณะเหนียวมากขึ้นที่อุณหภูมิสูง ทำให้ ตัวแปรในการทดสอบเพิ่มมากขึ้น จึงควรมีการพัฒนาแก้ไขต่อไป

2. หากใช้ในกระบวนการลวกที่อุณหภูมิ 100 °C เมื่อของเหลวตัวกลางถึงจุดเดือดจะทำให้มีฟองอากาศเกิดขึ้น ซึ่งฟองอากาศจะเป็นตัวต้านทานการส่งผ่านคลื่นทำให้สัญญาณคลื่นอ่อนลงได้

#### 5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการปรับปรุง

1. จากการทดสอบเห็นว่าการใช้คลื่นอุลตราโซนิกเข้าร่วมในกระบวนการอาหารทางด้านการลวกหรือการทอด มีประโยชน์ที่เห็นได้ชัดเจนในเรื่องของการประหยัดพลังงานและเวลา จึงควรมีการศึกษาเพื่อทดลองการใช้คลื่นร่วมกับกระบวนการอื่นๆและพัฒนาต่อไป

2. การทดลองการใช้งานคลื่นอุลตราโซนิกที่อุณหภูมิสูงและการศึกษาด้านพฤติกรรมของคลื่นเป็นเรื่องที่น่าศึกษาค้นคว้า เพื่อพัฒนาเครื่องต้นแบบให้มีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต

## เอกสารอ้างอิง

- [1] อารี ธนบุญสมบัติ.ดร. “การประยุกต์วัสดุเพียโซอิเล็กทริกแบบง่ายเพื่อสร้างอุปกรณ์เซ็นเซอร์”  
**เทคโนโลยีวัสดุ**. เมษายน-มิถุนายน 2548. หน้า 64-67
- [2] Malcolm, J.W. and Timothy, J., 1998, **Ultrasound in Food Processing**, Blackie Academic & Professional, London, 105-123.
- [3] วีรกร กงบังเกิด. 2548. **การใช้คลื่นอุลตราซาวด์ในกระบวนการแปรรูปอาหาร**. [Online]. Available: [http://www.agi.nu.ac.th/agmis/download/publication/79\\_file.pdf](http://www.agi.nu.ac.th/agmis/download/publication/79_file.pdf).
- [4] จริญญา เตียวประทีป, น้าผึ้ง เอกศรีสกุล และปรัชญา สายเนียม, 2546, “การทอดด้วยคลื่นอุลตราซาวด์”, **ปริญญาภิพนธ์**, ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, หน้า 23
- [5] Miles, C.A., Morley, M.J. and Rendell, M., 1999. “High power ultrasonic thawing of frozen foods”. **Journal of Food Engineering**, Vol.39:151-159.
- [6] Li, B. and Sun, D., 2003 “Microstructural change of potato tissues frozen by ultrasound assisted immersion freezing”. **Journal of Food Engineering**, Vol.57:337-345.
- [7] M. Fatih ERTUGAY. 2004. “Effect of Ultrasound Treatment on Milk Homogenisation and Particle Size Distribution of Fat”. **Journal of Food Engineering**, Vol.28:303-308.
- [8] Aurelio Lopez-Malo, Enrique Palou, Maribel Jimenez-Fernandez, Stella Maris Alzamora, Sandra Guerrero, 2005, “Multifactorial fungal inactivation combining thermosonication and antimicrobials”. **Journal of Food Engineering**, Vol.67:87-93.
- [9] Muthupandian Ashokkumar.Dr. 2548. **Ultrasound technique offers faster, safer dairy processing**. [Online]. Available: <http://www.foodproductiondaily.com/news>.
- [10] ไกรวุฒิ คล้ายแจ้, พิเชษฐ ตันจรรย์านนท์ และ สุรเชษฐ์ ประดับมุข, 2547, “ผลของอุณหภูมิ เวลาการทอด และความถี่คลื่นต่อการทอดด้วยคลื่นอุลตราซาวด์”, **ปริญญาภิพนธ์**, ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, หน้า 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ก.1 กระดาษฟอยล์



ภาพที่ ก.2 ทัพพี

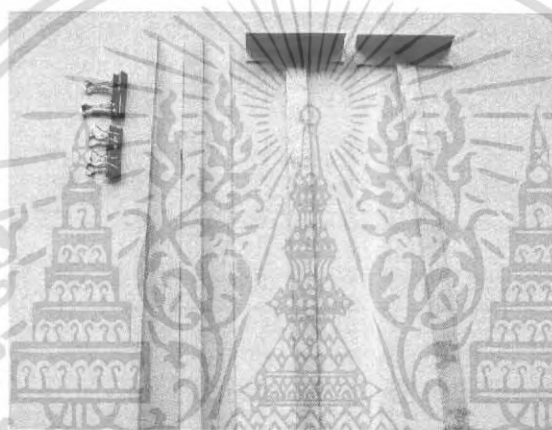


ภาพที่ ก.3 ตะแกรงสแตนเลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ก.4 เครื่องวัดอุณหภูมิ

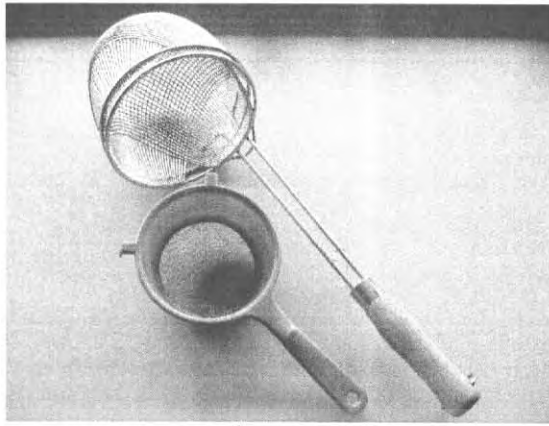


ภาพที่ ก.5 ชุดยึดจับกระดาษพอยล์

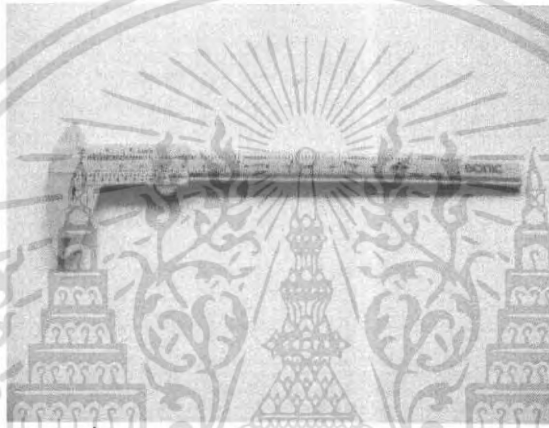


ภาพที่ ก.6 ปีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ก.7 กระชอน



ภาพที่ ก.8 เวอร์เนียคาลิเปอร์ ชนิดพลาสติก



ภาพที่ ก.9 สแกนเนอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ก.10 เครื่องชั่งน้ำหนักหน่วยกรัม ทศนิยม 3 ตำแหน่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาคผนวก ข**

**Code โปรแกรมที่ใช้หาพื้นที่ทะเล**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dim Myfile As FileSystemObject

Dim Myfid As Folder

Dim Min As Byte

Dim CR As String

Dim CG As String

Dim CB As String

Dim Pos\_x As Integer

Dim Pos\_y As Integer

Dim Scl\_x As Double

Dim Scl\_y As Double

Dim ccc As Integer

Dim round As Integer

Dim r1 As Integer

Dim r2 As Integer

Dim Namef As String

Dim per As Currency

Dim pathNow As String

Public Progress As Currency

Public Progress1 As Currency

'Excel

Dim xlApp As New Excel.Application

Dim xlBook As Excel.Workbook

Dim xlSheet As Excel.Worksheet

Dim sqlCat As String

Dim sqlProduct As String

Dim intROW As Integer

Private Type POINTAPI

x As Long

y As Long

End Type

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Declare Function GetPixel Lib "gdi32" (ByVal hdc As Long, ByVal x As Long, ByVal y As Long) As Long
```

```
Private Declare Function GetCursorPos Lib "user32" (lpPoint As POINTAPI) As Long
```

```
Private Declare Function GetWindowDC Lib "user32" (ByVal hwnd As Long) As Long
```

```
Dim path1 As String
```

```
Dim path2 As String
```

```
Function File_name(path As String) As String
```

```
Dim f As String
```

```
Dim c As Integer
```

```
Dim a As Integer
```

```
f = path
```

```
c = 0
```

```
a = 0
```

```
Do While (f <> "\")
```

```
f = Mid(path, Len(path) - a, 1)
```

```
a = a + 1
```

```
c = c + 1
```

```
Loop
```

```
File_name = Right(path, c - 1)
```

```
End Function
```

```
Function Folder_name(path As String) As String
```

```
Dim f As String
```

```
Dim c As Integer
```

```
Dim a As Integer
```

```
Dim z As Integer
```

```
f = path
```

```
c = 0
```

```
a = 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

z = 0
Do While (z <> 2)
f = Mid(path, Len(path) - a, 1)
a = a + 1
c = c + 1
If (f = "\") Then z = z + 1
Loop
Folder_name = Right(path, c - 1)

```

```
End Function
```

```
Private Sub Cel_Click()
```

```
L1 = ""
```

```
L2 = ""
```

```
L3 = ""
```

```
L4 = ""
```

```
L5 = ""
```

```
Lb = ""
```

```
r1 = 0
```

```
r2 = 0
```

```
round = 0
```

```
Lb8 = pathNow
```

```
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub Ch1_Click()
```

```
Timer1.Interval = 100
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()
```

```
'Label14 = (((img1.ScaleHeight) / Scl_y) \ 1) + 10
```

```
'Label14 = Scl_x
```

```
End Sub
```

```
Private Sub ex_Click()
```

```
Unload Me
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
```

```
**** กำหนดค่าเริ่มต้น ****
```

```
Ch1 = False
```

```
Tx1 = 40
```

```
Lth.FillColor = RGB(255, 255, 255)
```

```
ShowR = "R: " & 255
```

```
ShowG = "G: " & 255
```

```
ShowB = "B: " & 255
```

```
CR = "FF"
```

```
CG = "FF"
```

```
CB = "FF"
```

```
img1.BackColor = RGB(250, 224, 163)
```

```
img1.ScaleMode = vbPixels
```

```
Form1.ScaleMode = vbPixels
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Sid1 = Tx1
```

```
img1.ScaleWidth = img1.Width
```

```
img1.ScaleHeight = img1.Height
```

```
'Form1.ScaleWidth = Form1.Width
```

```
'Form1.ScaleHeight = Form1.Height
```

```
'Lb1 = img1.ScaleWidth & " x " & img1.ScaleHeight & " = " & (img1.ScaleWidth * img1.ScaleHeight)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Img_Click()
```

```
Ch1.Value = 0
```

```
Timer1.Interval = 0
```

```
End Sub
```

```
Private Sub img1_Change()
```

```
img1.ScaleWidth = img1.Width
```

```
img1.ScaleHeight = img1.Height
```

```
Show1 = img1.ScaleWidth & " x " & img1.ScaleHeight & " พิกเซล"
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Lth_Change()
```

```
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub mins_Timer()
```

```
Min = Min + 1
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Reset_Click()
```

```
Img.Picture = LoadPicture(App.path & "\ & "No.jpg")
```

```
Show1 = ""
```

```
Show2 = ""
```

```
L1 = ""
```

```
L2 = ""
```

```
L3 = ""
```

```
L4 = ""
```

```
L5 = ""
```

```
Lb = ""
```

```
CR = "FF"
```

```
CG = "FF"
```

```
CB = "FF"
```

```
round = 0
```

```
r1 = 0
```

```
Form_Load
```

```
End Sub
```

```
Private Sub run_Click()
```

```
Dim a As Integer
```

```
Dim b As Integer
```

```
Dim z As Currency
```

```
Dim White As Currency
```

```
Dim range As Integer
```

```
Dim area As Currency
```

```
Dim Respon As Variant
```

```
Dim test As String
```

```
Dim count As Integer
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Dim Today As String
```

```
Dim See As Byte
```

```
Today = Now
```

```
Ch1 = False
```

```
range = Val(Tx1.Text)
```

```
Me.MousePointer = vbHourglass
```

```
White = 0
```

```
r1 = r1 + 1
```

```
For b = 0 To (img1.ScaleHeight - 1)
```

```
Progress = (b / (img1.ScaleHeight - 1)) * 100
```

```
Prg = Progress
```

```
For a = 0 To (img1.ScaleWidth - 1)
```

```
Progress1 = (a / (img1.ScaleWidth - 1)) * 100
```

```
Prog = Progress1
```

```
If (Dec(Left(Hex(img1.Point(a, b)), 2)) > (Dec(CR) - (range \ 2))) Then
```

```
White = White + 1
```

```
PSet (((a / ScI_x) \ 1) + 30, ((b / ScI_y) \ 1) + 10), RGB(0, 0, 255)
```

```
End If
```

```
Next
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Next

If (round = 1) Then

L1 = White

L2 = (img1.ScaleWidth \* img1.ScaleHeight) - White

path2 = path1

End If

If (round = 2) Then

L3 = White

L4 = (img1.ScaleWidth \* img1.ScaleHeight) - White

If (L3 <> "") And (L1 <> "") And (L2 <> "") And (L4 <> "") Then

L5 = L3 - L1

per = Val(L5) / (Val(L3) + Val(L4)) \* 100

Lb = per & " %"

End If

Respon = MsgBox("คุณต้องการบันทึกรูปภาพเก็บไว้หรือไม่?", vbQuestion + vbYesNo, "กรุณาเลือก")

If Respon = vbYes Then

'บันทึกลง Excel

Me.MousePointer = vbHourglass

xlApp.Visible = False

Set xlBook = xlApp.Workbooks.Open(App.path & "/" & "รูปภาพการทดลอง.xls")

Set xlSheet = xlBook.ActiveSheet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

'ห้ามรหัดที่จะบันทึกผล

test = "june"

Do While (test <> "")

count = count + 1

test = xlSheet.Cells(count, 1)

Loop

xlSheet.Cells(count, 1) = Folder\_name(path2)

xlSheet.Cells(count, 2) = "file:\\" & path2

xlSheet.Cells(count, 3) = Folder\_name(path1)

xlSheet.Cells(count, 4) = "file:\\" & path1

xlSheet.Cells(count, 5) = Today

'คืนค่าให้กับระบบ

xlBook.Save

xlBook.Close

Set rstProduct = Nothing

Set rstCategory = Nothing

Set xlSheet = Nothing

Set xlBook = Nothing

Set xlApp = Nothing

sav

Form\_Load

End If

End If

Me.MousePointer = vbDefault

' MsgBox "Process Completed !!"

'เริ่มนับใหม่

If (round = 2) Then round = 0

Tx1 = 40

Sld1 = 40

End Sub

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Sub sav()
Dim f As String
Dim a As Integer
Dim b As Integer
Dim c As Integer
Dim x As Integer
Dim y As Integer
Dim test As String
Dim count As Integer
Dim Today As String

Today = Now

count = 2
'ดก
'บันทึกลง Excel
Me.MousePointer = vbHourglass
    xlApp.Visible = False
    Set xlBook = xlApp.Workbooks.Open(App.path & "\" & "Data.xls")
    Set xlSheet = xlBook.ActiveSheet

If (L5 <> "") Then
'หาบรรทัดที่จะบันทึกผล
test = "june"
Do While (test <> "")
count = count + 1
test = xlSheet.Cells(count, 1)
Loop

    xlSheet.Cells(count, 1) = File_name(path1)
    xlSheet.Cells(count, 2) = img1.ScaleWidth & " x " & img1.ScaleHeight & " = " & (img1.ScaleWidth *
img1.ScaleHeight)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

xlSheet.Cells(count, 3) = Val(L1)
xlSheet.Cells(count, 4) = Val(L2)
xlSheet.Cells(count, 5) = Val(L3)
xlSheet.Cells(count, 6) = Val(L4)
xlSheet.Cells(count, 7) = per

```

```

If (xlSheet.Cells(count, 8) = "") Then xlSheet.Cells(count, 8) = Today

```

คืนค่าให้กับระบบ

```

xlBook.Save
xlBook.Close
Set rstProduct = Nothing
Set rstCategory = Nothing
Set xlSheet = Nothing
Set xlBook = Nothing
Set xlApp = Nothing
Me.MousePointer = vbDefault

End If
Reset_Click
End Sub

```

```

Private Sub sel_Click()
Ch1 = False
img1.Cls
'Shownow.Visible = False

r2 = r2 + 1

If (r1 >= 2) And (r2 >= 3) Then

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

r1 = 0
r2 = 0
L1 = ""
L2 = ""
L3 = ""
L4 = ""
L5 = ""

```

```

Lb = ""
End If

```

```

round = round + 1

```

```

dlg1.ShowOpen

```

```

path1 = dlg1.FileName

```

```

Show2 = File_name(path1)

```

```

img1.Picture = LoadPicture(path1)

```

```

img1.ScaleMode = vbPixels

```

```

img1.ScaleWidth = img1.Width

```

```

img1.ScaleHeight = img1.Height

```

```

img1.Visible = False

```

```

img.Picture = LoadPicture(path1)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

\*\*\*\*\* หาสเกลพล็อตจุดที่ทะเล \*\*\*\*\*

'L3 = (979 / (img1.Height / 360)) \ 1

Sci\_x = img1.Width / 300

Sci\_y = img1.Height / 360

End Sub

Private Sub Sld1\_Change()

Tx1 = Sld1

End Sub

Private Sub Sld1\_Scroll()

Tx1 = Sld1

End Sub

Function Color\_R(x As Long) As Integer

End Function

Private Sub Timer1\_Timer()

Dim tPOS As POINTAPI

Dim sTmp As String

Dim IColor As Long

Dim IDC As Long

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

If Ch1 = 1 Then
    IDC = GetWindowDC(0)
    Call GetCursorPos(tPOS)
    IColor = GetPixel(IDC, tPOS.x, tPOS.y)
    Lth.FillColor = IColor

    sTmp = Right$("000000" & Hex(IColor), 6)
    CR = Right$(sTmp, 2)
    CG = Mid$(sTmp, 3, 2)
    CB = Left$(sTmp, 2)
    ShowR = "R: " & Dec(CR)
    ShowG = "G: " & Dec(CG)
    ShowB = "B: " & Dec(CB)
End If

End Sub

Function Convert(x As String) As String
    Dim CR As String
    x = Right$("000000" & Hex(IColor), 6)
    CR = Right$(sTmp, 2)
    Convert = CR
End Function

Function Dec(x As String) As Byte
    Dim i As Integer, j As Long

    j = 0
    For i = 0 To Len(x) - 1
        Select Case Asc(Mid$(StrReverse$(x), i + 1, 1))
            Case 48
                j = j + (0 * 16 ^ i)
            Case 49
                j = j + (1 * 16 ^ i)
            Case 50

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้