

เครื่องคัดแยกชิ้นงานโดยใช้การส่งผ่านคลื่นเสียง

PART CLASSIFYING MACHINE USING ACOUSTIC EMISSION TESTING

อัษฎายุธ น้อยผล

ATSADAYUT NOIPHON

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-EN-M-080-171

เครื่องคัดแยกชิ้นงานโดยใช้การส่งผ่านคลื่นเสียง

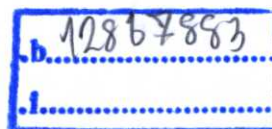
PART CLASSIFYING MACHINE USING ACOUSTIC EMISSION TESTING



T148250

อัษฎายุธ น้อยผล

ATSADAYUT NOIPHON



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-EN-M-080-171

PART CLASSIFYING MACHINE USING ACOUSTIC EMISSION TESTING

ATSADAYUT NOIPHON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN CONTROL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2017

KMITL-2017-EN-M-080-171



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ เครื่องคัดแยกชิ้นงานโดยใช้การส่งผ่านคลื่นเสียง  
Thesis Title Parts Classifying Machine using Acoustic Emission Testing  
นักศึกษ นายอัษฎายุธ น้อยผล  
รหัสประจำตัว 55611307  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมระบบควบคุม  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.นพดล มณีรัตน์  
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-080-171

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.พูลศักดิ์ โภษิยาภรณ์	
ผศ.ดร.นนทวัฒน์ จุลเดชะ	
ผศ.ดร.ดอน อิศรากร	
ผศ.ดร.คงศักดิ์ อนันตหิรัญรัตน์	
ผศ.ดร.นพดล มณีรัตน์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 เวลา 13.00-15.00 น.  
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
วันที่ 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เครื่องตัดแยกชิ้นงานโดยใช้การส่งผ่านคลื่นเสียง
นักศึกษา	นายอัษฎายุธ น้อยผล
รหัสประจำตัว	55611307
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมระบบควบคุม
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.นพดล มณีรัตน์

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบเครื่องตัดแยกชิ้นงานโดยใช้การส่งผ่านคลื่นเสียง ซึ่งประกอบไปด้วย 2 วิธีคือ 1. การตัดแยกชิ้นงานด้วยเสียงโดยวิธีการแปลงฟูเรียร์ 2. การตัดแยกชิ้นงานโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก การตัดแยกชิ้นงานด้วยเสียงโดยวิธีการเคาะ ใช้โปรแกรม MATLAB ในการเขียนซอฟต์แวร์และตรวจสอบบนคอมพิวเตอร์ การออกแบบเครื่องเคาะโดยใช้หลักการขดลวดโซลินอยด์และควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ ในส่วนของการตัดแยกชิ้นงานโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก เป็นการใช้อนุกรมคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานและสร้างความถี่อัลตราโซนิก ส่งให้กับอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งคลื่นความถี่ไปยังชิ้นงาน และเป็นตัวรับคลื่นความถี่ที่สะท้อนกลับออกมาจากชิ้นงานเป้าหมาย ในการประมวลผลคือการนำคลื่นความถี่อัลตราโซนิกที่สะท้อนกลับออกมาแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการใช้การจับความแรงของสัญญาณเสียงที่สะท้อนกลับในคาบเวลานั้น เป็นตัวแยกความถี่ของชิ้นงาน ในการทดสอบทั้ง 2 วิธีได้ผลการทดลองอย่างแม่นยำ แสดงความแตกต่างของชิ้นได้อย่างชัดเจน ใช้เวลาในการประมวลผลรวดเร็ว และขนาดของเครื่องที่เล็กและพกพาสะดวก ราคาต้นทุนต่ำจึงสามารถนำไปใช้ในภาคปฏิบัติการอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี

<b>Thesis</b>	Part Classifying Machine Using Acoustic Emission Testing
<b>Student</b>	Mr. Atsadayut Noiphon
<b>Student ID.</b>	55611307
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Control Engineering
<b>Year</b>	2017
<b>Thesis Advisor</b>	Asst. Prof. Dr. Noppadol Maneerat

## **ABSTRACT**

This thesis presents the design the sorting machines using the transfer of sound waves consists of 2 methods which are 1. sorting by fourier transform of sound waves and 2. sorting by ultrasonic waves. Sorting by fourier transform of sound waves require the MATLAB program for software coding and analysis. This sorting method uses the principles of solenoid coil and automatic control system. Regarding the sorting method that uses ultrasonic waves, a microcontroller is used for process control and production of ultrasonic waves. The wave is transmitted to the ultrasonic transducer, a device that further sends the wave to the test object and receives the reflected wave from the target. In the evaluation process, the reflected ultrasonic wave is converted into an electrical signal by measuring the intensity of the reflected wave per time unit as a measure to classify the object. The 2 sorting methods previously stated both produce accurate results. Both are able to distinguish the objects accurately and evaluate results at a fast rate. Due to their portability and low production cost, they are useful for the industrial operations.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากความอนุเคราะห์ของอาจารย์ที่ปรึกษาผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพดล มณีรัตน์ ที่ช่วยให้คำปรึกษาและแก้ปัญหาต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม-พวอ. และบริษัท เอ.ไอ. เทคโนโลยี อินดัสทรี จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์งบประมาณและอุปกรณ์ต่างในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการควบคุม ECC 203 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ พร้อมทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณ พี่ๆ น้องๆ ในห้องปฏิบัติการทั้งที่จบไปแล้วก็ดียังไม่จบก็ดี ที่ให้คำแนะนำและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่อบรมเลี้ยงดู สนับสนุนในด้านการศึกษา และให้กำลังใจ จนกระทั่งบรรลุในสิ่งที่มุ่งหวังไว้ คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

อัษฎายุธ น้อยผล

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย.....	2
1.4 แนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.6 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 บทนำ.....	4
2.2 เสียง.....	4
2.2.1 เสียง.....	4
2.2.2 ความถี่.....	4
2.2.3 ความยาวช่วงคลื่น.....	4
2.2.4 แอมพลิจูด.....	4
2.2.5 การเคลื่อนที่ของเสียงผ่านตัวกลาง.....	5
2.2.6 การสะท้อนของเสียง.....	5
2.2.7 การได้ยินเสียง.....	6
2.2.8 การประยุกต์ความรู้เรื่องเสียง.....	7
2.3 คลื่น.....	8
2.3.1 การเคลื่อนที่ของคลื่น.....	9
2.4 การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive Testing).....	9
2.4.1 การทดสอบโดยวิธีภาพถ่ายรังสี (Radiographic Testing).....	10
2.4.2 การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจ (Visual Testing).....	11

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.3 การทดสอบโดยคลื่นความถี่เหนือเสียง (Ultrasonic Testing).....	13
2.4.4 การทดสอบโดยวิธีกระแสไหลวน (Eddy Current Testing).....	14
2.4.5 การทดสอบด้วยอนุภาคแม่เหล็ก (Magnetic Particle Testing).....	15
2.4.6 การตรวจสอบโดยใช้สารแทรกซึม (Liquid Penetrant Testing).....	15
2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	16
2.5.1 IC Atmega328P.....	18
2.6 อัลตราโซนิก เซนเซอร์.....	19
2.6.1 โมดูลอัลตราโซนิก Ultrasonic HC-SR04.....	22
2.7 การแปลงฟูรีเยอร์.....	23
2.7.1 การแปลงฟูรีเยแบบต่อเนื่อง.....	24
2.7.2 อนุกรมฟูรีเยอร์.....	24
2.7.3 การแปลงฟูรีเยไม่ต่อเนื่อง.....	24
บทที่ 3 การออกแบบและพัฒนา.....	26
3.1 บทนำ.....	26
3.2 เครื่องคัดแยกชิ้นงานโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก.....	26
3.2.1 การออกแบบตัวเครื่อง.....	26
3.2.2 การทำงานและโครงสร้างของระบบ.....	27
3.3 เครื่องคัดแยกชิ้นงานด้วยเสียงโดยวิธีการเคาะ.....	31
3.3.1 หลักการออกแบบโปรแกรม.....	31
3.3.2 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างระบบ.....	31
3.3.3 ขั้นตอนการสร้างโปรแกรม.....	33
3.3.4 หลักการออกแบบเครื่องเคาะโลหะแบบไม่ทำลายวัตถุ.....	33
3.3.5 ขั้นตอนการสร้างหัวเคาะ.....	35
3.3.6 ขั้นตอนการสร้างระบบควบคุม.....	36
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบ.....	37
4.1 บทนำ.....	37
4.2 ขั้นตอนการทดลองการคัดแยกชิ้นงานโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก.....	37
4.3 ขั้นตอนการทดลองการคัดแยกชิ้นงานโดยใช้วิธีการเคาะ.....	49
4.3.1 การทดลองและผลการทดลอง.....	49

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	60
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	60
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	61
เอกสารอ้างอิง.....	62
ภาคผนวก.....	63
ภาคผนวก ก โลหะที่ใช้ในการทดลอง.....	64
ภาคผนวก ข บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์.....	68
ประวัติผู้เขียน.....	76

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1	ค่าความแรงของสัญญาณแอมพลิจูดที่วัดได้ของการสะท้อนของคลื่นผ่าน..... 37 โลหะเหล็ก อะลูมิเนียม ทองเหลือง เหล็กซีทีไพล์
4.2	ค่าความแรงของสัญญาณแอมพลิจูดที่วัดได้ของการสะท้อนของคลื่นผ่าน..... 39 โลหะอะลูมิเนียมขัดเงา เหล็กชุบกัลวาไนส์ สแตนเลส ทองแดง
4.3	ค่าความแรงของสัญญาณแอมพลิจูดแบบพีคทูพีคที่วัดได้ของการสะท้อน..... 42 ของคลื่นผ่านโลหะ เหล็ก อะลูมิเนียม ทองเหลือง เหล็กซีทีไพล์
4.4	ค่าความแรงของสัญญาณแอมพลิจูดแบบพีคทูพีคที่วัดได้ของการสะท้อน..... 44 คลื่นผ่านโลหะอะลูมิเนียมขัดเงา เหล็กชุบกัลวาไนส์ สแตนเลส ทองแดง
4.5	การวัดค่าแอมพลิจูดและค่าเฉลี่ยของโลหะ 8 ชนิดที่ได้จากการทดลอง..... 48
4.6	ความถี่-Magnitude ของเหล็กสีเขียวในแต่ละไฟล์เสียง..... 52
4.7	ความถี่-Magnitude ของเหล็กสีแดงในแต่ละไฟล์เสียง..... 54
4.8	การตรวจพบความถี่ต่างๆ และค่าเฉลี่ย Magnitude ของเหล็กสีเขียวและสีแดง.. 57

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แอมพลิฟายด์.....	5
2.2	การสะท้อนของเสียง.....	6
2.3	การทดสอบโดยวิธีภาพถ่ายรังสี.....	10
2.4	X-ray Radiographic.....	11
2.5	ส่วนประกอบของ Transducer.....	13
2.6	การทดสอบโดยคลื่นความถี่เหนือเสียง.....	13
2.7	การทดสอบโดยวิธีกระแสไหลวน.....	14
2.8	การทดสอบด้วยอนุภาคแม่เหล็ก.....	15
2.9	การตรวจสอบโดยใช้สารแทรกซึม.....	15
2.10	Model Arduino UNO R3.....	16
2.11	วงจรรีเลย์ทรอนิก Model Arduino UNO R3 และ IC ATmega328P.....	17
2.12	IC ATmega328P pin mapping.....	18
2.13	การหักเบนของคลื่นเสียงที่มีทิศทาง.....	19
2.14	ไดอะแกรมภายในอัลตราโซนิกเซนเซอร์.....	20
2.15	การเว้นระยะห่างของเซนเซอร์.....	21
2.16	การจัดวางแนวระนาบของสิ่งของ.....	21
2.17	การตรวจจับวัตถุที่มีรูปร่างไม่แน่นอน.....	22
2.18	โมดูลอัลตราโซนิก HC-SR04.....	23
3.1	การออกแบบตัวโครงเครื่อง.....	26
3.2	การออกแบบวง Ultrasonic Sensor Module HC-SR04.....	27
3.3	วงจร Ultrasonic Sensor.....	27
3.4	หน้าจอแสดงการโปรแกรมควบคุมอัลตราโซนิกเซนเซอร์.....	28
3.5	หน้าจอแสดงคลื่นความถี่ที่ได้.....	28
3.6	การทำงานของระบบ.....	29
3.7	การทดลองด้วยคลื่นอัลตราโซนิกขนาด 40 KHz.....	29
3.8	Handheld Digital Storage Oscilloscope JH JD2012A.....	30

3.9	โปรแกรม MATLAB 7.12.0.635 (R2011a).....	31
3.10	การสร้างระบบใน MATLAB 7.12.0.635 (R2011a).....	32
3.11	หน้าจอในการสร้างโครงการ.....	32
3.12	การนำเข้าเครื่องมือ Button.....	33
3.13	หน้าจอโหมด GUI และส่วนประกอบ.....	34
3.14	การออกแบบหัวเคาะโดยใช้โปรแกรม Solidworks 2012.....	34
3.15	หัวเคาะของเครื่องเคาะโลหะ.....	35
3.16	การออกแบบวงจรไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม Altium Designer 2008.....	36
4.1	กราฟแสดงแอมพลิจูดที่ได้ (amplitude)ของเหล็ก อะลูมิเนียม ทองเหลือง เหล็กซีท..... ไฟล์ตามลำดับ	39
4.2	กราฟแสดงแอมพลิจูดที่ได้ (amplitude)ของอะลูมิเนียมขัดเงา เหล็กชุบกำลัปวาไนส์..... สแตนเลส ทองแดงตามลำดับ	41
4.3	กราฟแสดงแอมพลิจูดแบบพีคทูพีคที่ได้(Peak-to-peak amplitude)ของเหล็ก..... อะลูมิเนียม ทองเหลือง เหล็กซีทไฟล์ ตามลำดับ	43
4.4	กราฟแสดงแอมพลิจูดแบบพีคทูพีคที่ได้(Peak-to-peak amplitude)ของอะลูมิเนียม..... ขัดเงา เหล็กชุบกำลัปวาไนส์ สแตนเลส ทองแดงตามลำดับ	45
4.5	คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของอะลูมิเนียมขัดเงา.....	46
4.6	คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของเหล็กชุบกำลัปวาไนส์.....	46
4.7	คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของสแตนเลส.....	46
4.8	คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของทองแดง.....	47
4.9	คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของเหล็ก.....	47
4.10	คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของทองเหลือง.....	47
4.11	คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของอะลูมิเนียม.....	47
4.12	คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของเหล็กซีทไฟล์.....	48
4.13	เหล็กสองสีที่ใช้ในการทดสอบ.....	49
4.14	Wave Form เหล็กสีแดง.....	50
4.15	Wave Form เหล็กสีเขียว.....	50
4.16	Magnitude Spectrum แกนความถี่ (Single Side) เหล็กสีแดง.....	51
4.17	Magnitude Spectrum แกนความถี่ (Single Side) เหล็กสีเขียว.....	51

4.18	Magnitude Spectrum ของเหล็กสีแดงในแต่ละความถี่.....	56
4.19	Magnitude Spectrum ของเหล็กสีเขียวในแต่ละความถี่.....	56
4.20	ผลการตรวจพบความถี่ และค่าเฉลี่ย Magnitude ของเหล็กสีเขียว.....	59
4.12	ผลการตรวจพบความถี่ และค่าเฉลี่ย Magnitude ของเหล็กสีแดง.....	59
ก-1	อะลูมิเนียมขัดเงา.....	66
ก-2	สแตนเลส.....	66
ก-3	อะลูมิเนียม.....	66
ก-4	เหล็กซีทีไฟล์.....	66
ก-5	เหล็กชุบกำลัปวาไนส์.....	67
ก-6	เหล็ก.....	67
ก-7	ทองเหลือง.....	67
ก-8	ทองแดง.....	67

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการเจริญเติบโตในภาคอุตสาหกรรมนั้นเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยี อุตสาหกรรมต่างๆที่เติบโตขึ้นเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้อุปโภคบริโภค ซึ่งในปัจจุบันนั้น ผู้อุปโภคบริโภคต่างมีความต้องการที่มากขึ้น ความสะดวกสบายและความต้องการอื่นๆที่มากขึ้นตามเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นในส่วนของภาคอุตสาหกรรมต่างก็มีการพัฒนาคุณภาพเพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้อุปโภคบริโภคที่มีมากขึ้นตามลำดับ การพัฒนาต่างๆก็ยังคงมีต่อไปเรื่อยๆ เพื่อให้เกิดผลผลิตของอุตสาหกรรมตนเองที่ดียิ่งขึ้น การพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การลดต้นทุนการผลิต การมุ่งหวังผลกำไรนั้นย่อมเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของอุตสาหกรรมนั้นๆ เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ทำร่วมกับทางบริษัท เอ.ไอ. เทคโนโลยี อินดัสทรี จำกัด ซึ่งเป็นโรงงานหล่อเหล็ก หลังจากที่มีการหล่อเหล็กแล้วนั้น ก็จะต้องมีการคัดแยกและการทดสอบคุณภาพของเหล็กว่าได้มาตรฐานหรือไม่ โดยก่อนหน้านี้ทางโรงงานได้ใช้คนในการตรวจเช็คคัดแยกของเหล็กหล่อด้วยการเคาะและฟังเสียง จะใช้แรงงานมนุษย์เป็นหลัก ซึ่งมีความยุ่งยากในการฝึกฝน ใช้เวลานาน อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบไม่คงที่ขึ้นอยู่กับความชำนาญของแต่ละบุคคล ทำให้ความไม่แน่นอนในการเช็คคุณภาพของเหล็กหล่อ

จากปัญหาที่เกิดขึ้นและได้กล่าวมาข้างต้น จึงเกิดงานวิจัยที่ได้รับความร่วมมือจากทางบริษัทเริ่มต้นพัฒนาเครื่องคัดแยกชิ้นงานโดยใช้การส่งผ่านคลื่นเสียง โดยใช้วิธีคัดแยกชิ้นงานด้วยเสียงโดยวิธีการเคาะและคัดแยกชิ้นงานโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก ซึ่งการทดสอบเป็นส่วนหนึ่งของการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive Testing) เป็นการทดสอบที่ไม่มีผลกระทบต่อหรือเกิดความเสียหายแก่วัตถุและให้ผลที่แม่นยำถูกต้องกว่าการใช้แรงงานคน ยังเป็นการลดต้นทุนการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมลดค่าจ้างจากแรงงานมนุษย์ และป้องกันอันตรายทางอ้อมที่อาจจะเกิดขึ้นกับแรงงานมนุษย์โดยการใช้เครื่องมือแทน เครื่องคัดแยกชิ้นงานโดยใช้การส่งผ่านคลื่นเสียง นี้มีขนาดเล็กมีน้ำหนักเบา ง่ายต่อการใช้งานและให้ผลที่แม่นยำใช้เวลาอันน้อยในการประมวลผล

วิทยานิพนธ์นี้ มุ่งเน้นการออกแบบเครื่องคัดแยกชิ้นงานโดยใช้การส่งผ่านคลื่นเสียง ที่ไม่มีผลกระทบต่อหรือเกิดความเสียหายต่อการนำชิ้นงานหรือลดประโยชน์ของชิ้นงานนั้น สามารถคัดแยกชิ้นงานและชนิดของโลหะตัวอย่าง 8 ชนิด ได้อย่างมีประสิทธิภาพมีความถูกต้องและชัดเจน

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาความรู้ทางด้านของเสียงและนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย
2. เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิคการวัดค่าความแรงจากคลื่นสะท้อนของเสียงในการตัดแยกชิ้นงาน
3. เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดแยกชิ้นงานโดยใช้การส่งผ่านคลื่นเสียง
4. เพื่อออกแบบอุปกรณ์ให้มีราคาถูกและสามารถเคลื่อนย้ายให้ใช้งานนอกเหนือจากห้องวิจัยได้
5. เพื่อเสนออีกแนวทางหนึ่งสำหรับการตัดแยกโลหะโดยวิธีที่ไม่ส่งผลกระทบต่อวัตถุ

## 1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

ปัจจุบันเครื่องมือที่ใช้ในการตัดแยกชิ้นงานโลหะยังมีน้อยและไม่แพร่หลาย นิยมใช้ความชำนาญส่วนบุคคลมากกว่า ด้วยวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันออกไปในภาคอุตสาหกรรม หากมีเครื่องมือที่สามารถใช้งานได้จริง มีขนาดที่เล็กราคาถูกจะทำให้มีการพัฒนาเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพรวดเร็วและทั่วถึงมากยิ่งขึ้น

## 1.4 แนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย

การออกแบบเครื่องมือในการตัดแยกชิ้นงานโดยใช้การส่งผ่านคลื่นเสียง และชนิดของโลหะที่ราคาไม่แพง มีขนาดเล็กพกพาสะดวก การทดสอบที่ไม่ทำลายหรือสร้างความเสียหายให้แก่วัตถุการทำงานอย่างง่าย โดยเครื่องมือที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 1.5 ขอบเขตงานวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีการออกแบบเครื่องมือในการตัดแยกชิ้นงานโดยใช้การส่งผ่านคลื่นเสียง ประกอบไปด้วย 2 วิธีการคือ 1.การตัดแยกชิ้นงานด้วยเสียงโดยวิธีการเคาะ 2.การตัดแยกชิ้นงานโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก การตัดแยกชิ้นงานด้วยเสียงโดยวิธีการเคาะจากนั้นใช้การแปลงฟูเรียร์ ใช้โปรแกรม MATLAB ในการเขียนซอฟต์แวร์และตรวจสอบบนคอมพิวเตอร์ การออกแบบเครื่องเคาะโดยใช้หลักการขดลวดโซลินอยด์ และควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ ในส่วนของการตัดแยกชิ้นงานโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกเป็นการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานและสร้างคลื่นอัลตราโซนิก ในการประมวลผลคือการนำคลื่นความถี่คลื่นอัลตราโซนิกที่สะท้อนกลับออกมาแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการใช้การจับความแรงของสัญญาณเสียงที่สะท้อนกลับในคาบเวลานั้นเป็นตัวแยกความต่างชนิดของชิ้นงาน

## 1.6 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท โดยมีรายละเอียดดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ สมมติฐาน ตลอดจนแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย และขอบเขตของการวิจัย

บทที่ 2 กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ได้กล่าวถึงทฤษฎีเบื้องต้นของคลื่นเสียง การสะท้อนของคลื่นเสียง ความรู้พื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์และอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ การแปลงฟูเรียร์ หลักการของวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive Testing)

บทที่ 3 การออกแบบและพัฒนา ซึ่งจะกล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบพัฒนาเครื่องคัดแยกชิ้นงานโดยใช้การส่งผ่านคลื่นเสียงทั้ง 2 วิธี

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง แสดงผลลัพธ์ของการทดลองของวิธีทั้ง 2 วิธี

บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัย กล่าวถึงบทสรุปของงานวิจัย และแนวทางในการพัฒนาต่อ

## บทที่ 2

# หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 บทนำ

ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดแยกชิ้นงานโดยใช้การส่งผ่านคลื่นเสียง ซึ่งจะกล่าวถึงความรู้เรื่อง ของคลื่นเสียง ทฤษฎีเกี่ยวกับเรื่องของคลื่นของเสียงต่างๆเพื่อนำมาใช้เป็นหลักการออกแบบ การแปลงฟูเรียร์ เทคนิคการประยุกต์การทำงานของคลื่นเสียงในการทดสอบโดยไม่ทำลายชิ้นพื้นฐานและรู้จักการทำงาน ของไมโครคอนโทรลเลอร์ อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์และบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

### 2.2 เสียง

#### 2.2.1 เสียง

เสียงคือคลื่นกลที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุ เมื่อวัตถุเกิดการสั่นสะเทือนก็จะทำให้เกิดการอัด และขยายตัวของคลื่นเสียงโดยผ่านตัวกลาง เสียงเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่ทำให้ประสาทหูเกิดความรู้สึกได้ การ เคลื่อนที่ของเสียงจากตัวก่อกำเนิด เสียงต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายโอนพลังงาน การสั่นของตัวก่อกำเนิด เสียงนั้นไปยังสิ่งต่าง ๆ

#### 2.2.2 ความถี่

ความถี่คือ ระดับเสียง (Pitch) หมายถึง เสียงสูงเสียงต่ำ สิ่งที่ทำให้เสียงแต่ละเสียงสูงต่ำแตกต่างกัน นั้น ขึ้นอยู่กับความเร็วในการสั่นสะเทือนของวัตถุ โดยมีหน่วยคือ เฮิรตซ์ (Hertz, Hz)

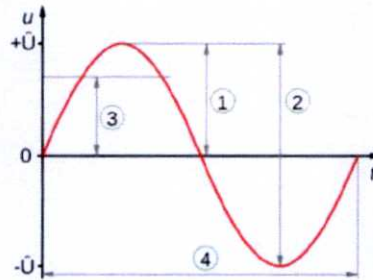
#### 2.2.3 ความยาวช่วงคลื่น

ความยาวช่วงคลื่น (Wavelength) หมายถึง ระยะทางระหว่างยอดคลื่นสองยอดที่ติดกันซึ่งเกิดขึ้น ระหว่างการอัดตัวของคลื่นเสียง ยิ่งความยาวช่วงคลื่นมีมากความถี่ของเสียงระดับเสียงยิ่งต่ำลง

#### 2.2.4 แอมพลิจูด

แอมพลิจูด (Amplitude) หมายถึง ความสูงระหว่างยอดคลื่นและท้องคลื่นของคลื่นเสียง แอมพลิจูด ของคลื่นเสียง แสดงถึง ความดัง - ค่อย ของเสียง แสดงถึงความเข้มของเสียง (Intensity) หรือความดังของ เสียง (Loudness) ยิ่งแอมพลิจูดมีค่ามาก ความเข้มหรือความดังของเสียงก็ยิ่งเพิ่มขึ้น แอมพลิจูดคือขนาดของ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากการแกว่งตัวในระบบตัวอย่างเช่น คลื่นเสียง คือการแกว่งตัวของแรงดันใน บรรยากาศ แอมพลิจูดคือการเปลี่ยนแปลงของแรงดันในแต่ละรอบ ถ้าการเปลี่ยนแปลงนี้อยู่ในคาบการแกว่ง

ตัวปกติ จะสามารถวาดเส้นกราฟของระบบออกมาโดยให้ค่าการเปลี่ยนแปลงเป็นแกนตั้ง และเส้นเวลาเป็นแกนนอน แสดงให้เห็นภาพของแอมพลิจูดเป็นการเปลี่ยนแปลงขนาดขึ้นลงในแนวตั้งระหว่างจุดสูงสุดและจุดต่ำสุดแสดงดังรูปที่ 2.1



กราฟชายน

1 = Peak amplitude ( $\hat{U}$ ),

2 = **Peak-to-peak** amplitude ( $2\hat{U}$ ),

3 = **RMS** amplitude ( $\hat{U}/\sqrt{2}$ ),

รูปที่ 2.1 แสดงแอมพลิจูด

### 2.2.5 การเคลื่อนที่ของเสียงผ่านตัวกลาง

เสียงต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ ลักษณะโดยทั่วไปของคลื่นเสียงเป็นดังนี้

- เสียงเกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุ มีผลให้อนุภาคของตัวกลางที่เกิดเสียงเคลื่อนที่ผ่านเกิดการสั่น

ในลักษณะของการอัดและขยายไปถึงหูเกิดการได้ยิน

- เสียงเป็นคลื่นเพราะมีคุณสมบัติของคลื่นครบถ้วน คือ มีการสะท้อน การหักเห การแทรกสอด และการเลี้ยวเบน

- เสียงเป็นคลื่นตามยาว เพราะอนุภาคของตัวกลางสั่นในทิศทางเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น

- ช่วงอัดเป็นช่วงที่เกิดจากการที่โมเลกุลอากาศรวมตัวกัน ทำให้บริเวณนั้นเป็นช่วงที่มีความดันสูงกว่า

ปกติ

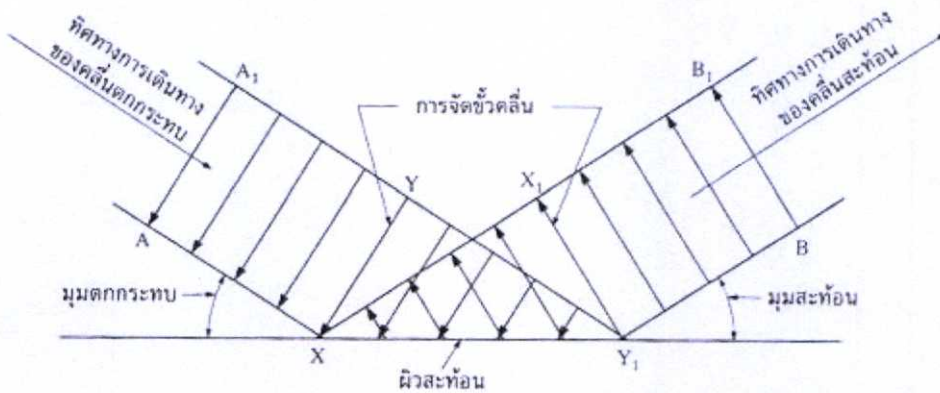
- ช่วงขยายเป็นช่วงที่เกิดจากการที่โมเลกุลอากาศแยกห่างจากกัน ทำให้บริเวณนั้นเป็นช่วงที่มีความ

ดันต่ำ

### 2.2.6 การสะท้อนของเสียง

เมื่อคลื่นเสียงจากต้นกำเนิดเสียงเดินทางจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่งที่มีความหนาแน่นต่างกัน เสียงจะเกิดการสะท้อน เช่น เสียงเดินทางจากอากาศไปยังกำแพง

- เสียงเดินทางจากตัวกลางที่หนาแน่นมากไปยังตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า จะทำให้เสียงสะท้อนเพียงบางส่วนเท่านั้น โดยที่คลื่นสะท้อนกลับจะมีเฟสเดิม ส่วนที่เหลือจะเคลื่อนที่ต่อไป
- เสียงเดินทางจากตัวกลางที่หนาแน่นน้อยกว่าไปยังตัวกลางที่หนาแน่นมากกว่า จะทำให้เสียงสะท้อนกลับมีเฟสเปลี่ยนไป 180 องศา
- การสะท้อนของคลื่นเสียงมีหลักการเดียวกับคลื่นทั่วไป คือ
  - รังสีตกกระทบ เส้นปกติและรังสีสะท้อนต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน
  - มุมตกกระทบ = มุมสะท้อนแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การสะท้อนของเสียง

### 2.2.7 การได้ยินเสียง

เสียงทุกชนิดที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นคลื่นเสียง จะมากระทบใบหูและหูจะด้อนคลื่นเสียงไปกระทบเยื่อแก้วหู เยื่อแก้วหูจะถ่ายทอดความสั่นสะเทือนไปยังกระดูกค้อน กระดูกทั่ง และกระดูกโกลน ของเหลวในท่อรูปหอยโข่งและประสาทรับเสียงจะถูกกระตุ้นแล้วส่งความรู้สึกไปสู่สมอง เพื่อแปลความหมายจากเสียงการได้ยินเสียงในแต่ละครั้ง มีองค์ประกอบสำคัญ 3 ประการ คือ

1. แหล่งกำเนิดเสียง
2. ตัวกลาง
3. ประสาทรับเสียง

เมื่อมีองค์ประกอบ 3 ประการครบแล้ว เราอาจจะได้ยินหรือไม่ได้ยินก็ได้ขึ้นอยู่กับสิ่งสำคัญ 2 ประการ คือ

1. ความถี่ของเสียง
2. ความเข้มของเสียง

ลักษณะของเสียงที่ได้ยิน แบ่งได้ 3 ลักษณะ คือ

### 1. เสียงดัง-ค่อย

เสียงดัง-ค่อย ขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดของคลื่นเสียง

ถ้าคลื่นเสียงมีแอมพลิจูดมาก เสียงดังมาก

ถ้าคลื่นเสียงมีแอมพลิจูดน้อย เสียงจะดังน้อย

### 2. เสียงแหลม-ทุ้ม

เสียงแหลม-ทุ้ม (หรือระดับเสียง) ขึ้นกับความถี่ของเสียง

ถ้าคลื่นเสียงมีความถี่สูง เสียงจะแหลม

ถ้าคลื่นเสียงมีความถี่ต่ำ เสียงจะทุ้ม

ความถี่ต่ำสุด และ ความถี่สูงสุดที่หูคนปกติได้ยิน = 20 ถึง 20,000 Hz

- คลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำกว่า ช่วงคลื่นที่เราได้ยิน เรียกว่า Infrasonic

- คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า ช่วงคลื่นที่เราได้ยิน เรียกว่า Ultrasonic

### 2.2.8 การประยุกต์ความรู้เรื่องเสียง

จากการศึกษาธรรมชาติและสมบัติของเสียง สามารถนำความรู้ต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ประโยชน์ต่าง ๆ หลายด้านด้วยกัน เช่น

#### 1. ด้านสถาปัตยกรรม

การออกแบบอาคาร ห้องประชุมต่าง ๆ มักต้องคำนึงเกี่ยวกับเสียงสะท้อนกลับ ว่าต้องการให้มีหรือไม่มี ถ้าต้องการให้มีมากน้อยเพียงใด

- ถ้าต้องการให้มีมากก็ต้องออกแบบผนังห้อง เพดาน ให้เกิดเสียงสะท้อนกลับมาเสริมกัน

- ถ้าลดเสียงสะท้อนกลับ ต้องออกแบบให้เกิดเสียงสะท้อนกลับมาหักล้างกัน

#### 2. ด้านการประมง

- เรือประมงใช้เครื่องโซนาร์ (SONAR = Sound Navigation and Ranging) หาดำแหน่งของฝูงปลา

- SONAR จะใช้คลื่นเหนือเสียงที่มีความถี่ในช่วง 20 - 100 กิโลเฮิร์ตซ์

- การทำงานของ SONAR จะส่งคลื่นเหนือเสียงออกไปเป็นจังหวะ เมื่อคลื่นกระทบฝูงปลาจะสะท้อนกลับมาอย่างรวดเร็ว และสัญญาณเสียงถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าผ่านเครื่องวิเคราะห์สัญญาณ ซึ่งจะบอกช่วงห่างของเวลาระหว่างสัญญาณเสียงที่ส่งออกไปกับสัญญาณเสียงที่สะท้อนกลับ และแปลงช่วงเวลาเป็นระยะห่างของวัตถุที่สะท้อนโดยจะแสดงผลออกมาทางจอภาพ

- นอกจากนี้เขายังใช้คลื่นเหนือเสียงสื่อสารระหว่างเรือด้วยกันอีกด้วย

### 3. ด้านการแพทย์

- แพทย์ได้นำคลื่นเหนือเสียงมาใช้ในการตรวจอวัยวะภายในของคนเรา เพื่อวินิจฉัยสาเหตุของความผิดปกติ เช่น การตรวจการทำงานของลิ้นหัวใจ ตรวจมดลูก ตรวจครรภ์ ตรวจเนื้องอก ตับ ม้าม และสมอง

- คลื่นเหนือเสียงสามารถสะท้อนที่รอยต่อระหว่างชั้นของเนื้อเยื่อต่าง ๆ ได้ดีกว่ารังสีเอกซ์มาก

- คลื่นเหนือเสียงที่ใช้ในวงการแพทย์เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานคลื่นเหนือเสียงด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีความถี่ในช่วง 1 - 10 Hz

- คลื่นกลเหนือเสียงผ่านผิวหนังเข้าสู่ร่างกายไปกระทบเนื้อเยื่อ ซึ่งมีความหนาแน่นต่างกัน สะท้อนคลื่นได้ดีต่างกัน เครื่องรับคลื่นสะท้อนจะเปลี่ยนเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งเมื่อผ่านเครื่องวิเคราะห์คลื่นสัญญาณแล้ว ส่งไปยังคอมพิวเตอร์ส่งผลสรุปออกทางจอภาพ

### 4. ด้านธรณีวิทยา

การสำรวจธรณีฟิสิกส์นั้นเป็นขั้นตอนการสำรวจโดยการศึกษาความแตกต่างและคุณสมบัติทางกายภาพของชั้นหิน เช่น การวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กโลก การวัดค่าแรงดึงดูดของโลก การวัดความไหวสะเทือน ทั้งนี้เพื่อนำมาศึกษาและแปลความหมายประกอบกับการสำรวจธรณีวิทยา การสำรวจน้ำมันโดยการระเบิดบางจุดบนพื้นดิน แรงระเบิดจะสั่นสะเทือนไปทุกทิศทุกทาง เมื่อถึงชั้นหินก็จะสะท้อนกลับและมีเครื่องมือวัดแรงสะท้อน ซึ่งบอกเวลาและแรงสั่นสะเทือนออกมาในกระดาษจากข้อมูลพอจะบอกลักษณะของแอ่งน้ำมัน

### 5. ด้านวิศวกรรม และอุตสาหกรรม

- คลื่นเหนือเสียงยังสามารถนำไปใช้ตรวจรอยร้าวในวัตถุที่หีบ ๆ เช่น รอยร้าวในท่อแก๊สหรือรอยร้าวบนรางรถไฟ

- หลักการทำงานส่งคลื่น Ultrasonic ออกไปแล้วรับคลื่นสะท้อนกลับ แต่เปลี่ยนคลื่นสะท้อนกลับให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า สัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากส่วนปกติกับส่วนที่เป็นรอยร้าวจะมีความแตกต่างกัน

## 2.3 คลื่น

คลื่น หมายถึง ลักษณะของการถูกรบกวนที่มีการแผ่กระจายเคลื่อนที่ออกไป ในลักษณะของการกวัดแกว่ง หรือกระเพื่อม และมักจะมีการส่งถ่ายพลังงานไปด้วย คลื่นเชิงกลซึ่งเกิดขึ้นในตัวกลาง (ซึ่งเมื่อมีการปรับเปลี่ยนรูปจะมีความแข็งแรงยืดหยุ่นในการติดตัวกลับ) จะเดินทางและส่งผ่านพลังงานจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในตัวกลาง โดยไม่ทำให้เกิดการเคลื่อนตำแหน่งอย่างถาวรของอนุภาคตัวกลาง คือไม่มีการส่งถ่ายอนุภาคนั้นเอง แต่จะมีการเคลื่อนที่กวัดแกว่ง (Oscillation) ไปกลับของอนุภาค อย่างไรก็ตามสำหรับการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และการแผ่รังสีแรงดึงดูด นั้นสามารถเดินทางในสุญญากาศได้ โดยไม่ต้องมีตัวกลาง

ลักษณะของคลื่นนั้นจะระบุจากสันคลื่น หรือยอดคลื่น (ส่วนที่มีค่าสูงชัน) และท้องคลื่น (ส่วนที่มีค่าต่ำลง) ในลักษณะตั้งฉากกับทิศทางเดินคลื่น เรียก "คลื่นตามขวาง" (Transverse Wave) หรือขนานกับทิศทางเดินคลื่น เรียก "คลื่นตามยาว" (Longitudinal Wave)

### 2.3.1 การเคลื่อนที่ของคลื่น

คลื่นที่ไม่เคลื่อนที่เรียก คลื่นนิ่ง (Standing Wave) เช่น การสั่นของสายไวโอลิน ส่วนคลื่นที่มีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งเรียก คลื่นเคลื่อนที่ (Travelling Wave) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 การรบกวนในตัวกลางนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา  $t$  และระยะทาง  $z$  (กรณีทิศทางเคลื่อนที่ของคลื่น คือ  $z$ ) อยู่ในรูปทางคณิตศาสตร์ดังสมการที่ 2.1

$$Y = A(z,t)\cos(\omega t - kz + \phi) \quad (2.1)$$

โดย	$A(z,t)$	คือ	การเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูด
	$k$	คือ	เลขคลื่น (Wave Number)
	$\phi$	คือ	เฟส (rad)
	$v$	คือ	ความเร็วของคลื่น (m/s)

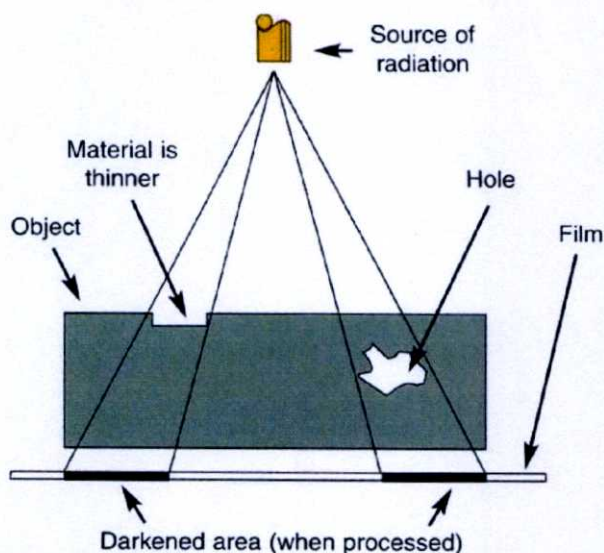
## 2.4 การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive Testing)

เป็นการทดสอบคุณสมบัติ สมรรถภาพ และตรวจสอบว่ามีความบกพร่องเกิดขึ้นในวัสดุหรือโครงสร้างหรือไม่ โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหาย ต่อรูปร่าง ขนาด หรือสมบัติของชิ้นทดสอบแต่อย่างใด เป็นสาขาหนึ่งของวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับทุกวิธีของการตรวจสอบและการประเมินจุดบกพร่องในวัสดุต่างๆ การทดสอบจะไม่มี ผลกระทบหรือเกิดความเสียหาย ต่อการนำชิ้นงานไปใช้งานหรือลดประโยชน์ของชิ้นงานนั้น มีหลักการทางฟิสิกส์ที่ใช้ หลากหลายวิธี

### 2.4.1 การทดสอบโดยวิธีภาพถ่ายรังสี (Radiographic Testing)

การทดสอบโดยวิธีภาพถ่ายรังสี (Radiographic Testing) เป็นการทดสอบโดยการปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูง จากแหล่งกำเนิดรังสีผ่านชิ้นงาน ซึ่งอาจทำจากวัสดุชนิดต่างๆ อาศัยหลักการดูดซับพลังงานที่ไม่เท่ากันของวัสดุหรือการที่วัสดุมีความหนาแน่นไม่เท่ากัน เช่นมีโพรงอากาศอยู่ภายใน ทำให้พลังงานของรังสีผ่านชิ้นงานตรงบริเวณที่เป็นโพรงได้มากกว่า และทำปฏิกิริยากับสารไวแสงที่เคลือบอยู่บนผิว

ฟิล์มได้มากกว่าส่วนอื่น เมื่อล้างฟิล์มออกมาแล้วก็มีสีคล้ำกว่าบริเวณอื่น ดังนั้นการถ่ายภาพด้วยรังสีจึงเป็นการแปรผลจากเงาของภาพชิ้นงานที่ ปรากฏอยู่บนฟิล์มแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การทดสอบโดยวิธีภาพถ่ายรังสี

ส่วนประกอบหลักของการทดสอบด้วยวิธีถ่ายภาพรังสีมีอยู่ 3 ส่วนคือ 1.ต้นกำเนิดรังสี (Source of Radiation) ส่วนให้ใช้ รังสีแกมมา และรังสีเอ็กซ์ 2. ชิ้นงานทดสอบ 3. ฟิล์ม

ข้อเด่นของการทดสอบโดยวิธีภาพถ่ายรังสี

- 1) สามารถแปรผลจากฟิล์ม ทำให้ง่ายกว่าการแปรผลจากสัญญาณการทดสอบบางวิธี
- 2) มีภาพจากฟิล์มเก็บไว้เป็นหลักฐาน สามารถตรวจสอบผลย้อนหลังได้
- 3) สามารถทดสอบได้กับวัตถุที่เป็นโลหะและอโลหะ
- 4) การสอบเทียบเครื่องมืออยู่ที่ 1-2 ครั้งต่อปี และไม่ต้องปรับเทียบทุกครั้งก่อนทดสอบ

ข้อด้อยของการทดสอบโดยวิธีภาพถ่ายรังสี

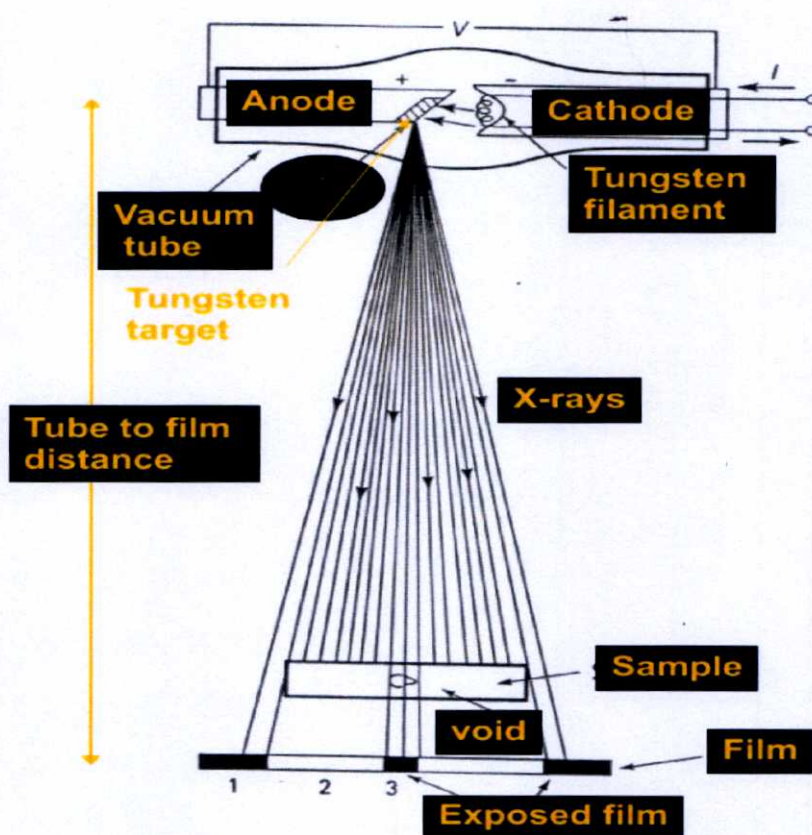
- 1) ต้องมีวิธีการป้องกันอันตรายรังสีที่ใช้ทดสอบ
- 2) ต้องเข้าถึงชิ้นงานทั้งสองด้าน (ด้านหนึ่งเป็นแหล่งกำเนิดรังสีส่วนอีกด้านหนึ่งติดฟิล์ม)

อาจไม่สะดวกต่อการทำงานในบางสภาวะ

- 3) ในกรณีที่ชิ้นงานมีความหนามาก รังสีไม่สามารถส่งผ่านทะลุถึงฟิล์มได้
- 4) ค่าใช้จ่ายตั้งต้นของเครื่องมือมีราคาสูง และมีค่าใช้จ่ายในการใช้ฟิล์มทุกครั้งที่มีการ

ทดสอบ

- 5) ไม่เหมาะสมกับชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อน



รูปที่ 2.4 X-ray Radiographic

#### 2.4.2 การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจ (Visual Testing)

การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจ (Visual Testing) คือ การตรวจพินิจหรืออาจเรียกได้ว่าการทดสอบด้วยสายตา อาจใช้อุปกรณ์อื่นช่วยตรวจสอบได้เช่น แว่นขยาย ใช้ทดสอบผิวชิ้นงานและมักทำก่อนการทดสอบแบบไม่ทำลายวิธีอื่นและบ่อยครั้งที่ชิ้นงานจะถูกตัดสินเป็นของเสียด้วยการทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจ และไม่ต้องทดสอบด้วยวิธีอื่นอีกต่อไป การทดสอบโดยวิธีการตรวจสอบแบบพินิจนี้ ผู้ปฏิบัติงานต้องมีความรู้เกี่ยวกับชิ้นงาน และรู้จักรอยความไม่ต่อเนื่องจะเกิดกับชิ้นงานนั้น อีกทั้งยังสามารถวิเคราะห์และประเมินชิ้นงานว่าเป็นของเสียหรือไม่ จะเห็นว่าการทดสอบวิธีนี้ต้องใช้ความรู้ ความชำนาญ ลักษณะการใช้งานของชิ้นงาน กระบวนการผลิตและรอยความไม่ต่อเนื่องที่มีโอกาสเกิดขึ้น รวมไปถึงประวัติการใช้งานในกรณีชิ้นงานผ่านการใช้งานมาแล้ว

ลักษณะการทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจวิธีนี้สามารถแบ่งเป็น 3 ประเภท

#### 1. การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจโดยตรง

ผู้ทดสอบต้องผ่านการตรวจสอบสายตา และผ่านข้อกำหนดตามมาตรฐานที่อ้างอิงค์ วิธีการทดสอบโดยการตรวจพินิจโดยตรง คือสายตาต้องอยู่ห่างจากชิ้นงานไม่เกิน 24 นิ้ว และทำมุมไม่ต่ำกว่า 30° กับผิวชิ้นงาน ในพื้นที่ทดสอบต้องมีความเข้มตามมาตรฐานที่อ้างอิงค์(แต่ละมาตรฐานมีข้อกำหนดต่างกัน)

#### 2. การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจโดยอ้อม

ในบางกรณีที่ทดสอบในบริเวณที่ไม่สามารถมองด้วยสายตาโดยตรงได้ จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ช่วยทดสอบระยะไกล เช่น กระจกเงา กล้อง Telescope ,Borescope หรือเครื่องมืออื่นๆ ที่มีความเหมาะสมและมีความสามารถในการแยกแยะไม่น้อยกว่ากว่าการทดสอบโดยวิธีตรวจพินิจโดยตรง

#### 3. การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจโดยใช้แสงสว่างช่วย

เป็นการช่วยเสริมการทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจโดยตรง โดยใช้แสงสว่างที่สร้างขึ้นมาใช้เฉพาะงาน เช่น การใช้แสงสว่างจากหลอดไฟจำกัดการส่องสว่างเฉพาะที่เพื่อให้พื้นที่ทดสอบมีความเข้มแสงอย่างสม่ำเสมอได้ตามมาตรฐาน และต้องควบคุมไม่ให้แสงสะท้อนผิวงานเข้าตา

ลักษณะเด่นของการทดสอบแบบ Visual Testing

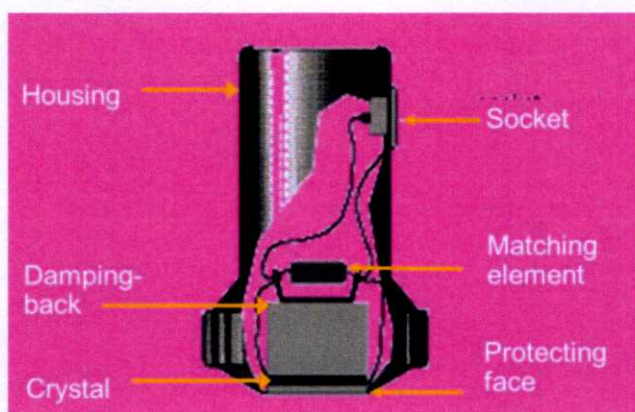
- 1) เป็นวิธีการทดสอบที่ง่าย
- 2) ใช้เวลาในการทดสอบน้อยกว่าวิธีอื่น
- 3) ต้นทุนในการทดสอบต่ำ
- 4) การอบรมบุคลากรใช้เวลาสั้น
- 5) สามารถทำการทดสอบได้ทุกขั้นตอนการผลิต
- 6) เป็นวิธีที่ใช้เครื่องมือที่ไม่ซับซ้อนหรือไม่ใช้เลย
- 7) สถานที่และรูปร่างของวัสดุไม่เป็นข้อจำกัด

ลักษณะด้อยของการทดสอบแบบ Visual Testing

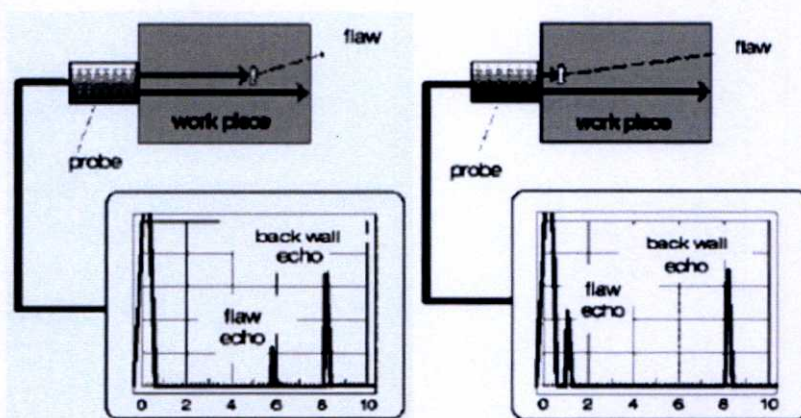
- 1) ถึงแม้เป็นวิธีทดสอบที่ง่ายแต่ต้องใช้ความรู้และความชำนาญสูง
- 2) บางครั้งไม่มีมาตรฐานในการกำหนดการตัดสินใจว่าเป็นของเสียหรือไม่
- 3) สามารถทดสอบบริเวณผิวหน้าของชิ้นงานเท่านั้น
- 4) การทดสอบต้องใช้สายตาเป็นหลัก สายตาที่อ่อนล้า อาจทำให้ตัดสินใจผิดพลาด

### 2.4.3 การทดสอบโดยคลื่นความถี่เหนือเสียง (Ultrasonic Testing)

การทดสอบโดยคลื่นความถี่เหนือเสียง (Ultrasonic Testing) คือวิธีการทดสอบโดยอาศัยคลื่นเสียงความถี่สูงที่มนุษย์ไม่สามารถได้ยินได้ (คลื่นเสียงอัลตราโซนิก จะเป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20,000 เฮิรตซ์) เสียงเดินทางในของแข็งเร็วกว่าในอากาศหรือก๊าซ เนื่องจากโมเลกุลอยู่ชิดกันมากกว่า เช่น ความเร็วของเสียงในอากาศและอลูมิเนียม เท่ากับ 333 เมตร/วินาที และ 6320 เมตร/วินาที ตามลำดับ เมื่อเสียงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็งที่เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Solids) ความเข้มของเสียงจะลดลงไม่มากนัก แต่ถ้าเสียงผ่านรอยความไม่ต่อเนื่อง (Discontinuities) ที่มีขนาดประมาณเท่ากับความยาวคลื่นหรือใหญ่กว่า เสียงจะเกิดการสะท้อน (Reflect) หรือถูกดูดกลืนโดยรอยความไม่ต่อเนื่องนั้น คลื่นเสียงความถี่สูงจะถูกสร้างขึ้นจากผลึกซึ่งอยู่ในหัวทดสอบ (Probe) แสดงดังรูปที่ 2.5 คลื่นเสียงจะเคลื่อนที่สู่ชิ้นงานโดยผ่านสารช่วยสัมผัส (Couplant) ถ้าชิ้นงานไม่มีรอยความไม่ต่อเนื่องจากหน้าจอของเครื่องมือก็จะมีสัญญาณสะท้อนจากผิวด้านล่างของชิ้นงาน (Back Wall echo) แสดงดังรูปที่ 2.6



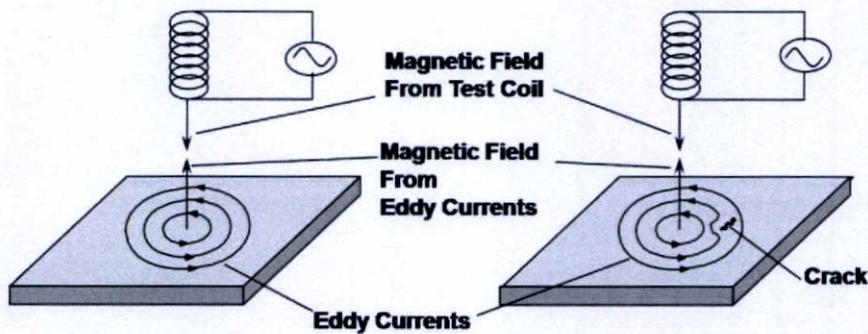
รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของ Transducer



รูปที่ 2.6 การทดสอบโดยคลื่นความถี่เหนือเสียง

#### 2.4.4 การทดสอบโดยวิธีกระแสไหลวน (Eddy Current Testing)

การทดสอบโดยวิธีกระแสไหลวน (Eddy Current Testing) คือวิธีการทดสอบโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า(Electromagnetism)ทำให้เกิดกระแสไหลวนบนชิ้นงานทดสอบและสังเกตค่า Impedance ของหัวทดสอบที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นผลมาจากกระแสไหลวนบนชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากความแตกต่างกันของคุณสมบัติ รูปร่างหรือรอยความไม่ต่อเนื่องที่อยู่ในวัสดุ โดยสามารถทดสอบวัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าได้เท่านั้นแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การทดสอบโดยวิธีกระแสไหลวน

ข้อได้เปรียบของการทดสอบ

1. มีความไวในการทดสอบสูง เหมาะสำหรับชิ้นงานที่บาง
2. หัวทดสอบมีให้เลือกหลายชนิดเหมาะสำหรับงานที่มีรูปร่างซับซ้อน
3. หัวทดสอบสามารถทนอุณหภูมิได้สูง
4. การทดสอบเป็นแบบไม่สัมผัสกับชิ้นงาน จึงทำให้สามารถทดสอบได้ อย่างรวดเร็ว
5. อุปกรณ์เป็นแบบพกพาใช้งานได้สะดวกและสามารถใช้งานร่วมกับคอมพิวเตอร์ได้

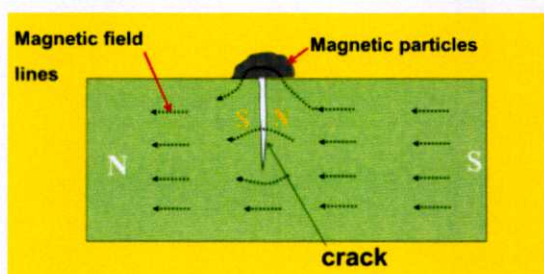
ข้อเสียเปรียบของการทดสอบ

1. สามารถทดสอบได้กับเฉพาะวัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าเท่านั้น
2. ทดสอบได้เฉพาะรอยความไม่ต่อเนื่องที่อยู่บนผิวหรือใต้ผิวลงไปเล็กน้อย
3. ลักษณะพื้นผิวและการสิ้นของหัวทดสอบมีผลต่อผลการทดสอบ
4. ต้องใช้ชิ้นงานมาตรฐานสำหรับปรับเทียบ(Calibration)สัญญาณจำนวนมาก
5. การแปรผลสัญญาณการทดสอบค่อนข้างซับซ้อนและต้องใช้ทักษะสูง

#### 2.4.5 การทดสอบด้วยอนุภาคแม่เหล็ก (Magnetic Particle Testing)

การทดสอบด้วยอนุภาคแม่เหล็ก คือ การทดสอบหารอยร้าวบนผิวของวัตถุโดยใช้หลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก วิธีการคือโรยผงเหล็กย้อมสีขนาดเล็กลงบนบริเวณที่ทดสอบ(ส่วนใหญ่จะเป็นสเปย์ผงเหล็ก) จากนั้นนำอุปกรณ์สร้างสนามแม่เหล็กอาจเป็นแม่เหล็กถาวรหรือแบบใช้ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ(Electromagnetic) ก็ได้ หากพบรอยแตกร้าวขนาดเล็กบนผิวชิ้นงานบริเวณดังกล่าวจะปรากฏเป็นผงเหล็กให้เกาะกันเป็นแนวเส้นตามรอยร้าว เนื่องจากผงเหล็กไม่สามารถกระโดดข้ามผ่านรอยแตกร้าวไป ตามเส้นแรงแม่เหล็กได้แสดงดังรูปที่

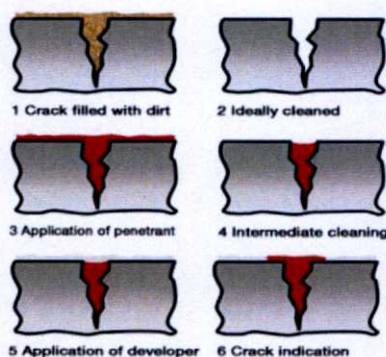
2.8



รูปที่ 2.8 การทดสอบด้วยอนุภาคแม่เหล็ก

#### 2.4.6 การตรวจสอบโดยใช้สารแทรกซึม (Liquid Penetrant Testing)

การทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม เป็นวิธีการหารอยบกพร่องหรือความไม่ต่อเนื่องที่เปิดสู่ผิว สามารถทดสอบกับวัสดุทุกชนิดที่ไม่เป็นรูพรุน เช่น แก้ว พลาสติก เซรามิค โลหะ อโลหะ เป็นต้น การทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม เป็นวิธีการหารอยบกพร่องหรือความไม่ต่อเนื่องที่เปิดสู่ผิว สามารถทดสอบกับวัสดุทุกชนิดที่ไม่เป็นรูพรุน เช่น แก้ว พลาสติก เซรามิค โลหะ อโลหะ เป็นต้นวิธีการแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การตรวจสอบโดยใช้สารแทรกซึม

### ขั้นตอนการทดสอบ

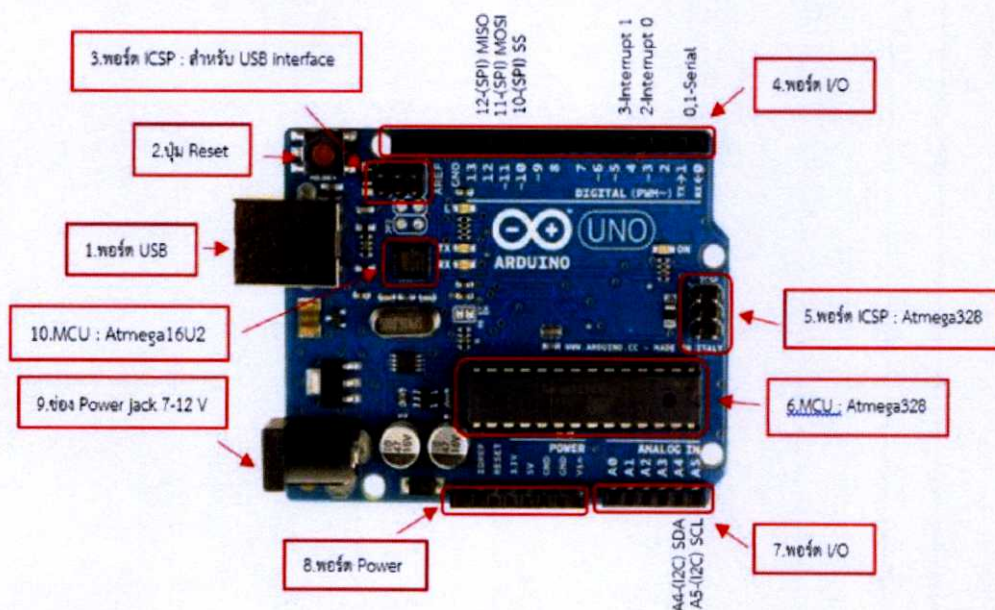
1. ทำความสะอาดผิวชิ้นงานใช้ของเหลวทาผิวหน้าให้ซึมลงไปในรอยแยกทิ้งไว้สักระยะ 3-20 นาที
2. ขจัดส่วนที่อยู่เฉพาะผิวหน้าออกไป
3. ใช้สารละลายอีกชนิดหนึ่งดูของเหลวที่ซึมลงไปในรอยแยกออกมา ทำให้มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

### จุดเด่นของวิธีการทดสอบแบบใช้สารแทรกซึม

1. ชิ้นงานไม่ถูกทำลาย
2. ทำได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว
3. สามารถทำให้มองเห็นด้วยตาเปล่าและเทคนิคไม่ซับซ้อน

## 2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์

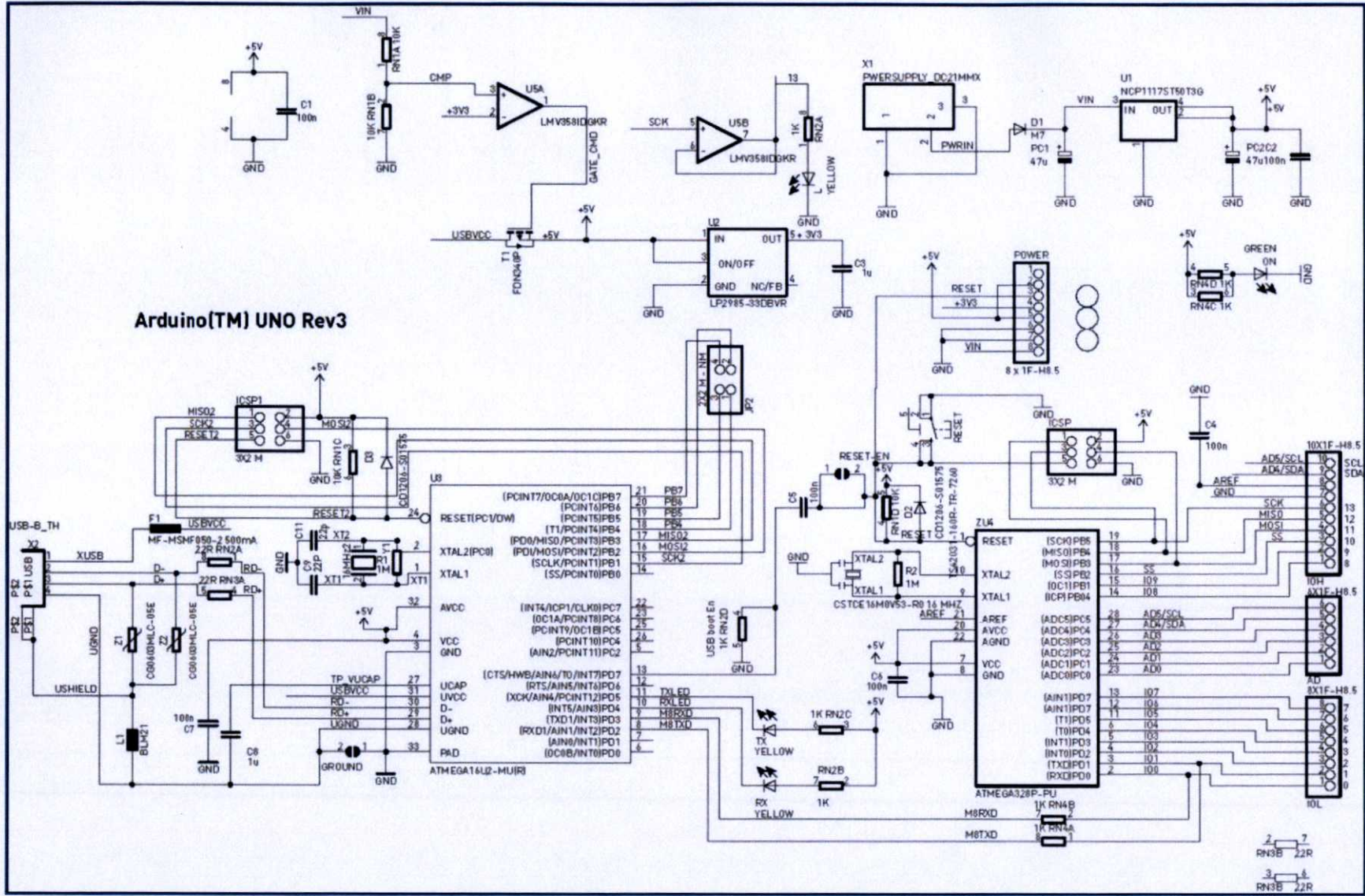
Arduino Uno R3 เป็นบอร์ดที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากราคาไม่แพงเป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ Open-source บนแพลตฟอร์ม Arduino ออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ใช้ชิพ ATmega328P รั้นที่ความถี่ 16 MHz หน่วยความจำแฟลช 32 KB แรม 2 KB บอร์ดใช้ไฟเลี้ยง 7 ถึง 12 V มีระดับแรงดันไฟฟ้าในการทำงานและขาสัญญาณอยู่ที่ 5 V (TTL) มี Digital Input / Output 14 ขา (เป็น PWM ได้ 6 ขา) มี Analog Input 6 ขา Serial UART 1 ชุด I2C 1 ชุด SPI 1 ชุด เขียนโปรแกรมบนซอฟต์แวร์ Arduino IDE และโปรแกรมผ่านพอร์ต USB แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 Model Arduino UNO R3

148250

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

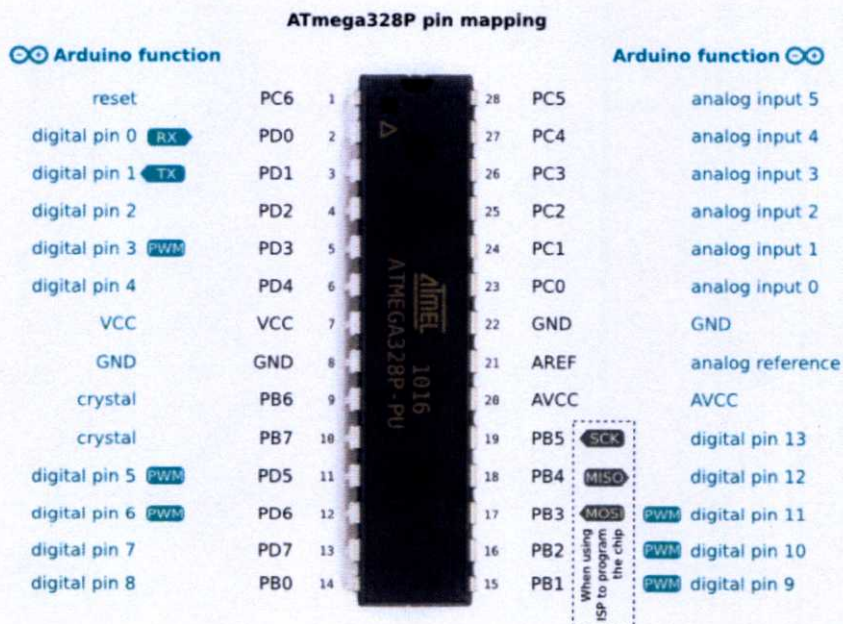


รูปที่ 2.11 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ Model Arduino UNO R3 และ iC ATmega328P

## ตำแหน่งต่างๆ

1. USBPort: ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออัปโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
2. Reset Button: เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่
3. ICSP Port ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2
4. I/OPort:Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0,1 เป็นขา Tx,Rx Serial, Pin3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM
5. ICSP Port: Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader
6. MCU: Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
7. I/OPort: นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็น ช่องรับสัญญาณอนาล็อก ตั้งแต่ขา A0-A5
8. Power Port: ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, Vin
9. Power Jack: รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V
10. MCU ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U2

## 2.5.1 IC Atmega328P



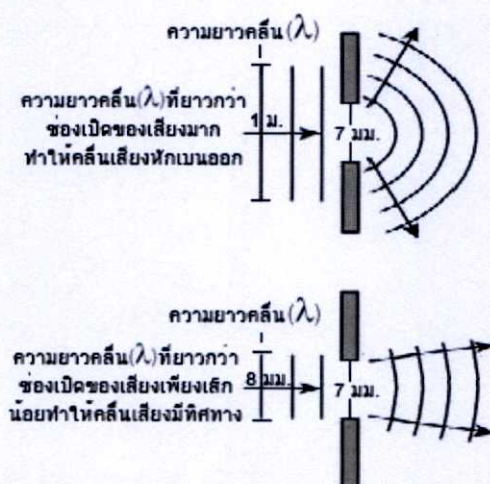
รูปที่ 2.12 IC ATmega328P pin mapping

## คุณสมบัติที่สำคัญของ IC Atmega328P

- แกนหลัก:	AVR
- ความกว้างของบัสข้อมูล	8 bit
- ค่าสูงสุดของความถี่นาฬิกา	20 MHz
- ขนาดหน่วยความจำของโปรแกรม	32 kB
- ขนาดข้อมูลใน RAM/ ROM	2 kB/1 kB
- ความละเอียดของตัวแปลงอนาล็อกเป็นดิจิทัล (ADC)	10 bit
- การจ่ายแรงดันที่ใช้งาน	1.8 V to 5.5 V
- ค่าสูงสุดและต่ำสุดของอุณหภูมิในการใช้งาน	+ 85 C /- 40 C
- ซีรี่ส์ตัวประมวลผล:	megaAVR
- ประเภทข้อมูลแบบ Ram/ Rom	SRAM/ EEPROM
- ความสูง/ความกว้าง/ความยาว	4.57 mm/7.49 mm/34.8 mm
- ประเภทอินเตอร์เฟส	I2C, SPI, USART

## 2.6 อัลตราโซนิก เซนเซอร์

คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดระยะห่างเริ่มจากหัววัดของเซนเซอร์ถึงสิ่งของต่างๆได้อย่างแม่นยำ และข้อดีของอัลตราโซนิกเซนเซอร์เมื่อเทียบกับโฟโตอิล็กทริกเซนเซอร์แบบใช้วัดระยะทางก็คือ แม้แต่ในสภาวะที่ไม่เอื้ออำนวยเช่นฝุ่นผงและความสกปรก สามารถตรวจวัดระยะห่างของวัตถุได้ดีแม้ว่าวัตถุนั้นจะมีความโปร่งใส โปร่งแสง มีความแวววาวได้อย่างแม่นยำ และยังเหมาะสำหรับการตรวจจับของเหลวและวัตถุที่เป็นเม็ดได้เป็นอย่างดี

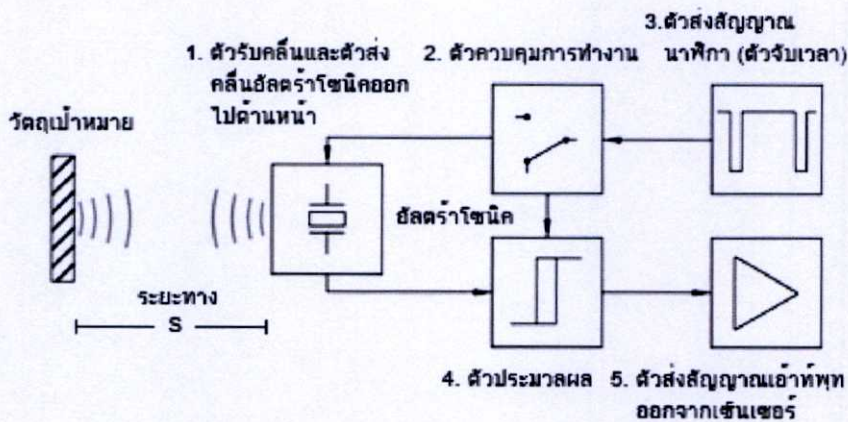


รูปที่ 2.13 แสดงการหักเบนของคลื่นเสียงที่มีทิศทาง

## หลักการทํางานของอัลตราโซนิกเซนเซอร์

อัลตราโซนิกเซนเซอร์เป็นเซนเซอร์ที่ใช้คลื่นเสียงในการตรวจจับตำแหน่งของวัตถุ โดยส่วนประกอบของตัวเซนเซอร์จะประกอบด้วย

1. ตัวส่งคลื่นอัลตราโซนิกและตัวรับคลื่นอัลตราโซนิก (อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์)
2. ตัวควบคุมการทํางาน
3. ตัวส่งสัญญาณนาฬิกา
4. ตัวประมวลผล
5. ตัวส่งสัญญาณเอาท์พุท

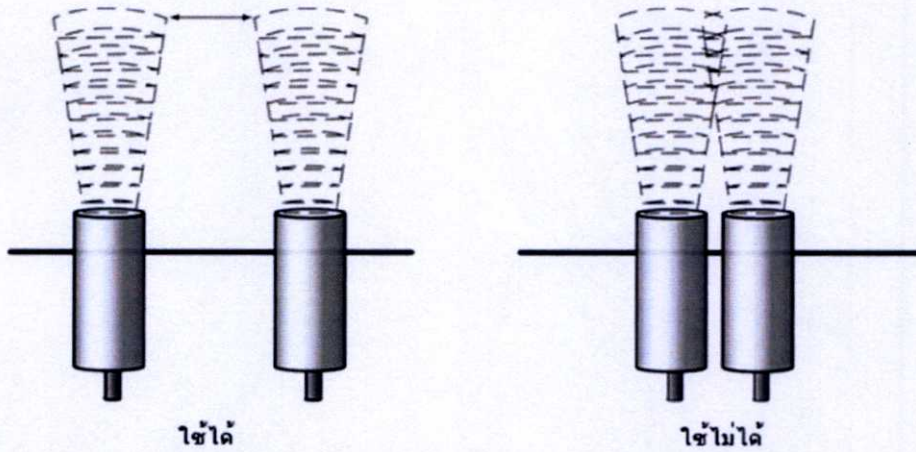


รูปที่ 2.14 ไดอะแกรมภายในอัลตราโซนิกเซนเซอร์

โดยตัวเซนเซอร์จะทํางานโดย ตัวส่งสัญญาณจะส่งสัญญาณนาฬิกาไปที่ตัวคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมการแปลงสัญญาณ แล้วส่งไปที่ตัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ซึ่งแบ่งเป็นสองส่วนคือ ตัวส่งและตัวรับ ตัวส่งจะสร้างคลื่นเสียงอัลตราโซนิก จากสัญญาณไฟฟ้าแล้วส่งคลื่นเสียงความถี่สูงหรืออัลตราโซนิกออกไปเป็นแนวตรง และเมื่อคลื่นเสียงอัลตราโซนิกไปกระทบกับวัตถุใดๆ ตามหลักการของคลื่นเสียง คือ มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน คลื่นเสียงจะถูกสะท้อนกลับมายังตัวรับคลื่นเสียงอัลตราโซนิก เมื่อตัวรับได้รับคลื่นเสียงที่ถูกสะท้อนกลับมาแล้ว ตัวรับจะแปลงคลื่นเสียงอัลตราโซนิกนั้นเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วส่งต่อ ให้ตัวประมวลผล ตัวประมวลผลจะทำการคำนวณค่าระยะห่างจากระยะทางที่คลื่นเสียงเดินทางไปและเดินทางกลับอย่างแม่นยำ และส่งค่าที่คำนวณได้ไปให้ตัวส่งสัญญาณเอาท์พุท เพื่อส่งสัญญาณเอาท์พุทไปให้อุปกรณ์อื่นต่อไป ซึ่งหลักการวัดระยะห่างของเซนเซอร์ชนิดอัลตราโซนิกนี้ มีประโยชน์เป็นอย่างมากเนื่องจากสามารถนำไปตรวจจับวัตถุได้เกือบทุกประเภท เหมาะสำหรับการวัดระยะสิ่งของที่อยู่ระยะไกลมากๆ ในสภาวะอากาศที่เลวร้าย มีความสกปรกมากหรือมีฝุ่นมาก และยังสามารถใช้กับวัตถุที่เป็นของเหลววัตถุที่มีพื้นผิววัตถุเป็นแบบมันวาว โปรง

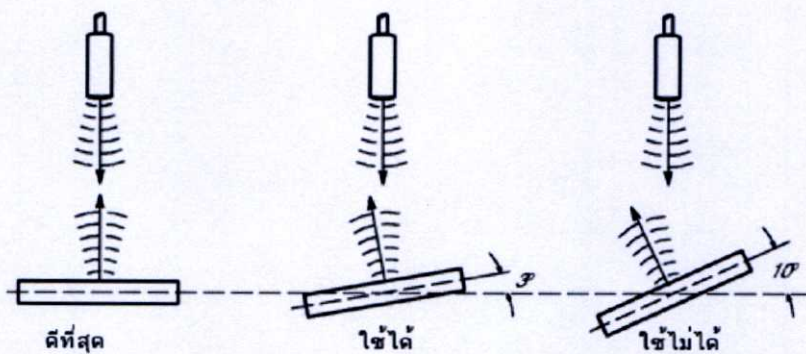
แสงหรือโปร่งใส ซึ่งเซนเซอร์ชนิดอื่นจะทำได้ไม่ดีเทียบเท่ากับอัลตราโซนิกเซนเซอร์ เนื่องจากการใช้คลื่นเสียงในการทำงาน ทำให้ไม่ถูกรบกวนด้วยสิ่งต่างๆ

การจัดวางตำแหน่งของเซนเซอร์แสดงดังรูปที่ 2.14



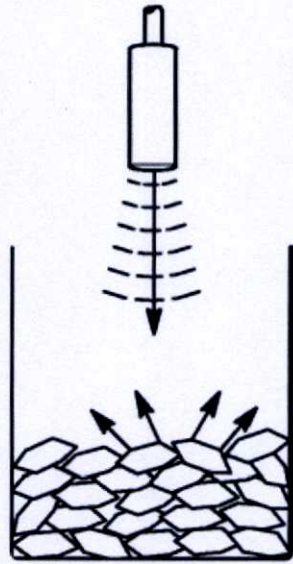
รูปที่ 2.15 การเว้นระยะห่างของเซนเซอร์

การเว้นระยะห่างของตัวเซนเซอร์ อัลตราโซนิกเซนเซอร์เป็นเซนเซอร์ที่ใช้การส่งคลื่นเสียงในการทำงานทำให้ต้องมีการเว้นระยะห่างของตัวเซนเซอร์ควรเว้นระยะห่างของเซนเซอร์ เพื่อไม่ให้คลื่นเสียงที่ส่งออกไปมีการรบกวนกัน เพื่อประสิทธิภาพและความแม่นยำในการตรวจจับของตัวเซนเซอร์ การวางสิ่งของที่จะทำการตรวจจับ ควรจัดวางสิ่งของที่จะทำการตรวจจับให้มีระยะที่สามารถสะท้อนคลื่นเสียงที่ส่งไปกลับมาได้ตามคุณสมบัติของคลื่นเสียงที่ว่า มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อนแสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.16 การจัดวางแนวระนาบของสิ่งของ

วัตถุที่จะทำการสะท้อนนั้น ควรจะมีลักษณะเป็นแนวราบ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการตรวจจับดีที่สุด ถ้าวัตถุที่ทำการตรวจจับเป็นชิ้นเล็กๆหรือมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน จะทำให้ความสามารถในการตรวจจับและความแม่นยำลดลง

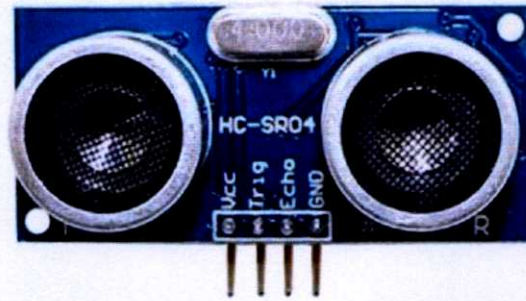


รูปที่ 2.17 การตรวจจับวัตถุที่มีรูปร่างไม่แน่นอน

#### 2.6.1 โมดูลอัลตราโซนิก Ultrasonic HC-SR04

HC-SR04 เป็นเซนเซอร์โมดูลสำหรับตรวจจับวัตถุและวัดระยะทางแบบไม่สัมผัส โดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก ซึ่งเป็นคลื่นเสียงความถี่สูงเกินกว่าการได้ยินของมนุษย์ วัดระยะได้ตั้งแต่ 2 - 400 เซนติเมตร หรือ 1 - 156 นิ้ว สามารถต่อใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ง่าย ใช้พลังงานต่ำ เหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้งานด้านระบบควบคุมอัตโนมัติ หรืองานด้านหุ่นยนต์ หลักการทำงาน จะเหมือนกันกับการตรวจจับวัตถุด้วยเสียงของค้างคาว ตามรูปที่ 1 โดยจะประกอบไปด้วยตัว รับ-ส่ง อัลตราโซนิก ตัวส่งจะส่งคลื่นความถี่ 40 kHz ออกไปในอากาศด้วยความเร็วประมาณ 346 เมตรต่อวินาที และตัวรับจะคอยรับสัญญาณที่สะท้อนกลับจากวัตถุ เมื่อทราบความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่น, เวลาที่ใช้ในการเดินทางไป-กลับ (t) ก็จะสามารถคำนวณหาระยะห่างของวัตถุ (S) ได้จากสมการที่ 2.2

$$S = 346 \times 0.5t \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.18 โมดูลอัลตราโซนิก HC-SR04

ตัว Ultrasonic sensor มีอยู่ด้วยกัน 4 pin คือ VCC GND Trig และ Echo

- VCC ต่อที่ขา 4
- GND ต่อที่ขา 7
- Trig ต่อที่ขา 5
- Echo ต่อที่ขา 6

ตัว VCC จะถูกใช้เป็นตัวควบคุมการเริ่มทำงาน หรือ หยุดทำงานของอุปกรณ์ จากนั้นสัญญาณเริ่มต้นในการปล่อยพัลส์จะถูกส่งไปที่ ขา Trig และ สัญญาณ Echo จะถูกส่งกลับไปที่ตัว Arduino เพื่อคำนวณระยะทางต่อไป

คุณสมบัติที่สำคัญของโมดูล HC-SR04

- ใช้แรงดันประมาณ +5V
- กินกระแสประมาณ 15mA
- ช่วงการวัดระยะทาง (measurement range): ประมาณ 4cm ถึง 4m
- ความกว้างเชิงมุมในการวัด (measuring angle): 15 องศา
- ความกว้างของสัญญาณ Pulse สำหรับ Trigger: 10 usec
- ระดับแรงดันลอจิกสำหรับขา TRIG และ ECHO: 5V TTL

## 2.7 การแปลงฟูรีเย

การแปลงฟูรีเย (อังกฤษ: Fourier Transform) ตั้งชื่อตาม โฌแซ็ฟ ฟูรีเย หมายถึงการแปลงเชิงปริพันธ์ โดยเป็นการเขียนแทนฟังก์ชันใดๆ ในรูปผลบวก หรือปริพันธ์ของฐานที่เป็นฟังก์ชันรูปคลื่น ไซน์หรือโคไซน์

### 2.7.1 การแปลงฟูรีเยแบบต่อเนื่อง

โดยปกติแล้วคำ "การแปลงฟูรีเยอร์" จะใช้หมายถึง การแปลงฟูรีเยต่อเนื่อง ซึ่งเป็นการเขียนแทนฟังก์ชัน  $f(t)$  ดังสมการที่ 2.3 ที่สามารถหาปริพันธ์ของกำลังสองได้ ด้วยผลบวกของฟังก์ชันเอกซ์โปเนนเชียลเชิงซ้อน ซึ่งมี ความถี่เชิงมุม  $\omega$  และขนาด (หรือแอมพลิจูด) เป็นจำนวนเชิงซ้อน  $F(\omega)$

$$f(t) = F^{-1}(F)(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad (2.3)$$

ความสัมพันธ์ด้านบนคือ การแปลงกลับของการแปลงฟูรีเยแบบต่อเนื่อง (Inverse Fourier Transform) ส่วนการแปลงฟูรีเยที่ปกติกจะเขียน  $F(\omega)$  ในรูปของ  $f(t)$  คู่ของฟังก์ชันดั้งเดิม และผลของการแปลงของฟังก์ชันนั้น บางครั้งก็เรียก คู่ของการแปลง (Transform Pair) ดูข้อมูลเพิ่มเติมที่การแปลงฟูรีเยต่อเนื่อง ภาคขยายของการแปลงนี้คือ การแปลงฟูรีเยแบบไม่เป็นจำนวนเต็ม (Fractional Fourier Transform) ซึ่งค่ายกกำลังของการแปลง (จำนวนการแปลงซ้ำ) นั้นไม่จำเป็นจะต้องเป็นจำนวนเต็ม สามารถเป็นค่าจำนวนจริงใดๆ

เมื่อ  $f(t)$  เป็นฟังก์ชันคู่ (ฟังก์ชันคี่) เทอม ไซน์ (โคไซน์) จะไม่ปรากฏซึ่งคงเหลือไว้แต่การแปลงโคไซน์ และการแปลงไซน์ ตามลำดับอีกกรณีหนึ่งคือ เมื่อ  $f(t)$  เป็นฟังก์ชันค่าจริงจะทำให้  $F(-\omega) = F(\omega)^*$

### 2.7.2 อนุกรมฟูรีเยอร์

การแปลงฟูรีเยต่อเนื่องนั้นเป็นภาคขยาย ของแนวความคิดที่เกิดก่อนหน้านั้นคือ อนุกรมฟูรีเยอร์ ซึ่งเป็นการเขียนแทน ฟังก์ชันคาบ (หรือฟังก์ชัน ในโดเมนจำกัด)  $f(x)$  (มีคาบ  $2\pi$ ) ด้วยอนุกรมของฟังก์ชันรูปคลื่น ดังสมการที่ 2.4

$$f(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_n e^{inx} \quad (2.4)$$

ซึ่ง  $F_n$  เป็น ค่าจำนวนเชิงซ้อนของขนาด หรือค่าจริงของขนาดเมื่อฟังก์ชันเป็นฟังก์ชันค่าจริง อนุกรมฟูรีเยอร์อาจเขียนในรูปดังสมการที่ 2.5

$$f(x) = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx)] \quad (2.5)$$

โดย  $a_n$  และ  $b_n$  เป็นค่าจำนวนจริงของขนาด ของอนุกรมฟูรีเรียร์

### 2.7.3 การแปลงฟูรีเยไม่ต่อเนื่อง

สำหรับการคำนวณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ค่าสัญญาณในทั้งสองโดเมนจำเป็นต้องมีค่าเป็นดิจิทัล ซึ่งคือฟังก์ชันค่าไม่ต่อเนื่อง  $x[n]$  บนโดเมนไม่ต่อเนื่อง แทนที่จะเป็นโดเมนต่อเนื่อง ในช่วงจำกัด หรือเป็นคาบ ในกรณีนี้เราจะใช้การแปลงฟูรีเยไม่ต่อเนื่อง (Discrete Fourier Transform-DFT) ซึ่งเขียนแทน  $x[n]$  ด้วยผลบวกของฟังก์ชันคาบดังสมการที่ 2.6

$$x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X[k] e^{\frac{2\pi i n k}{N}} \quad n = 0, \dots, N - 1 \quad (2.6)$$

โดยที่  $X[k]$  คือ ค่าขนาดบนโดเมนการแปลง การคำนวณจากสมการข้างต้นจะใช้ความซับซ้อนในการคำนวณ  $O(N^2)$  ซึ่งสามารถลดลงเหลือเพียง  $O(N \log N)$  โดยการใช้ขั้นตอนวิธีการแปลงฟูรีเยอย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform-FFT)

## บทที่ 3

### การออกแบบและพัฒนา

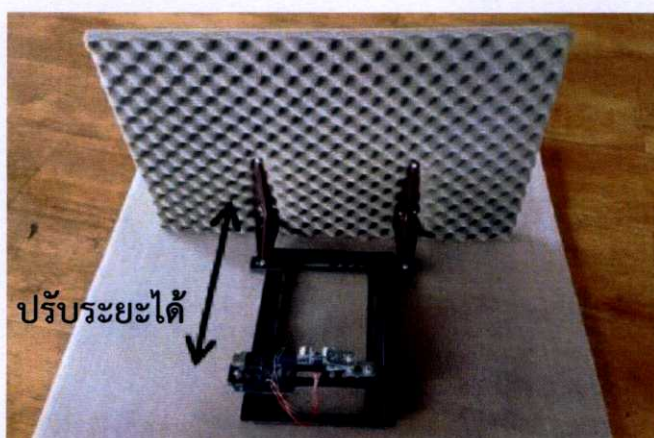
#### 3.1 บทนำ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดแยกชิ้นงานโดยใช้การส่งผ่านคลื่นเสียง โดยใช้วิธีวิธีคัดแยกชิ้นงานโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกและคัดแยกชิ้นงานด้วยเสียงโดยวิธีการเคาะ การคัดแยกชิ้นงานโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกประกอบไปด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล Arduino ที่ใช้ในการติดต่อกับซอฟต์แวร์ และควบคุมอัลตราโซนิกเซนเซอร์ชนิด HC-SR04 การประมวลผลเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์และ Digital Storage Oscilloscope ในส่วนวิธีการเคาะนั้นประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ โดยในส่วนของฮาร์ดแวร์คือ เครื่องเคาะโดยใช้หลักการขดลวดโซลินอยด์ควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ และซอฟต์แวร์คือโปรแกรม MATLAB ในการคำนวณ Fast Fourier Transform เพื่อแปลงคลื่นเสียงที่อยู่ในแกนโดเมนของเวลา ให้อยู่ในแกนของความถี่และประมวลผล

#### 3.2 เครื่องคัดแยกชิ้นงานโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก

##### 3.2.1 การออกแบบตัวเครื่อง

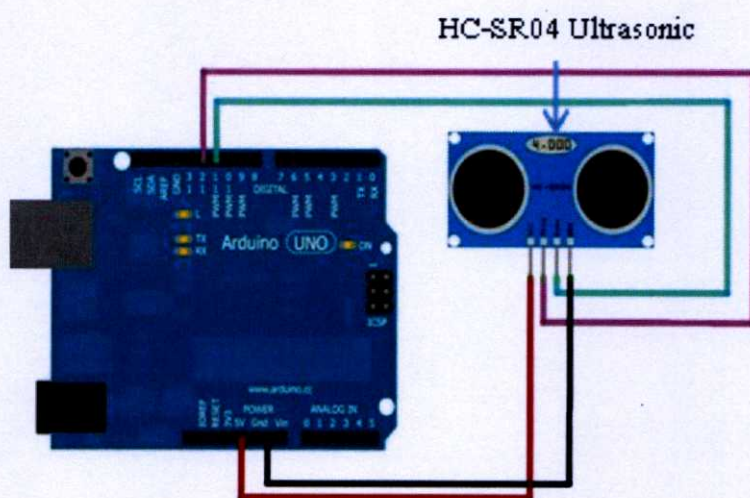
เครื่องคัดแยกโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกถูกออกแบบขึ้นให้สามารถพกพาได้ มีน้ำหนักที่เบาสามารถปรับระยะทางได้สูงสุดที่ 30 cm เป็นลักษณะโครงตั้งฉากกับพื้นระนาบ ติดแผ่นกันเสียงสะท้อนที่ฉากด้านหลังกว้าง 30 cm ยาว 50 cm แสดงดังรูปที่ 3.1



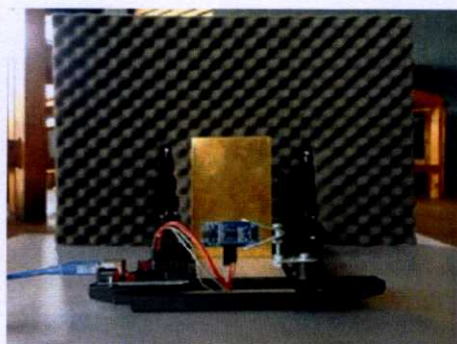
รูปที่ 3.1 แสดงการออกแบบตัวโครงเครื่อง

### 3.2.2 การทำงานและโครงสร้างของระบบ

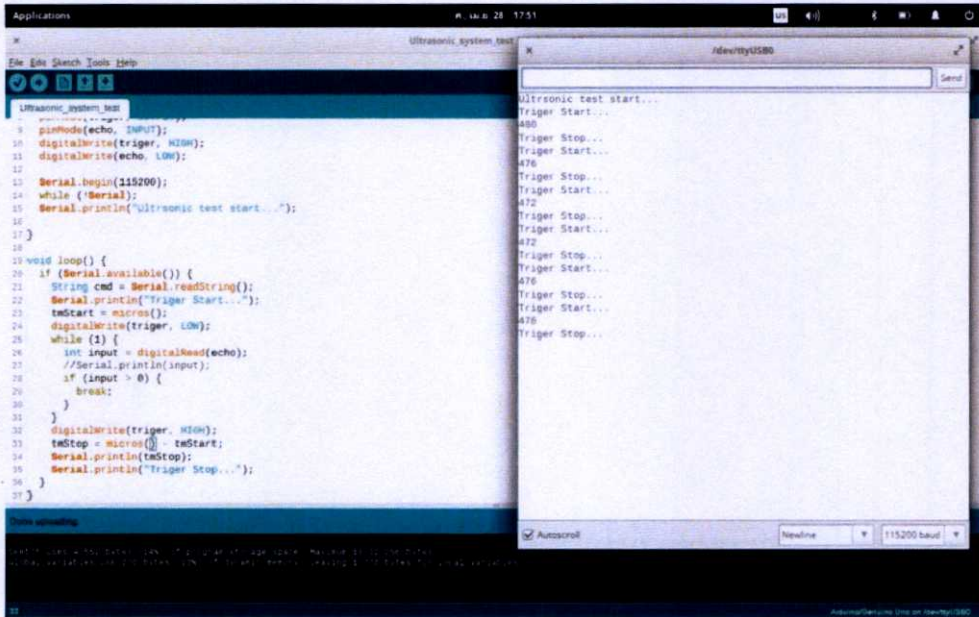
หลักการการทำงานของเครื่องคัดแยกโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก ประกอบไปด้วยบอร์ด Arduino UNO R3 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่ใช้การเขียนโปรแกรมควบคุมและกำเนิดความถี่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้โดยตรงผ่าน USB สามารถเขียนและโปรแกรมตัวบอร์ดด้วย Arduino IDE ตัวบอร์ดใช้ชิพประมวลผลเป็น MCU เบอร์ Atmega328P ซึ่งมีความสามารถในการประมวลผล 20 ล้านคำสั่งต่อวินาที 20MIP (million instructions per second) ที่สามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว และในการสร้างความถี่นั้นสร้างโดยวงจรผลิตความถี่ขนาด 40 kHz ด้วย Ultrasonic Sens Module HC-SR04 เป็นเซนเซอร์โมดูลสำหรับตรวจจับวัตถุและวัดระยะทางแบบไม่สัมผัสแสดงดังรูป 3.2 และ 3.2



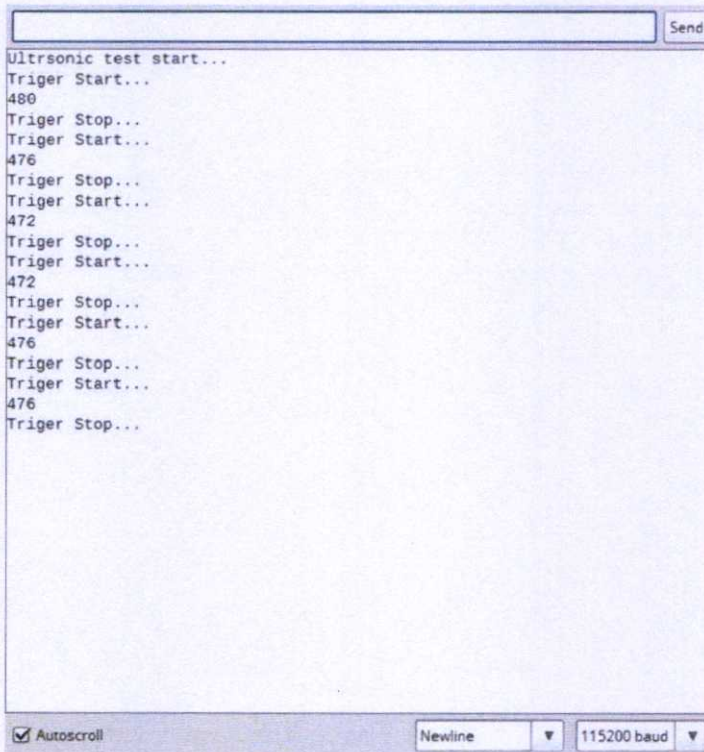
รูปที่ 3.2 การออกแบบวง Ultrasonic Sensor Module HC-SR04



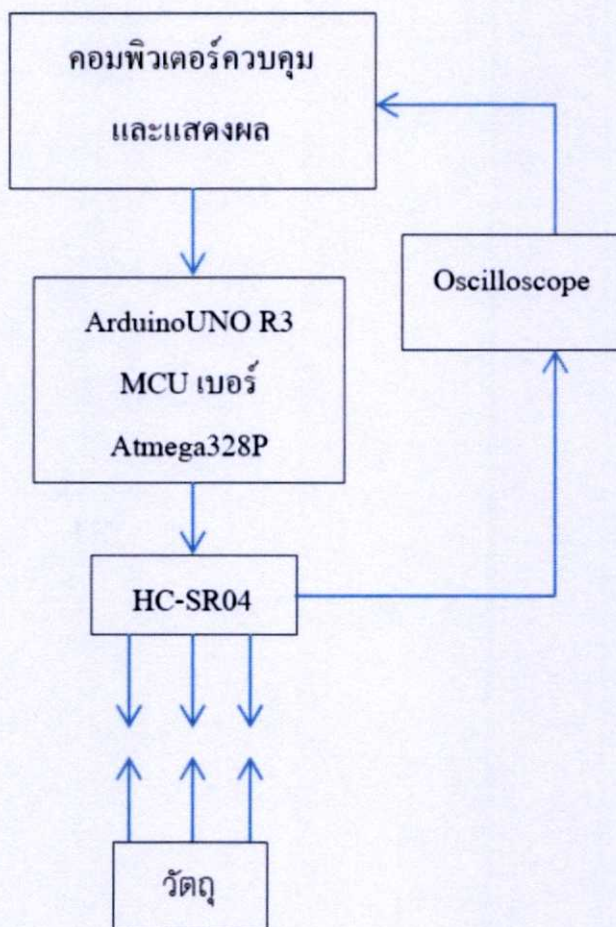
รูปที่ 3.3 วงจร Ultrasonic Sensor



รูปที่ 3.4 หน้าจอแสดงการโปรแกรมควบคุมอัลตราโซนิกเซนเซอร์



รูปที่ 3.5 หน้าจอแสดงคลื่นความถี่ที่ได้



รูปที่ 3.6 การทำงานของระบบ



รูปที่ 3.7 การทดลองด้วยคลื่นอัลตราโซนิกขนาด 40 KHz

โดยตัวเซนเซอร์จะทำงานโดย ตัวส่งสัญญาณจะส่งสัญญาณนาฬิกาไปที่ตัวคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมการแปลงสัญญาณ แล้วส่งไปที่ตัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ซึ่งแบ่งเป็นสองส่วนคือ ตัวส่งและตัวรับ ตัวส่งจะสร้างคลื่นเสียงอัลตราโซนิก จากสัญญาณไฟฟ้าแล้วส่งคลื่นเสียงความถี่สูงหรืออัลตราโซนิกออกไปเป็นแนวตรง และเมื่อคลื่นเสียงอัลตราโซนิกไปกระทบกับวัตถุใดๆ ตามหลักการของคลื่นเสียง คือ มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อนเมื่อเสียงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยไปยังวัตถุที่มีความหนาแน่นมากกว่า คลื่นเสียงจะถูกสะท้อนกลับมาที่มุมเท่าเดิมที่ตัวรับคลื่นเสียงอัลตราโซนิก เมื่อตัวรับได้รับคลื่นเสียงที่ถูกสะท้อนกลับมาแล้ว ตัวรับจะแปลงคลื่นเสียงอัลตราโซนิกนั้นเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วส่งต่อ ให้ตัวประมวลผล



รูปที่ 3.8 Handheld Digital Storage Oscilloscope JH JD2012A

การวัดค่าของแอมพลิจูดของคลื่นเสียงที่ผ่านตัวกลาง แสดงถึงความแรงของคลื่นสามารถบ่งบอกได้ถึง ความดังของเสียง (Loudness) ยิ่งแอมพลิจูดมีค่ามาก ความดังของเสียงก็มาก การคิดว่าความแรงของคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับมาผ่านตัวกลางด้วย Digital Storage Oscilloscope

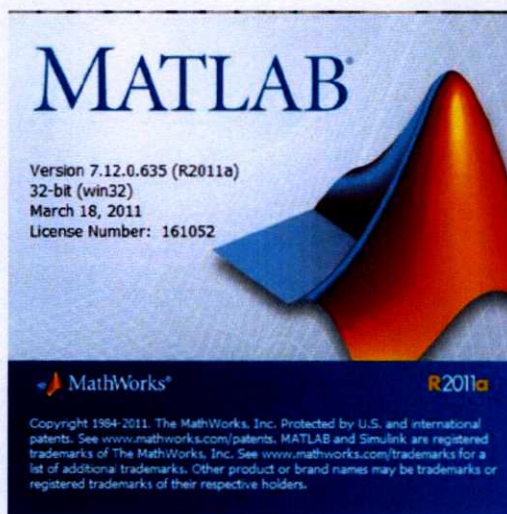
### 3.3 เครื่องคัดแยกชิ้นงานด้วยเสียงโดยวิธีการเคาะ

#### 3.3.1 หลักการออกแบบโปรแกรม

หลักการออกแบบนั้นพิจารณาจากผลที่ต้องการ ซึ่งในที่นี้ต้องการแยกเสียงที่เกิดจากการเคาะวัตถุ เนื่องจากโปรแกรม MATLAB เป็นโปรแกรมที่สามารถทำอะไรได้หลายอย่างมาก แต่ในที่นี้ จะใช้โปรแกรม MATLAB ในการคำนวณ Fast Fourier Transform เพื่อแปลงคลื่นเสียงที่อยู่ในแกนโดเมนของเวลา ให้อยู่ในแกนของความถี่ เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ

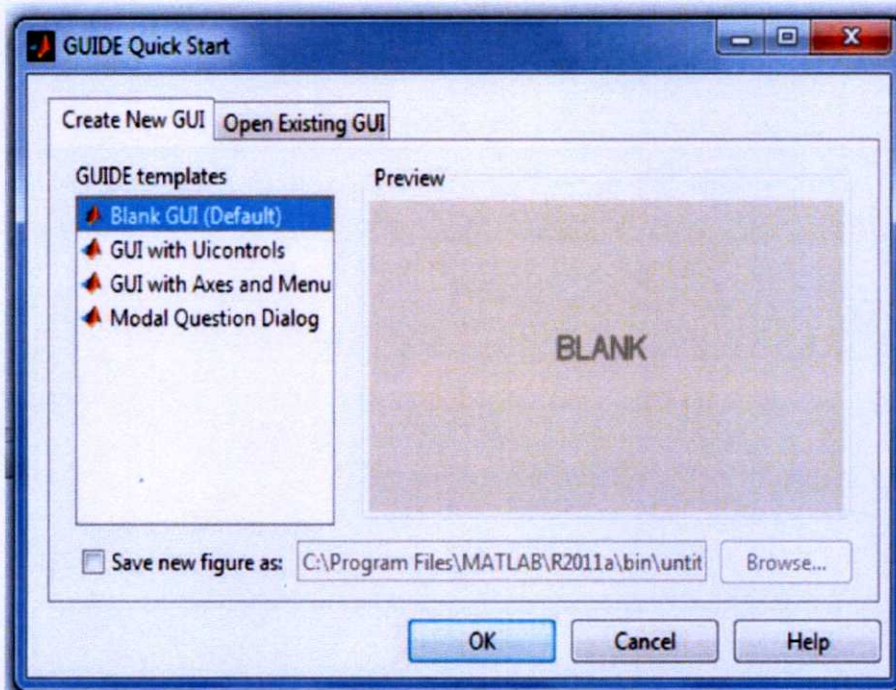
#### 3.3.2 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างระบบ

ใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งในที่นี้ใช้โปรแกรมในการตอบโต้ต่อผู้ใช้ ในโหมดการทำงาน GUI โปรแกรม MATLAB 7.12.0.635 (R2011a) เป็นเวอร์ชันหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยบริษัท MathWorks ซึ่งแสดงรายละเอียดดังรูปที่ 3.9

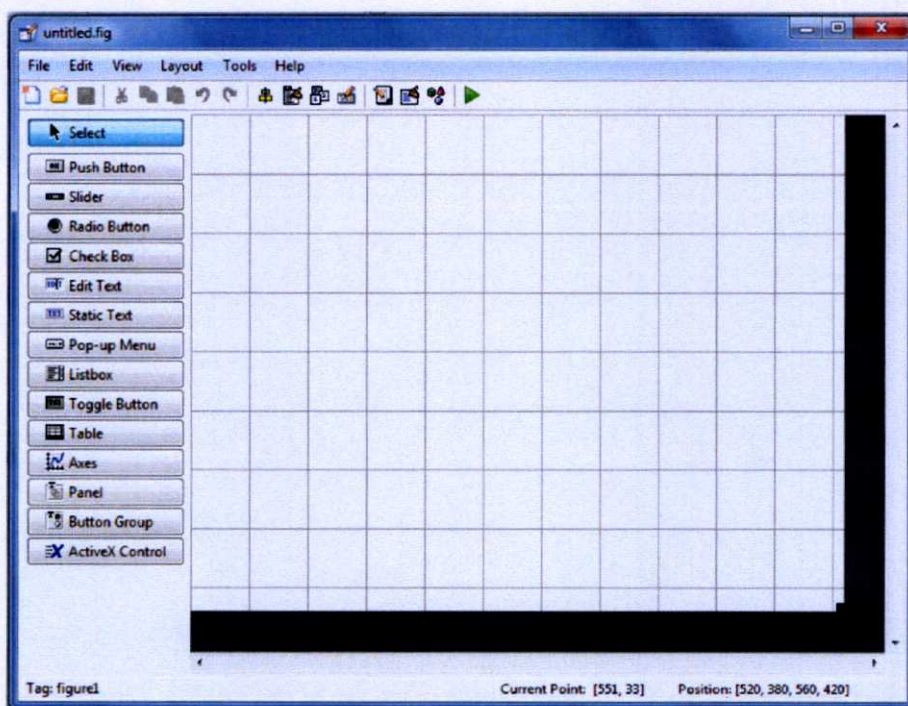


รูปที่ 3.9 โปรแกรม MATLAB 7.12.0.635 (R2011a)

เมื่อเข้าสู่โปรแกรม MATLAB 7.12.0.635 (R2011a) แล้วให้กดเลือกที่ new จากนั้นเลือก GUI จากนั้นจะพบหน้าต่างดังรูปที่ 3.2 จากนั้นเลือก Blank GUI (Default) คลิก OK จากนั้นจะเกิดหน้าจอตั้งรูปที่ 3.10

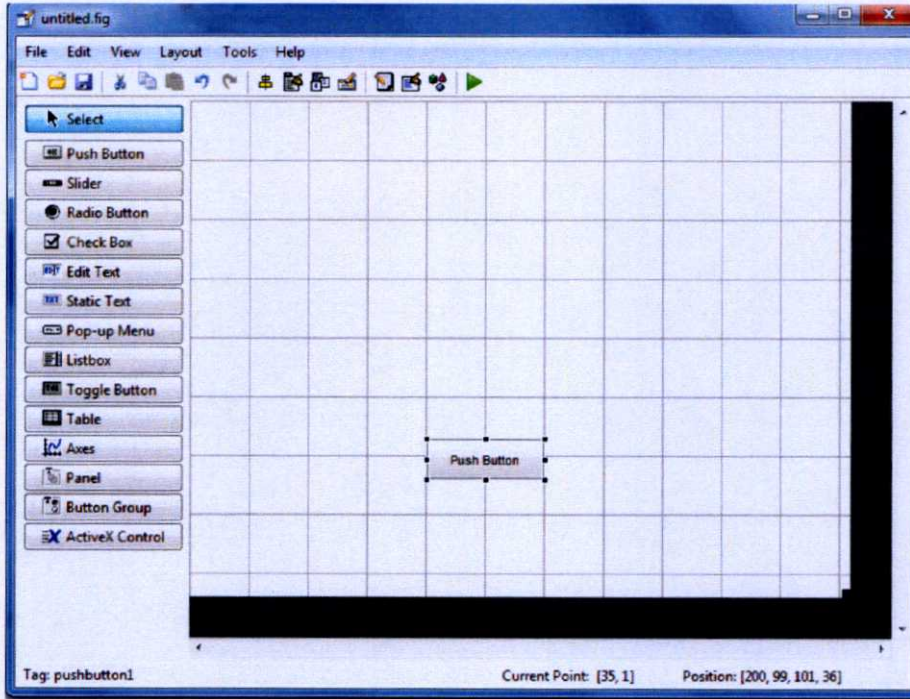


รูปที่ 3.10 การสร้างระบบใน MATLAB 7.12.0.635 (R2011a)



รูปที่ 3.11 หน้าจอในการสร้างโครงการ

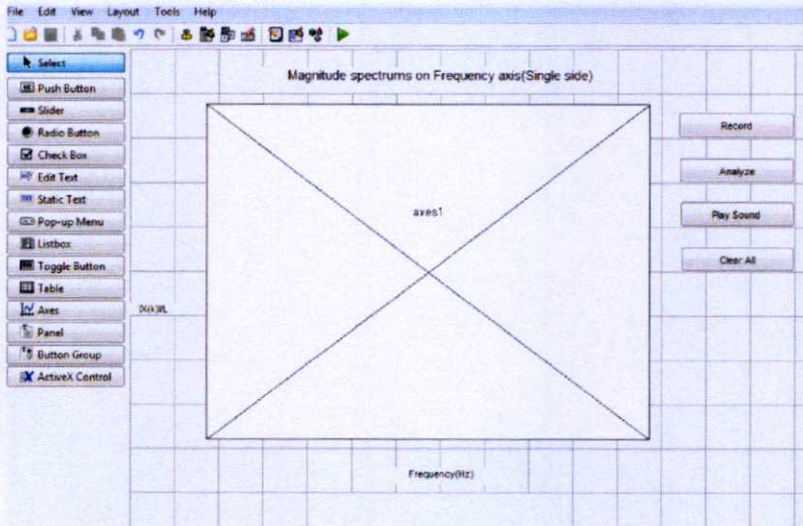
เมื่อต้องการใช้เครื่องมือต่างๆ เพื่อใช้ในการสร้างและพัฒนาโปรแกรม สามารถเลือกใช้ได้จากแถบเครื่องมือทางด้านซ้ายของรูปที่ 3.3 ซึ่งเราสามารถเลือกเครื่องมือที่ต้องการใช้แล้วลากไปวางยัง Form เช่นในรูปที่ 3.12 เป็นการนำเข้าเครื่องมือ Button ไปยัง Form



รูปที่ 3.12 การนำเข้าเครื่องมือ Button

### 3.3.3 ขั้นตอนการสร้างโปรแกรม

1. สร้าง Form ขึ้นมา 1 Form
2. เลือกเครื่องมือ Button ขึ้นมา 4 อัน หลังจากนั้นทำการเปลี่ยนชื่อเป็น Record, Analyze, Play Sound และ Clear All
3. เลือกเครื่องมือ Axes จำนวน 1 อัน เพื่อที่จะทำการ Plot Graph ลงบนพื้นที่นี้
4. เลือกเครื่องมือ Static Text จำนวน 1 อัน เพื่อให้เป็นช่องแสดงข้อความ
5. ทำการจัดเรียงเครื่องมือต่างๆ และทำการป้อนคำสั่งต่างๆ ให้กับเครื่องมือต่างๆ ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 หน้าจอโหมด GUI และส่วนประกอบ

### 3.3.4 หลักการออกแบบเครื่องเคาะโลหะแบบไม่ทำลายวัตถุ

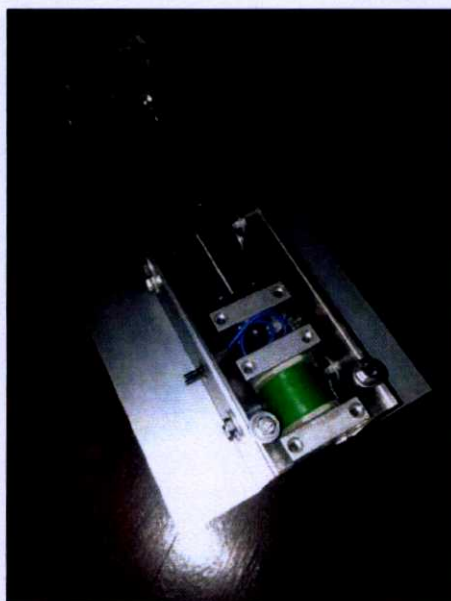
หลักการออกแบบนั้นพิจารณาจากผลที่ต้องการ ซึ่งในที่นี้ต้องการแยกเสียงที่เกิดจากการเคาะวัตถุ เนื่องจากการสร้างเครื่องเคาะโลหะแบบไม่ทำลายวัตถุ จะต้องสร้างหัวเคาะที่มีความแม่นยำและมีความแข็งแรงน้อยกว่าวัตถุที่นำมาทดสอบ ซึ่งวัตถุที่นำมาทดสอบนั้นเป็นเหล็กนอกจากนี้ใช้วงจรไฟฟ้าเข้ามาช่วยในการควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวเคาะจะเรียกส่วนนี้ว่าระบบควบคุม โดยขั้นตอนการออกแบบหัวเคาะนั้นใช้โปรแกรม Solidworks 2012 ในการออกแบบหัวเคาะแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การออกแบบหัวเคาะโดยใช้โปรแกรม Solidworks 2012

### 3.3.5 ขั้นตอนการสร้างหัวเคาะ

1. ตัดท่อ PVC ขนาดความยาว 4.2 ซม.
2. ตัดแผ่นไม้ เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 40.22 ซม. และเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 15.73 ซม. จำนวน 2 แผ่น
3. นำมาประกอบกันแล้วพันลวดบริเวณแกนกลาง
4. ตัดเพลาทองเหลือง ขนาด 10 มม. ความยาว 12.5 ซม. และ 2.5 ซม. อย่างละ 1 ชิ้น
5. ตัดเพลาสีเงินขนาด 10 มม. ความยาว 3.5 ซม. 1 ชิ้น
6. นำข้อ 4. และ ข้อ 5. ไปกลึง แล้วนำมาประกอบกัน โดยให้เพลาสีเงินอยู่ตรงกลาง
7. นำส่วนต่างๆมาประกอบกันดังรูปที่ 3.9 และทำให้สวยงามโดยใช้แผ่นอะคริลิกและแผ่นอลูมิเนียม 10 มม. มาทำเป็นกล่องและขายึด



รูปที่ 3.15 หัวเคาะของเครื่องเคาะโลหะ

### 3.3.6 ขั้นตอนการสร้างระบบควบคุม

โปรแกรม Altium Designer 2008 ซึ่งในที่นี้ใช้โปรแกรมในการออกแบบวงจรไฟฟ้าโดยหลักการทำงานของวงจรไฟฟ้าการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งแปลงจาก 220 V ไปเป็นกระแสสลับ 110 V จากนั้นแปลงจากกระแสสลับมาเป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้ไดโอด (Diode) ซึ่งจะได้ไฟฟ้ากระแสตรงประมาณ 160 V จากนั้นผ่าน Normally Close Relay เพื่อชาร์ตประจุเข้าตัวเก็บประจุ ขนาด 4230  $\mu\text{F}$  ซึ่งต่ออยู่กับ Normally Open Magnetic Contactor ต่ออยู่กับตัวหัวเคาะโลหะ ซึ่งจะทำให้การเคาะได้ Magnetic



## บทที่ 4

### การทดสอบและผลการทดสอบ

#### 4.1 บทนำ

การนำเสนอขั้นตอนการทดลองเครื่องคัดแยกชิ้นงานโดยใช้การส่งผ่านคลื่นเสียงทั้ง 2 วิธีคือการคัดแยกชิ้นงานโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก และวิธีคัดแยกชิ้นงานวิธีการเคาะ โดยจะกล่าวเริ่มต้นถึงจากวิธีใช้คลื่นอัลตราโซนิกก่อน การเตรียมโลหะที่จะนำมาใช้ในการทดสอบทั้ง 8 ชนิด หลังจากนั้นนำค่าที่วัดได้จากกระแสนอนของคลื่นความถี่ที่ผ่านวัตถุต่างชนิดกันมาเปรียบเทียบเชิงสถิติ และวิธีการเคาะโดยการทดสอบกับเหล็กที่เป็นชิ้นงานโดยตรงกับทางบริษัทคือคาลิปเปอร์ (Caliper) ชนิดสีแดงละเอียด

#### 4.2 ขั้นตอนการทดลองการคัดแยกชิ้นงานโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก

ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ใช้คลื่นความถี่ขนาด 40 KHz โดยระยะห่างจากตัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์กับแผ่นโลหะที่ระยะ 15 Cm ทำการบันทึกผลข้อมูลเชิงสถิติดังนี้

**ตารางที่ 4.1** ค่าความแรงของสัญญาณแอมพลิจูดที่วัดได้ของการสะท้อนของคลื่นผ่านโลหะเหล็ก อะลูมิเนียม ทองเหลือง เหล็กซีทีไฟล์ ตามลำดับ

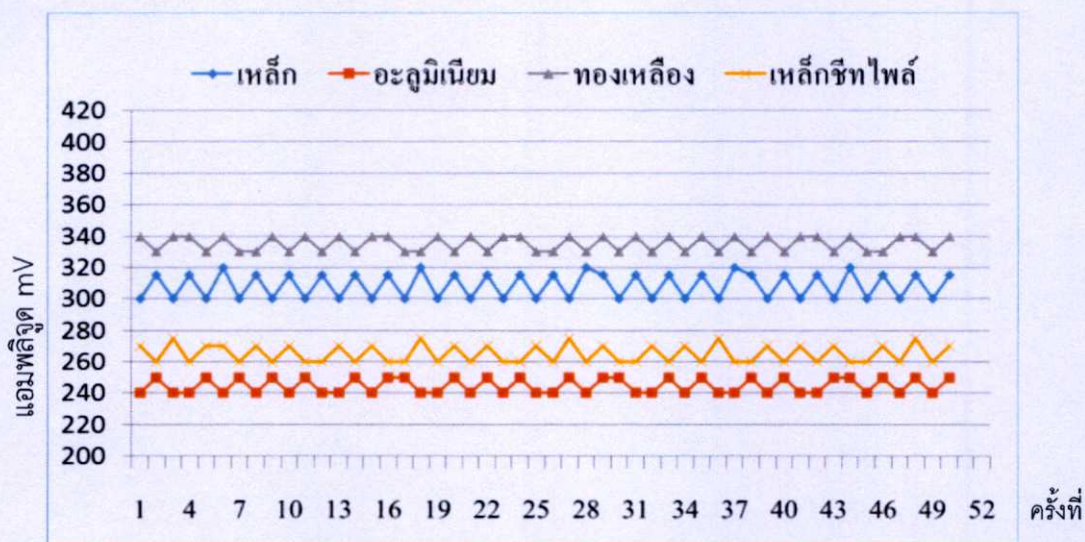
ครั้งที่	เหล็ก (mV)	อะลูมิเนียม (mV)	ทองเหลือง (mV)	เหล็กซีทีไฟล์ (mV)
1	300	240	340	270
2	315	250	330	260
3	300	240	340	275
4	315	240	340	260
5	300	250	330	270
6	320	240	340	270
7	300	250	330	260
8	315	240	330	270
9	300	250	340	260
10	315	240	330	270
11	300	250	340	260
12	315	240	330	260
13	300	240	340	270
14	315	250	330	260

ตารางที่ 4.1 ค่าความแรงของสัญญาณแอมพลิจูดที่วัดได้ของการสะท้อนของคลื่นผ่านโลหะ  
เหล็ก อะลูมิเนียม ทองเหลือง เหล็กซีทีไฟล์ ตามลำดับ (ต่อ)

15	300	240	340	270
16	315	250	340	260
17	300	250	330	260
18	320	240	330	275
19	300	240	340	260
20	315	250	330	270
21	300	240	340	260
22	315	250	330	270
23	300	240	340	260
24	315	250	340	260
25	300	240	330	270
26	315	240	330	260
27	300	250	340	275
28	320	240	330	260
29	315	250	340	270
30	300	250	330	260
31	315	240	340	260
32	300	240	330	270
33	315	250	340	260
34	300	240	330	270
35	315	250	340	260
36	300	240	330	275
37	320	240	340	260
38	315	250	330	260
39	300	240	340	270
40	315	250	330	260
41	300	240	340	270
42	315	240	340	260
43	300	250	330	270
44	320	250	340	260
45	300	240	330	260
46	315	250	330	270

ตารางที่ 4.1 ค่าความแรงของสัญญาณแอมพลิจูดที่วัดได้ของการสะท้อนของคลื่นผ่านโลหะ  
เหล็ก อะลูมิเนียม ทองเหลือง เหล็กซีทีไฟล์ ตามลำดับ (ต่อ)

47	300	240	340	260
48	315	250	340	275
49	300	240	330	260
50	315	250	340	270



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงแอมพลิจูดที่วัดได้ (amplitude) ของเหล็ก อะลูมิเนียม ทองเหลือง เหล็กซีทีไฟล์  
ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ค่าความแรงของสัญญาณแอมพลิจูด ที่วัดได้ของการสะท้อนของคลื่นผ่านโลหะ  
อะลูมิเนียมขัดเงา เหล็กชุบกำลวานไนส์ สแตนเลส ทองแดงตามลำดับ

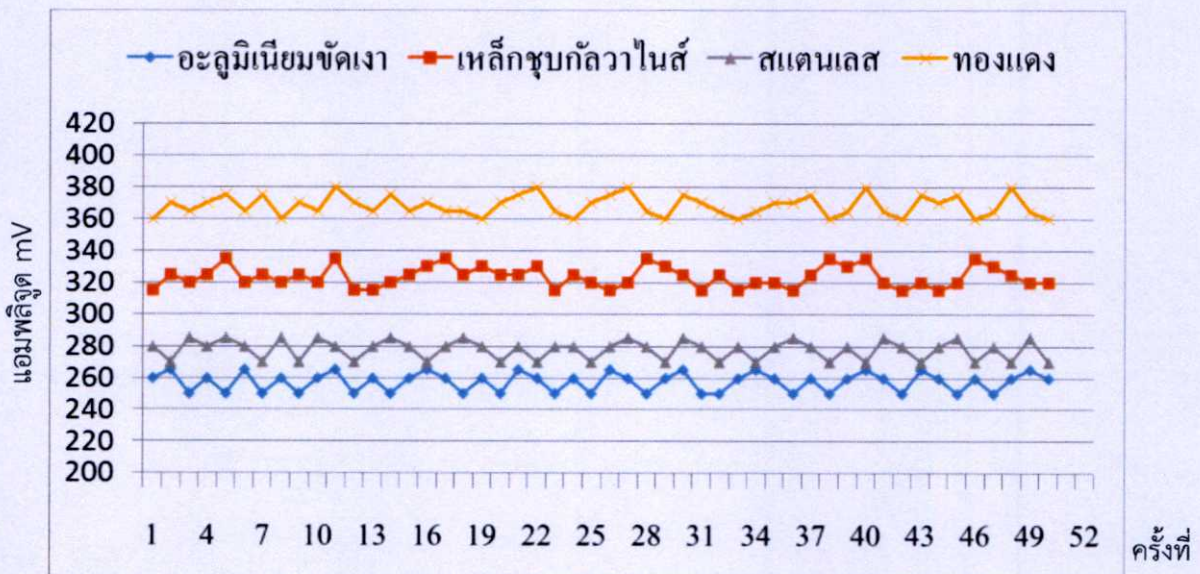
ครั้งที่	อะลูมิเนียมขัดเงา (mV)	เหล็กชุบกำลวานไนส์ (mV)	สแตนเลส (mV)	ทองแดง (mV)
	260	315	280	360
2	265	325	270	370
3	250	320	285	365
4	260	325	280	370
5	250	335	285	375
6	265	320	280	365
7	250	325	270	375
8	260	320	285	360

ตารางที่ 4.2 ค่าความแรงของสัญญาณแอมพลิจูด ที่วัดได้ของการสะท้อนของคลื่นผ่าน  
โลหะ อะลูมิเนียมขัดเงา เหล็กชุบกำลวไนส์ สแตนเลส ทองแดงตามลำดับ (ต่อ)

9	250	325	270	370
10	260	320	285	365
11	265	335	280	380
12	250	315	270	370
13	260	315	280	365
14	250	320	285	375
15	260	325	280	365
16	265	330	270	370
17	260	335	280	365
18	250	325	285	365
19	260	330	280	360
20	250	325	270	370
21	265	325	280	375
22	260	330	270	380
23	250	315	280	365
24	260	325	280	360
25	250	320	270	370
26	265	315	280	375
27	260	320	285	380
28	250	335	280	365
29	260	330	270	360
30	265	325	285	375
31	250	315	280	370
32	250	325	270	365
33	260	315	280	360
34	265	320	270	365
35	260	320	280	370
36	250	315	285	370
37	260	325	280	375
38	250	335	270	360
39	260	330	280	365
40	265	335	270	380
41	260	320	285	365

ตารางที่ 4.2 ค่าความแรงของสัญญาณแอมพลิจูด ที่วัดได้ของการสะท้อนของคลื่นผ่าน โลหะอะลูมิเนียมขัดเงา เหล็กชุบกำลัวไนส์ สแตนเลส ทองแดงตามลำดับ (ต่อ)

42	250	315	280	360
43	265	320	270	375
44	260	315	280	370
45	250	320	285	375
46	260	335	270	360
47	250	330	280	365
48	260	325	270	380
49	265	320	285	365
50	260	320	270	360



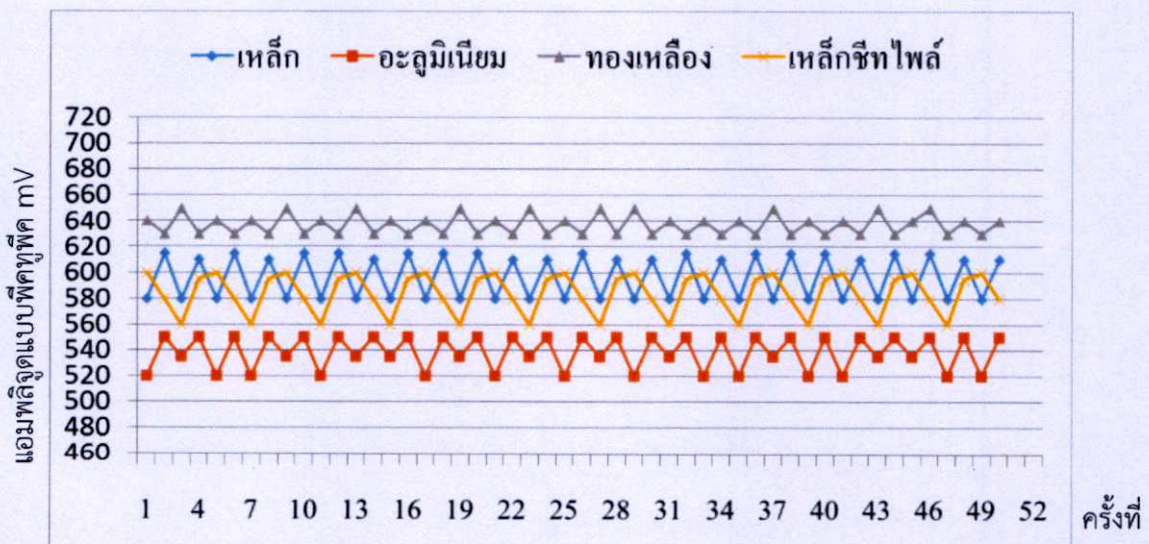
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงแอมพลิจูดที่ได้ (amplitude) ของอะลูมิเนียมขัดเงา เหล็กชุบกำลัวไนส์ สแตนเลส ทองแดงตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ค่าความแรงของสัญญาณแอมพลิฟายด์แบบพีคทูพีคที่วัดได้ของการสะท้อนของคลื่นผ่าน โลหะ เหล็ก อะลูมิเนียม ทองเหลือง เหล็กซีทไฟล์ ตามลำดับ

ครั้งที่	เหล็ก (mV)	อะลูมิเนียม (mV)	ทองเหลือง (mV)	เหล็กซีทไฟล์ (mV)
1	580	520	640	600
2	615	550	630	580
3	580	535	650	560
4	610	550	630	595
5	580	520	640	600
6	615	550	630	580
7	580	520	640	560
8	610	550	630	595
9	580	535	650	600
10	615	550	630	580
11	580	520	640	560
12	615	550	630	595
13	580	535	650	600
14	610	550	630	580
15	580	535	640	560
16	615	550	630	595
17	580	520	640	600
18	615	550	630	580
19	580	535	650	560
20	615	550	630	595
21	580	520	640	600
22	610	550	630	580
23	580	535	650	560
24	610	550	630	595
25	580	520	640	600
26	615	550	630	580
27	580	535	650	560
28	610	550	630	595
29	580	520	650	600
30	610	550	630	580
31	580	535	640	560
32	615	550	630	595
33	580	520	640	600

ตารางที่ 4.3 ค่าความแรงของสัญญาณแอมพลิจูดแบบพีคทูพีคที่วัดได้ของการสะท้อน  
ของคลื่นผ่านโลหะ เหล็ก อะลูมิเนียม ทองเหลือง เหล็กซีทีพีล ตามลำดับ (ต่อ)

34	610	550	630	580
35	580	520	640	560
36	615	550	630	595
37	580	535	650	600
38	615	550	630	580
39	580	520	640	560
40	615	550	630	595
41	580	520	640	600
42	610	550	630	580
43	580	535	650	560
44	615	550	630	595
45	580	535	640	600
46	615	550	650	580
47	580	520	630	560
48	610	550	640	595
49	580	520	630	600
50	610	550	640	580



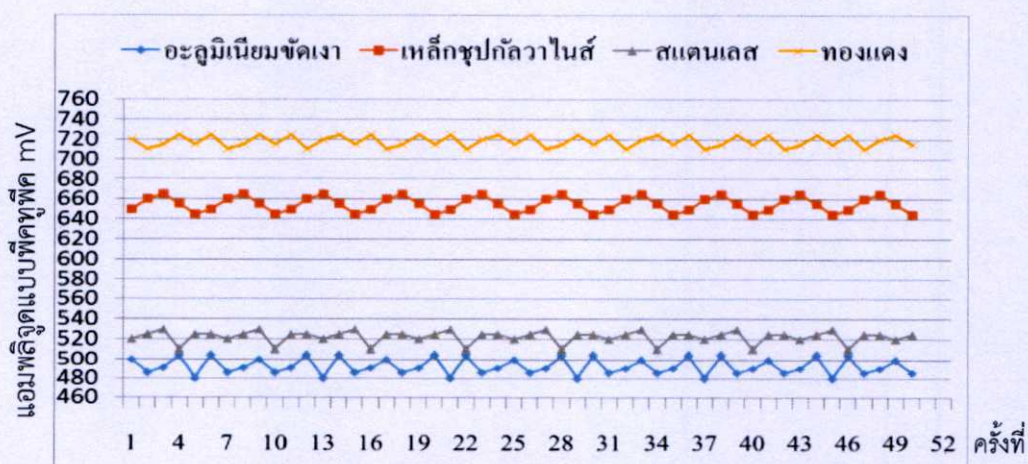
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงแอมพลิจูดแบบพีคทูพีคที่วัดได้ (Peak-to-peak amplitude) ของเหล็ก อะลูมิเนียม  
ทองเหลือง เหล็กซีทีพีล

ตารางที่ 4.4 ค่าความแรงของสัญญาณแอมพลิจูดพีคทูพีค ที่วัดได้ของการสะท้อนของคลื่นผ่านโลหะ อะลูมิเนียมขัดเงา เหล็กชุบกัลวาไนส์ สแตนเลส ทองแดงตามลำดับ

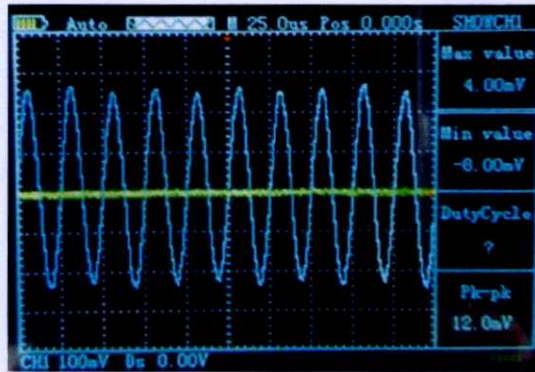
ครั้งที่	อะลูมิเนียมขัดเงา (mV)	เหล็กชุบกัลวาไนส์ (mV)	สแตนเลส (mV)	ทองแดง (mV)
1	500	650	520	720
2	485	660	525	710
3	490	665	530	715
4	505	655	510	725
5	480	645	525	715
6	505	650	525	725
7	485	660	520	710
8	490	665	525	715
9	500	655	530	725
10	485	645	510	715
11	490	650	525	725
12	505	660	525	710
13	480	665	520	720
14	505	655	525	725
15	485	645	530	715
16	490	650	510	725
17	500	660	525	710
18	485	665	525	715
19	490	655	520	725
20	505	645	525	715
21	480	650	530	725
22	505	660	510	710
23	485	665	525	720
24	490	655	525	725
25	500	645	520	715
26	485	650	525	725
27	490	660	530	710
28	505	665	510	715
29	480	655	525	725
30	505	645	525	715
31	485	650	520	725

ตารางที่ 4.4 ค่าความแรงของสัญญาณแอมพลิจูดพีคที่วัดได้ของการสะท้อนของคลื่นผ่านโลหะอะลูมิเนียมขัดเงา เหล็กชุบกำลวไนส์ สแตนเลส ทองแดงตามลำดับ (ต่อ)

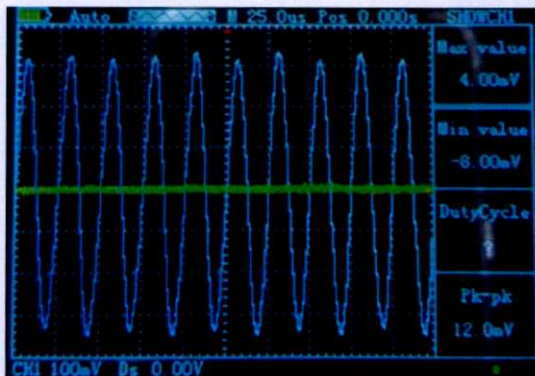
32	490	660	525	710
33	500	665	530	720
34	485	655	510	725
35	490	645	525	715
36	505	650	525	725
37	480	660	520	710
38	505	665	525	715
39	485	655	530	725
40	490	645	510	715
41	500	650	525	725
42	485	660	525	710
43	490	665	520	715
44	505	655	525	725
45	480	645	530	715
46	505	650	510	725
47	485	660	525	710
48	490	665	525	720
49	500	655	520	725
50	485	645	525	715



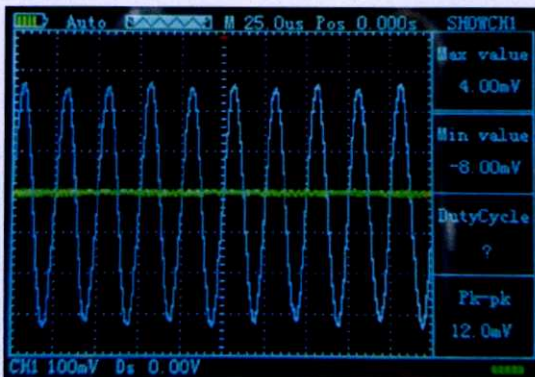
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงแอมพลิจูดแบบพีคที่วัดได้ (Peak-to-peak amplitude) ของอะลูมิเนียมขัดเงา เหล็กชุบกำลวไนส์ สแตนเลส ทองแดงตามลำดับ



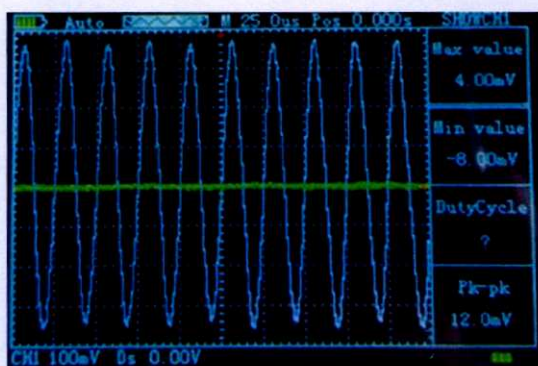
รูปที่ 4.5 คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของอะลูมิเนียมขัดเงา



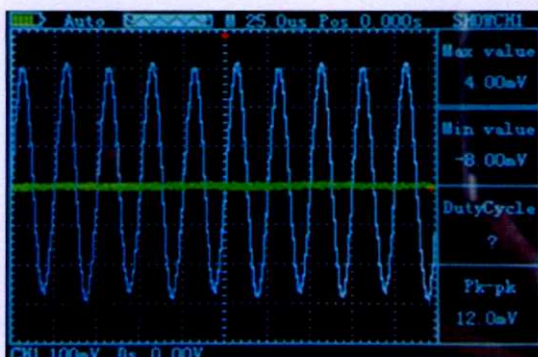
รูปที่ 4.6 คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของเหล็กชุบกำลัปวาไนส์



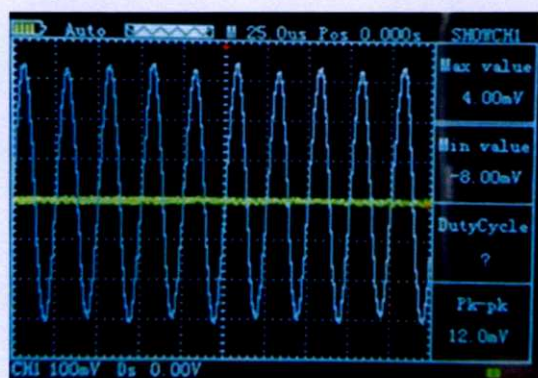
รูปที่ 4.7 คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของสแตนเลส



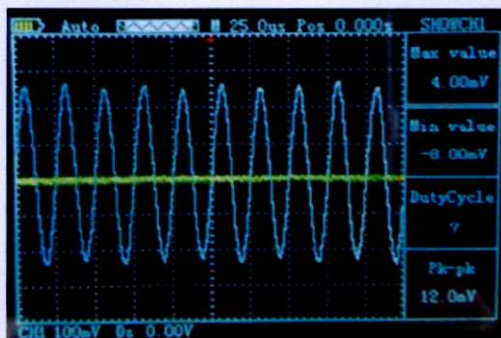
รูปที่ 4.8 คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของทองแดง



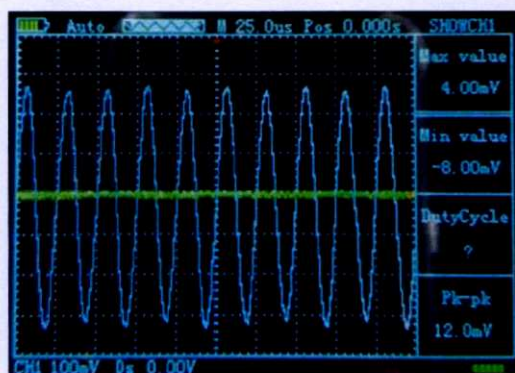
รูปที่ 4.9 คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของเหล็ก



รูปที่ 4.10 คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของทองเหลือง



รูปที่ 4.11 คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของอะลูมิเนียม



รูปที่ 4.12 คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของเหล็กซีทีไฟล์

จากการทดลองทดสอบด้วยโลหะ 8 ชนิดที่มีขนาดเท่ากันคือ กว้าง 10 cm ยาว 15 cm ความหนาที่ 2 mm โดยอาศัยกฎของการสะท้อนของคลื่นเสียงคือ คลื่นเสียงซึ่งเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยคืออากาศ ไปสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากคือโลหะ จะเกิดการสะท้อนโดยคลื่นสะท้อนจะมีเฟสเปลี่ยนไป  $180^\circ$  ที่ระยะทางและเวลาเท่าเดิม จากนั้นทำการวัดค่าความแรงของคลื่นที่สะท้อนกลับผ่านโลหะที่มีความหนาแน่นและโครงสร้างที่ต่างกัน

ตารางที่ 4.5 การวัดค่าแอมพลิจูดและค่าเฉลี่ย ของโลหะ 8 ชนิดที่ได้จากการทดลอง

ชนิดของโลหะ	แอมพลิจูด (amplitude)		แอมพลิจูดแบบพีคทูพีค (Peak-to-peak amplitude)	
	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
1.เหล็ก	320	308.3	615	596.4
2.อะลูมิเนียม	250	244.6	550	538.3
3.ทองเหลือง	340	335.2	650	637.2
4.เหล็กซีทีไฟล์	275	265.1	600	584
5.อะลูมิเนียมขัดเงา	265	257.5	505	492.5
6.เหล็กชุปกัลวาไนส์	335	323.6	665	655
7.สแตนเลส	285	277.8	530	522.5
8.ทองแดง	380	368.4	725	718.3

จากการทดลองดังกล่าว ค่าของแอมพลิจูดมากเท่าไร ความแรงของคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับออกมาผ่านวัตถุนั้นยิ่งมากด้วย

### 4.3 ขั้นตอนการทดลองการตัดแยกชิ้นงานโดยใช้วิธีการเคาะ

#### 4.3.1 การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองโดยใช้การเคาะชิ้นวัตถุซึ่งเป็นเหล็กสองชนิด ดังรูปที่ 4.13 โดยในที่นี้จะใช้โปรแกรม MATLAB ในการอัดเสียงจากไมโครโฟน โดยการเคาะวัตถุสองชนิดอย่างละ 50 ครั้ง แล้วทำการ Plot Graph ในรูปของ Wave Form

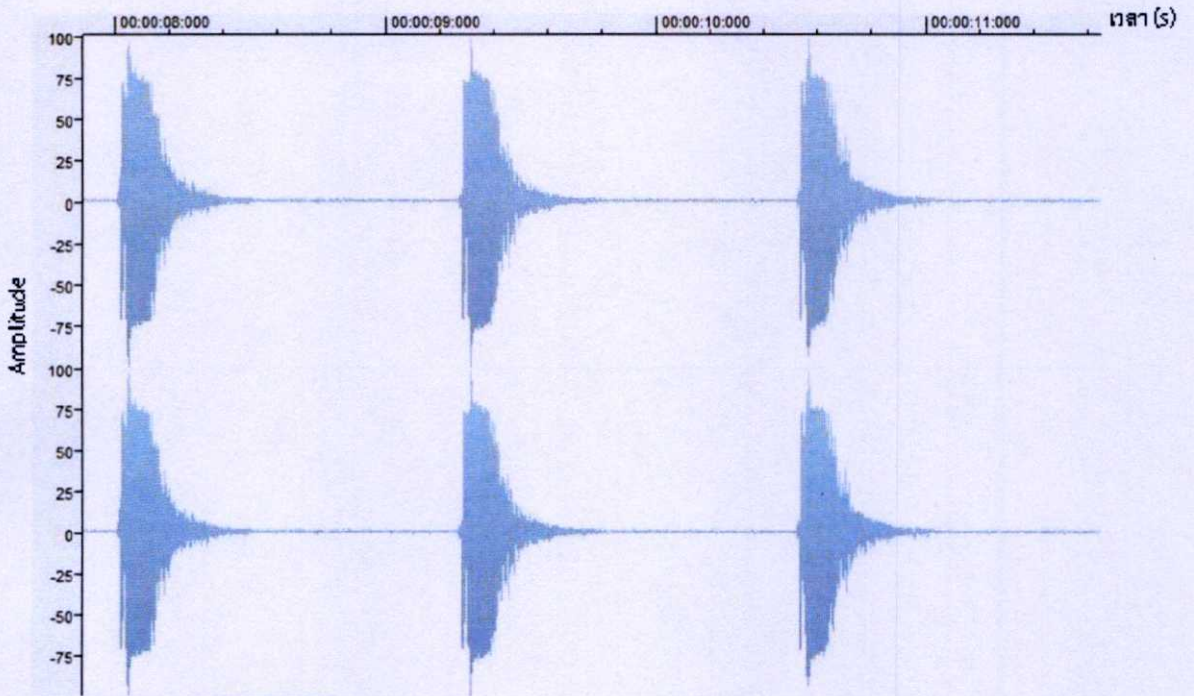


(ก) โลหะชนิดสีแดง

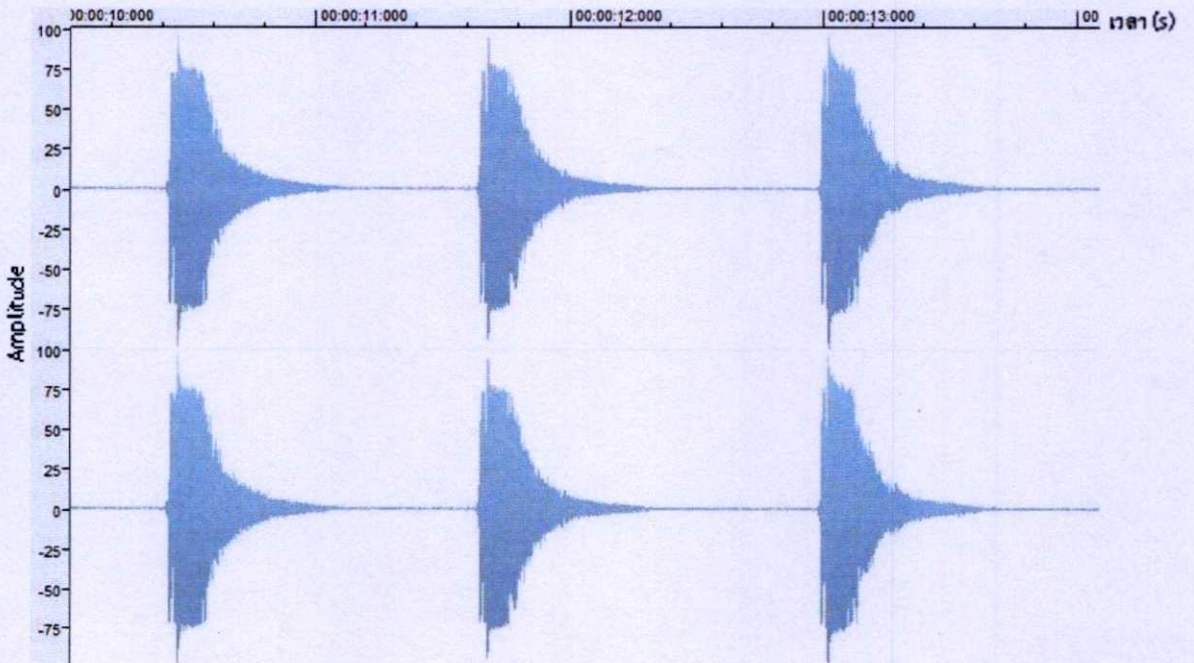


(ข) โลหะชนิดสีเขียว

รูปที่ 4.13 เหล็กสองสีที่ใช้ในการทดสอบ

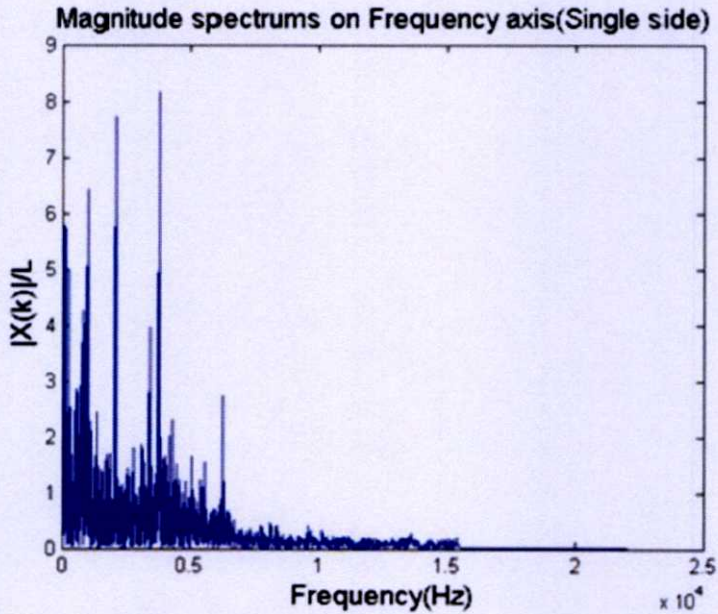


รูปที่ 4.14 Wave Form เหล็กสีแดง

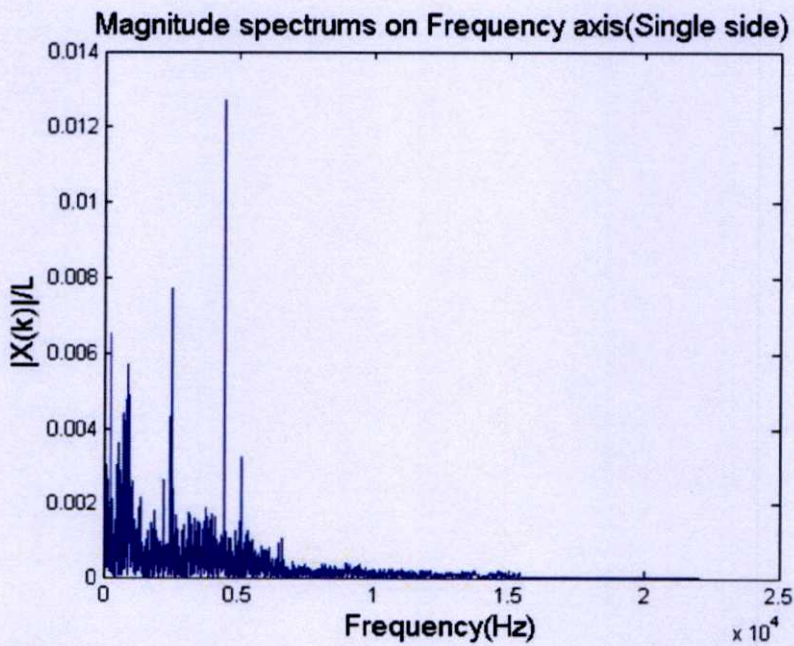


รูปที่ 4.15 Wave Form เหล็กสีเขียว

จากนั้นแปลงเป็น DFT ซึ่งจะใช้คำสั่ง FFT ในโปรแกรม MATLAB ซึ่งการแปลงเป็น DFT ทำให้ทราบองค์ประกอบของสัญญาณในความถี่ต่างๆ แล้วทำการ Plot Graph ในรูปของ Magnitude Spectrum แขนความถี่ (Single Side) ดังรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.16 Magnitude Spectrum แขนความถี่ (Single Side) เหล็กสีแดง



รูปที่ 4.17 Magnitude Spectrum แขนความถี่ (Single Side) เหล็กสีเขียว

จากนั้นทำการเก็บข้อมูลของ Magnitude Spectrum และแกนความถี่ของ Graph โดยเลือกเก็บความถี่ 3 ความถี่ของแต่ละไฟล์เสียงดังตารางที่ 4.6 และตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 ความถี่-Magnitude ของเหล็กสีเขียวในแต่ละไฟล์เสียง

Files	Hz 1st	Mag 1st	Hz 2nd	Mag 2nd	Hz 3th	Mag 3th
green1	2480	0.006338	4480	0.017020	5093	0.004912
green2	2480	0.007718	4480	0.012710	5093	0.003235
green3	2480	0.010670	4480	0.016360	5093	0.003993
green4	2480	0.008073	4480	0.013250	5093	0.003237
green5	2480	0.010720	4480	0.011840	5093	0.002827
green6	2480	0.012650	4480	0.014300	5093	0.003317
green7	2480	0.015350	4480	0.015060	5093	0.003978
green8	2480	0.015620	4480	0.014940	5093	0.003978
green9	2480	0.015560	4480	0.013890	5093	0.003329
green10	2480	0.018690	4480	0.016440	5093	0.003446
green11	2480	0.018930	4480	0.016100	5093	0.005010
green12	2480	0.017410	4480	0.016140	5093	0.005014
green13	2480	0.025060	4480	0.019650	5093	0.004863
green14	2480	0.017890	4480	0.015210	5093	0.003276
green15	2480	0.018790	4480	0.012860	5093	0.003258
green16	2480	0.015190	4480	0.013460	5093	0.003500
green17	2480	0.015720	4480	0.010150	5093	0.003626
green18	2480	0.016540	4480	0.014420	5093	0.003937
green19	2480	0.017310	4480	0.016620	5093	0.004581
green20	2480	0.016550	4480	0.013110	5093	0.004847
green21	2480	0.016850	4480	0.015890	5093	0.004466
green22	2480	0.010860	4480	0.010300	5093	0.003566
green23	2480	0.016120	4480	0.014580	5093	0.003997
green24	2480	0.018100	4480	0.015910	5093	0.004847
green25	2480	0.017870	4480	0.015910	5093	0.005155
green26	2480	0.014910	4480	0.012940	5093	0.004001
green27	2480	0.014560	4480	0.014300	5093	0.004583

ตารางที่ 4.6 ความถี่-Magnitude ของเหล็กสีเขียวในแต่ละไฟล์เสียง (ต่อ)

Files	Hz 1st	Mag 1st	Hz 2nd	Mag 2nd	Hz 3th	Mag 3th
reen28	2480	0.017030	4480	0.015880	5093	0.005020
green29	2480	0.014770	4480	0.012970	5093	0.003910
green30	2480	0.015840	4480	0.012210	5093	0.004499
green31	2480	0.021690	4480	0.013920	5093	0.004455
green32	2480	0.019410	4480	0.013800	5093	0.004379
green33	2480	0.015930	4480	0.013720	5093	0.004217
green34	2480	0.018090	4480	0.011260	5093	0.003581
green35	2480	0.019830	4480	0.013550	5093	0.004743
green36	2480	0.019830	4480	0.013560	5093	0.004577
green37	2480	0.017920	4480	0.010650	5093	0.003945
green38	2480	0.016580	4480	0.010980	5093	0.004285
green39	2480	0.018500	4480	0.013740	5093	0.005570
green40	2480	0.016430	4480	0.012800	5093	0.005442
green41	2480	0.015270	4480	0.011230	5093	0.003993
green42	2480	0.017060	4480	0.014320	5093	0.006251
green43	2480	0.013060	4480	0.009774	5093	0.003609
green44	2480	0.019830	4480	0.010180	5093	0.003679
green45	2480	0.022810	4480	0.011490	5093	0.005645
green46	2480	0.023280	4480	0.011680	5093	0.005420
green47	2480	0.025840	4480	0.010810	5093	0.004933
green48	2480	0.022970	4480	0.011270	5093	0.004871
green49	2480	0.018640	4480	0.010240	5093	0.005255
green50	2480	0.020180	4480	0.010220	5093	0.004060
avg	-	0.016817	-	0.013472	-	0.004302
max	-	0.025840	-	0.019650	-	0.006251
min	-	0.006338	-	0.009774	-	0.002827

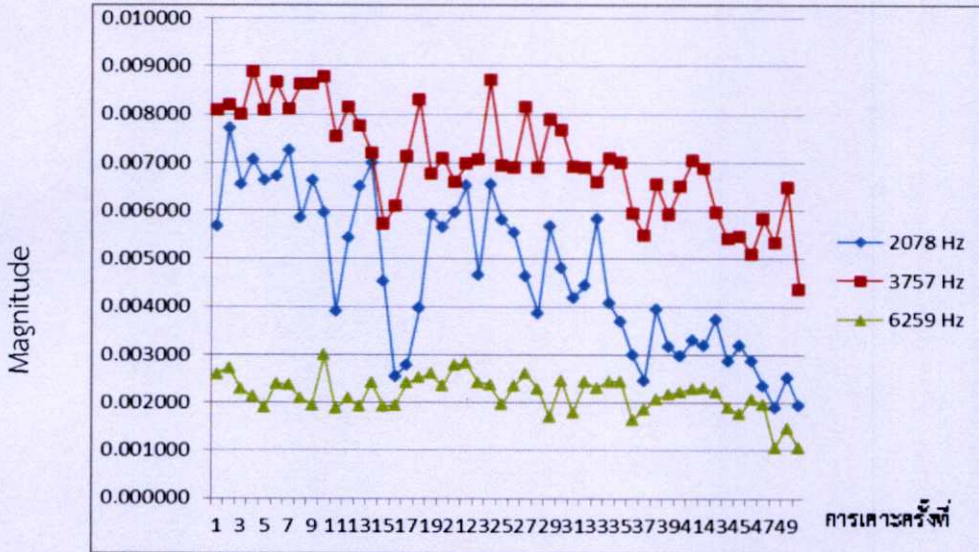
ตารางที่ 4.7 ความถี่-Magnitude ของเหล็กสีแดงในแต่ละไฟล์เสียง

Files	Hz 1st	Mag 1st	Hz 2nd	Mag 2nd	Hz 3th	Mag 3th
red1	2078	0.005687	3757	0.008069	6259	0.002591
red2	2078	0.007716	3757	0.008182	6259	0.002723
red3	2078	0.006543	3757	0.007995	6259	0.002274
red4	2078	0.007073	3757	0.008887	6259	0.002126
red5	2078	0.006626	3757	0.008071	6259	0.001905
red6	2078	0.006709	3757	0.008660	6259	0.002396
red7	2078	0.007263	3757	0.008109	6259	0.002370
red8	2078	0.005846	3757	0.008627	6259	0.002094
red9	2078	0.006634	3757	0.008617	6259	0.001939
red10	2078	0.005971	3757	0.008775	6259	0.002987
red11	2078	0.003899	3757	0.007536	6259	0.001870
red12	2078	0.005431	3757	0.008151	6259	0.002080
red13	2078	0.006497	3757	0.007756	6259	0.001908
red14	2078	0.007002	3757	0.007198	6259	0.002419
red15	2078	0.004535	3757	0.005715	6259	0.001919
red16	2078	0.002553	3757	0.006083	6259	0.001930
red17	2078	0.002788	3757	0.007131	6259	0.002409
red18	2078	0.003962	3757	0.008302	6259	0.002521
red19	2078	0.005908	3757	0.006767	6259	0.002601
red20	2078	0.005665	3757	0.007093	6259	0.002344
red21	2078	0.005950	3757	0.006592	6259	0.002786
red22	2078	0.006513	3757	0.006966	6259	0.002820
red23	2078	0.004653	3757	0.007070	6259	0.002424
red24	2078	0.006540	3757	0.008703	6259	0.002374
red25	2078	0.005802	3757	0.006937	6259	0.001956
red26	2078	0.005557	3757	0.006883	6259	0.002344
red27	2078	0.004633	3757	0.008140	6259	0.002605
red28	2078	0.003867	3757	0.006892	6259	0.002286
red29	2078	0.005675	3757	0.007880	6259	0.001708

ตารางที่ 4.7 ความถี่-Magnitude ของเหล็กสีแดงในแต่ละไฟล์เสียง (ต่อ)

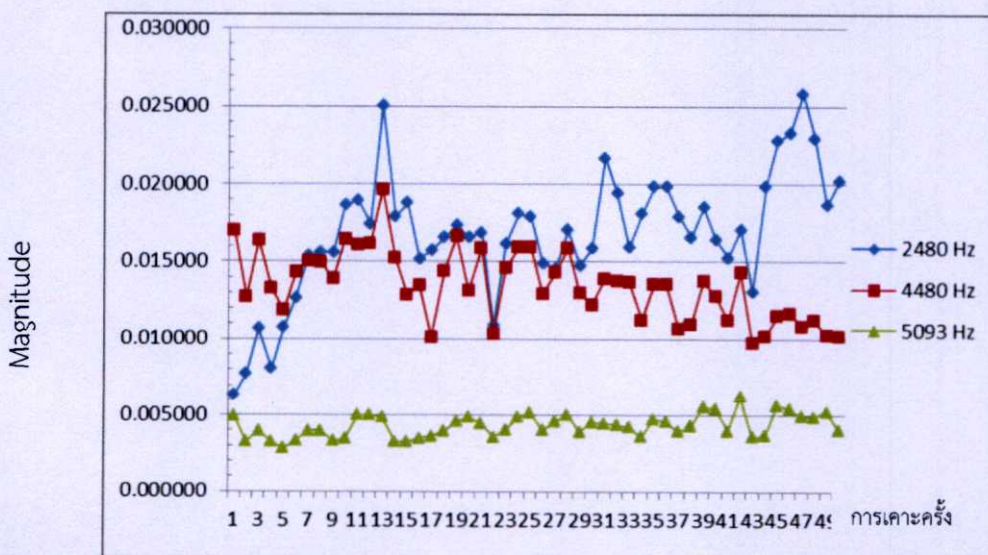
Files	Hz 1st	Mag 1st	Hz 2nd	Mag 2nd	Hz 3th	Mag 3th
red30	2078	0.004817	3757	0.007678	6259	0.002464
red31	2078	0.004178	3757	0.006907	6259	0.001782
red32	2078	0.004457	3757	0.006880	6259	0.002427
red33	2078	0.005828	3757	0.006594	6259	0.002316
red34	2078	0.004074	3757	0.007090	6259	0.002440
red35	2078	0.003683	3757	0.006996	6259	0.002440
red36	2078	0.002999	3757	0.005935	6259	0.001635
red37	2078	0.002465	3757	0.005475	6259	0.001845
red38	2078	0.003952	3757	0.006554	6259	0.002077
red39	2078	0.003178	3757	0.005915	6259	0.002168
red40	2078	0.002970	3757	0.006507	6259	0.002224
red41	2078	0.003300	3757	0.007031	6259	0.002288
red42	2078	0.003186	3757	0.006865	6259	0.002308
red43	2078	0.003739	3757	0.005966	6259	0.002216
red44	2078	0.002863	3757	0.005417	6259	0.001886
red45	2078	0.003198	3757	0.005464	6259	0.001757
red46	2078	0.002861	3757	0.005095	6259	0.002061
red47	2078	0.002356	3757	0.005823	6259	0.001960
red48	2078	0.001900	3757	0.005330	6259	0.001056
red49	2078	0.002530	3757	0.006487	6259	0.001466
red50	2078	0.001928	3757	0.004362	6259	0.001045
avg	-	0.004679	-	0.007043	-	0.002171
max	-	0.007716	-	0.008887	-	0.002987
min	-	0.001900	-	0.004362	-	0.001045

จากตารางที่ 4.6 สามารถแสดงผลในรูปกราฟ ซึ่งเหล็กสีแดงได้กำหนดความถี่ 3 ความถี่ คือ 2018 Hz, 3757 Hz และ 6259 Hz ซึ่งมี Magnitude ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 Magnitude Spectrum ของเหล็กสีแดงในแต่ละความถี่

จากตารางที่ 4.7 สามารถแสดงผลในรูปกราฟ ซึ่งเหล็กสีเขียวได้กำหนดความถี่ 3 ความถี่ คือ 2480 Hz, 4480 Hz และ 5093 Hz ซึ่งมี Magnitude ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 Magnitude Spectrum ของเหล็กสีเขียวในแต่ละความถี่

เมื่อเก็บข้อมูลดังตารางที่ 4.6 และตารางที่ 4.7 แล้วนำมากำหนดค่าต่ำสุดในการคำนวณในการแยกเสียงวัตถุโดยในที่นี้ จะใช้ค่าเฉลี่ยในแต่ละความถี่ ในการออกแบบโปรแกรมคำนวณซึ่งได้ผลดังนี้

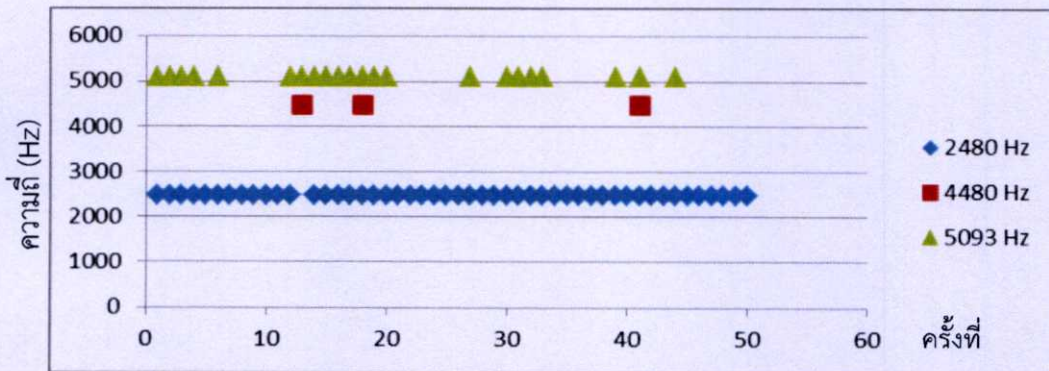
ตารางที่ 4.8 การตรวจพบความถี่ต่างๆ และค่าเฉลี่ย Magnitude ของเหล็กสีเขียวและสีแดง

ลำดับที่	คาลิปเปอร์สีเขียว				ลำดับที่	คาลิปเปอร์สีแดง			
	2480 Hz	4480 Hz	5093 Hz	ไม่พบ		2078 Hz	3757 Hz	6259 Hz	ไม่พบ
1					1				
2					2				
3					3				
4					4				
5					5				
6					6				
7					7				
8					8				
9					9				
10					10				
11					11				
12					12				
13					13				
14					14				
15					15				
16					16				
17					17				
18					18				
19					19				
20					20				
21					21				
22					22				
23					23				
24					24				
25					25				
26					26				
27					27				
28					28				

ตารางที่ 4.8 การตรวจพบความถี่ต่างๆ และค่าเฉลี่ย Magnitude ของเหล็กสีเขียวและสีแดง (ต่อ)

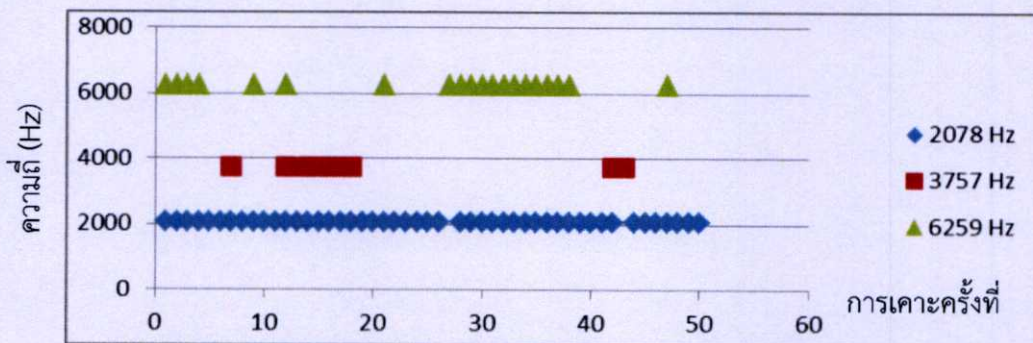
ลำดับที่	เหล็กสีเขียว				ลำดับที่	เหล็กสีแดง			
	2480 Hz	4480 Hz	5093 Hz	ไม่พบ		2078 Hz	3757 Hz	6259 Hz	ไม่พบ
29					29				
30					30				
31					31				
32					32				
33					33				
34					34				
35					35				
36					36				
37					37				
38					38				
39					39				
33					33				
34					34				
35					35				
36					36				
37					37				
38					38				
39					39				
40					40				
41					41				
42					42				
43					43				
44					44				
45					45				
46					46				
47					47				
48					48				
49					49				
50					50				

จากตารางที่ 4.8 การตรวจพบความถี่ต่างๆ และค่าเฉลี่ย Magnitude ของเหล็กสีเขียวและสีแดง ซึ่งหากตรวจพบจะแสดงเป็นสีเทา และแสดงเป็นสีขาว เมื่อไม่พบในความถี่หรือพบแต่มี Magnitude ไม่ตรงตามกำหนดจากกราฟแสดงผลของเหล็กสีเขียว จะเห็นได้ว่า สามารถตรวจพบและมีความแม่นยำ 100% ที่ Magnitude มากกว่าหรือเท่ากับ ความถี่ 3 ความถี่ คือ 2480 Hz, 4480 Hz และ 5093 Hz ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ผลการตรวจพบความถี่ และค่าเฉลี่ย Magnitude ของเหล็กสีเขียว

จากกราฟแสดงผลของเหล็กสีแดง จะเห็นได้ว่า สามารถตรวจพบและมีความแม่นยำ 100% ที่ Magnitude มากกว่าหรือเท่ากับ ความถี่ 3 ความถี่ คือ 2018 Hz, 3757 Hz และ 6259 Hz ซึ่งมี Magnitude ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ผลการตรวจพบความถี่ และค่าเฉลี่ย Magnitude ของเหล็กสีแดง

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เนื้อหาในบทนี้เป็นการสรุปงานวิจัยของเครื่องคัดแยกชิ้นงานโดยใช้การส่งผ่านคลื่นเสียง สรุปผลการทดลองที่ได้จากการทดลองทั้ง 2 วิธีวัดค่าและผลบันทึกเชิงสถิติ หลังจากที่ได้สรุปผลแล้วโดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการศึกษาและพัฒนาเครื่องต้นแบบซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับการคัดแยกชิ้นงานโลหะโดยใช้การส่งผ่านคลื่นเสียง เพื่อเป็นการประหยัดเวลาในการฝึกฝนบุคลากร ลดต้นทุนมีราคาถูกและใช้เวลาที่น้อยกว่า ซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการการคัดแยกคัดแยกชิ้นงานเป็น 2 วิธีโดยวิธีแรกคือโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกในการทดสอบโลหะตัวอย่าง 8 ชนิด ได้แก่ ทองแดง ทองเหลือง อะลูมิเนียม เหล็กชุบกำลวานไนส์ อะลูมิเนียมขัดเงา สแตนเลส เหล็กซีทีไฟล์และเหล็ก เป็นการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive Testing) โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหาย ต่อรูปร่าง ขนาด หรือสมบัติของชิ้นทดสอบแต่อย่างใด จากผลการทดลองของเครื่องคัดแยกโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกสามารถแยกชนิดของโลหะได้อย่างชัดเจนโดยค่าความแรงของสัญญาณแอมพลิจูดผลที่ได้คือ 1. ทองแดง 2. ทองเหลือง 3. เหล็กชุบกำลวานไนส์ 4. เหล็ก 5. สแตนเลส 6. เหล็กซีทีไฟล์ 7. อะลูมิเนียมขัดเงา 8. อะลูมิเนียม ที่มีความแรงของคลื่นสะท้อนกลับแอมพลิจูดเฉลี่ยที่ 368.4, 335.2, 323.6, 308.6, 277.8, 265.1, 257.5, 244.6 mV ตามลำดับแต่วิธีนี้ค่าที่ได้จากการวัดอาจมีค่าใกล้เคียงกันในกรณีกลุ่มตัวอย่างมีส่วนผสมใกล้เคียงกัน วิธีต่อมาคือวิธีการเคาะและแปลงฟูเรียร์ การสร้างเครื่องคัดแยกโลหะด้วยเสียงโดยวิธีการเคาะ โดยใช้โปรแกรม MATLAB ที่ใช้ในการตรวจสอบบนคอมพิวเตอร์ และควบคุมการเคาะด้วยเครื่องเคาะ ผลที่แสดงบนหน้าจอสามารถระบุได้ถูกต้องและแม่นยำได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ แต่หากระบุความถี่เพียง 1 ความถี่ จะผลการเคาะแยกสัญญาณจะถูกต้องและแม่นยำได้ถึง 97 เปอร์เซ็นต์

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. วิธีใช้คลื่นอัลตราโซนิคการวัดค่าความแรงของคลื่นสะท้อน ขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสและรูปทรงของวัตถุนั้นด้วย จึงเป็นปัญหาข้อจำกัดอย่างหนึ่งของการทดลอง
2. การทดลองอาจมีตัวแปรควบคุมหลายอย่างต้องศึกษาและทำความเข้าใจให้ละเอียดกว่านี้เพื่อผลการทดลองที่ดีและถูกต้องที่สุด
3. สามารถนำไปพัฒนาได้อีกโดยอาศัยหลักการและทฤษฎีดังกล่าว
4. ปรับปรุงการออกแบบเครื่อง ให้มีความแข็งแรงทนทานเพื่อยืดอายุการใช้งาน และออกแบบวงจรและการติดตั้งอุปกรณ์ต่างให้มีการจัดวางที่ลงตัวมากขึ้นเพื่อที่จะสามารถนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

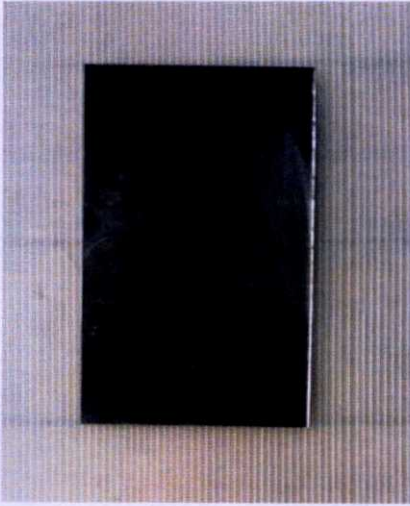
## เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Zhao, K.Wang and Y. Guo, "Acoustic emission signals classification based on support vector machine," **2nd International Conference on Computer Engineering and Technology**, Vol.6, pp.300-304, 2010.
- [2] M.Barbu, E.Kaminsky and R.E.Trahan, "Acoustic Seabed Classification using Fractional Fourier Transform and Time-frequency Transform Techniques," **OCEANS 2006**, pp.1-6, 2006.
- [3] K.Lee, "Effective Approaches to Extract Features and Classify Echoes in long Ultrasound Signals from Metal Shafts," **International Workshop on Education Technology and Training & 2008 International Workshop on Geoscience and Remote Sensing**, Vol.1, pp.728-733, 2008.
- [4] V.Sankaran, "Acoustic Resonance Testing Using Transfrom Decomposition and Support Vector Machines for efficient and accurate Detection of Defect in Forged Components," **18<sup>th</sup> Word Conference on Nondestructive Testing**, April 16-20, 2012.
- [5] E.Coffey, "Acoustic Resonance Testing," **2012 Future of Instrumentation and International Workshop Proceedings**, pp.1-2, 2012.
- [6] Y.Zhang and Q.Wang, "Statistical analysis of resonance frequency error for ultrasonic weiding machine transducer," **International Technology and Innovation Conference**, pp.50-55, 2006.
- [7] Y.Musha, M.Hara, H.Asano and H. Kuwano, "Oscillator based surface acoustic wave gyroscopes," **IEEE 11thAnnual International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems** , pp.557-560, 2016.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

โลหะที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ ก-1 อะลูมิเนียมซัดเงา



รูปที่ ก-3 อะลูมิเนียม



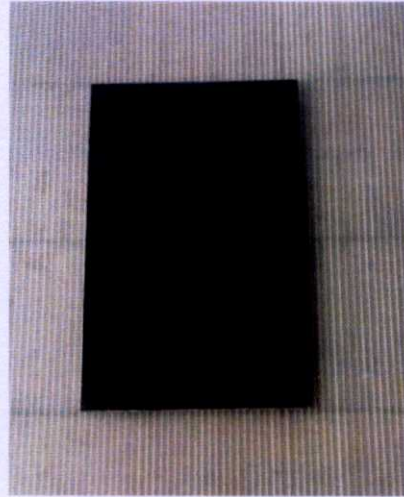
รูปที่ ก-2 สแตนเลส



รูปที่ ก-4 เหล็กซีทไฟล์



รูปที่ ก-5 เหล็กชุบกำลัปวาไนส์



รูปที่ ก-7 เหล็ก



รูปที่ ก-6 ทองเหลือง



รูปที่ ก-8 ทองแดง

ภาคผนวก ข

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

# เครื่องคัดแยกโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก

## Metal Classifying Machine Using Ultrasonic Testing Method

อัยญาช น้อยผล นพคุณ มณีรัตน์

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบเครื่องคัดแยกโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องกำเนิดความถี่ เป็นวงจรโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานและสร้างคลื่นอัลตราโซนิกขนาด 40 กิโลเฮิร์ตซ์ส่งให้กับอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งคลื่นความถี่ไปยังวัตถุ และเป็นตัวรับคลื่นความถี่ที่สะท้อนกลับออกมาจากวัตถุเป้าหมาย ในการประมวลผลคือการนำคลื่นความถี่อัลตราโซนิกที่สะท้อนกลับออกมาแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการใช้การจับความแรงของสัญญาณเสียงที่สะท้อนกลับในคาบเวลานั้น เป็นตัวแยกความต่างชนิดของวัตถุ ซึ่งวัตถุแต่ละชนิดมีความหนาแน่นและโครงสร้างแตกต่างกัน ดังนั้นความแรงของสัญญาณเสียงที่สะท้อนกลับ จึงไม่เท่ากันด้วย การทดสอบสามารถแบ่งแยกโลหะ 8 ชนิดได้แก่ เหล็ก ทองแดง ทองเหลือง อะลูมิเนียม เหล็กซีทีพี สแตนเลส เหล็กชุบกลวาไนส์ อะลูมิเนียมขัดเงา ที่นำมาใช้ในการทดสอบได้อย่างแม่นยำ แสดงความแตกต่างได้อย่างชัดเจน ใช้เวลาในการประมวลผลรวดเร็ว ด้วยขนาดของเครื่องที่เล็กและพกพาสะดวก ราคาต้นทุนต่ำจึงสามารถนำไปใช้ในภาคปฏิบัติการอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี

**คำสำคัญ :** อัลตราโซนิก, ไมโครคอนโทรลเลอร์, โลหะ, การคัดแยก

### Abstract

This paper presents the design and development of a metal classifying machine that uses ultrasonic wave. The machine consists of a frequency generator which uses a microcontroller to control the processes and create an ultrasonic wave of 40 kHz then sends it to the ultrasonic transducer. The transducer has a function that transfers the frequency to the object and receives the reflected wave from that particular object. For result evaluation, the reflected ultrasonic wave is transformed into an electrical wave and measures the intensity of the reflected sound wave at a specific time. Using this technique the machine can distinguish and differentiate metal types. Each type of objects has different density and structure. Therefore, The reflected intensity are also different. By testing these variables, The machine can classify eight different types of metal, Which are Steel, Copper, Brass, Aluminum, Steel sheet pile, Stainless steel, Galvanized steel, And Polished aluminum, Show differences clearly accuracy and high evaluation speed. Due to the small size and low cost price of the machine, it can be used in the industry efficiently.

**Keywords :** Ultrasonic, Microcontroller, Metal, Classification

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันการเจริญเติบโตในภาคอุตสาหกรรมนั้นเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยี อุตสาหกรรมต่างๆที่เติบโตขึ้นเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้อุปโภคบริโภค การพัฒนาอุตสาหกรรมก็ยังคงมีต่อไปเรื่อยๆ เพื่อให้เกิดผลผลิตของอุตสาหกรรมตนเองที่ดียิ่งขึ้น การพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การลดต้นทุนการผลิต การมุ่งหวังผลกำไรนั้นย่อมเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของอุตสาหกรรมนั้นๆ เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ทำร่วมกับทางบริษัท เอ.ไอ. เทคโนโลยี อินดัสทรี จำกัด ซึ่งเป็นโรงงานหล่อเหล็ก หลังจากที่มีการหล่อเหล็กแล้วนั้น ก็จะต้องมีการคัดแยก[1-2]และการทดสอบคุณภาพของเหล็กว่าได้มาตรฐานหรือไม่ โดยก่อนหน้านี้ทางโรงงานได้ใช้คนในการตรวจเช็คคัดแยกของเหล็กหล่อด้วยการเคาะและฟังเสียง[3] จะใช้แรงงานมนุษย์เป็นหลัก ซึ่งมีความยุ่งยากในการฝึกฝน ใช้เวลานาน อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบไม่คงที่ขึ้นอยู่กับความชำนาญของแต่ละบุคคล ทำให้ความไม่แน่นอนในการเช็คคุณภาพของเหล็กหล่อ

จากปัญหาที่เกิดขึ้นและได้กล่าวมาข้างต้น จึงเกิดงานวิจัยที่ได้รับความร่วมมือจากทางบริษัทเริ่มต้นพัฒนาเครื่องคัดแยกโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก[4] ซึ่งการทดสอบด้วยคลื่นอัลตราโซนิกนั้นเป็นส่วนหนึ่งของการการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive Testing) [5] เป็นการทดสอบที่ไม่มีผลกระทบหรือเกิดความเสียหายแก่วัตถุและให้ผลที่แม่นยำถูกต้องกว่าการใช้แรงงานคน ยังเป็นการลดต้นทุนการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมลดค่าใช้จ่ายจากแรงงานมนุษย์ และป้องกันอันตรายทางอ้อมที่อาจจะเกิดขึ้นกับแรงงานมนุษย์โดยการใช้เครื่องมือแทน เครื่องคัดแยกโลหะโดยใช้คลื่น

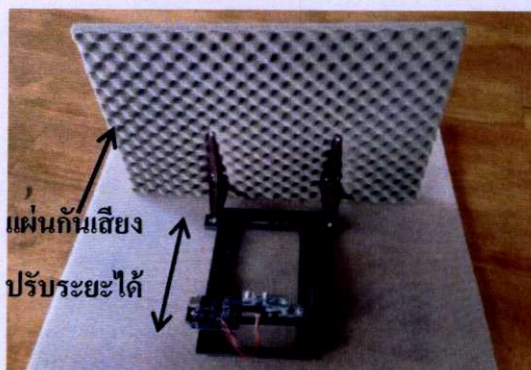
อัลตราโซนิกนี้มีขนาดเล็กมีน้ำหนักเบา ง่ายต่อการใช้งานและให้ผลที่แม่นยำใช้เวลาน้อยในการประมวลผล

## 2. โครงสร้างของระบบ

หลักการทำงานของเครื่องคัดแยกโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก ประกอบไปด้วยบอร์ด Arduino UNO R3 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่ใช้การเขียนโปรแกรมควบคุมและกำเนิดความถี่ เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้โดยตรงผ่าน USB สามารถเขียนและโปรแกรมตัวบอร์ดด้วย Arduino IDE ตัวบอร์ดใช้ชีพประมวลผลเป็น MCU เบอร์ Atmega328P ซึ่งมีความในการประมวลผล 20 ล้านคำสั่งต่อวินาที 20MIP ( million instructions per second ) ที่สามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว และในการสร้างความถี่นั้นสร้างโดยวงจรผลิตความถี่ขนาด 40 kHz ด้วย Ultrasonic Sensor Module HC-SR04 เป็นเซนเซอร์โมดูลสำหรับตรวจจับวัตถุและวัดระยะทางแบบไม่สัมผัส

### 2.1 การออกแบบตัวเครื่อง

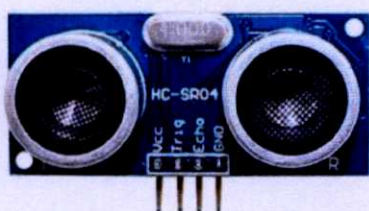
ตัวเครื่องถูกออกแบบให้สามารถปรับระยะทางได้สูงสุดที่ 30 cm เป็นลักษณะโครงตั้งฉากกับพื้นระนาบ ติดแผ่นกันเสียงสะท้อนที่ฉากด้านหลังกว้าง 30 cm ยาว 50 cm



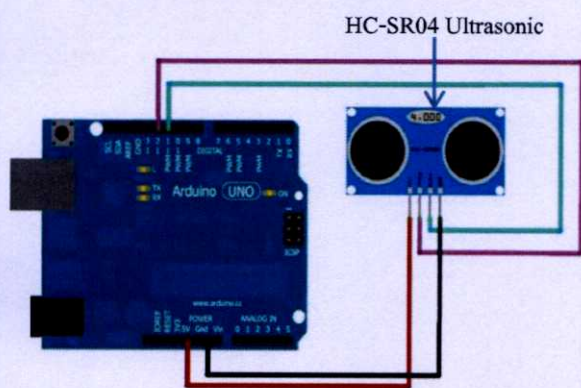
รูปที่ 1 แสดงการออกแบบตัวเครื่อง

## 2.1 การออกแบบชุดกำเนิดความถี่

ลักษณะการทำงานของวงจรเครื่องคัดแยกโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกที่มีความถี่ที่ 40 kHz โดยมี Ultrasonic Sensor Module HC-SR04 ที่ทำหน้าที่ส่งคลื่นความถี่อัลตราโซนิก และรับคลื่นความถี่ที่สะท้อนกลับออกมาจากวัตถุ โดยการใช้ไมโครตรวจจับสัญญาณและเซนเซอร์อัลตราโซนิก HC-SR04 เป็นเซนเซอร์ไมโครสำหรับตรวจจับวัตถุและวัดระยะทางแบบไม่สัมผัส ซึ่งเป็นคลื่นเสียงความถี่สูงเกินกว่าการได้ยินของมนุษย์ วัดระยะได้ตั้งแต่ 2 – 400 เซนติเมตรสามารถต่อใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2 ไมโครอัลตราโซนิก HC-SR04



รูปที่ 3 ชุดกำเนิดความถี่

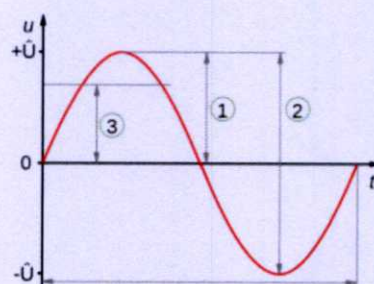
## 2.2 หลักการทำงานของอัลตราโซนิกเซนเซอร์

โดยตัวเซนเซอร์จะทำงานโดย ตัวส่งสัญญาณจะส่งสัญญาณนาฬิกาไปที่ตัวคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมการแปลงสัญญาณ แล้วส่งไปต่อที่ตัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์[6]ซึ่งแบ่งเป็นสองส่วนคือ ตัวส่งและ

ตัวรับ ตัวส่งจะสร้างคลื่นเสียงอัลตราโซนิก จากสัญญาณไฟฟ้าแล้วส่งคลื่นเสียงความถี่สูงหรืออัลตราโซนิกออกไปเป็นแนวตรง และเมื่อคลื่นเสียงอัลตราโซนิกไปกระทบกับวัตถุใดๆ ตามหลักการของคลื่นเสียง คือ มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อนเมื่อเสียงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยไปยังวัตถุที่มีความหนาแน่นมากกว่า คลื่นเสียงจะถูกสะท้อนกลับมาที่มุมเท่าเดิมที่ตัวรับคลื่นเสียงอัลตราโซนิก เมื่อตัวรับได้รับคลื่นเสียงที่ถูกสะท้อนกลับมาแล้ว ตัวรับจะแปลงคลื่นเสียงอัลตราโซนิกนั้นเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วส่งต่อ ให้ตัวประมวลผล

## 2.3 วิธีการและทฤษฎี

คลื่นเสียงเป็นคลื่นกลที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุ เมื่อวัตถุเกิดการสั่นสะเทือนก็จะทำให้เกิดการอัดและขยายตัวของคลื่นเสียง และการวัดค่าของแอมพลิจูดของคลื่นเสียงที่ผ่านตัวกลาง แสดงถึงความแรงของคลื่นสามารถบ่งบอกได้ถึงความดังของเสียง (Loudness) ยิ่งแอมพลิจูดมีค่ามาก ความดังของเสียงก็มาก การวัดค่าความแรงของคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับมาผ่านตัวกลางด้วย Digital Storage Oscilloscope[7] แสดงเป็นรูปคลื่นแอมพลิจูด



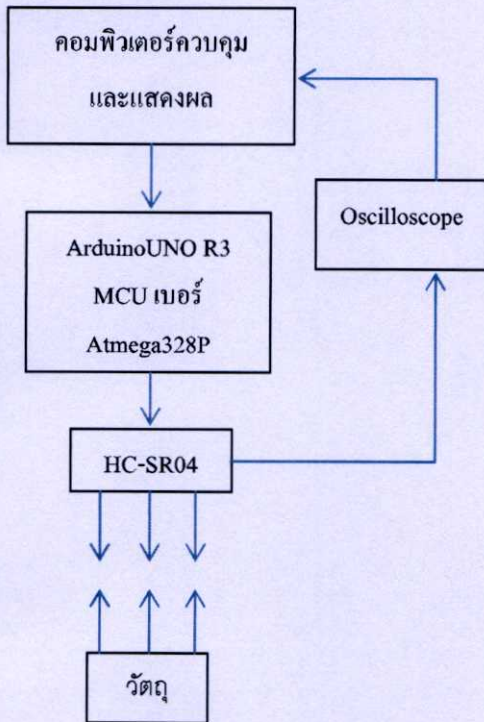
กราฟชายน้

- 1 = Peak amplitude ( $\hat{U}$ ),
- 2 = **Peak-to-peak** amplitude ( $2\hat{U}$ ),
- 3 = **RMS** amplitude ( $\hat{U}/\sqrt{2}$ ),

รูปที่ 4 แสดงรูปแอมพลิจูด

### 3. ขั้นตอนและผลการทดลอง

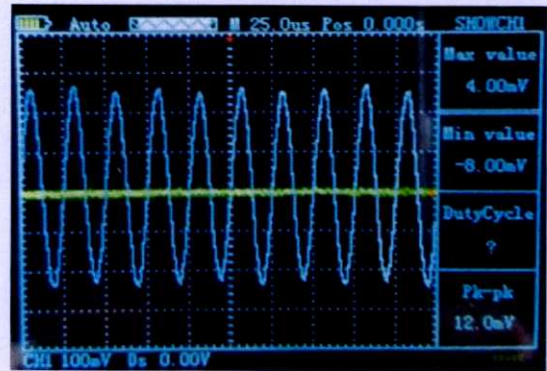
การทดลองคือการยิงคลื่นความถี่อัลตราโซนิกที่ได้ขนาด 40 kHz ที่ระยะ 15 cm ไปยังโลหะ 8 ชนิด ได้แก่ เหล็ก ทองแดง ทองเหลือง อะลูมิเนียม เหล็กชิทไฟล์ สแตนเลส เหล็กชุบกัลวาไนส์ อะลูมิเนียมขัดเงา จากนั้นวัดค่าความแรงของสัญญาณเสียงที่สะท้อนกลับ



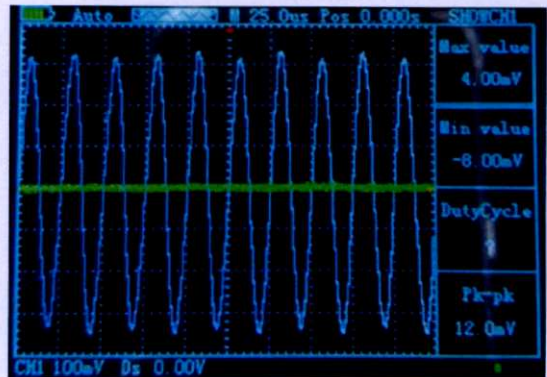
รูปที่ 5 บล็อกไดอะแกรม (Block Diagram) ของระบบ



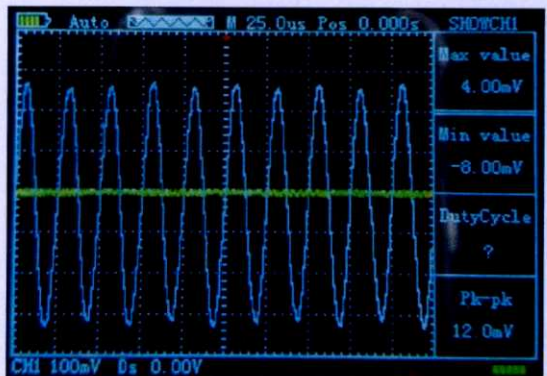
รูปที่ 6 แผ่นโลหะ 8 ชนิดที่นำมาใช้ในการทดสอบได้แก่ ทองแดง ทองเหลือง อะลูมิเนียม เหล็กชุบกัลวาไนส์ อะลูมิเนียมขัดเงา สแตนเลส เหล็กชิทไฟล์และเหล็ก



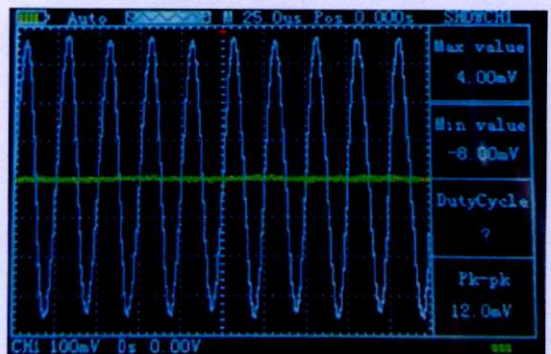
รูปที่ 7 คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของอะลูมิเนียมขัดเงา



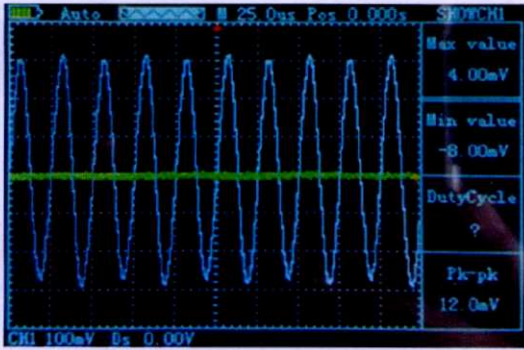
รูปที่ 8 คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของเหล็กชุบกัลวาไนส์



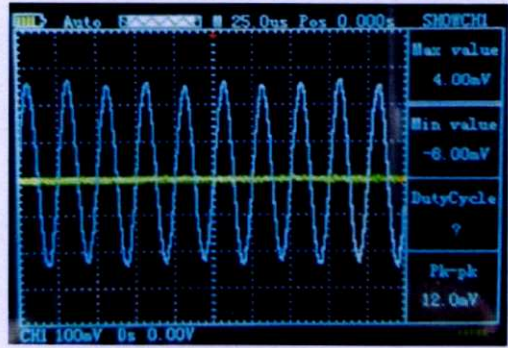
รูปที่ 9 คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของสแตนเลส



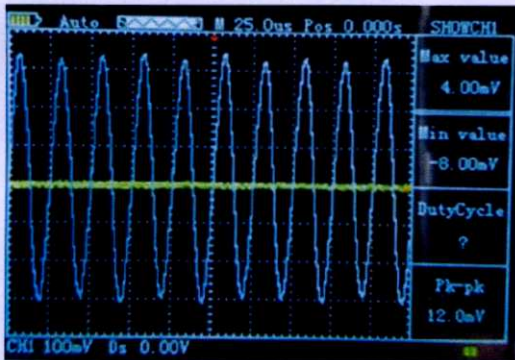
รูปที่ 10 คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของทองแดง



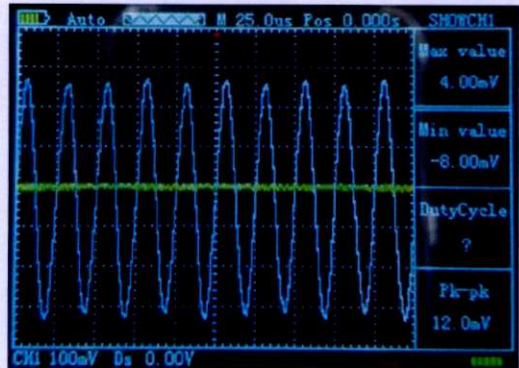
รูปที่ 11 คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของเหล็ก



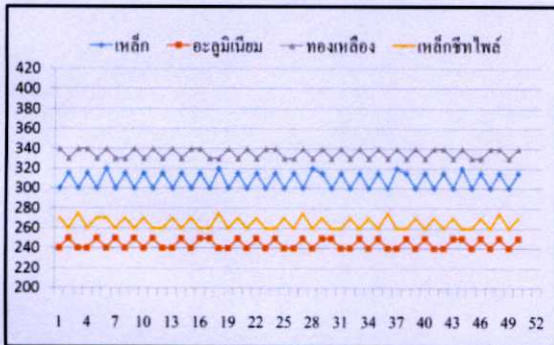
รูปที่ 13 คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของอะลูมิเนียม



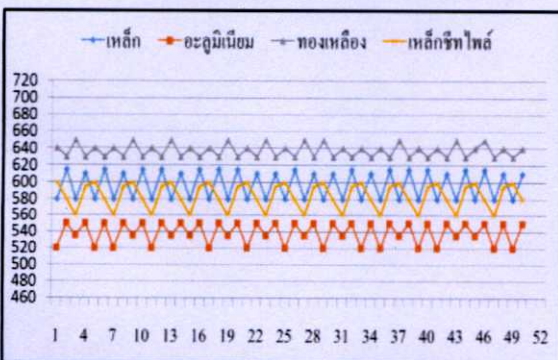
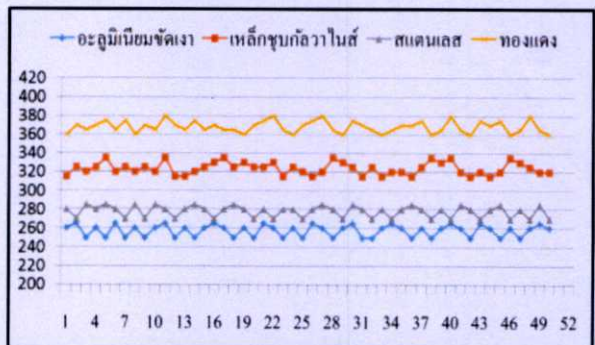
รูปที่ 12 คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของทองเหลือง



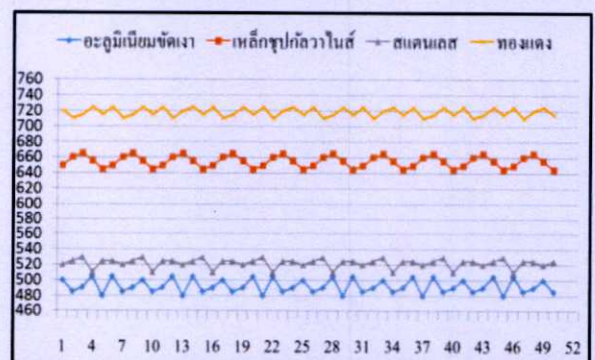
รูปที่ 14 คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของเหล็กชุบไฟฟ้

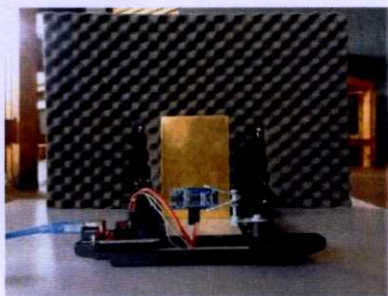


รูปที่ 15 กราฟแสดงแอมพลิจูดที่ได้ (amplitude) แกน x แสดงค่าแอมพลิจูด(mV) แกน y แสดงครั้งที่วัด



รูปที่ 16 กราฟแสดงแอมพลิจูดแบบพีคทูพีคที่ได้ (Peak-to-peak amplitude) แกน x แสดงค่าแอมพลิจูด(mV) แกน y แสดงครั้งที่วัด





รูปที่ 17 แสดงการทดลอง

จากการทดลองทดสอบด้วยโลหะ 8 ชนิดที่มีขนาดเท่ากันคือ กว้าง 10 cm ยาว 15 cm ความหนาที่ 2 mm โดยอาศัยกฎของการสะท้อนของคลื่นเสียงคือ คลื่นเสียงซึ่งเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยคืออากาศไปสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากคือโลหะ จะเกิดการสะท้อนโดยคลื่นสะท้อนจะมีเฟสเปลี่ยนไป  $180^\circ$  ที่ระยะทางและเวลาเท่าเดิม จากนั้นทำการวัดค่าความแรงของคลื่นที่สะท้อนกลับผ่านโลหะที่มีความหนาแน่นและโครงสร้างที่ต่างกัน โดยผลที่ได้คือ 1.ทองแดง 2.ทองเหลือง 3.เหล็กชุบกัลวานไนส์ 4.เหล็ก 5.สแตนเลส 6.เหล็กซีทไฟล์ 7.อะลูมิเนียมขัดเงา 8.อะลูมิเนียม ที่มี ความแรงของคลื่นสะท้อนกลับแอมพลิจูดเฉลี่ยที่ 368.4, 335.2, 323.6, 308.6, 277.8, 265.1, 257.5, 244.6 mV ตามลำดับ

ชนิดของโลหะ	แอมพลิจูด (amplitude)		แอมพลิจูดแบบพีคทูพีค (Peak-to-peak amplitude)	
	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
1.เหล็ก	320	308.3	615	596.4
2.อะลูมิเนียม	250	244.6	550	538.3
3.ทองเหลือง	340	335.2	650	637.2
4.เหล็กซีทไฟล์	275	265.1	600	584
5.อะลูมิเนียมขัดเงา	265	257.5	505	492.5
6.เหล็กชุบกัลวานไนส์	335	323.6	665	655
7.สแตนเลส	285	277.8	530	522.5
8.ทองแดง	380	368.4	725	718.3

รูปที่ 18 แสดงผลการวัดค่าแอมพลิจูดและค่าเฉลี่ย ของโลหะ 8 ชนิดที่ได้จากการทดลอง

แสดงได้ว่าค่าของแอมพลิจูดมากเท่าไร ความแรงของคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับออกมาผ่านวัตถุนั้นยิ่งมากด้วย และเมื่อนำค่าผลการทดลองที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นของโลหะสสารชนิดต่างๆคือ ทองแดง ทองเหลือง เหล็ก อะลูมิเนียม มีความหนาแน่น  $8.9 \times 10^3$ ,  $8.6 \times 10^3$ ,  $7.86 \times 10^3$ ,  $2.70 \times 10^3$   $\text{kg/m}^3$  ตามลำดับทำให้สามารถสรุปได้ว่าค่าความแรงของคลื่นสะท้อนแปรผันตามกับความหนาแน่นของโลหะนั้นด้วย

#### 4. สรุปผลการทดลอง

บทความนี้ได้นำเสนองานวิจัยที่สามารถออกแบบเครื่องคัดแยกโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิคพบว่าสามารถคัดแยกโลหะต่างชนิดกันได้ จากการทดลองโลหะทั้งหมด 8 ชนิดโดยใช้วิธีการหาค่าจากความแรงของคลื่นสะท้อนกลับที่ผ่านตัวกลางโลหะนั้น ความแรงของสัญญาณยิ่งมาก แอมพลิจูดยิ่งสูง และเมื่อนำค่าไปเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นเฉพาะของโลหะนั้น ค่าความแรงของคลื่นที่สะท้อนแปรผันตามค่าความหนาแน่นของชนิดของโลหะ และเครื่องคัดแยกโลหะนี้มีขนาดเล็กใช้งานได้สะดวกมีราคาต้นทุนต่ำใช้งานได้จริงในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งตรงตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ได้ร่วมมือกับบริษัทผลิตเหล็กเป็นการทดสอบที่ไม่มีผลกระทบหรือเกิดความเสียหายแก่วัตถุและให้ผลที่แม่นยำถูกต้องกว่าการใช้แรงงานคน ยังเป็นการลดต้นทุนการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมลดค่าใช้จ่ายจากแรงงานคน และป้องกันอันตรายทางอ้อมที่อาจจะเกิดขึ้นกับมนุษย์ เครื่องคัดแยกโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิคนี้มีขนาดเล็กมีน้ำหนักเบา ง่ายต่อการใช้งานและให้ผลที่แม่นยำใช้เวลาน้อยในการประมวลผล

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท เอ.ไอ. เทคโนโลยี อินดัสทรี จำกัด และโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม-พวอ. ที่ให้ความอนุเคราะห์งบประมาณและอุปกรณ์ต่างในการทำงานวิจัย

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Zhao, K.Wang and Y. Guo, "Acoustic emission signals classification based on support vector machine," 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology, Vol.6, pp.300-304, 2010.
- [2] M.Barbu, E.Kaminsky and R.E.Trahan, "Acoustic Seabed Classification using Fractional Fourier Transform and Time-frequency Transform Techniques," OCEANS 2006, pp.1-6, 2006.
- [3] K.Lee, "Effective Approaches to Extract Features and Classify Echoes in long Ultrasound Signals from Metal Shafts," International Workshop on Education Technology and Training & 2008 International Workshop on Geoscience and Remote Sensing, Vol.1, pp.728-733, 2008.
- [4] V.Sankaran, "Acoustic Resonance Testing Using Transfrom Decomposition and Support Vector Machines for efficient and accurate Detection of Defect in Forged Components," 18th World Conference on Nondestructive Testing, April 16-20, 2012.
- [5] E.Coffey, "Acoustic Resonance Testing," 2012 Future of Instrumentation International Workshop Proceedings, pp.1-2, 2012.
- [6] Y.Zhang and Q.Wang, "Statistical analysis of resonance frequency error for ultrasonic weiding machine transducer," International Technology and Innovation Conference, pp.50-55, 2006.
- [7] Y.Musha, M.Hara, H.Asano and H. Kuwano, "Oscillator based surface acoustic wave gyroscopes," IEEE 11th Annual International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems , pp.557-560, 2016.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายอัษฎายุธ น้อยผล
วัน เดือน ปีเกิด	23 สิงหาคม 2532
ที่	35/465 หมู่ 6 ตำบลเขาสามยอต อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี
E-mail	mostodimal@hotmail.com
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2554 หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระควบคุม ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง