เครื่องคัดแยกโลหะโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิค

Metal Classifying Machine Using Ultrasonic Testing Method

อัษฎายุธ น้อยผล นพดล มณีรัตน์

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบเครื่องคัดแยกโลหะโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิค ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องกำเนิดความถี่ เป็นวงจรโดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานและสร้างความถี่อัลตร้าโซนิคขนาด 40 กิโลเฮิรตซ์ส่งให้กับอัลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์ ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งคลื่นความถี่ไปยังวัตถุ และเป็นตัวรับคลื่นความถี่ที่สะท้อนกลับออกมาจากวัตถุเป้าหมาย ในการประมวลผลคือการนำคลื่นความถี่คลื่นอัลตร้าโซนิคที่สะท้อนกลับออกมาแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการใช้การจับความแรงของสัญญาณเสียงที่สะท้อนกลับในคาบเวลานั้น เป็นตัวแยกความต่างชนิดของวัตถุ ซึ่งวัตถุแต่ละชนิดมีความหนาแน่นและโครงสร้างแตกต่างกัน ดังนั้นความแรงของสัญญาณเสียงที่สะท้อนกลับ จึงไม่เท่ากันด้วย การทดสอบสามารถแบ่งแยกโลหะ 8 ชนิดได้แก่ เหล็ก ทองแดง ทองเหลือง อะลูมิเนียม เหล็กชีทไพล์ สแตนเลส เหล็กชุบกัลวาไนส์ อะลูมิเนียมขัดเงา ที่นำมาใช้ในการทดสอบได้อย่างแม่นยำ แสดงความแตกต่างได้อย่างชัดเจน ใช้เวลาในการประมวลผลรวดเร็ว ด้วยขนาดของเครื่องที่เล็กและพกพาสะดวก ราคาต้นทุนต่ำจึงสามารถนำไปใช้ในภาคปฏิบัติการอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ : อัลตร้าโซนิค, 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

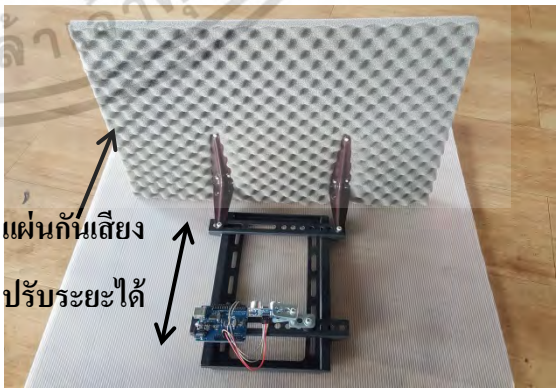
จากปัญหาที่เกิดขึ้นและได้กล่าวมาข้างต้น จึงเกิดงานวิจัยที่ได้รับความร่วมมือจากทางบริษัทเริ่มต้นพัฒนาเครื่องคัดแยกโลหะโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิค[4] ซึ่งการทดสอบด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิคนั้นเป็นส่วนหนึ่งของการการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive Testing) [5] เป็นการทดสอบที่ไม่มีผลกระทบหรือเกิดความเสียหายแก่วัตถุและให้ผลที่แม่นยำถูกต้องกว่าการใช้แรงงานคน ยังเป็นการลดต้นทุนการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมลดค่าจ้างจากแรงงานมนุษย์ และป้องกันอันตรายทางอ้อมที่อาจจะเกิดขึ้นกับแรงงานมนุษย์โดยการใช้เครื่องมือแทน เครื่องคัดแยกโลหะโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิคนี้มีขนาดเล็กมีน้ำหนักเบา ง่ายต่อการใช้งานและให้ผลที่แม่นยำใช้เวลาน้อยในการประมวลผล

2.โครงสร้างของระบบ

หลักการทำงานของเครื่องคัดแยกโลหะโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิค ประกอบไปด้วยบอร์ด Arduino UNO R3 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล AVR ที่ใช้การเขียนโปรแกรมควบคุมและกำเนิดความถี่ เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้โดยตรงผ่าน USB สามารถเขียนและโปรแกรมตัวบอร์ดด้วย Arduino IDE ตัวบอร์ดใช้ชิพประมวลผลเป็น MCU เบอร์ Atmega328P ซึ่งมีความในการประมวลผล20 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



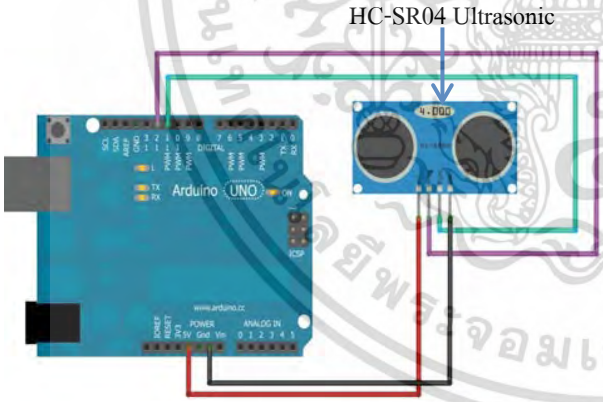
รูปที่ 1 แสดงการออกแบบตัวโครงเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 การออกแบบชุดกำเนิดความถี่

ลักษณะการทำงานของวงจรเครื่องคัดแยกโลหะโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิคที่มีความถี่ที่ 40 kHz โดยมี Ultrasonic Sensor Module HC-SR04 ที่ทำหน้าที่ส่งคลื่นความถี่อัลตร้าโซนิค และรับคลื่นความถี่ที่สะท้อนกลับออกมาจากวัตถุ โดยการใช้โมดูลตรวจจับสัญญาณและเซนเซอร์อัลตราโซนิก HC-SR04 เป็นเซนเซอร์โมดูลสำหรับตรวจจับวัตถุและวัดระยะทางแบบไม่สัมผัส ซึ่งเป็นคลื่นเสียงความถี่สูงเกินกว่าการได้ยินของมนุษย์ วัดระยะได้ตั้งแต่ 2 – 400 เซนติเมตรสามารถต่อใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์

รูปที่ 2 โมดูลอัลตราโซนิก HC-SR04



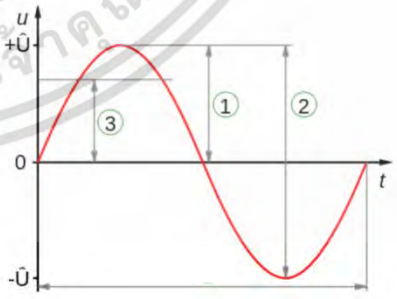
รูปที่ 3 ชุดกำเนิดความถี่

2.2 หลักการทำงานของอัลตร้าโซนิคเซนเซอร์

โดยตัวเซนเซอร์จะทำงานโดย ตัวส่งสัญญาณจะส่งสัญญาณนาฬิกาไปที่ตัวคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมการแปลงสัญญาณ แล้วส่งไปต่อที่ตัวอัลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์[6]ซึ่งแบ่งเป็นสองส่วนคือ ตัวส่งและตัวรับ ตัวส่งจะสร้างคลื่นเสียงอัลตร้าโซนิค จากสัญญาณไฟฟ้าแล้วส่งคลื่นเสียงความถี่สูงหรืออัลตร้าโซนิคออกไปเป็นแนวตรง และเมื่อคลื่นเสียงอัลต้าโซนิคไปกระทบกับวัตถุใดๆ ตามหลักการของคลื่นเสียง คือ มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อนเมื่อเสียงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยไปยังวัตถุที่มีความหนาแน่นมากกว่า คลื่นเสียงจะถูกสะท้อนกลับมาที่มุมเท่าเดิมที่ตัวรับคลื่นเสียงอัลตร้าโซนิค เมื่อตัวรับได้รับคลื่นเสียงที่ถูกสะท้อนกลับมาแล้ว ตัวรับจะแปลงคลื่นเสียงอัลตร้าโซนิคนั้นเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วส่งต่อ ให้ตัวประมวลผล

2.3 วิธีการและทฤษฎี

คลื่นเสียงเป็นคลื่นกลที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุ เมื่อวัตถุเกิดการสั่นสะเทือนก็จะทำให้เกิดการอัดและขยายตัวของคลื่นเสียง และการวัดค่าของแอมพลิจูดของคลื่นเสียงที่ผ่านตัวกลาง แสดงถึงความแรงของคลื่นสามารถบ่งบอกได้ถึงความดังของเสียง (Loudness) ยิ่งแอมปลิจูดมีค่ามาก ความดังของเสียงก็มาก การคัดว่าความแรงของคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับมาผ่านตัวกลางด้วย Digital Storage Oscilloscope[7] แสดงเป็นรูปคลื่นแอมพลิจูด



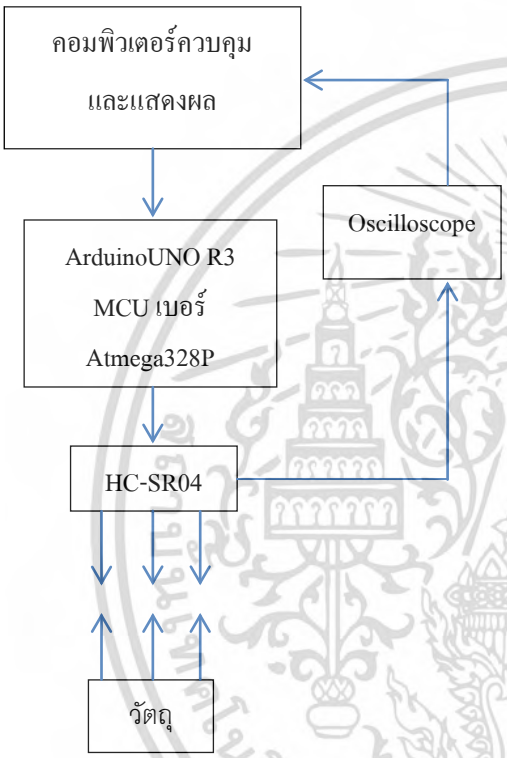
กราฟซายน์
1 = Peak amplitude ($\hat{U}$),
2 = Peak-to-peak amplitude ($2\hat{U}$),
3 = RMS amplitude ($\hat{U}/\sqrt{2}$),

รูปที่ 4 แสดงรูปแอมพลิจูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

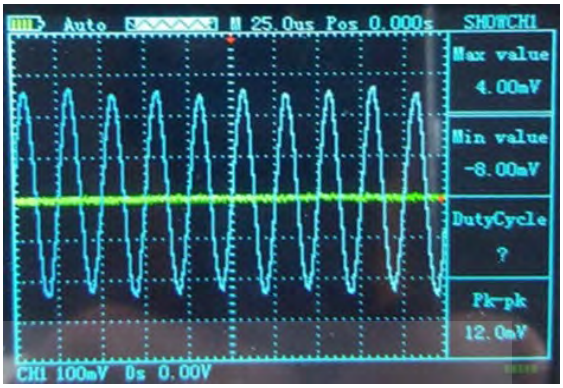
3. ขั้นตอนและผลการทดลอง

การทดลองคือการยิงคลื่นความถี่อัลตร้าโซนิคที่ได้ขนาด 40 kHz ที่ระยะ 15 cm ไปยังโลหะ 8 ชนิด ได้แก่ เหล็ก ทองแดง ทองเหลือง อะลูมิเนียม เหล็กชีทไพล์ สแตนเลส เหล็กชุบกัลวาไนส์ อะลูมิเนียมขัดเงา จากนั้นวัดค่าความแรงของสัญญาณเสียงที่สะท้อนกลับกลับ

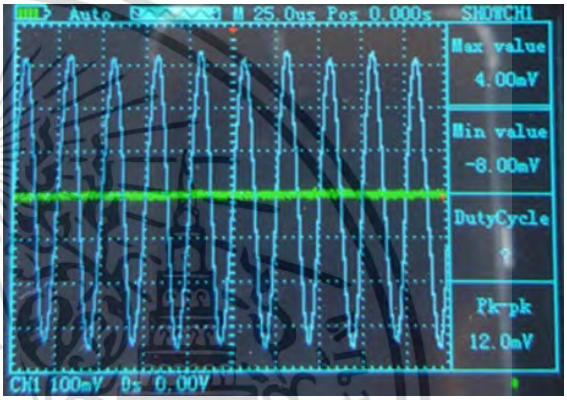


รูปที่ 5 บล๊อคไดอะแกรม (Block Diagram) ของระบบ

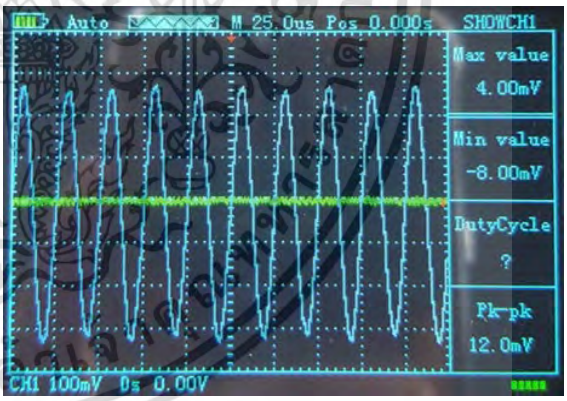
รูปที่ 6 แผ่นโลหะ 8 ชนิดที่นำมาใช้ในการทดสอบได้แก่ ทองแดง ทองเหลือง อะลูมิเนียม เหล็กชุบกัลวาไนส์ อะลูมิเนียมขัดเงา สแตนเลส เหล็กชีทไพล์และเหล็ก



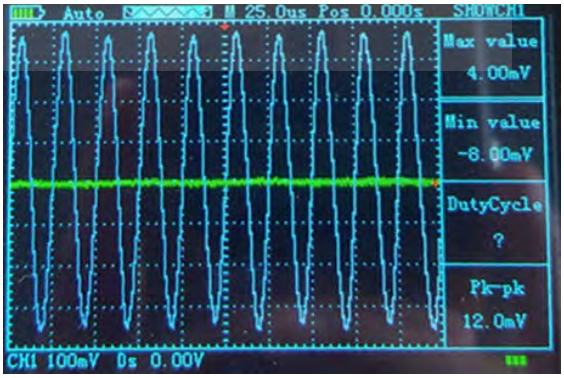
รูปที่ 7 คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของอะลูมิเนียมขัดเงา



รูปที่ 8 คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของเหล็กชุบกัลวาไนส์

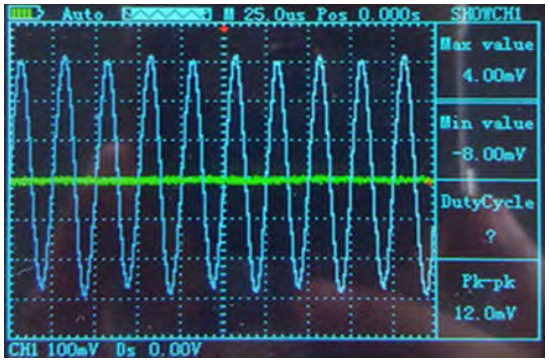


รูปที่ 9 คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของสแตนเลส

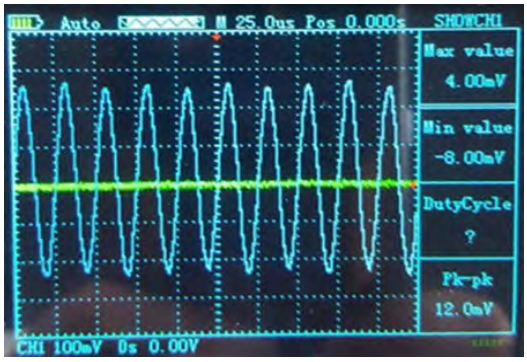


รูปที่ 10 คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของทองแดง

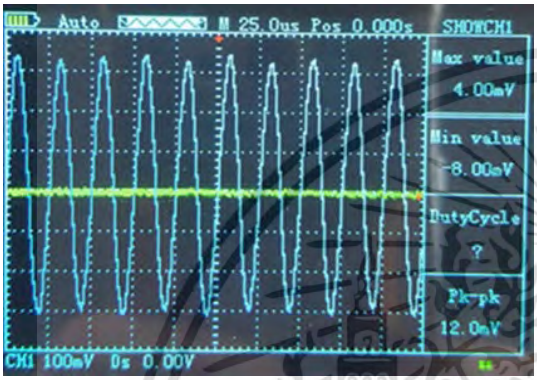
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



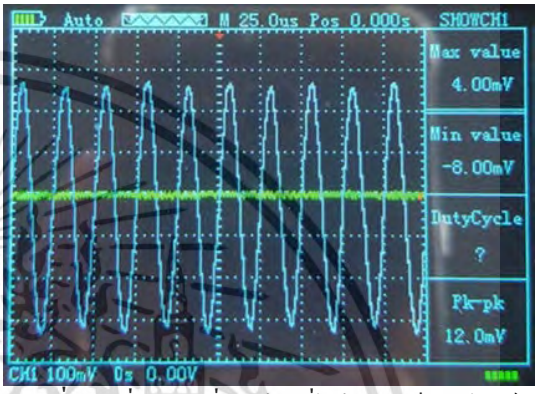
รูปที่ 11 คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของเหล็ก



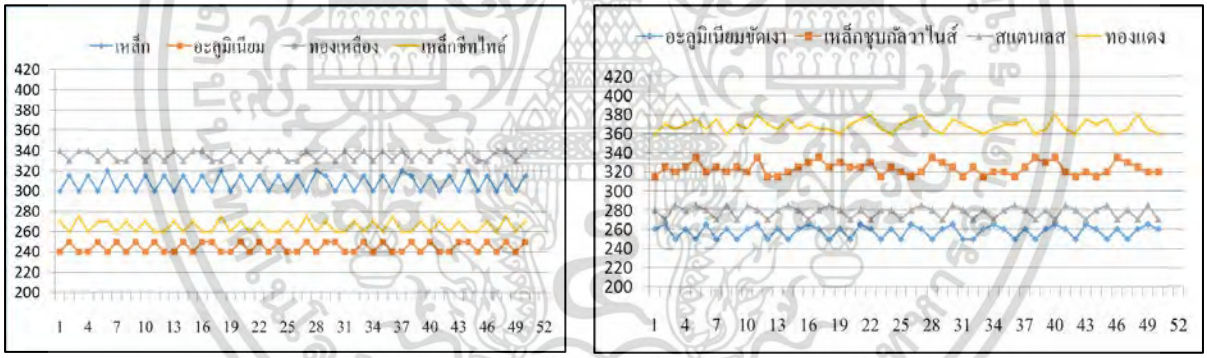
รูปที่ 13 คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของอะลูมิเนียม



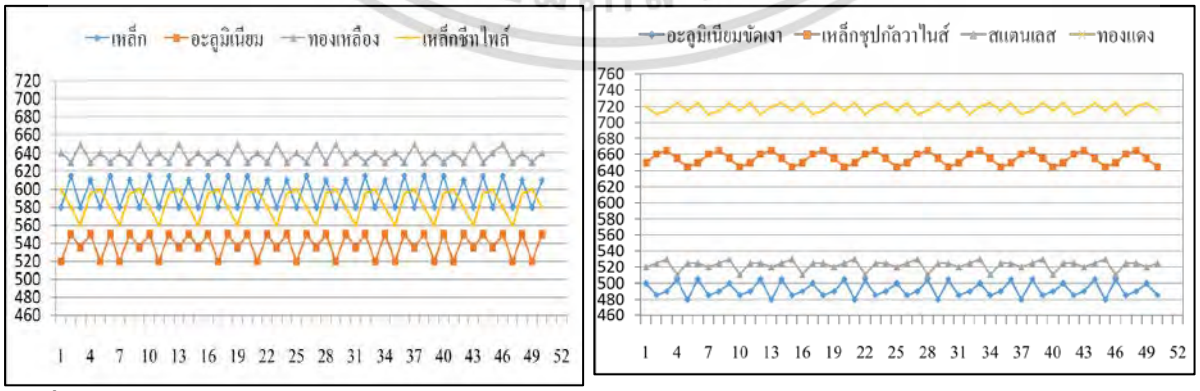
รูปที่ 12 คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของทองเหลือง



รูปที่ 14 คลื่นความถี่สะท้อนที่ได้ของเหล็กชีทไพล์

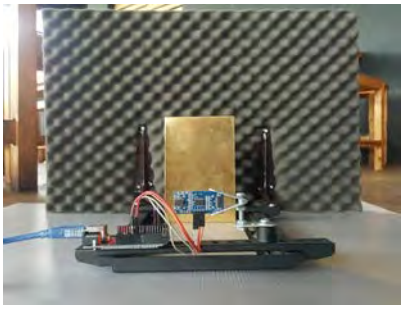


รูปที่ 15 กราฟแสดงแอมพลิจูดที่ได้(amplitude) แกน x แสดงค่าแอมพลิจูด(mV) แกน y แสดงครั้งที่วัด



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 17 แสดงการทดลอง

จากการทดลองทดสอบด้วยโลหะ 8 ชนิดที่มีขนาดเท่ากันคือ กว้าง 10 cm ยาว 15 cm ความหนาที่ 2 mm โดยอาศัยกฎของการสะท้อนของคลื่นเสียงคือ คลื่นเสียงซึ่งเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยคืออากาศไปสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากคือโลหะ จะเกิดการสะท้อนโดยคลื่นสะท้อนจะมีเฟสเปลี่ยนไป 180° ที่ระยะทางและเวลาเท่าเดิม จากนั้นทำการวัดค่าความแรงของคลื่นที่สะท้อนกลับผ่านโลหะที่มีความหนาแน่นและโครงสร้างที่ต่างกัน โดยผลที่ได้คือ 1.ทองแดง 2. ทองเหลือง 3.เหล็กชุบกัลป์วาไนส์ 4.เหล็ก 5.สแตนเลส 6.เหล็กชีทไพล์ 7.อะลูมิเนียมขัดเงา 8.อะลูมิเนียม ที่มีความแรงของคลื่นสะท้อนกลับแอมพลิจูดเฉลี่ยที่ 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.เหล็กชีทไพล์	275	265.1	600	584
5.อะลูมิเนียมขัดเงา	265	257.5	505	492.5
6.เหล็กชุบกัลวาไนส์	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 8.9×10^3, 8.6×10^3, 7.86×10^3, 2.70×10^3 kg/m^3 ตามลำดับทำให้สามารถสรุปได้ว่าค่าความแรงของคลื่นสะท้อนแปรผันตามกับความหนาแน่นของโลหะนั้นด้วย

4. สรุปผลการทดลอง

บทความนี้ได้นำเสนองานวิจัยที่สามารถออกแบบเครื่องคัดแยกโลหะโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิคพบว่าสามารถคัดแยกโลหะต่างชนิดกันได้ จากการทดลองโลหะทั้งหมด 8 ชนิดโดยใช้วิธีการหาค่าจากความแรงของคลื่นสะท้อนกลับที่ผ่านตัวกลางโลหะนั้น ความแรงของสัญญาณยิ่งมาก แอมพลิจูดยิ่งสูง และเมื่อนำค่าไปเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นเฉพาะของโลหะนั้น ค่าความแรงของคลื่นที่สะท้อนแปรผันตามค่าความหนาแน่นของชนิดของโลหะ และเครื่องคัดแยกโลหะนี้มีขนาดเล็กใช้งานได้สะดวกมีราคาต้นทุนต่ำใช้งานได้จริงในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งตรงตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ได้ร่วมมือกับบริษัทผลิตเหล็กเป็นการทดสอบที่ไม่มีผลกระทบหรือเกิดความเสียหายแก่วัตถุ และให้ผลที่แม่นยำถูกต้องกว่าการใช้แรงงานคน ยังเป็นการลดต้นทุนการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมลดค่าจ้างจากแรงงานคน และป้องกันอันตรายทางอ้อมที่อาจจะเกิดขึ้นกับมนุษย์ เครื่องคัดแยกโลหะโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิคนี้มีขนาดเล็กมีน้ำหนักเบา ง่ายต่อการใช้งานและให้ผลที่แม่นยำใช้เวลาน้อยในการประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. กิตติกรรมประกาศ

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

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,”18thWord 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 11thAnnual International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems , pp.557-560, 2016.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้