การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7
21-22 พฤษภาคม 2552

การออกแบบและสร้างเครื่องล้างอุปกรณ์ด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

Design and Construction of Ultrasonic Cleaner

ปิติกันต์ รักราชการ[1*] ประสพโชค โห้ทองคำ [2]
[1,2] ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม เขตภาษีเจริญ กรุงเทพฯ 10160
E-mail: pitikan99@hotmail.com*

Pitikan Rugrachagarn[1*] , Prasopchok Hothongkham[2]
[1,2] Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Siam University, Phasicharoen, Bangkok 10160
E-mail: pitikan99@hotmail.com*

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องล้างอุปกรณ์ด้วยคลื่นอัลตราโซนิกราคาประหยัด ซึ่งนำหลักการของอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงทำงานร่วมกับหม้อแปลงแรงดันความถี่สูงและวงจรที่เกี่ยวข้องอื่นๆ มาใช้ประโยชน์สำหรับการแปลงอินพุตไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำขนาด 220Vrms, 50Hz ให้เป็นเอาท์พุตไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงที่สามารถปรับแต่งค่าความถี่ได้ ขนาดแรงดัน 120Vrms ย่านความถี่ 30-40 kHz เพื่อจ่ายให้กับตัวแปลงสัญญาณอัลตราโซนิก ในงานวิจัยนี้ชุดของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์จำนวน 6 ตัว ถูกนำมาติดตั้งใต้ถาดเครื่องล้างอุปกรณ์เพื่อประกอบขึ้นเป็นเครื่องล้างอุปกรณ์ด้วยคลื่นอัลตราโซนิกที่สมบูรณ์ เครื่องล้างอุปกรณ์ด้วยคลื่นอัลตราโซนิกที่นำเสนอในบทความวิจัยนี้ได้ถูกสร้างและทำการทดลอง ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องนี้สามารถทำการล้างอุปกรณ์สะอาดภายในเวลา 10 นาที ซึ่งเป็นที่น่าพึงพอใจอย่างยิ่ง

คำหลัก วงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง, คลื่นอัลตราโซนิก, เครื่องล้างอัลตราโซนิก

Abstract

This paper proposed the design and construction of an inexpensive ultrasonic cleaner in which a high frequency inverter incorporating with a high frequency transformer and other auxiliary circuits are utilized to convert a low frequency AC input of 220Vrms, 50Hz to be an adjustable high frequency AC output of 120Vrms, 30-40kHz to apply to a set of ultrasonic transducer. In this work, a set of six 70-watt ultrasonic transducers is used to attach underneath a cleaner pan to form a complete ultrasonic cleaner. Experiment results, it can be clean within 10 minutes. The proposed ultrasonic cleaner is constructed and tested and its performance is found to be very satisfactory.

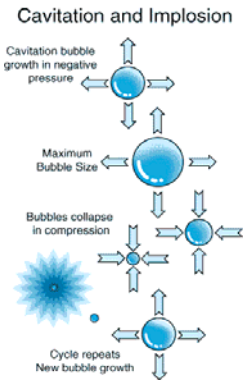
Keywords: High frequency inverter, Ultrasonic wave, Ultrasonic Cleaner

1. บทนำ

การทำความสะอาดโดยทั่วไปนั้นอาศัยการกำจัดสิ่งสกปรกโดยการทำให้สิ่งสกปรกละลายปนไปกับสารที่ใช้ในการทำความสะอาด ในกรณีที่สิ่งสกปรกละลายน้ำได้ หรือการแทนที่สิ่งสกปรกด้วยสารทำความสะอาดในกรณีที่สิ่งสกปรกไม่ละลายน้ำ หรือใช้สองวิธีรวมกันในกรณีที่สิ่งสกปรกมีทั้งชนิดที่ละลายน้ำได้และชนิดที่ไม่ละลายน้ำรวมกัน ปัญหาที่เกิดขึ้นคือ ในกรณีที่สิ่งสกปรกละลายในสารทำความสะอาดได้นั้นเมื่อสารทำความสะอาดรวมตัวกับสิ่งสกปรกจนเกิดการอิ่มตัว สารทำความสะอาดเกิดการอิ่มตัวนี้จะรวมตัวกันเป็นชั้น ๆ ขึ้นระหว่างพื้นผิวที่ต้องการทำความสะอาดกับสารทำความสะอาดที่ยังไม่อิ่มตัว ทำให้สารทำความสะอาดที่ยังไม่อิ่มตัวไม่สามารถรวมตัวกับสิ่งสกปรกได้ การทำความสะอาดจึงเป็นไปแบบไม่สมบูรณ์ และในกรณีที่สิ่งสกปรกไม่ละลายในสารทำความสะอาด สิ่งสกปรกเหล่านี้เป็นอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า และมีแรงดึงดูดยึดติดกับพื้นผิวของชิ้นงานที่ต้องการทำความสะอาดอนุภาคเหล่านี้ต้องการแรงกระทำที่มากพอจึงจะสามารถหลุดจากพื้นผิวของชิ้นงานได้

ปัญหาเหล่านี้จะหมดไปด้วยการทำความสะอาดแบบอัลตราโซนิก [1] การทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิกใช้ปรากฏการณ์การเกิดฟองอากาศ (Cavitation) และการยุบตัวของฟองอากาศ (Implosion) คือ เมื่อส่งคลื่นอัลตราโซนิกให้เคลื่อนที่ผ่านของเหลว จะทำให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดเล็ก ๆ จำนวนมากในน้ำ เมื่อฟองอากาศบริเวณผิวของวัตถุเกิดการยุบตัวและแตกกระจายออกจะเกิดแรงกระตุ้นให้สิ่งสกปรกหลุดออกจากผิวของวัตถุได้ ดังรูปที่ 1 ดังนั้นการทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิกจึงสามารถทำความสะอาดชิ้นงานที่มีพื้นผิวขรุขระหรือซอกเล็กๆ ได้ ทำให้สามารถทำความสะอาดได้อย่างทั่วถึง มีความรวดเร็วและ

มีประสิทธิภาพมากกว่าการทำความสะอาดแบบอื่น ๆ เช่น การฉีดพ่นด้วยของเหลว การใช้แปรงขัด การใช้ลมเป่า เป็นต้น

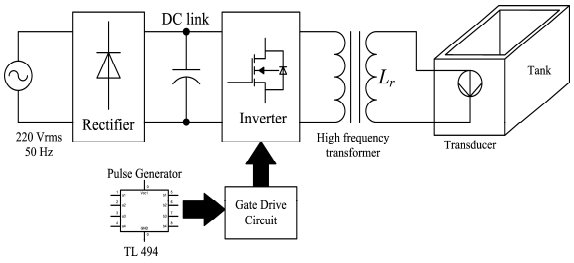


รูปที่ 1 การเกิดฟองอากาศและการยุบตัวของฟองอากาศ

เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิกที่มีจำหน่ายอยู่ตามท้องตลาดในขณะนี้ นั้นยังมีราคาค่อนข้างสูง บทความนี้ได้นำเสนอการสร้างและทดสอบเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิกที่มีราคาถูก แต่มีประสิทธิภาพทัดเทียมกับเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิกที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดและสามารถนำไปใช้ได้จริง

2. หลักการและโครงสร้าง

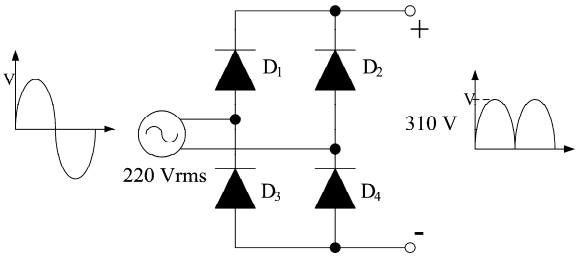
โครงสร้างโดยรวมของเครื่องล้างชิ้นส่วนโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก ซึ่งมีส่วนประกอบหลักคือ ส่วนวงจรเร็กติไฟร์ ส่วนวงจรดีซี–ลิงค์, ส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์, ส่วนวงจรกำเนิดสัญญาณพัลซ์, ส่วนวงจรขับเกท และส่วนของตัวกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิก ซึ่งรายละเอียดทั้งหมดแสดงเป็นไดอะแกรม ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมรวมของเครื่องล้างอุปกรณ์โดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก

2.1 วงจรเรียงกระแส (Rectifier circuit)

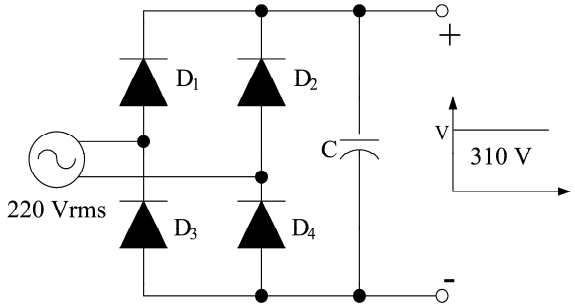
ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 220 Vrms, 50Hz ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 310 V เพื่อเป็นแรงดันขาเข้าให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ ซึ่งในวงจรส่วนนี้ได้ใช้ไดโอดบริดจ์แบบฟูลบริดจ์เบอร์ KBPC3504 ทำหน้าที่ดังกล่าว สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 วงจรเรียงไฟฟ้ากระแสตรง

2.2 วงจรดีซีลิงค์ (DC link)

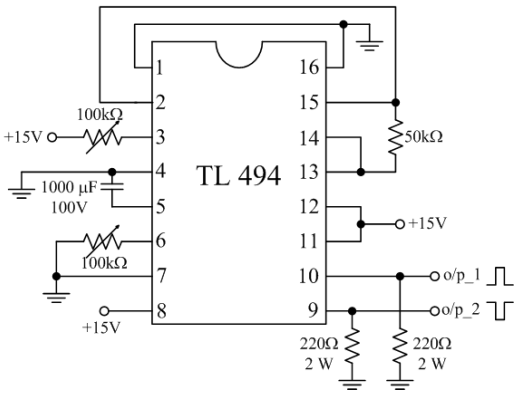
ทำหน้าที่กรองแรงดันไฟฟ้าดีซีที่ได้จากวงจรส่วนเร็กติไฟร์ให้เรียบ โดยปราศจากคลื่นริปเปิล เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่ได้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมากขึ้น และนำไปเป็นแรงดันไฟฟ้าขาเข้าให้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ ซึ่งในส่วนนี้ได้ใช้ตัวเก็บประจุต่อขนานกับวงจรเร็กติไฟร์ แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 วงจรดีซีลิงค์

2.3 วงจรส่วนกำเนิดสัญญาณพัลส์(Pulse generator)

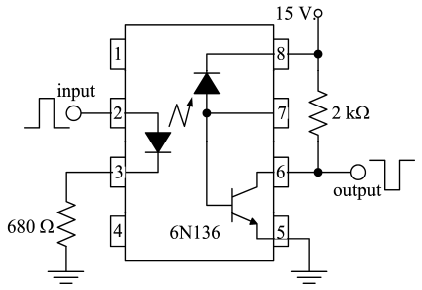
ทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์เพื่อควบคุมการทำงานของมอสเฟทกำลังทั้ง 4 ตัวในวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ ซึ่งใช้ไอซีเบอร์ TL494 ทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์ซึ่งสามารถปรับความถี่และปรับค่าดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) ได้ สามารถแสดงวงจรได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์โดยใช้ TL 494

2.4 วงจรเชื่อมต่อทางแสง (Optocoupler)

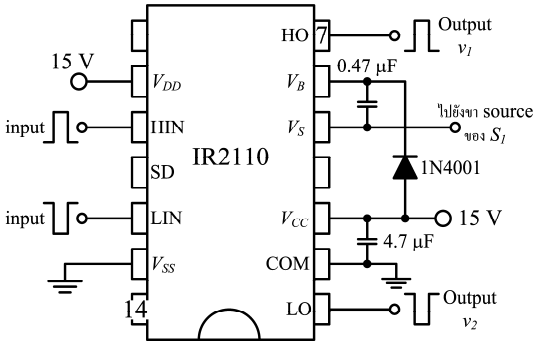
ทำหน้าที่แยกกราวน์ระหว่างวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์และวงจรขับเกตเพื่อป้องกันความเสียหายที่วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์โดยใช้ไอซีเบอร์ 6N136 ซึ่งสามารถทำมาใช้ทดแทน pulse transformer ในแบบเดิมๆที่มีขนาดใหญ่ได้ แสดงวงจรดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 วงจรเชื่อมต่อทางแสงโดยใช้ 6N136

2.5. วงจรส่วนขับเกท (Gate drive)

ทำหน้าที่ขยายสัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์จากไอซีเบอร์ 6N136 ให้มีขนาดสูงขึ้นเป็น 15 โวลท์ พร้อมทั้งทำหน้าที่แยกกราวนด์ระหว่างวงจรอินเวอร์ เตอร์กับวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ เพื่อป้องกันการลัดวงจรเข้าสู่วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ โดยใช้ไอซีเบอร์ IR2110 แสดงดังรูปที่ 7



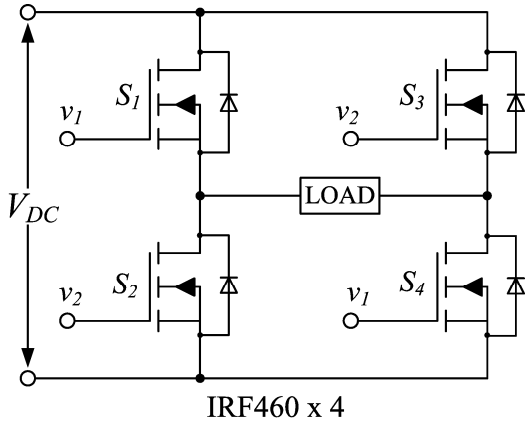
รูปที่ 7 วงจรขับเกทที่ใช้ IR2110

2.6 วงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง(High frequency inverter)

ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ [3] ซึ่งประกอบด้วย มอสเฟทกำลัง 4 ตัว ต่อในลักษณะวงจรอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสแบบฟูลบริดจ์ การทำงานของมอสเฟทกำลังทั้ง 4 ตัว จะได้รับสัญญาณขับเกทจากวงจรภาคขับเกท เพื่อทำให้มอสเฟท กำลังทำงานเป็นสวิทช์ (ON/OFF) เพื่อทำการตัดต่อไฟฟ้ากระแส ตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่ความถี่ 30-40kHz เพื่อส่งไปให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงต่อไป วงจรสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8

2.7. หม้อแปลงความถี่สูง (High frequency transformer)

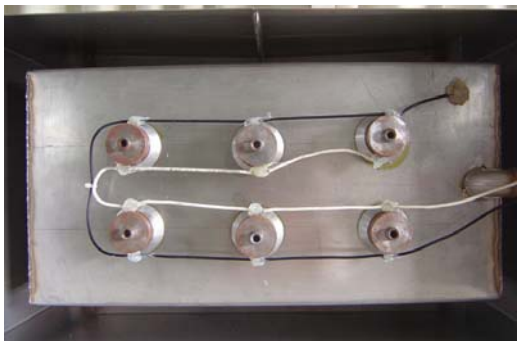
ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันที่มีความถี่สูงที่ออกจากวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งมีความถี่ประมาณ 30-40kHz โดยที่แรงดันที่ออกจากวงจรอินเวอร์เตอร์นั้นมีแรงดันเท่ากับ 220Vrms แต่ตัวทรานสดิวเซอร์ที่ทำหน้าที่กำเนิดคลื่นอัลตราโซนิกต้องการแรงดัน 120 Vrms เท่านั้น ดังนั้นหม้อแปลงความถี่จะทำการลดระดับแรงดันโดยมีอัตราส่วนของหม้อแปลงเท่ากับ 2:1 และเมื่อนำวงจรเร็กติไฟร์, วงจรดีซี–ลิงค์, วงจรกำเนิดสัญญาณพัลซ์, วงจรขับเกทและวงจรอินเวอร์เตอร์มาประกอบเข้าด้วยกัน จะได้เป็นวงจรรวมทั้งหมดขึ้นมา



รูปที่ 8 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ความถี่สูง

2.8. ตัวทรานสดิวเซอร์ที่ทำหน้าที่กำเนิดคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic transducer)

ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิก [4], [5] โดยตัวกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิกที่ใช้ในเครื่องล้างอัลตราโซนิกนี้ คือ ทรานสดิว เซอร์ชนิดเปียโซอิเลคทริคเซรามิคริสตอลขนาด 70 วัตต์ต่อทรานสดิวเซอร์หนึ่งตัว จำนวน 6 ตัว แสดงดังรูปที่ 9

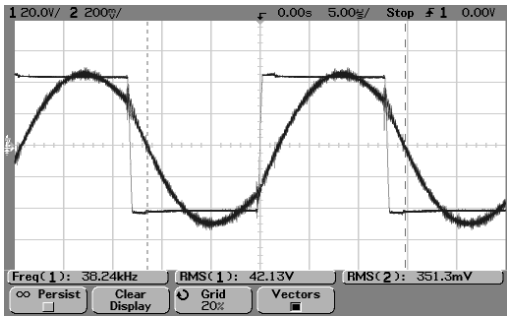


รูปที่ 9 ชุดหัวทรานสดิวเซอร์ 6 หัว ขนาด 4 2 0 W

3. การทดลองและผลการทดลอง

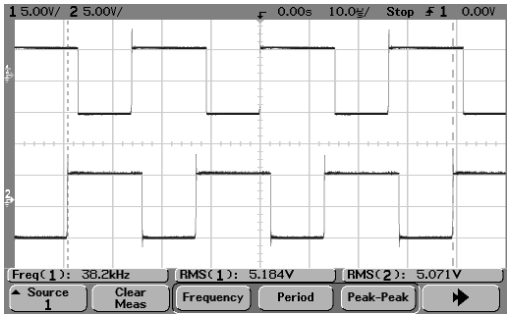
ในหัวข้อนี้จะได้ทำการทดสอบเครื่องล้างอัลตราโซนิกที่ทำการออกแบบและสร้างขึ้น ซึ่งสามารถแสดงลักษณะการต่อวงจรเพื่อทำการทดลองแสดงดังรูปที่ 10 และได้ทำการทดลองวัดรูปคลื่นแรงดันและกระแสทางด้านเอาท์พุตได้ดังรูปที่ 11

รูปที่ 10 การต่อชิ้นงานเพื่อทำการทดสอบ



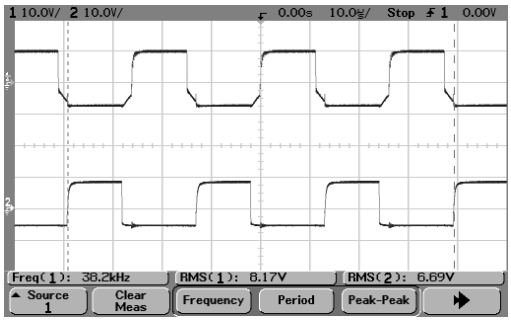
รูปที่ 11 รูปคลื่นแรงดันและกระแสทางด้านเอาท์พุต

จากการทดลองได้วัดสัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์โดยใช้ไอซี TL494 ดังรูปที่ 12 พร้อมทั้งวัดสัญญาณจากวงจรขับเกท ได้ดังรูปที่ 13 และกราฟแสดงคุณสมบัติแรงดัน-กระแสทางด้านอินพุต-เอาท์พุตของเครื่องล้างอัลตราโซนิกสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 14 และ 15 ตามลำดับ

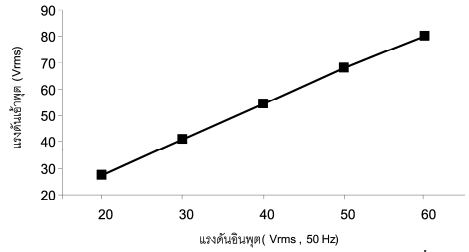


รูปที่ 12 สัญญาณพัลส์จากวงจรกำเนิดสัญญาณที่สร้างโดยไอซีเบอร์ TL494

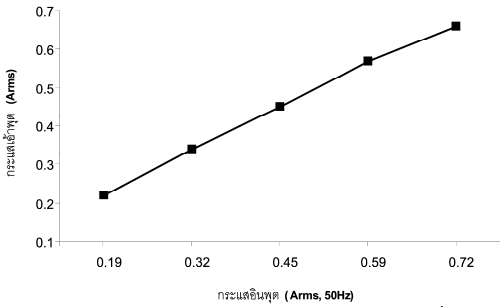
หลังจากนั้นทำการทดสอบเครื่องล้างอัลตราโซนิกในการล้างสิ่งสกปรก โดยทำการทดลองล้างชิ้นส่วนโลหะขนาดต่าง ๆที่มีรายละเอียดเล็กๆ ที่ยากต่อการทำความสะอาดได้ทั่วถึง โดยมีวิธีการทดสอบแสดงได้ในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 13 สัญญาณพัลส์จากวงจรขับเกท



รูปที่ 14 กราฟคุณสมบัติแรงดันอินพุต-เอาท์พุตของเครื่องต้นแบบ



รูปที่ 15 กราฟคุณสมบัติกระแสอินพุต-เอาท์พุตของเครื่องต้นแบบ

4. การทดสอบโดยการล้างชิ้นส่วนโลหะ

4.1 เตรียมอุปกรณ์ที่ต้องการล้าง นำชิ้นส่วนโลหะที่เป็นสนิม เช่น น็อตเหล็ก แท่งเหล็ก ขนาดต่างๆกันมาทำการทดสอบดังรูปที่ 16

รูปที่ 16 ลักษณะของโลหะขนาดต่างๆที่ใช้ในการทดสอบ

4.2 เตรียมเครื่องล้างอัลตราโซนิกโดยการเติมน้ำลงในถังสเตนเลสประมาณ 4 ลิตร (ถังสเตนเลสมีขนาดกว้าง 24cm ยาว 48cm และสูง 18cm บรรจุน้ำได้สูงสุดประมาณ 20ลิตร)

4.3 ขั้นตอนการทดสอบ

4.3.1 นำโลหะหมายเลข 1, 2 และ 3 ใส่ลงในเครื่องล้างอัลตราโซนิกทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 17 จากนั้นสังเกตน้ำที่ใช้ล้างแล้วเปรียบเทียบกับขณะที่ยังไม่ได้ล้างแสดงดังรูปที่ 18

รูปที่ 17 แท่งเหล็กหมายเลข 1, 2 และ 3 ขณะทำการล้างด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิก

รูปที่ 18 ลักษณะของน้ำที่ได้หลังจากทำการล้างโลหะแล้ว

4.3.3 นำโลหะที่เป็นน๊อตเหล็ก จำนวน 10 ตัว (หมายเลข 4) ใส่ลงในเครื่องล้างแล้วทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที แสดงดังรูปที่ 19 จากนั้นสังเกตน้ำที่ใช้ล้างแสดงได้ดังรูปที่ 20 พบว่าน้ำมีลักษณะขุ่นสีน้ำตาลเป็นผลมาจากการที่ได้ทำการล้างสนิมออกจากโลหะที่เป็น น๊อตเหล็กออกมา เมื่อนำโลหะที่เป็นน๊อตเหล็กที่ผ่านการล้างจากเครื่องล้างขึ้นมาแสดงดังรูปที่ 20 เมื่อทำการเปรียบเทียบกับกรณีก่อนที่ทำการล้างด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิก พบว่าเครื่องล้างอัลตราโซนิกสามารถทำการชะล้างสนิมที่ติดอยู่ที่โลหะที่เป็นเหล็กออกได้อย่างสะอาดเป็นผลที่น่าพอใจ

รูปที่ 19 โลหะที่เป็นน๊อตเหล็กขณะกำลังล้างด้วยเครื่องอัลตราโซนิก

รูปที่ 20 ลักษณะของน้ำที่ได้หลังจากทำการทดสอบการล้าง

รูปที่ 21 โลหะที่ผ่านการล้างจากเครื่องล้างอัลตราโซนิกแล้ว

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองล้างชิ้นส่วนโลหะโดยใช้เครื่องล้างอัตราโซนิกที่สร้างขึ้น โดยใช้ชิ้นส่วนโลหะขนาดต่างๆ แช่ลงในถังล้างที่มีน้ำสะอาดบรรจุอยู่ เป็นเวลา 15 นาที โดยปรับแต่งวงจรให้ทำงานกำเนิดคลื่นที่ความถี่เรโซแนนซ์ที่ประมาณ 32.3kHz พบว่าเครื่องล้างที่สร้างขึ้นสามารถกำจัดคราบสนิมจากโลหะได้เป็นอย่างดีโดยไม่ต้องใช้การขัดถูหรือน้ำยาทำความสะอาดใดๆ เป็นการลดแรงงานในการทำความสะอาด รักษาสิ่งแวดล้อม และมีต้นทุนในการสร้างไม่สูงมาก ซึ่งสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมทำความสะอาดเหล็กหรือชิ้นส่วนขนาดเล็กได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทาง มหาวิทยาลัยสยามที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยนี้ รวมทั้งสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรมในโครงการโครงงานอุตสาหกรรมสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี (IPUS) ประจำปี 2550 และขอขอบคุณบริษัท บี โอ โอ อะไหล่ จำกัด ที่ให้การสนับสนุนทั้งด้านข้อมูลและทุนสนับสนุนบางส่วนจนสามารถทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

ปริญญานิพนธ์ภาษาไทย

[1] ธเนศ สุขศิริกุล และคณะ, “เครื่องล้างอุปกรณ์โดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก”, ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสยาม, 2545

หนังสือภาษาไทย

[2] สุวัฒน์ ดั่น, “เทคนิคและการออกแบบสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย” , พิมพ์ครั้งที่ 1 , 2537

[3] โคทม อารียา, “อิเล็คทรอนิกส์กำลัง 1”, สำนักพิมพ์ซีเอ็ด, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2001

Book

[4] Kuttruff H., “Ultrasonic Fundamentals Application”, Elsevier Science Publishers LTD., London and New York, 1991

[5] Belincourt, don. “ Ultrasonic Trasducer Materials. “ , New York , Plenum Press , 1971.