

ผลของคลื่นความถี่อัลตราโซนิกส์และเวลาต่อประสิทธิภาพ ในการล้างใบเลื่อยลันดา

Effects of Ultrasonic Wave Frequency and Time on Handsaw Blade Cleaning Efficiency

เอกรัฐ อินตะวงศา^{1*}

^{1*} สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
119 หมู่ 9 ถนนลำปาง-แม่ทะ ตำบลชมพู อำเภอเมืองลำปาง จังหวัดลำปาง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างเครื่องล้างระบบอัลตราโซนิกส์ในปี พ.ศ.2558 เพื่อใช้ในการศึกษาอิทธิพลของความถี่และเวลา ต่อประสิทธิภาพในการทำทำความสะอาดใบเลื่อยลันดา ส่วนประกอบหลักของเครื่องประกอบด้วย ถังล้างทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมขนาดปริมาตรที่พอเหมาะ ติดตั้งหัวสั่นทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ใต้ตัวถัง 4 ชุดเรียงตามแนวยาว เป็นที่ให้กำเนิดคลื่นอัลตราโซนิกส์ความถี่ตามต้องการ การทำงานของเครื่องควบคุมโดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์พร้อมหม้อแปลงไฟฟ้า บรรจุภายในกล่องเหล็กกล้าไร้สนิมติดตั้งเคียงข้างกับตัวถัง สร้างถังล้างแบบเดียวกัน จำนวน 2 ถัง ด้วยความถี่ 28 และ 40 kHz จัดการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial) ประกอบด้วย 2 ความถี่ดังกล่าว และเวลาที่ใช้ในการล้าง 4 ระดับ (15 30 45 และ 60 วินาที) รวมมี 8 กลุ่มการทดลอง (Treatment) ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized designed) จำนวน 3 ซ้ำ ล้างโดยใช้น้ำประปาที่อุณหภูมิห้อง ($\approx 30^{\circ}\text{C}$) ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในทางปฏิบัติ พร้อมทั้งได้ทดลองการทำความสะอาดใบเลื่อยด้วยวิธีปกติควบคู่กันไป จำนวน 3 ซ้ำ เพื่อการศึกษาเปรียบเทียบ ก่อนและหลังการล้างได้ทำการประเมินความสะอาดใบเลื่อยด้วยการดูด้วยตาเปล่า กล้องจุลทรรศน์ และการวิเคราะห์อนุภาคบนเปื้อนบนผิวเลื่อยด้วยโปรแกรมอิมเมจเจ (Image J)

ผลการทดลองพบว่า การทำความสะอาดใบเลื่อยด้วยวิธีปกติใช้เวลาเฉลี่ย 307 วินาที ถึงแม้ใบเลื่อยมองดูสะอาดตา แต่จากการวิเคราะห์พบว่ายังคงมีอนุภาคบนเปื้อนอยู่ร้อยละ 4.27 บนผิวใบเลื่อย โดยปริมาณของอนุภาคที่ลดลงเท่ากับร้อยละ 56.9 หลังจากการทำความสะอาด ส่วนการล้างด้วยคลื่นอัลตราโซนิกส์ ผลปรากฏว่าความถี่และเวลามีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อความสะอาดของใบเลื่อย อนุภาคบนเปื้อนบนผิวลดลงอย่างรวดเร็วภายในเวลา 15 วินาที หลังจากนั้นได้ลดลงอีกอย่างช้า ๆ ตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นของการล้าง เมื่อเปรียบเทียบกับความสะอาดที่ได้จากวิธีปกติ การล้างด้วยวิธีอัลตราโซนิกส์ใช้เวลาเพียง 15 วินาที โดยที่อนุภาคบนเปื้อนคงค้างบนผิวใบเลื่อยมีน้อยกว่า คิดเป็นปริมาณที่ลดลงเท่ากับร้อยละ 73.1 และร้อยละ 79.3 ด้วยการล้างที่ความถี่ 28 และ 40 kHz ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า การล้างด้วยคลื่นอัลตราโซนิกส์ มีผลทำให้ร่องฟันเลื่อยมีความสะอาดมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการทำทำความสะอาดด้วยวิธีปกติ

คำสำคัญ : ใบเลื่อยลันดา, การล้างด้วยคลื่นอัลตราโซนิกส์, ความถี่และเวลา, ประสิทธิภาพในการทำ
ความสะอาด

Abstract

The present research was conducted using an ultrasonic cleaning system which was designed and constructed in 2015 to investigate the influence of frequency and time on the efficiency of handsaw blade cleaning. The main system consisted of a stainless steel tank equipped with 4 sets of transducers generating precise frequencies which were situated in a row at the bottom of the tank. The system was operated and controlled electronically with a transformer installed beside the tank. Two identical tanks with transducers operating at 28 and 40 kHz were constructed. Eight factorial treatments consisting of the 2 frequencies and 4 cleaning times (15, 30, 45 and 60 seconds) were assigned in a completely randomized design with 3 replications. Tap water at room temperature ($\approx 30^{\circ}\text{C}$) was utilized as the cleaning medium. Conventional cleaning was carried out concurrently 3 times as a comparison. Before and after cleaning, the saw blade cleanliness was evaluated by visual inspection and microscopy. The quantity of contaminated particles adhering to the blade surface was determined by Image J programming.

The results showed that it took an average of 307 seconds to clean the blades conventional. Though they appeared clean to the naked eye, 4.27% of the blade surface contained contaminated particles. After cleaning, contamination was decreased by 56.9%. The results of ultrasonic cleaning showed that handsaw blade cleanliness was significantly influenced by frequency and cleaning time. The amount of contaminated particles decreased rapidly after 15 seconds of cleaning and then slowly declined as cleaning time increased. To achieve a similar appearance to that observed using the conventional methods required only 15 seconds of ultrasonic cleaning, which resulted in lower quantities of blade surface contamination. The decreases in contaminant were 73.1% and 79.3% with 28 and 40 kHz cleaning frequencies respectively.

Keywords: Handsaw blade, Ultrasonic cleaning, Frequency and time, Cleaning efficiency

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมการผลิตใบเลื่อยยนต์หรือเลื่อยมือ (Handsaw) หลังจากการใช้หินขัดเพื่อเจียรนัยผิวใบเลื่อยในขั้นตอนสุดท้ายของการผลิต จะมีคราบน้ำมัน สิ่งสกปรกและเศษโลหะจำนวนมากติดค้างบนผิว การทำความสะอาดด้วยแรงงานในปัจจุบัน โดยการนำใบเลื่อยไปจุ่มลงในถังเก็บขี้เลื่อยเพื่อซับน้ำมัน แล้วนำไปเป่าด้วยลมก่อนนำไปเช็ดด้วยเมธิลแอลกอฮอล์ วิธีการดังกล่าวนอกจากจะทำให้เกิดฝุ่นละอองมลภาวะทางอากาศแล้ว ผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังมีความสะอาดไม่เพียงพอต่อความต้องการ โดยที่ผิวใบเลื่อยยังคงมีคราบน้ำมัน เศษขี้เลื่อยและโลหะติดค้างอยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งตามบริเวณร่องฟันเลื่อย ซึ่งยากต่อการทำความสะอาด และอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน

ได้คราบสกปรกที่ตกค้างอยู่นี้ อาจก่อให้เกิดสนิมเหล็กตามมาได้ง่าย ส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์ใบเลื่อยมีตำหนิเสียหายด้วยคุณภาพ

เครื่องล้างอัลตราโซนิก (Ultrasonic cleaner) เป็นเครื่องล้างที่ไม่ก่อมลภาวะ ราคาถูก (ที่ความถี่ระดับต่ำ) และปลอดภัย สามารถล้างชิ้นงานโดยปราศจากการสัมผัสโดยตรง สามารถเข้าถึงชิ้นงานที่ไม่สามารถล้างด้วยวิธีปกติได้ เช่น ส่วนของชิ้นงานที่มีขนาดเล็กหรือมีรูปร่างสลับซับซ้อน เครื่องล้างดังกล่าวทำงานโดยการปล่อยคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิก ซึ่งเป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่ตั้งแต่ 20 kHz ขึ้นไป ผ่านตัวกลางที่เป็นของเหลว แล้วทำให้เกิดกระบวนการคาวิเทชัน (Cavitation) โดยจะทำให้ของเหลวเกิดฟองอากาศขนาดเล็ก จำนวนมากอย่างรวดเร็วเป็นล้านฟองต่อวินาที สลับกับการยุบตัวแตกออกอย่างรุนแรงของฟองอากาศดังกล่าว ก่อให้เกิดแรงระเบิดที่มีความดันสูงถึง 1,800 atm บริเวณโดยรอบวัตถุที่ต้องการล้าง หลุดออกจากผิวชิ้นงานอย่างรวดเร็ว ประสิทธิภาพในการล้างจะขึ้นกับความถี่ ชนิด และอุณหภูมิของเหลวที่เป็นตัวกลาง และเวลาที่ใช้ในการล้าง (ชูชาติ อาริจิตรานุสรณ์, 2539 ; ชาตรี บุญชู, 2547; Hilgert, 1998)

ปัจจุบันได้มีการนำเครื่องล้างอัลตราโซนิก มาใช้กันอย่างแพร่หลายในการล้างสิ่งสกปรกต่าง ๆ เช่น คราบน้ำมัน จารบี ฝุ่น คาร์บอน หมึก คราบตะกอน คราบสนิมและเศษโลหะออกจากผิวชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น เครื่องล้างแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (พงส์ศักดิ์ เหลิมชัยโชติกุล, 2551 ; วิภาสพล อ่อนสะอาด และคณะ, 2555) ชิ้นส่วนเครื่องจักรและเครื่องยนต์ (ศศิโรจน์ เกตุแก้ว, 2550) ตลอดจนการนำมาใช้ในการล้างผักและผลไม้ (ชุติมา เอี่ยมโชติชวลิต, 2551 ; ธัศวินทร์ ยิ้มละมัย, 2551) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากยังไม่เคยมีการนำเทคโนโลยีทางด้านอัลตราโซนิก มาประยุกต์ใช้ในการทำความสะอาดใบเลื่อยลันดา งานวิจัยนี้จึงได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องล้างอัลตราโซนิก เพื่อใช้ในการศึกษาอิทธิพลของคลื่นความถี่และเวลาที่ใช้ในการล้าง ต่อประสิทธิภาพในการทำความสะอาดใบเลื่อยลันดา

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อทำการออกแบบและสร้างเครื่องล้างอัลตราโซนิก สำหรับใช้ในการทดลองศึกษาอิทธิพลของคลื่นความถี่และเวลาที่ใช้ในการล้าง ต่อประสิทธิภาพในการทำความสะอาดใบเลื่อยลันดา

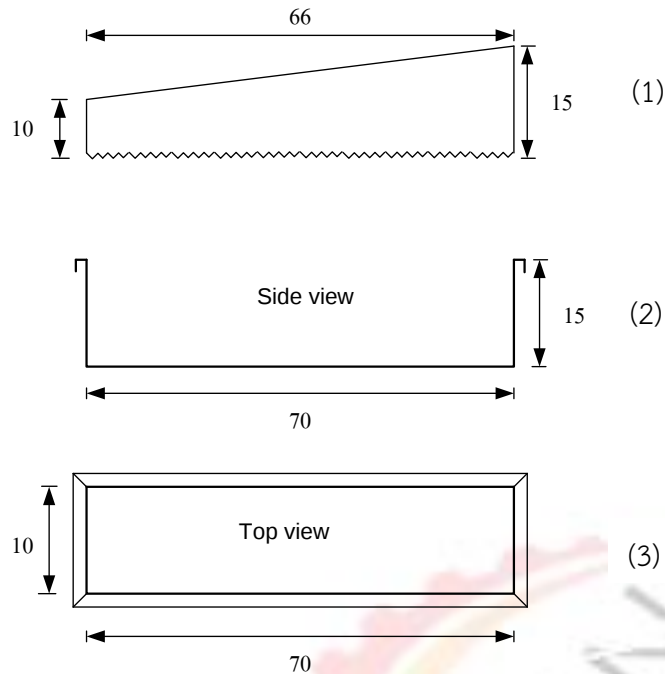
2.2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการล้างใบเลื่อยลันดาระบบอัลตราโซนิก และการทำความสะอาดด้วยวิธีปกติที่ใช้กันในปัจจุบัน (Conventional method)

3. วิธีการวิจัย

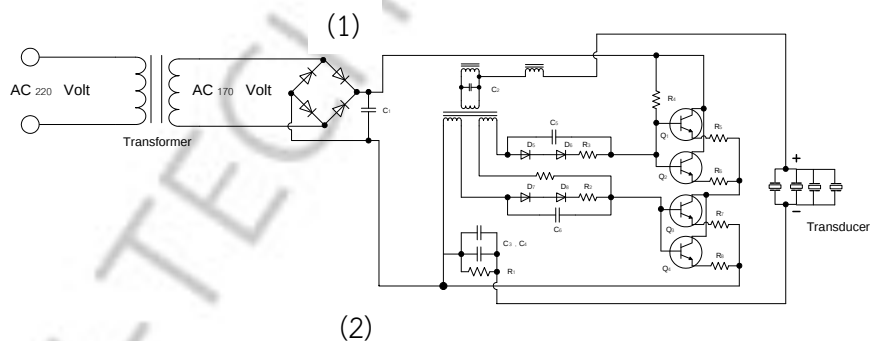
3.1 การออกแบบและสร้างเครื่องล้างใบเลื่อยลันดาด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

ก่อนการทดลองศึกษาการล้างใบเลื่อยลันดา ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องล้างระบบอัลตราโซนิก ที่มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปางในปี พ.ศ.2558 ส่วนประกอบที่สำคัญประกอบด้วยถังล้างและขาตั้ง ทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม หนา 1.2 มม. หน้าตัดทรงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 10 ซม. ยาว 70 ซม. ลึก 15 ซม. ซึ่งเป็นขนาดที่พอเหมาะกับการล้างใบเลื่อยลันดา ดังแบบร่างตามภาพที่ 1 ด้านข้างของตัวถัง ติดตั้งวาล์วแบบปล่อยน้ำทิ้ง (Release valve) ส่วนด้านล่างของตัวถังติดตั้งหัว

สั่นทรานสดิวเซอร์ (Transducer) 4 ชุด เรียงตามแนวยาวดังแสดงตามภาพที่ 2 ซึ่งสามารถให้กำเนิดคลื่นอัลตราโซนิกส์ ที่ความถี่ตามต้องการ



ภาพที่ 1 (1) แบบร่างใบเลื่อยล้นดา (2,3) แบบร่างโครงสร้างของถังล้าง



ภาพที่ 2 (1) ถังล้างพร้อมติดตั้งหัวสั่นทรานสดิวเซอร์ด้านล่างตัวถัง (2) วงจรควบคุมการทำงานของเครื่องล้างอัลตราโซนิกส์

การทำงานของเครื่องควบคุมโดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ที่เรียกว่า สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย ทำงานโดยส่งแรงดันไฟสลับค่าสูงจะผ่านเข้ามาทางวงจร RFI ฟิลเตอร์ เพื่อกรองสัญญาณรบกวน และแปลงเป็นไฟตรงค่าสูงด้วยวงจรเรกติไฟเออร์ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะทำงานเป็นเพาเวอร์คอนเวอร์เตอร์โดยการตัดต่อแรงดันเป็นช่วง ๆ ที่ความถี่ประมาณ 20-200 KHz จากนั้นจะผ่านไปยังหม้อแปลงสวิตชิงเพื่อลดแรงดันลง เอาต์พุตของหม้อแปลงจะต่อกับวงจรเรียงกระแสและกรองแรงดันให้เรียบ การคงค่าแรงดันจะทำได้โดยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาต์พุตกลับมายังวงจรควบคุมเพื่อควบคุมให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นำกระแสมากขึ้นหรือน้อยลงตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาต์พุต ซึ่งจะมีผลทำให้แรงดันเอาต์พุตคงที่ได้ เพื่อทำหน้าที่ขับให้หัวส่นทรานสดิวเซอร์ทำงาน (ภาพที่ 2) วงจรอิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าวติดตั้งภายในกล่องเหล็กกล้าไร้สนิมพร้อมหม้อแปลงไฟฟ้า โดยมีสวิตช์เปิด - ปิดด้านนอกตัวกล่อง เครื่องลำโพงเสียงและระบบอัลตราโซนิกส์ เมื่อสร้างเสร็จสมบูรณ์ได้แสดงไว้ในภาพที่ 3 เมื่อใส่น้ำเต็มถัง สามารถทำการล้างโดยใช้คีมหรือปากคีบจับใบเลื่อยลันดาลลงในถังตามความยาวในแนวตั้ง ด้วยความถี่ที่กำหนดตามระยะเวลาที่ต้องการ



ภาพที่ 3 เครื่องลำโพงเสียงและระบบอัลตราโซนิกส์ พร้อมกล่องวงจรอิเล็กทรอนิกส์

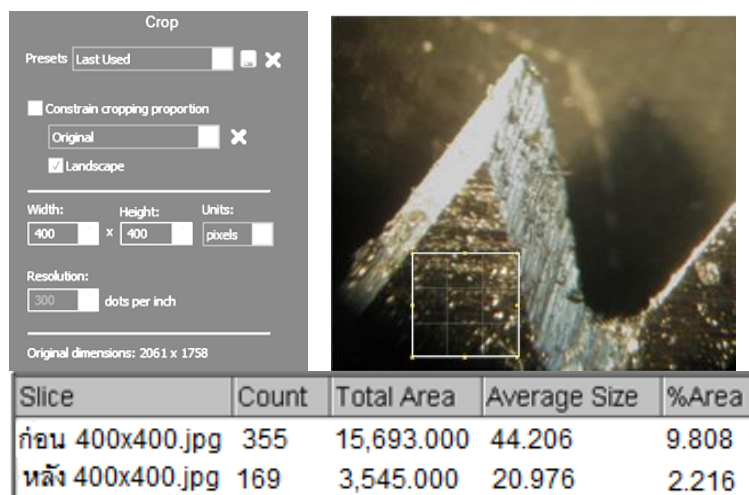
เนื่องจากใบเลื่อยลันดาลามีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน งานวิจัยนี้จึงได้สร้างเครื่องล้างอัลตราโซนิกส์แบบเดียวกัน เพื่อใช้ในการทดลองจำนวน 2 ถัง ที่มีความถี่ในระดับต่ำ คือ 28 และ 40 kHz ซึ่งนิยมใช้กันมาก ราคาค่อนข้างถูกและมีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด

3.2 การประเมินความสะอาดของใบเลื่อย

ทั้งก่อนและหลังการล้าง ได้ทำการประเมินความสะอาดของใบเลื่อย ด้วยการดูด้วยตาเปล่า กล้องจุลทรรศน์ และการวิเคราะห์ภาพในการตรวจหาเศษโลหะและสิ่งปนเปื้อน (รวมเรียกอนุภาคปนเปื้อน : Contaminated particles) ที่ติดค้างบนผิวใบเลื่อยด้วยโปรแกรมอิมเมจ (Image J) ซึ่งสามารถวัดและคำนวณอนุภาคปนเปื้อนดังกล่าวเป็นปริมาณต่อหน่วยพื้นที่หรือเป็นปริมาณร้อยละ (%) ของพื้นที่ทั้งหมด

ในการวิเคราะห์ปริมาณอนุภาคปนเปื้อนด้วยโปรแกรมอิมเมจ ได้กำหนดพื้นที่ที่เป็นตัวแทน (Representative area) ได้บริเวณร่องฟันเลื่อย จำนวน 5 แห่ง แต่ละแห่งมีพื้นที่ขนาด 400×400 Pixels บนผิวชิ้นงานดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 4 โปรแกรมสามารถตรวจจับจำนวนอนุภาคก่อนล้างได้ 355 จุด มีขนาดเฉลี่ยต่อจุด 44.206 Pixels รวมพื้นที่ที่พบอนุภาคปนเปื้อนทั้งหมด 15,693 Pixels จากพื้นที่ทั้งหมด 160,000 Pixels คิดเป็นร้อยละ 9.808 ของพื้นที่ และหลังจากการล้างพื้นที่เดิมดังกล่าวสามารถตรวจจับได้ 169 จุด โดยมีขนาดลดลงเหลือเฉลี่ยต่อจุดเท่ากับ 20.976

Pixels รวมพื้นที่ของอนุภาคปนเปื้อน 3,545 Pixels จากพื้นที่ผิวทั้งหมด 160,000 Pixels คิดเป็นปริมาณของอนุภาคปนเปื้อนเท่ากับร้อยละ 2.216 ของพื้นที่ (ภาพที่ 4) ปริมาณอนุภาคปนเปื้อนบนผิวใบเลื่อย เป็นค่าเฉลี่ยการวิเคราะห์ของ 5 พื้นที่ตัวแทนด้วยวิธีการดังกล่าว



ภาพที่ 4 การกำหนดพื้นที่ตัวแทนขนาด 400 × 400 Pixels ก่อนและหลังการทำความสะอาดใบเลื่อย เพื่อวิเคราะห์ปริมาณของอนุภาคปนเปื้อนบนพื้นผิวด้วยโปรแกรมอิมเมจเจ

3.3 วิธีการทดลอง

การศึกษาประสิทธิภาพการล้างใบเลื่อยลันดาในระบบอัลตราโซนิกส์ การทดลองประกอบด้วย การใช้คลื่นความถี่ 2 ระดับ (28 และ 40 kHz) และเวลาของการล้าง 4 ระดับ (15, 30, 45 และ 60 วินาที) จัดการทดลองแบบ 2 × 4 แฟคทอเรียล (Factorial) รวมเป็น 8 กลุ่มการทดลอง (Treatment) ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) จำนวน 3 ซ้ำ ทำการล้างใบเลื่อยโดยใช้น้ำประปาที่อุณหภูมิห้อง ($\approx 30^{\circ}\text{C}$) ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในทางปฏิบัติ ใบเลื่อยที่ใช้ในการทดลอง เป็นใบเลื่อยที่ผ่านกระบวนการเจียรนัยในขั้นตอนสุดท้ายของการแปรรูป ก่อนและหลังการล้างใบเลื่อยในแต่ละกลุ่มการทดลอง ได้ทำการประเมินความสะอาดตามวิธีที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติด้วยวิธี Analysis of variance และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least significant difference ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (LSD.05) พร้อมทั้งได้ทำการทดลองทำความสะอาดใบเลื่อยด้วยวิธีปกติ (Conventional method) ควบคู่กันไปจำนวน 3 ซ้ำ โดยการนำใบเลื่อยที่ผ่านการเจียรนัยมาแล้ว ไปจุ่มลงในถังเศษชีเลื่อย เพื่อซับคราบน้ำมัน แล้วนำไปเป่าด้วยลมก่อนนำไปเช็ดด้วยเมธิลแอลกอฮอล์

4. ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ภาพด้วยโปรแกรมอิมเมจเจ พบว่าใบเลื่อยลันดาที่นำมาใช้ในการทดลองทำความสะอาดด้วยวิธีปกติ มีอนุภาคปนเปื้อนเฉลี่ยร้อยละ 9.96 ของพื้นผิว ซึ่งหลังจากการทำความสะอาดจนดูสะอาดด้วยตาเปล่า ต้องใช้เวลาเฉลี่ย 307 วินาที อย่างไรก็ตาม จากการวิเคราะห์พบว่า

ยังคงมีอนุภาคปนเปื้อนตกค้างอยู่บนผิวใบเลี้ยงเฉลี่ยร้อยละ 4.27 คิดเป็นปริมาณอนุภาคที่ลดลงร้อยละ 56.9 (ตารางที่ 1)

ในกรณีของการล้างใบเลี้ยงด้วยเครื่องอัลตราโซนิกส์ที่ความถี่และเวลาต่าง ๆ กัน ผลการทดลองได้สรุปไว้ในตารางที่ 1 เช่นเดียวกันกับผลของการทำความสะอาดด้วยวิธีปกติ ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการศึกษาเปรียบเทียบ จากการวิเคราะห์ Analysis of variance (ค่าของ F- test) พบว่าใบเลี้ยงที่นำมาใช้ในแต่ละกลุ่มการทดลอง ก่อนล้างมีอนุภาคปนเปื้อนผ่นแปรตั้งแต่ร้อยละ 8.00 - 12.48 ของพื้นที่ผิว ซึ่งหลังจากการล้างพบว่า คลื่นความถี่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ต่อปริมาณของอนุภาคปนเปื้อนบนพื้นผิว โดยเฉลี่ยการล้างที่ความถี่ 40 kHz มีผลทำให้อนุภาคปนเปื้อนมีปริมาณที่น้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับที่ 28 kHz ส่วนเวลาที่ใช้ในการล้างไม่มีนัยสำคัญต่อปริมาณของอนุภาคปนเปื้อนบนผิวใบเลี้ยงระหว่างกลุ่มการทดลอง

เป็นที่น่าสังเกตว่า การล้างใบเลี้ยงด้วยเครื่องอัลตราโซนิกส์ทั้งสองความถี่ มีผลทำให้อนุภาคปนเปื้อนบนผิวใบเลี้ยงของทุกกลุ่มการทดลอง ลดลงอย่างรวดเร็วภายในเวลา 15 วินาที และมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นของการล้าง แต่ในทางสถิติกลับไม่พบความแตกต่างของปริมาณอนุภาคปนเปื้อนบนพื้นผิวระหว่างกลุ่มการทดลอง ทั้งนี้สาเหตุ เนื่องมาจากอนุภาคปนเปื้อนบนผิวใบเลี้ยงในแต่ละกลุ่มการทดลองมีปริมาณไม่ผ่นแปร

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยของปริมาณอนุภาคปนเปื้อนบนผิวใบเลี้ยง ก่อนและหลังจากการทำความสะอาดด้วยวิธีปกติและการล้างด้วยระบบอัลตราโซนิกส์ ที่ความถี่และเวลาของการล้างต่าง ๆ กัน

วิธี	ความถี่	เวลา	อนุภาคปนเปื้อนบนผิว (%)		ปริมาณที่
	(kHz)	(วินาที)	ก่อนล้าง	หลังล้าง	ลดลง (%)
ปกติ 1/ (SD) อัลตราโซนิกส์	28	307	9.96	4.27	56.9
		(15)	(0.26)	(0.21)	(2.9)
		15	9.82	2.64	73.1
		30	12.00	3.00	75.0
		45	11.58	2.69	76.8
	40	60	10.50	2.12	79.8
		15	12.48	2.58	79.3
		30	10.80	2.06	80.9
		45	8.00	1.35	83.1
		60	11.20	1.65	85.3
F-test	Frequency (F)		ns	*	*
	Time (T)		ns	ns	**
	Interaction		ns	ns	ns
	(F×T)				

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยของปริมาณอนุภาคปนเปื้อนบนผิวใบเลื่อย ก่อนและหลังจากการทำความสะอาด ด้วยวิธีปกติและการล้างด้วยระบบอัลตราโซนิกส์ ที่ความถี่และเวลาของการล้างต่าง ๆ กัน (ต่อ)

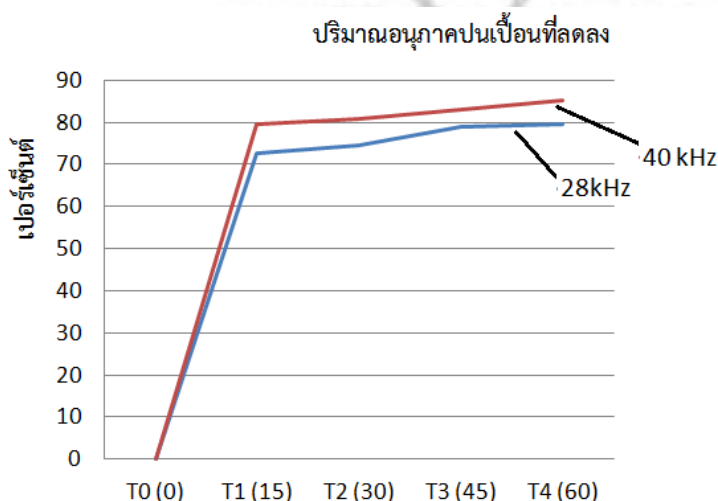
วิธี	ความถี่	เวลา	อนุภาคปนเปื้อนบนผิว (%)		ปริมาณที่
	(kHz)	(วินาที)	ก่อนล้าง	หลังล้าง	ลดลง (%)
LSD.05	For frequency		-	0.42	2.77
	For time		-	-	3.92
		C.V.(%)	11.76	6.97	4.04

1/ (SD) = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ** ค่า F แสดงนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$) และร้อยละ 99 ($P \leq 0.01$) ตามลำดับ

Ns ค่า F ไม่นัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \geq 0.05$)

เท่ากันก่อนการล้าง ดังนั้นในการพิจารณาประสิทธิภาพในการล้าง จึงได้คำนวณปริมาณของอนุภาคปนเปื้อนบนผิวใบเลื่อยในแต่ละกลุ่ม เป็นปริมาณร้อยละ (%) ที่ลดลงหลังจากการล้าง ดังสรุปค่าไว้ในคอลัมน์สุดท้ายของตารางที่ 1 จากการวิเคราะห์ F-test ผลปรากฏว่า นอกจากคลื่นความถี่แล้วเวลาของการล้างมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) ต่อปริมาณที่ลดลงของอนุภาคปนเปื้อน ซึ่งหลังจากร้อยละของอนุภาคปนเปื้อนลดลงอย่างรวดเร็วที่ 15 วินาทีแรก แล้วร้อยละการลดลงของอนุภาคได้เพิ่มขึ้นอีกอย่างต่อเนื่อง ตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นของการล้าง การล้างที่ความถี่ 28 และ 40 kHz เป็นเวลา 15, 30, 45, 60 วินาที มีผลทำให้ปริมาณอนุภาคปนเปื้อนบนผิวใบเลื่อยลดลงเท่ากับร้อยละ 73.1, 75.0, 76.8, 79.8 และร้อยละ 79.3, 80.9, 83.1, 85.3 ตามลำดับ (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 ปริมาณอนุภาคปนเปื้อนบนผิวใบเลื่อยที่ลดลง โดยล้างที่ความถี่ 28 และ 40 kHz เป็นเวลา 15, 30, 45c และ 60 วินาที

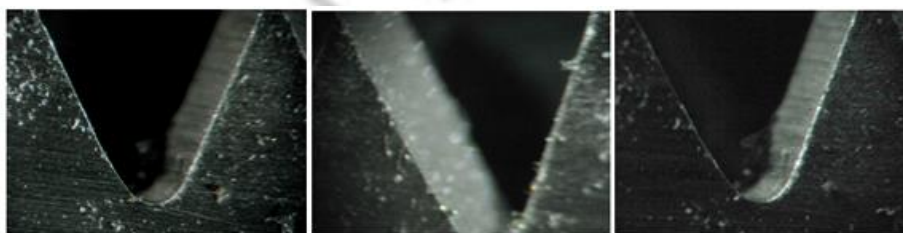
ผลการทดลองบางส่วนในตารางที่ 1 สามารถนำมาพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำความสะดวกสบายโดยเฉลี่ยแล้วด้วยวิธีปกติและอัลตราโซนิกส์ ดังแสดงสรุปไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณอนุภาคบนแป้นบนผิวใบเลื่อย หลังจากการล้าง (ทำความสะอาด) ด้วยวิธีปกติ และด้วยคลื่นอัลตราโซนิกส์ที่ความถี่ 28 และ 40 kHz¹ /

วิธี	เวลาที่ใช้ (วินาที)	อนุภาคบนแป้นบนผิวใบเลื่อย (%)		
		ก่อนล้าง	หลังการล้าง	ลดลง
ปกติ	307	9.96	4.27	56.9
28 kHz	15	9.82	2.64	73.1
40 kHz	15	12.48	2.58	79.3

¹ / ข้อมูลจากตารางที่ 1

ใบเลื่อยที่นำมาใช้ในการทดลอง ก่อนการทำความสะอาดด้วยวิธีปกติ มีอนุภาคบนแป้นบนผิวไม่มากไปกว่าใบเลื่อยที่นำมาใช้ในการล้างด้วยคลื่นอัลตราโซนิกส์ แต่หลังจากการทำความสะอาดด้วยวิธีปกติ ต้องใช้เวลานานถึง 307 วินาที โดยที่ยังคงมีอนุภาคบนแป้นติดค้างบนผิวร้อยละ 4.27 คิดเป็นปริมาณอนุภาคที่ลดลงร้อยละ 56.9 ส่วนการล้างด้วยคลื่นอัลตราโซนิกส์ที่ความถี่ 28 และ 40 kHz เพียง 15 วินาที (น้อยกว่าประมาณ 20 เท่า) มีผลทำให้อนุภาคบนแป้นบนผิวเหลือเพียง 2.64 และร้อยละ 2.58 หรือคิดเป็นปริมาณที่ลดลงเท่ากับร้อยละ 73.1 และ 79.3 ตามลำดับ (ตารางที่ 2) นอกจากนี้ที่สำคัญยังพบว่า เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ขยาย 20 เท่า ผลปรากฏว่าการทำความสะอาดด้วยวิธีปกติ ยังคงมีอนุภาคบนแป้นจำนวนมากติดค้างตามบริเวณร่องฟันเลื่อย ในขณะที่การล้างด้วยคลื่นอัลตราโซนิกส์ที่ทั้งสองความถี่ อนุภาคบนแป้นตามร่องฟันมีน้อยมาก (ภาพที่ 5) ดังนั้น การล้างใบเลื่อยแล้วด้วยคลื่นอัลตราโซนิกส์ มีประสิทธิภาพสูงกว่ามากทั้งในด้านเวลาและความสะอาด เมื่อเปรียบเทียบกับทำความสะอาดด้วยวิธีปกติที่ใช้กันในปัจจุบัน



ล้างด้วยวิธีปกติ 307 วินาที

ล้างด้วยเครื่อง

ล้างด้วยเครื่อง

ความถี่ 28 kHz เวลา 15 วินาที ความถี่ 40 kHz เวลา 15 วินาที

ภาพที่ 6 ภาพบริเวณร่องฟันเลื่อยขยาย 20 เท่า หลังจากการทำความสะอาดด้วยวิธีปกติ 307 วินาที และด้วยคลื่นอัลตราโซนิกส์ที่ความถี่ 28 และ 40 kHz เป็นเวลา 15 วินาที

ใบเลื่อยลันดามีโครงสร้างที่ไม่สลับซับซ้อน จึงสามารถล้างทำความสะอาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิกที่มีความถี่ระดับต่ำ ซึ่งอุปกรณ์มีราคาค่อนข้างถูก ต่างจากในอุตสาหกรรมการผลิตบางประเภท เช่นผลิตภัณฑ์ฐานรองรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งชิ้นงานมีความซับซ้อนสูง การทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิกต้องใช้ความถี่ระดับสูงมากขึ้น (ราคาแพง) ร่วมกับการใช้น้ำยาซักล้างที่นานขึ้น (วิภาสพล อ่อนสะอาด และคณะ, 2555) อย่างไรก็ตาม ก่อนการนำไปประยุกต์ใช้ควรจะได้มีการวิเคราะห์อย่างละเอียดในเชิงเศรษฐศาสตร์ ถึงระดับมาตรฐานความสะอาดควบคู่ไปกับมูลค่าของผลิตภัณฑ์ การลงทุนและความคุ้มค่าของการใช้เครื่องล้างใบเลื่อยลันดาระบบอัลตราโซนิก เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แรงงานในการทำทำความสะอาดด้วยวิธีการที่ใช้ในปัจจุบัน

5. สรุปและอภิปรายผล

คลื่นความถี่อัลตราโซนิกและเวลาที่ใช้ในการล้าง มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพในการทำทำความสะอาดใบเลื่อยลันดา การล้างด้วยความถี่ 28 และ 40 kHz มีผลทำให้ปริมาณของอนุภาคบนเปลือกบนผิวใบเลื่อยลดลงอย่างรวดเร็วภายในเวลา 15 วินาที หลังจากนั้นได้ลดลงช้า ๆ อย่างต่อเนื่อง ตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นของการล้าง ซึ่งในระยะเวลาที่เท่ากัน คลื่นความถี่ 40 kHz มีประสิทธิภาพในการทำทำความสะอาดได้มากกว่าที่ 28 kHz การล้างใบเลื่อยด้วยคลื่นอัลตราโซนิกจึงเลือกใช้คลื่นความถี่ 40 kHz โดยใช้เวลาน้อยกว่าประมาณ 20 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับการทำทำความสะอาดด้วยวิธีปกติ นอกจากปริมาณที่ลดลงของอนุภาคบนเปลือกบนผิวใบเลื่อยมีมากกว่าแล้ว บริเวณร่องฟันเลื่อยมีความสะอาดมากกว่าด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ผู้สนับสนุนงบประมาณงานวิจัยและ บริษัท ไอ.ที.ซี. อินเทอร์เน็ตจำกัด ผู้ให้ความร่วมมือในการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- ชาตรี บุญชู. (2547). เครื่องทำความสะอาดโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก, ภาควิชาไฟฟ้า (เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์กำลัง) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ชุดิมา เอี่ยมโชติชวลิต. (2551). เครื่องล้างผักผลไม้อัลตราโซนิก, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.).
- ชูชาติ อาริจิตรานุสรณ์. (2539). เครื่องมือวิทยาศาสตร์, พิมพ์ครั้งที่ 2 โรงพิมพ์ศิริกัณฑ์ออฟเซ็ทขอนแก่น.
- ธวัชวินทร์ ยิ้มละมัย. (2551). การล้างผักและผลไม้ด้วยคลื่นอัลตราโซนิก, ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พงษ์ศักดิ์ เหลียมชัยโชติกุล. (2551). การสร้างแบบจำลองและการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการทำความสะอาดชิ้นงานหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ที่ใช้เทคโนโลยีคลื่นอัลตราโซนิกด้วยโครงข่ายประสาทเทียม, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรม

อุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วิภาสพล อ่อนสะอาดและคณะ. (2555). การหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการล้างทำความสะอาด
ชิ้นงานด้วยคลื่นอัลตราโซนิกส์ในผลิตภัณฑ์ฐานรองรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์,

การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรม และจัดการอุตสาหกรรม
อย่างยั่งยืน ครั้งที่ 1 ประจำปี 2555, สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย.

ศศิรัตน์ เกตุแก้ว. (2550). การประยุกต์ใช้พลังงานอัลตราโซนิกส์ สำหรับทำความสะอาดชิ้นส่วน
เครื่องยนต์ขนาดเล็ก, คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

Hilgert, J. (1998). *Ultrasonic Cleaning Primer*, User Manual. Branson Ultrasonics
Corporation.