การหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการล้างทำความสะอาดชิ้นงานด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิคในผลิตภัณฑ์ฐานรองรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

Optimize of Parameter in Aqueous Ultrasonic Cleaning of Base plate for Hard Disk Drive

วิภาสพล อ่อนสอาด[1], สิงห์แก้ว ป๊อกเที่ง[2], สหรัตน์ วงษ์ศิรษะ[2]

[1] บริษัทนิเดค พรีซิชั่น 29 หมู่ 2 ถนนอุทัย-ภาชี ตำบลบ้านช้าง อำเภออุทัย พระนครศรีอยุธยา 13210
Email: wipassapon_@hotmail.com

[2] สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนพิบูลย์สงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตั้งค่าตัวแปรที่เหมาะสมในการล้างทำความสะอาดชิ้นงานด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิคในผลิตภัณฑ์ฐานรองรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Base plate) และส่งผลให้การล้างทำความสะอาดชิ้นงานด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค (Aqueous Ultrasonic Cleaning) มีความสะอาดสูงสุด ด้วยการวัดประสิทธิภาพจากค่าจำนวนอนุภาคสิ่งปนเปื้อนต่อหน่วยพื้นที่ผิวของชิ้นงาน (Liquid Particle Counting; LPC) ที่มีค่าน้อยที่สุด สำหรับการศึกษาวิจัยนี้จะเริ่มต้นด้วยวิธีการออกแบบการตั้งค่าตัวแปรที่เหมาะสมด้วยเทคนิคแบบทากูชิ L32 (Taguchi Method) กำหนดระดับการทดลอง 2 ระดับ หลังจากนั้นจึงใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) เพื่อศึกษาค่าความแปรปรวนของตัวแปร ซึ่งผลการทดลองพบว่าค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ ระยะเวลาที่ใช้ล้าง 120 วินาที อุณหภูมิ 32 ºC ระดับพลังงานของคลื่นอัลตร้าโซนิค 80% และความเข้มข้นของสารชะล้าง 0.5% ซึ่งส่งผลให้ค่าจำนวนอนุภาคสิ่งปนเปื้อนต่อหน่วยพื้นที่ผิวของชิ้นงานลดลง 70% จากค่าความสะอาดเฉลี่ยในปัจจุบัน

คำสำคัญ : ฐานรองรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ จำนวนอนุภาคสิ่งปนเปื้อนต่อหน่วยพื้นที่ผิวของชิ้นงาน การล้างทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค การออกแบบการทดลองแบบทากูชิ การวิเคราะห์ความแปรปรวน

Abstract

This research aims to investigate the optimize parameter settings and the resulting, which cleaned by aqueous ultrasonic cleaning By measuring the particles contamination of Liquid Particle Counting; LPC with the lowest. For the study to begin with how to design the proper parameters set by Taguchi technique. Schedule 2 levels were then used in the analysis of variance. To study the variability of the variable. The results showed that the variable most suitable period, a clear 120 seconds Temperature 32c Power Wave Ultrasonic 80% and the concentration of detergent 0.5%, which resulted in the number of particles contamination of the work piece decrease 70% from the current value.

Key word: Base Plate, Liquid Particle Counting; Lpc, Ultrasonic Cleaning, Taguchi Method, Analysis Of Variance; Anova

1. บทนำ

ความสะอาดของชิ้นส่วนและส่วนประกอบได้เป็นปัจจัยสำคัญสำหรับผลผลิตในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ [9] และเป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียผลผลิตในหลายอุตสาหกรรม [6] โดยในกระบวนการผลิตจำเป็นต้องผ่านกระบวนการตัดเฉือน เจาะรูและทำเกลียวในชิ้นงานด้วยน้ำหล่อเย็น ซึ่งทำให้กลายเป็นแหล่งที่มาหลักของการปนเปื้อนส่วนหนึ่งเนื่องจากการผลิตไม่สามารถดำเนินการในสภาพแวดล้อมที่สะอาด การปนเปื้อนอาจแทรกซึมเข้าไปในกลุ่มดิสก์ไดร์ฟได้จนกว่าจะดำเนินการทำความสะอาดที่เหมาะสมและการตรวจสอบความสะอาดของส่วนประกอบ [9] ทำให้เกิดการเสียดสีที่หัวอ่านและแผ่นดิสก์ขณะเคลื่อนที่ เกิดรอยขูดบนดิสก์ (Disk Scratch) ส่งผลให้หัวอ่านและข้อมูลบนดิสก์เสียหาย[1]

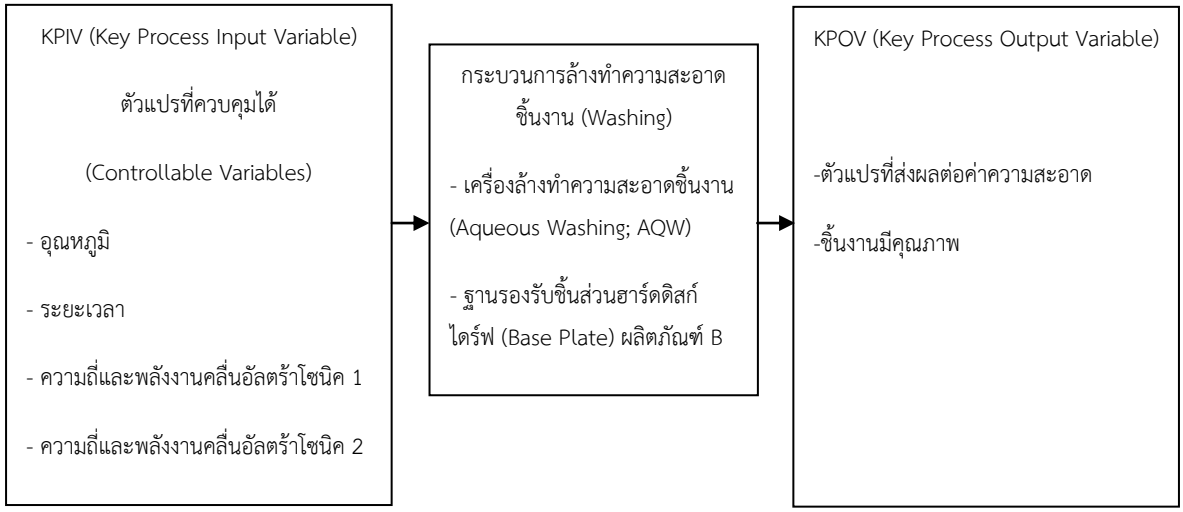
การทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิคในของเหลวเป็นวิธีที่แพร่หลายซึ่งได้ถูกนำมาใช้ในการทำความสะอาดชิ้นส่วนและส่วนประกอบที่หลากหลายในระบบการบินและอวกาศ แสง ศัลยกรรม และอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ [7] โดยมีวัตถุประสงค์หลักของการทำความสะอาดชิ้นส่วนสุดท้ายคือการขจัดอนุภาคที่ปนเปื้อนในชิ้นงานระหว่างชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเริ่มทำงาน [9] แต่ตัวแปรที่มีผลจากการล้างทำความสะอาด ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลา ความถี่ ระดับพลังงานของคลื่นอัลตร้าโซนิค และความเข้มข้นของสารชะล้าง มีผลกระทบต่อค่าความสะอาดของผลิตภัณฑ์จากการวัดจำนวนอนุภาคสิ่งปนเปื้อนต่อหน่วยพื้นที่ผิวของชิ้นงาน (Liquid Particle Counting; LPC) และยังส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำความสะอาด (Cleanliness) ของกระบวนการลดลง อีกทั้งยังส่งผลต่อความเชื่อมั่นในผลิตภัณฑ์จากลูกค้าด้านคุณภาพ

การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานในการล้างทำความสะอาดผลิตภัณฑ์ฐานรองรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค (Aqueous Ultrasonic Cleaning) และหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการล้างทำความสะอาดชิ้นงาน ซึ่งทำการศึกษาในกระบวนการล้างชิ้นงานขั้นตอนสุดท้ายและทำการออกแบบการทดลองด้วยเทคนิคทากูชิ L32 (Taguchi Method) ร่วมกับเทคนิควิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) เพื่อหาค่าของตัวแปรที่เหมาะสมที่สุด (Optimize Condition) ของการล้างทำความสะอาดชิ้นงานในกระบวนการผลิต

2. วิธีการศึกษา

ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานในการทำความสะอาดผลิตภัณฑ์ฐานรองรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟซึ่งทำการศึกษาในกระบวนการล้างชิ้นงานขั้นตอนสุดท้าย

2.1 การกรองตัวแปรที่ส่งผลเสียต่อค่าความสะอาดของชิ้นงานที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค โดยตัวแปรนำเข้าจะถูกจัดแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ตัวแปรที่ควบคุมได้ (Controllable Variables) และตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ (Noise Variable) [5] ซึ่งการวิจัยนี้ได้แบ่งตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงขอบเขตการกรองปัจจัยหลัก

2.2 การออกแบบการทดลองด้วยเทคนิคทากูชิ (Taguchi Method)
แนวคิดของวิธีทากูชิเป็นแนวคิดที่ใช้ในปรับปรุงคุณภาพคุณภาพของชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ เป็นวิธีการออกแบบการทดลอง (DOE) ซึ่งในการทดลองที่มีตัวแปรหลายตัวทำให้มีการทดลองมากเพื่อที่จะหาค่าที่เหมาะสมได้ซึ่งถ้าทำการทดลองแบบสุ่ม (Trial and error) จะต้องทำการทดลองมากถึงจะได้ค่าที่ดีที่สุดมา วิธีของทากูชิ (Taguchi method) ได้รับการยอมรับโดยทั่วไปว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการสร้างคุณภาพให้กับผลิตภัณฑ์ซึ่งวิธีนี้ถูกใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมญี่ปุ่น โดยทั่วไปแล้วคุณภาพจะลดลงโดยการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แน่นอนของสิ่งแวดล้อม [1] การวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีการทดลองด้วยวิธีของทากูชิเพื่อลดระยะเวลาในการทำการทดลอง

การวิเคราะห์ของ Taguchi มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากระดับ (ค่า) ซึ่งนำไปสู่การสร้างตัววัด (Performance Measure) ของทากูชิ คือ ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (Signal to noise ratio; S/N) ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 กรณี [5] ดังนี้

กรณีค่ายิ่งมาก ยิ่งดี (Larger-the-Better)

$$S/N_L = -10\log\left\{\sum_{i=1}^{n}\left[1/y_i^2\right]/n\right\} \quad (1)$$

กรณีค่าน้อย ยิ่งดี (Smaller-the-Better)

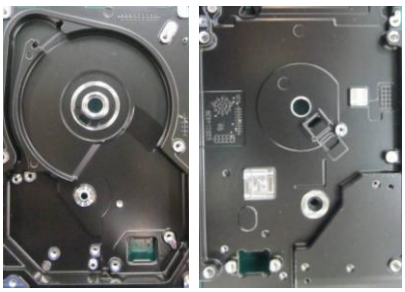
$$S/N_S = -10\log\left(\sum\frac{y_i^2}{n}\right) \quad (2)$$

กรณีค่าตรงเป้าหมายดีที่สุด (Target-the-Best หรือ Nominal the Best)

$$S/N_\tau = 10\log\left(\frac{y^{-2}}{S^2}\right) \quad (3)$$

2.2.1 กำหนดระดับและขอบเขตของตัวแปร
2.2.1.1 พิจารณาตัวแปรที่มีผลต่อค่าความสะอาดของชิ้นงาน โดยพิจารณาเลือกตัวแปรที่ต้องการศึกษาจากการปรับค่าเครื่องล้างทำความสะอาด (Aqueous Washing; AQW) คือ อุณหภูมิ ระยะเวลา ความถี่และพลังงานคลื่นอัลตร้าโซนิค และความเข้มข้นของสารเคมีชะล้าง ส่วนตัวแปรที่ไม่ต้องการศึกษาจะต้องกำหนดวิธีการควบคุมตัวแปรเพื่อให้ความแปรปรวนจากปัจจัยภายนอกเกิดขึ้นน้อยที่สุด คือ กำหนดตำแหน่งวางตะกร้าชิ้นงานในตำแหน่งเดียวกันและทิศทางเดียวกัน

2.2.1.2 กำหนดวัสดุที่ใช้เป็นเครื่องมือวิจัยหรือกลุ่มตัวอย่างการทดลอง ได้แก่ ฐานรองรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Base Plate) ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ฐานรองรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Base Plate)

2.2.1.3. กำหนดระดับของตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง โดยกำหนดให้ตัวแปรมี 6 ตัวแปร และกำหนดแต่ละตัวแปรไว้ 2 ระดับ คือ ระดับสูง (+1) และระดับต่ำ (-1) ดังตารางที่ 1 ซึ่งการทดลองในการทดลองจะทำการทดลองทั้งหมด 2^{6-1} = 32 การทดลอง

ตารางที่ 1 ตัวแปรในการทดลอง ระดับของตัวแปร และสัญลักษณ์

ตัวแปรที่ควบคุมได้ (Controllable Variables)	ระดับสูง (+1)	ระดับต่ำ (-1)	สัญลักษณ์
ระยะเวลา (Process Time (sec))	180	60	T
อุณหภูมิ (Temperature (°C))	60	32	Temp.
คลื่นอัลตร้าโซนิค 1 (Ultrasonic Frequency no.1 KHZ / kW))	40 kHZ ,4500W	40 kHZ ,450W	U/S 1
คลื่นอัลตร้าโซนิค 2 (Ultrasonic Frequency no.2 KHZ / kW))	68 kHZ ,3600W	68 kHZ ,360W	U/S 2
คลื่นอัลตร้าโซนิค 3 (Ultrasonic Frequency no.3 KHZ / kW))	80 kHZ ,3600W	80 kHZ ,360W	U/S 3
ความเข้มข้นของสารเคมีชะล้าง CW6340E (Detergent (%))	2.0 %	0.2 %	Dg

2.3 ทำการทดสอบชิ้นงานตามตารางการออกแบบทดลองทากูชิ (Taguchi method)
กระบวนการทำความสะอาด (Cleaning Process) ชิ้นงานโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิคเป็นเทคโนโลยีที่ทำความสะอาดชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสามารถกำจัดสิ่งแปลกปลอมขนาดเล็กที่ติดอยู่กับชิ้นงานอันเนื่องมาจากกระบวนการผลิต [2] ซึ่งประสิทธิภาพในการทำความสะอาดผิวชิ้นงานนี้ขึ้นกับตัวแปรที่มีผล ดังนี้ คือ อุณหภูมิ ระยะเวลา ความถี่และพลังงานคลื่นอัลตร้าโซนิค และความเข้มข้นของสารเคมีชะล้าง การวิจัยนี้เลือกทำการศึกษาการล้างทำความสะอาดของชิ้นงานด้วยเครื่องล้างทำความสะอาดชิ้นงาน (Aqueous Washing; AQW) ดังภาพที่ 3

ภาพที่ 3 เครื่องล้างทำความสะอาดชิ้นงาน (Aqueous Washing; AQW)

ในการทดลองจะจัดวางกลุ่มตัวอย่างชิ้นงานการทดลอง 3 ชิ้นต่อ 1 ตะกร้า และจัดวางชิ้นงานในลักษณะเดียวกันทุกการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 4 และได้ทำการทดลองทั้งสิ้น 32 การทดลอง (3 ชิ้น x 32 การทดลอง = 96 ชิ้น)

ภาพที่ 4 ตำแหน่งการวางชิ้นงานในตะกร้าล้างชิ้นงาน

หลังจากนั้นเก็บกลุ่มตัวอย่างการทดลองจากตะกร้าชิ้นงานที่ผ่านการล้างทำความสะอาดมาบรรจุใส่ถุงพลาสติก แล้วทำการคัดแยกกลุ่มตัวอย่างการทดลองพร้อมติดป้ายกำกับการทดลอง นำส่งห้องทดลองและปฏิบัติการ (Laboratory) เพื่อตรวจวัดค่า

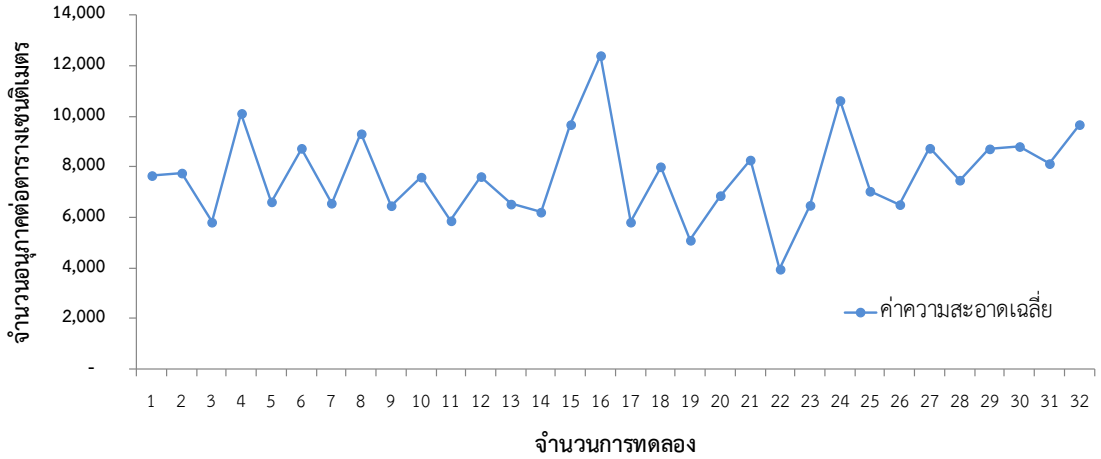
ความสะอาดของชิ้นงาน (LPC) โดยจะวัดจำนวนอนุภาคในขนาดไม่เกิน 0.3 ไมครอน และต้องมีค่าไม่เกิน 125,000 อนุภาค/ตารางเซนติเมตร ตามระเบียบปฏิบัติการการทดสอบด้วยเครื่องตรวจวัดจำนวนอนุภาค (Liquid Particle Counter) [4] มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$X = \left[\frac{(A-B)\times D)}{(N\times C)} \right] \quad (4)$$

เมื่อ
X = จำนวนอนุภาคสิ่งปนเปื้อนต่อหน่วยพื้นที่ผิวของชิ้นงาน (ขนาดไม่เกิน 0.3 หรือ 0.6 ไมครอน/ตารางเซนติเมตร)
A = อนุภาคสิ่งปนเปื้อนในสารละลาย (อนุภาค/มิลลิลิตร)
B = ค่าอ้างอิง (อนุภาค/มิลลิลิตร)
C = พื้นที่ของชิ้นงาน (ตารางเซนติเมตร)
D = ปริมาตรของสารละลาย (มิลลิลิตร)
N = จำนวนชิ้นงาน

3. ผลการศึกษา

จากผลการตรวจวัดจำนวนอนุภาคสิ่งปนเปื้อนต่อหน่วยพื้นที่ผิวของชิ้นงาน (Liquid Particle Counting; LPC) พบว่าจากการทดลองครั้งนี้วิธีการที่ทำให้ได้ค่าความสะอาดสูงสุดคือ การทดลองกลุ่มที่ 22 จากการทดลองทั้งหมด 32 กลุ่ม มีจำนวนอนุภาคสิ่งปนเปื้อนต่อหน่วยพื้นที่ผิวของชิ้นงานจำนวน 3,957 อนุภาค/ตารางเซนติเมตร ดังภาพที่ 5 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าความสะอาดไปทำวิเคราะห์ด้วยวิธีของทากูชิ (Taguchi Method)

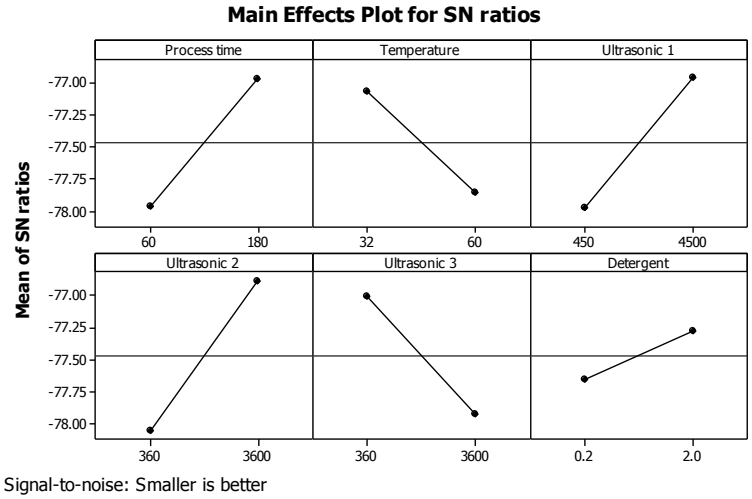


ภาพที่ 5 ผลการทดลองค่าความสะอาดขนาดไม่เกิน 0.3 ไมครอน จากการออกแบบการทดลองด้วยเทคนิคทากูชิ

การวิจัยนี้เลือกวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (Signal to noise ratio; S/N) ในกรณีค่าน้อย ยิ่งดี (Smaller-the-Better) เพราะว่าถ้าจำนวนอนุภาคสิ่งปนเปื้อนต่อหน่วยพื้นที่ผิวของชิ้นงานมีค่าน้อยจะส่งผลให้ค่าความสะอาดสูงสุด ดังตารางที่ 2 และภาพที่ 6 พบว่าระดับของตัวแปรที่ส่งผลให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณของค่าความสะอาดที่ขนาดไม่เกิน 0.3 ไมครอนมีค่าน้อยที่สุด คือ ระยะเวลาที่ใช้ล้าง 180 วินาที อุณหภูมิ 32 ºC ระดับพลังงานของคลื่นอัลตร้าโซนิค(1) 100 % ระดับพลังงานของคลื่นอัลตร้าโซนิค(2) 100% ระดับพลังงานของคลื่นอัลตร้าโซนิค(3) 10% และความเข้มข้นของสารชะล้าง 2.0%

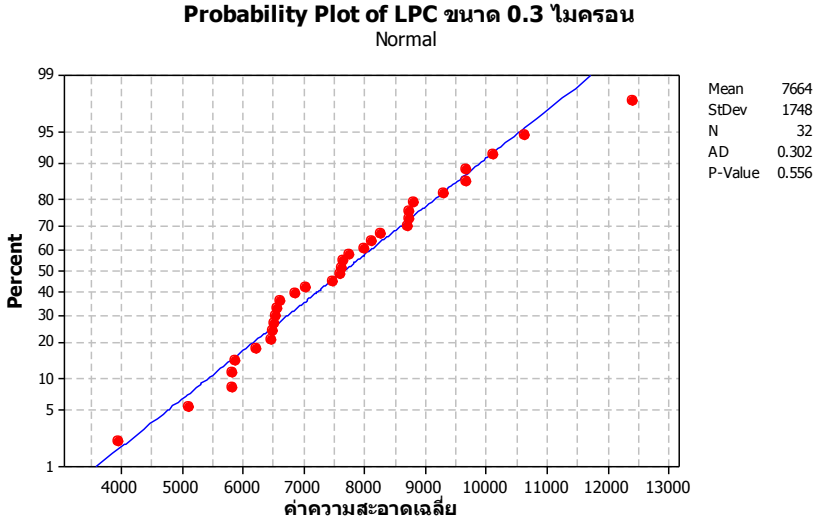
ตารางที่ 2 Response Table for Signal to noise ratios

Smaller is better	Process					
Level	Time	Temperature	U/S 1	U/S 2	U/S 3	Detergent
-1	-78.07	-77.19	-78.05	-78.13	-77.12	-77.75
+1	-77.06	-77.94.	-77.08	-77.00	-78.01	-77.38
Delta	1.01	0.76	0.98	1.14	0.89	0.36
Rank	2	5	3	1	4	6



ภาพที่ 6 กราฟตัวแปรที่มีผลต่อค่าอัตราส่วนสัญญาณของค่าความสะอาดที่ขนาดไม่เกิน 0.3 ไมครอน

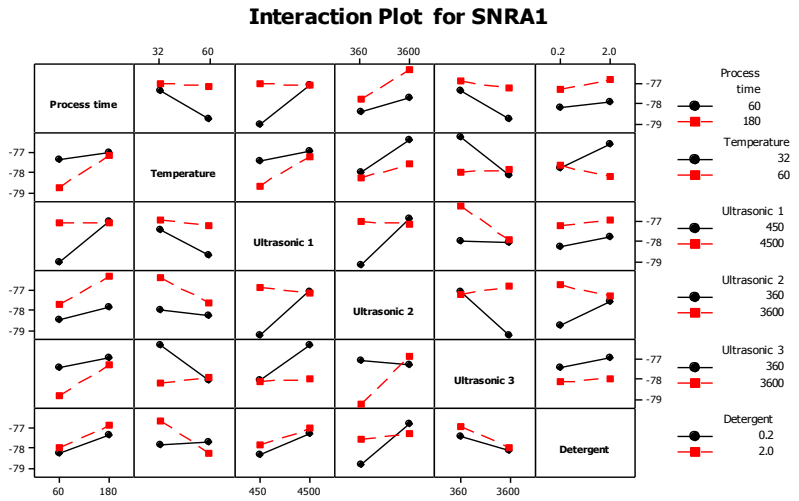
หลังจากนั้นตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) เป็นการตรวจสอบส่วนของข้อมูลว่ามีการกระจายแบบปกติหรือไม่ ซึ่งจากภาพที่ 7 แสดงให้เห็นว่าจุดที่ได้บนกราฟต่างไปจากเส้นตรงบ้างและมีความสัมพันธ์กับเส้นตรง แสดงว่าข้อมูลมีความเหมาะสมเป็นการกระจายแบบปกติ



ภาพที่ 7 กราฟการกระจายแบบแจกแจงปกติของค่าความสะอาดที่ขนาดไม่เกิน 0.3 ไมครอน

3.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variable; ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยจะคำนวณค่า P-value เปรียบเทียบกับค่า Alpha ที่กำหนด สำหรับในการวิจัยนี้กำหนดค่า Alpha = 0.050 ซึ่งจากภาพที่ 9 พบว่าค่า P-value ของตัวแปรหลักมีค่าเกินกว่าค่า Alpha = 0.050 ได้แก่ อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารชะล้างและคลื่นอัลตร้าโซนิค(3) แสดงว่าตัวแปรกลุ่มนี้มีผลต่อแบบจำลองและส่งผลต่อค่าความสะอาด ส่วนตัวแปรหลักที่ค่าน้อยกว่าค่า Alpha = 0.050 ได้แก่ ระยะเวลากับคลื่นอัลตร้าโซนิค(1) และ (2) แสดงว่าตัวแปรไม่ได้มีผลต่อแบบจำลองและค่าความสะอาด จากนั้นตรวจสอบค่า P-value ของอันตรกิริยา (Interaction) แต่ละตัวแปรพบว่ามีค่ามากกว่า 0.050 การวิจัยนี้เลือกวิเคราะห์ตัวแปรที่อันตรกิริยาสูงสุด 3 ลำดับ คือ ระยะเวลาอันตรกิริยากับความเข้มข้นของสารชะล้าง คลื่นอัลตร้าโซนิค(1)อันตรกิริยาความเข้มข้นของสารชะล้าง และคลื่นอัลตร้าโซนิค(3)อันตรกิริยาความเข้มข้นของสารชะล้าง แสดงว่าตัวแปรที่กำหนด คือ ระยะเวลา อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารชะล้าง คลื่นอัลตร้าโซนิค(1) และ(3) ในการล้างทำความสะอาดชิ้นงานมีอันตรกิริยาระหว่างกัน



ภาพที่ 8 กราฟอันตรกิริยา (Interaction) ของตัวแปรมีผลอัตราส่วนสัญญาณของค่าความสะอาดที่ขนาดไม่เกิน 0.3 ไมครอน

Analysis of Variance for SN ratios

Source	Symbol	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Process time	A	1	8.2200	8.2200	8.2200	5.58	0.040
Temperature	B	1	4.5890	4.5890	4.5890	3.12	0.108
Ultrasonic 1	C	1	7.6180	7.6179	7.6179	5.17	0.046
Ultrasonic 2	D	1	10.3310	10.3306	10.3306	7.01	0.024
Ultrasonic 3	E	1	6.3910	6.3913	6.3913	4.34	0.064
Detergent	F	1	1.0600	1.5950	1.0595	0.72	0.416
Process time*Temperature	A*B	1	2.9660	2.9656	2.9656	2.01	0.186
Process time*Ultrasonic 1	A*C	1	9.0390	9.3890	9.0389	6.14	0.033
Process time*Ultrasonic 2	A*D	1	1.0840	1.8390	1.0839	0.74	0.411
Process time*Ultrasonic 3	A*E	1	2.6030	2.6028	2.6280	1.77	0.213
Process time*Detergent	A*F	1	0.0910	0.9080	0.0908	0.06	0.809
Temperature*Ultrasonic 1	B*C	1	2.2510	2.2507	2.2507	1.53	0.245
Temperature*Ultrasonic 2	B*D	1	1.7870	1.7871	1.7871	1.21	0.297
Temperature*Ultrasonic 3	B*E	1	8.1480	8.1484	8.1484	5.53	0.041
Temperature*Detergent	B*F	1	6.5790	6.5794	6.5794	4.47	0.061
Ultrasonic 1*Ultrasonic 2	C*D	1	12.3120	12.3120	12.3120	8.36	0.016
Ultrasonic 1*Ultrasonic 3	C*E	1	5.9450	5.9454	5.9454	4.04	0.072
Ultrasonic 1*Detergent	C*F	1	0.1500	0.1503	0.1503	0.10	0.756
Ultrasonic 2*Ultrasonic 3	D*E	1	13.1360	13.1358	13.1358	8.92	0.014
Ultrasonic 2*Detergent	D*F	1	6.1280	6.1282	6.1282	4.16	0.069
Ultrasonic 3*Detergent	E*F	1	0.2980	0.2982	0.2982	0.20	0.662
Residual Error		10	14.7310	14.7308	1.4731		
Total		31	125.4570				

ภาพที่ 9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำลองของค่าอัตราส่วนสัญญาณของค่าความสะอาดที่ขนาดไม่เกิน 0.3 ไมครอน

3.2 ทำการทดสอบกระบวนการล้างตามผลที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อยืนยันผลการทดลอง
เมื่อได้รับผลการพยากรณ์ระดับค่าความสะอาดของชิ้นงานที่ได้จากการวิเคราะห์แล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การทดลองเพื่อยืนยันผลที่ได้รับจากการพยากรณ์ โดยทำการทดลองกลุ่มตัวอย่างแบบเต็มตะกร้าชิ้นงาน (Full load) เพื่อจำลองการล้างทำความสะอาดชิ้นงานในสภาวะปกติที่พนักงานหน้าเครื่องนำชิ้นงานเข้าเครื่องล้างทำความสะอาด และทำการทดลองโดยการควบคุมตัวแปรที่มีผลเพื่อการยืนยันผลอีกจำนวน 4 กลุ่มการทดลอง ได้แก่ กลุ่มการทดลองปรับอุณหภูมิที่ 32 ºC กลุ่มการทดลองปรับคลื่นอัลตร้าโซนิค (3) 10% กลุ่มการทดลองที่ 19 และ 22 โดยผลจากการปรับค่าของระดับตัวแปรการทดลองทั้ง 4 กลุ่มการทดลองในการทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลองนี้แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าระดับตัวแปรเพื่อยืนยันผลการทดลอง

กลุ่ม	Process time	Time	U/S 1	U/S 2	U/S 3	Detergent	ค่าความสะอาด (อนุภาค/ตารางเซนติเมตร)
1	120 Sec	32 ºC	40kHZ,3600W (80%)	68kHZ,2880W (80%)	80kHZ,2880W (80%)	0.5%	5,945
2	120 Sec	50 ºC	40kHZ,3600W (80%)	68kHZ,2880W (80%)	80kHZ,360W (10%)	0.5%	7,404
3	60 Sec	32 ºC	40kHZ,4500W (100%)	68kHZ,360W (10%)	80kHZ,360W (10%)	2.0%	6,818
4	180 Sec	32 ºC	40kHZ,450W (10%)	68kHZ,3600W (100%)	80kHZ,3600W (100%)	2.0%	8,176

จากผลจากการทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลองพบว่าค่าความสะอาดของกลุ่มการทดลองค่าความสะอาดมีค่าต่ำกว่า 125,000 อนุภาค/ตารางเซนติเมตร จากข้อกำหนดทางบริษัท และได้ทำการเปรียบเทียบค่าของผลการทดลองจากค่าเฉลี่ยความสะอาดที่ขนาดไม่เกิน 0.3 ไมครอนของบริษัทนิเดคในช่วงเดือนพฤษภาคม 2554 ถึงเดือนมิถุนายน 2555 คือ 18,580 อนุภาค/ตารางเซนติเมตร พบว่าค่าความสะอาดจากการทดลองทั้ง 4 กลุ่มยังมีค่าความสะอาดที่ต่ำกว่าค่าปัจจุบัน ซึ่งค่าการยืนยันผลมีค่าไม่เท่ากับกับการพยากรณ์แต่แตกต่างกันไม่มากที่สำคัญค่าเฉลี่ยของค่าความสะอาดของชิ้นงานที่ได้ยังอยู่ในขอบเขตของข้อกำหนดลูกค้าดังนั้นระดับค่าตัวแปรที่ได้จากสมการพยากรณ์สามารถนำมาใช้ได้จริง

4. อภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการล้างทำความสะอาดชิ้นงานด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิคและหาค่าของตัวแปรที่เหมาะสมต่อการล้างทำความสะอาดชิ้นงานโดยใช้เทคนิคทากูชิ L32 (Taguchi Method) โดยปรับปรุงการล้างทำความสะอาดชิ้นงานด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิคที่กระบวนการล้างขั้นตอนสุดท้ายซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยในปีค.ศ.1997 โดย Roman Gouk ที่พบความสะอาดของชิ้นส่วนที่ประกอบเป็นดิสก์ไดร์ฟมากขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของกระบวนการล้างขั้นสุดท้าย [9] เพราะว่าวัตถุประสงค์หลักของการทำความสะอาดชิ้นส่วนสุดท้ายคือการขจัดอนุภาคที่ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ แต่การล้างทำความสะอาดปกติจะมีหน้าที่ชะล้างคราบน้ำมันก่อนจะถึงกระบวนการล้างขั้นตอนสุดท้าย จากนั้นกำหนดระดับการทดลอง 2 ระดับแล้วจึงใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variable; ANOVA) เพื่อศึกษาค่าความแปรปรวนของตัวแปร

4.1 การกรองตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าความสะอาด ซึ่งกำหนดตัวแปรทั้งหมด 6 ตัวแปร แบ่งเป็นตัวแปรควบคุมได้ (Controllable Variables) คือ อุณหภูมิ ระยะเวลา ความถี่ ระดับพลังงานของคลื่นอัลตร้าโซนิค และความเข้มข้นของสารชะล้าง ส่วนตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Noise Variables) คือ ตำแหน่งการวางตะกร้า โดยมีค่าอัตราส่วนสัญญาณของค่าความสะอาดของชิ้นงาน (S/N LPC) ที่ขนาดไม่เกิน 0.3 ไมครอน เป็นตัวแปรผลตอบ ได้เงื่อนไขการทดลองทั้งหมด 32 การทดลองและทำซ้ำ 3 ครั้ง รวมการทดลองทั้งหมด 96 การทดลอง จากตารางการวิเคราะห์ผลกระทบจากตัวแปรหลัก พบว่าอุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารชะล้างและคลื่นอัลตร้าโซนิค(3) ส่งผลต่อค่าความสะอาดของชิ้นงาน และผลกระทบร่วมระหว่างระยะเวลากับความเข้มข้นของสารชะล้าง คลื่นอัลตร้าโซนิค(1)กับความเข้มข้นของสารชะล้าง และคลื่นอัลตร้าโซนิค(3)กับ

ความเข้มข้นของสารชะล้างมีผลต่อค่าความสะอาดขนาดไม่เกิน 0.3 ไมครอน ซึ่งผลจากการศึกษางานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยในปีค.ศ 1995 โดย F. John Fuchs ที่พบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อค่าความสะอาดของชิ้นงาน คือ อุณหภูมิ ความถี่ระดับพลังงาน และระยะเวลาในการล้าง [8] เป็นตัวแปรหลักที่มีผลต่อคุณภาพค่าความสะอาดของชิ้นงานจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับนัยความสำคัญ 95%

4.2 การหาค่าของตัวแปรที่เหมาะสมต่อการล้างทำความสะอาดชิ้นงาน
เมื่อทำการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมที่สุดจากสมการพยากรณ์สรุปผลได้ว่าตัวแปรที่ส่งผลให้ชิ้นงานมีความสะอาดที่สุดในการล้างทำความสะอาดชิ้นงานด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค คืออุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารชะล้างและคลื่นอัลตร้าโซนิค(3) โดยผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองซ้ำเพื่อยืนยันผลการทดลองโดยการปรับตั้งค่าอุณหภูมิ การปรับตั้งค่าระดับพลังงานของคลื่นอัลตร้าโซนิค (3) และปรับตั้งค่าตามกลุ่มการทดลองที่ 22 และ 19 ที่ได้ค่าความสะอาดสูงสุด ซึ่งพบว่าการปรับตั้งค่าของเครื่องล้างทำความสะอาดชิ้นงานตามกลุ่มการทดลองได้ผลค่าความสะอาดที่ไม่แตกต่างกัน โดยค่าเฉลี่ยค่าความสะอาดขนาดไม่เกิน 0.3 ไมครอนของแต่ละกลุ่มการทดลอง คือ 5,945 7,404 6,818 และ 8,176อนุภาค/ตารางเซนติเมตร ตามลำดับซึ่งยังอยู่ในขอบเขตที่ลูกค้ายอมรับได้ คือ ค่าความสะอาดของชิ้นงานขนาดไม่เกิน 0.3 ไมครอน มีค่าไม่เกิน 125,000 อนุภาค/ตารางเซนติเมตร

ดังนั้น ผลการวิจัยนี้พบว่าตัวแปรที่สำคัญต่อการล้างทำความสะอาดชิ้นงานคือการเลือกใช้อุณหภูมิที่เหมาะสม ซึ่งผลจากการศึกษางานวิจัยนี้มีสอดคล้องกับวิจัยในปี 2551 โดย ชีวนันท์ ที่พบว่าอุณหภูมิลดลงยิ่งส่งผลให้ความสะอาดเพิ่มขึ้น เนื่องจากชิ้นงานมีลักษณะบางมีความซับซ้อนสูงและสารชะล้างที่ใช้มีคุณสมบัติที่ละลายในน้ำได้ดี มีความหนืดน้อย การตั้งค่าอุณหภูมิต่ำจึงสามารถใช้ล้างชิ้นงานได้สะอาดกว่าอุณหภูมิสูงในเครื่องล้างชิ้นงาน [2] และมีความสอดคล้องกับวิจัยในปีค.ศ 1996 โดย Sami B Awad ที่พบว่าเมื่อต้องการให้ชิ้นงานมีความสะอาดเพิ่มขึ้นจะต้องทำการปรับค่าเครื่องล้างที่ค่าความถี่ระดับพลังงาน และระยะเวลาในการล้างเพิ่มขึ้นแต่ปรับค่าอุณหภูมิลดลง [10] ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับตั้งอุณหภูมิลดลงจากค่าปกติ 50 ºC เป็น 32 ºC คือ ระยะเวลาที่ใช้ล้าง 120 วินาที อุณหภูมิ 32 ºC ระดับพลังงานของคลื่นอัล ตร้าโซนิค 80% และความเข้มข้นของสารชะล้าง 0.5% ได้มีค่าความสะอาด 5,945 อนุภาค/ตารางเซนติเมตร โดยที่ค่าความสะอาดของชิ้นงานเพิ่มขึ้น 70% จากค่าความสะอาดเฉลี่ยในปัจจุบัน

5. สรุปผล

ผลจากการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมที่สุดจากสมการทำนายสรุปผลได้ว่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการทำความสะอาดฐานรองรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ส่งผลให้ชิ้นงานมีความสะอาดมากที่สุด คือ ทำการตั้งค่าเครื่องล้างที่ระยะเวลาล้าง 120 วินาที อุณหภูมิ 32 ºC ระดับพลังงานของคลื่นอัลตร้าโซนิค 80% และความเข้มข้นของสารชะล้าง 0.5% และมีค่าเฉลี่ยของค่าความสะอาดขนาดไม่เกิน 0.3 ไมครอนอยู่ที่ 5,945 อนุภาคต่อตารางเซนติเมตร โดยสามารถลดค่าความสะอาดชิ้นงานได้ 70% จากค่าเฉลี่ยเดิมของทางโรงงาน ซึ่งผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการผลิตชิ้นงานฐานรองรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟและด้านสังคมที่ต้องมีการออกแบบสินค้าให้ดีโดยมีเป้าหมายเพื่อลดการสูญเสียที่ลูกค้าได้รับเมื่อมีการส่งมอบสินค้า หรือนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อนำไปประยุกต์และพัฒนาอุตสาหกรรมชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟอย่างยั่งยืน

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร.สิงห์แก้ว ป๊อกเที่ยงที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สหรัตน์ วงษ์ศิรษะ และดร.ปริญญ์ บุญกนิษฐ ที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิดและสนับสนุน ตรวจทานแก้ไขงานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ และขอขอบพระคุณบริษัทนิเดค พรีซิชั่น ที่ให้การสนับสนุนทางด้านสถานที่ วัตถุดิบ เครื่องมือ หรืออุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในงานวิจัย ช่วยสนับสนุนข้อมูลให้งานนี้สำเร็จด้วยดีและขอขอบพระคุณคุณพัฒนาชาติ พี่อลงกต พี่ทิพวรรณ พี่พัชรินทร์ แผนกวิศวกรรม และพี่ทุกคนที่ให้คำปรึกษาในการวิจัยครั้งนี้ โดยเฉพาะพี่โกมินท์ และคุณปิยะ วัฒน์แผนกซ่อมบำรุงที่สละเวลามาช่วยทำการตั้งค่าเครื่องล้างเพื่อทำการทดลอง ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือผู้วิจัย ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] คุณยุต เอี่ยมสอาด และคณะ, 2550. วิธีการทากูชิเพื่อการขึ้นรูปชิ้นงานโลหะด้วยเลเซอร์. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21, 17-19 ตุลาคม 2550 จังหวัดชลบุรี

[2] ชีวนันท์ อมรศรีสัจจ, 2551. การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยในกระบวนการทำความสะอาดแขนจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ที่ใช้เทคโนโลยีคลื่นอัลตร้าโซนิคโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[3] ดุสิต ธนเพทาย, 2554. เทคโนโลยีฮาร์ดไดร์ฟและการผลิต. คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[4] บริษัทนิเดค พรีซิชั่น จำกัด, ระเบียบปฏิบัติการทดสอบด้วยเครื่อง Liquid Particle Counter (Regulation of chemical test by Liquid Particle Counter).

[5] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, 2551. การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. สำนักพิมพ์ท้อป จำกัด

[6] Ahmed A, Busnaina et al., Glenn W, Gale., 1995. Ultrasonic and Megasonic particle removal.

[7] Ahmed A. Busnaina et al., 1994. Ultrasonic and Megasonic Theory and Experimentation, Pages. 13 – 19.

[8] F. John Fuchs., 1995. Ultrasonic Cleaning Fundamental Theory and Application.

[9] ROMAN GOUK., 1997. Optimizing Ultrasonic Cleaning for Disk Drive Components.

[10] Sami B Awad., 1996. Ultrasonic Cavitations and Precision Cleaning, Pages. 12-17.