

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14
2-3 พฤศจิกายน 2543 โรงแรม โนวาเทล เชียงใหม่

วิธีการตรวจสอบคลื่นเสียงความเสียหายแบริงโดยใช้ต้นทุนต่ำ

Low cost method for sound analysis of bearing damage

ประเสริฐ อินประเสริฐ และ นที ตั้งตระการ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

235 ถนนเพชรเกษม เขตภาษีเจริญ กรุงเทพฯ 10163

โทร. 457-0068 ต่อ 121, โทรสาร 457-3982

Prasert Inprasert and Natee Tangtrakarn

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Siam University

235 Petkasem Road, Phasicharoen, Bangkok 10163

Tel : 457-0068 Ext : 121, Fax. 457-3982

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้คอนเดนเซอร์คอนเดนเซอร์ไมค์ขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. โดยต่อกับหัวโพรบสำหรับชั้นเกลียวติดกับเสื้อแบริง บันทึกเสียงที่เกิดขึ้นลงตลับเทปหรือหน่วยความจำของเครื่องบันทึกเสียงขนาดกระเป๋าสี้อย่างต่อเนื่องต่อไมค์ แล้วทำการถ่ายคลื่นเสียงจากเทปผ่านซาวด์การ์ดที่ติดมากับเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยอัตราการสุ่มสัญญาณ 44 กิโลเฮิร์ตซ์ ขนาดข้อมูล 16 บิตเก็บไว้ในไฟล์เสียง (.WAV) จากนั้นจึงวิเคราะห์ไฟล์เสียงเปรียบเทียบกับแบริงดีและแบริงเสียด้วยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป โดยโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้ต้องสามารถวิเคราะห์หาค่าสเปกตรัมและระดับความเข้มเสียงที่เกิดขึ้นได้ เพื่อเปรียบเทียบแผนภาพสเปกตรัมคลื่นเสียงและดัชนีทางสถิติ

จากการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบระหว่างแบริงดีและแบริงเสียโดยนำมาเขียนกราฟค่าสเปกตรัม, ระดับความเข้มเสียงที่เวลาต่างๆ สามารถแยกความแตกต่างได้อย่างเด่นชัดโดยแบริงดีจะมีค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มเสียงสูงสุดต่ำกว่าแบริงเสียและในการทดสอบนี้มีดัชนีความเสียหายแบริงเท่ากับ 1.2677

ผลจากการวิจัยนี้ทำให้สามารถนำไปใช้ตรวจสอบความเสียหายของแบริงขณะทำงานได้จริงในระดับโรงงานเนื่องจากลงทุนสั่งซื้อเพิ่มเติมในส่วนเครื่องบันทึกเสียงขนาดกระเป๋าสี้อย่างต่อเนื่องและใช้คอนเดนเซอร์ไมค์ขนาดเล็กราคา

ประมาณ 800 บาท และ 50 บาท/ตัวตามลำดับ โดยทั่วไปเครื่องคอมพิวเตอร์มักติดซาวด์การ์ดมาเรียบร้อยแล้วดังนั้นจึงเป็นการเหมาะสมที่จะใช้แทนเครื่องวัดความสั่นสะเทือนจากต่างประเทศแบบมือถือและตัวเซนเซอร์ราคาประมาณ 15,000 บาท และ 10,000 บาท/ตัว ตามลำดับ ซึ่งเหมาะสมสำหรับการวิจัยขั้นสูงในห้องทดลองมากกว่า

ความน่าเชื่อถือในการวิเคราะห์ความเสียหายแบริงด้วยคอมพิวเตอร์นี้มีมากกว่าเนื่องจากมีการเก็บไฟล์เสียงแบริงสภาพใหม่ที่จะทำการติดตั้งกับไฟล์เสียงแบริงที่คาดว่าจะเสียหายเมื่อเวลาผ่านไป ในสภาวะแวดล้อมการทำงานเดียวกัน ณ จุดวัดเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการใช้เครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนที่มีได้เก็บค่าในอดีตไว้หรือถ้าต้องการจะเก็บไว้ก็จะต้องลงทุนซื้ออุปกรณ์พิเศษเพิ่มเติมอีก

เนื่องจากการใช้ตัวเซนเซอร์ไมค์ที่ราคาถูกและขนาดเล็กเช่นนี้ทำให้สามารถทำการฝังลงบนตัวเสื้อแบริงได้เกือบทุกจุดของเครื่องจักร ดังนั้นจึงสามารถตรวจสอบจุดผิดปกติซ่อนเร้นได้ในขณะที่เครื่องจักรทำงานในเวลาปกติโดยการต่อสายไมค์ออกมานอกตัวเครื่องแล้วทำเป็นแผงสำหรับใช้แจ๊คเสียบเมื่อต้องการตรวจสอบ

ABSTRACT

This paper proposes an application of a small condenser microphone, 10 mm in diameter, covered by

a probe which have a tread that can be connected with bearing housing is applied to record bearing sound into a tape or a memory card of a pocket sound recorder that has a microphone input and then convert it to a sound file(*.wav) with the aid of a sound card provided with a computer at sampling rate of 44 kHz and 16 bit data.

The signal from a good bearing and a bad one are analyzed by using a program which can be capable of determining spectra and intensity of the sound source to compare their different patterns and statistical indices.

From the experiment to compare the good and the bad by reading the their spectra and sound intensity it is found that the average peak of sound intensity acquired from the good are lower than that from the bad and the bearing damage index is 1.2677. The research outcome verify that it is feasible to employ this technique to inspect a working bearing for damage in a factory level since it is inexpensive to purchase supplementary devices which are a pocket tape recorder and a small condenser microphone of hitch the price is around 800 bahts and 50 bahts respectively. Generally with the availability of an installed sound card in a computer, this set is suitable to replace a vibration meter and a sensor which costs 15,000 bahts 10,000 bahts in the order and are more fit with advance research in a laboratory.

This reliability of this method is more acceptable since there is collection of sound signal from a good bearing just installed and from the bad one expected to be damaged when time elapses in a same environment and at a same measured point while the portable vibration equipment can't keep the history of sound signal record, however it can do when an extra purchased device is accompanied.

Because the small condenser microphone is inexpensive and small in size, it can be installed onto a bearing housing at most part of a machine even in the hidden area while the machine is running. Practically it is useful to make up the board of microphone wire if those hidden points are bound to be measured.

1. ความสำคัญและความเป็นมาของโครงการ

ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีขบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง โดยใช้เครื่องจักรในการผลิตเป็นจำนวนมาก ถ้าเครื่องใดเครื่องหนึ่งเกิดเสียกระทันหัน จะมีผลให้ขบวนการผลิตต้องเปลี่ยนไปและรวมถึงการซ่อมบำรุงในทันที การตรวจสอบแบร้งเพื่อป้องกันการเสียหายจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับกระบวนการผลิตและการซ่อมบำรุง

โครงการวิจัยนี้จะนำเสนอวิธีการใหม่โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ความเสียหายของแบร้ง ซึ่งจะทำให้การหาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการนำคลื่นเสียงจากแบร้งเข้าคอมพิวเตอร์และทำการวิเคราะห์หารูปแบบคลื่นเสียงที่แตกต่างกันได้ระหว่างแบร้งที่ดีกับแบร้งที่เสียด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

ด้วยเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน คาดว่าสามารถที่จะวิเคราะห์ความเสียหายของแบร้งไม่ด้อยกว่าเครื่องมือวัดความสั่นสะเทือนที่นำเข้าจากต่างประเทศ

เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนสำหรับการตรวจสอบแบร้งที่ใช้ในประเทศไทยในปัจจุบันเป็นเครื่องที่สั่งนำเข้ามาจากต่างประเทศและราคาแพง การตรวจวัดค่าและแสดงผลออกมาไม่เป็นที่เปิดเผยถึงวิธีการวิเคราะห์ของบริษัทผู้ผลิต คงมีแต่คู่มือการใช้งานเท่านั้น

โครงการวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อทดแทนการนำเข้าเครื่องมือวัดราคาแพงจากต่างประเทศ โดยการนำเสนอวิธีการตรวจสอบแบร้งด้วยการวิเคราะห์รูปแบบคลื่นเสียงและแสดงผลโดยใช้คอมพิวเตอร์

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เดซิเบล (Decibel)

เป็นหน่วยพื้นฐานที่ใช้แพร่หลายในวิศวกรรมระบบเสียงจะพบเห็นอยู่บ่อย ๆ เช่นเดียวกับหน่วยของโวลต์ หรือวัตต์ และใช้ในการวัดระดับสัญญาณเสียงโดยมีความสัมพันธ์กับลอการิทึม (Logarithm) ซึ่งวิศวกรโทรศัพท์ได้เรียกชื่อหน่วยนี้ว่า ลอการิทึม ของอัตราส่วนระหว่างกำลังเสียงสองสัญญาณ และตั้งหน่วยพื้นฐานของระบบเป็นเบล (Bel) เพื่อให้เกียรติแก่เอเล็กซานเดอร์ เกรแฮมเบลล์ ผู้คิดประดิษฐ์โทรศัพท์ขึ้นเป็นคนแรกจะได้ค่า Bel ดังนี้ [1] , [5]

$$\text{Bel} = \log (P_1/P_2) \quad (1)$$

$$\text{dB} = 10 \log (P_1/P_2) \quad (2)$$

ถ้าเดซิเบลเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังเสียงสองสัญญาณ การเปรียบเทียบกับค่าอื่น ๆ ที่นอกเหนือกำลังสัญญาณเสียง หมายถึงกำลังสัญญาณเสียงที่อยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้า จะได้ว่า

$$\text{จาก } P = V^2 / R \quad (3)$$

$$\text{ดังนั้น dB} = 10 \log (V_1^2 / V_2^2) \quad (4)$$

$$= 10 \log (V_1 / V_2)^2 \quad (5)$$

$$= 20 \log (V_1 / V_2) \quad (6)$$

เมื่อ Bel - กำลังเสียง, Bel

db - กำลังเสียง, db

P, P_1, P_2 - กำลังงาน, วัตต์

V, V_1, V_2 - แรงดันไฟฟ้า, โวลต์

R - ความต้านทานไฟฟ้า, โอห์ม

2.2 ค่าเครสทแฟกเตอร์ (Crest Factor)

ค่านี้จะบอกถึงการลดที่เกิดขึ้นในสัญญาณ [3] , [4]

$$\text{เครสทแฟกเตอร์} = \frac{\text{ค่าสูงสุด}}{\text{ค่ารากที่สองของกำลังสองเฉลี่ย (r.m.s)}} \quad (7)$$

สำหรับแบริ่งดีค่านี้นี้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 2.5 - 3.5 สำหรับแบริ่งเสียอาจมีค่าสูงถึง 11 โดยทั่วไปแล้วถือว่าถ้าค่านี้สูงกว่า 3.5 แสดงว่าแบริ่งอยู่ในสภาพที่ไม่ดีค่าเครสทแฟกเตอร์ จะมีค่าคงที่และ

ไม่ขึ้นอยู่กับความเร็วทำงานของแบริ่งและภาระกรรมที่แบริ่งได้รับ เนื่องจากค่าสูงสุดและค่า r.m.s ต่างก็มีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วหรือภาระกรรมเพิ่มขึ้น วิธีนี้จะไม่เหมาะสมเมื่อการลดที่เกิดขึ้นมีค่าไม่ชัดเจน เช่น กรณีที่แบริ่งเกิดการเสียหายในระดับต้น และแบริ่งมีความเสียหายในลักษณะกระจาย

2.3 ดิสครีตฟูริเยร์ทรานสฟอร์ม (Discrete Fourier transform : DFT)

ฟูริเยร์ทรานสฟอร์มของสัญญาณดิสครีต - เวลา $x[n]$ ที่มีระยะเวลาจำกัดอยู่ในช่วง $0 > n > N - 1$ [2] , [6]

$$X^f(\theta) = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]e^{-j\theta n} \quad (8)$$

เมื่อ $X^f(\theta)$ - ฟูริเยร์ทรานสฟอร์มของสัญญาณ
ดิสครีต - เวลา $x[n]$

θ - ความถี่เชิงมุม, เรเดียน/วินาที

n - ดัชนีเวลาดิสครีต

N - ระยะเวลาของสัญญาณดิสครีต - เวลา

j - จำนวนเชิงซ้อน, $\{-1\}$

DFT ก็คือการสุ่มสัญญาณ N ตัวอย่างในช่วง $[0, 2\pi]$ โดยช่วงห่างของการสุ่มมีค่าคงที่เท่ากับ $2\pi / N$ ความถี่ที่ใช้มีค่าเท่ากับ

$$\theta[k] = \frac{2\pi k}{N}, 0 \leq k \leq N-1 \quad (9)$$

เมื่อ k - ดัชนีลำดับ

ได้สมการ DFT เป็น

$$X^d[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \exp\left(-\frac{j2\pi kn}{N}\right), 0 \leq k \leq N-1 \quad (10)$$

เมื่อ $X^d[k]$ - ดิสครีตฟูริเยร์ทรานสฟอร์ม
โดยปกติ มักแทน

$$W_N = \exp\left(\frac{j2\pi}{N}\right) \quad (11)$$

ทำให้ได้สมการ DFT ในรูป W_N คือ

$$X^d[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] W_N^{-kn}, 0 \leq k \leq N-1 \quad (12)$$

การเฉลี่ยค่าด้วยวิธีนี้ ประกอบด้วยการคูณเชิงซ้อน $(N-1)^2$ ครั้ง และการบวกเชิงซ้อน $N(N-1)$

2.4 ฟาสต์ฟูริเยร์ทรานสฟอร์ม (Fast Fourier Transform)

เมื่อ N ไม่ใช่จำนวนเฉพาะ การลดระยะ N ทำให้สามารถทำการคำนวณได้ง่ายขึ้น และระยะดังกล่าวก็ยังสามารถทำให้สั้นลงได้อีก กระบวนการนี้จะถูกทำซ้ำจนกระทั่ง DFT มีระยะ N เป็นจำนวนจำเพาะ ดังนั้นจำนวนครั้งของการคำนวณจึงขึ้นอยู่กับ การแยกตัวประกอบจำเพาะของ N ถ้า N เป็นเลขจำนวนเต็มที่เกิดจากการนำเลข 2 มายกกำลัง จำนวนครั้งที่ใช้นับคำนวณมีค่าเท่ากับ $N \log_2 N$

การทำ FFT เริ่มจากการแบ่งช่วง 0 ถึง $N-1$ ออกเป็น 2 ส่วนคือ ดัชนีเวลา n แบ่งออกเป็นช่วงเวลา Q และ P และดัชนีความถี่ k แบ่งออกเป็นช่วง P และ Q [2],[6]

$$n = Pq + p, \quad 0 \leq q \leq Q-1, \quad 0 \leq p \leq P-1 \quad (13)$$

$$k = Qs + r, \quad 0 \leq s \leq P-1, \quad 0 \leq r \leq Q-1 \quad (14)$$

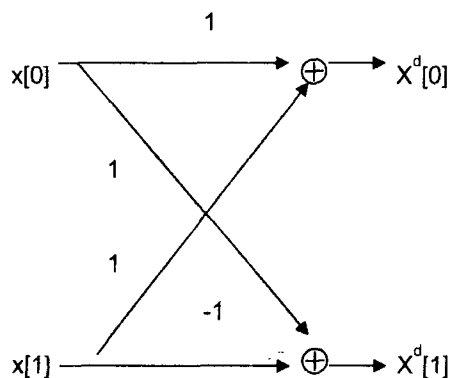
สมการที่ใช้จึงมีดังต่อไปนี้

$$x_p[q] = x[Pq + p], \quad 0 \leq q \leq Q-1, \quad 0 \leq p \leq P-1 \quad (15)$$

$$X_p^d[r] = \sum_{q=0}^{Q-1} x_p[q] W_Q^{-rq}, \quad \text{ให้ } 0 \leq r \leq Q-1 \quad (16)$$

$$y_r[p] = W_N^{-rp} X_p^d[r], \quad 0 \leq p \leq P-1 \quad (17)$$

$$X^d[Qs + r] = \sum_{p=0}^{P-1} y_r[p] W_P^{-sp} \quad (18)$$



รูปที่ 1 แสดงอัลกอริทึมของ Radin - 2 FFT พื้นฐาน โดยใช้แผนภาพผีเสื้อ

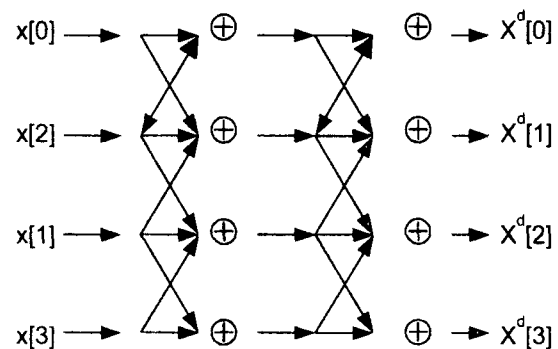
ในกรณีที่ความยาวของ DFT เป็นตัวเลขจำนวนเต็มของเลข 2 ยกกำลังใด ๆ ($N=2^L$) อัลกอริทึมที่นิยมใช้ คือ

2.4.1 Radix - 2FFT

สามารถเลือก $P = 2$ และ $Q = N/s$ อัลกอริทึมของ Radix - 2 FFT พื้นฐานเป็นดังรูปที่ 1

2.4.2 Radix - 4 FFT

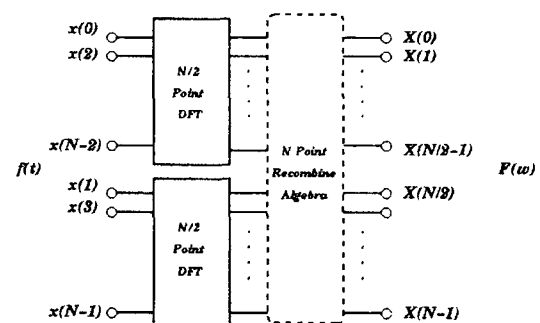
เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธี Radix - 2 FFT ในการลดจำนวนครั้งของการคูณ อัลกอริทึมของ Radix - 4FFT พื้นฐาน คือ



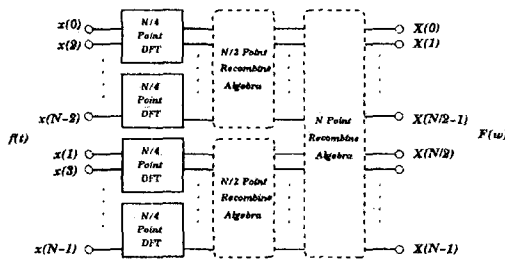
รูปที่ 2 แสดงอัลกอริทึมของ Radix -4FFT พื้นฐานโดยใช้แผนภาพผีเสื้อ

โดยการแบ่งสัญญาณออกเป็น องค์ประกอบคู่ (เป็นเลขคู่) และองค์ประกอบคี่ (k เป็นเลขคี่) ดังรูปที่ 3

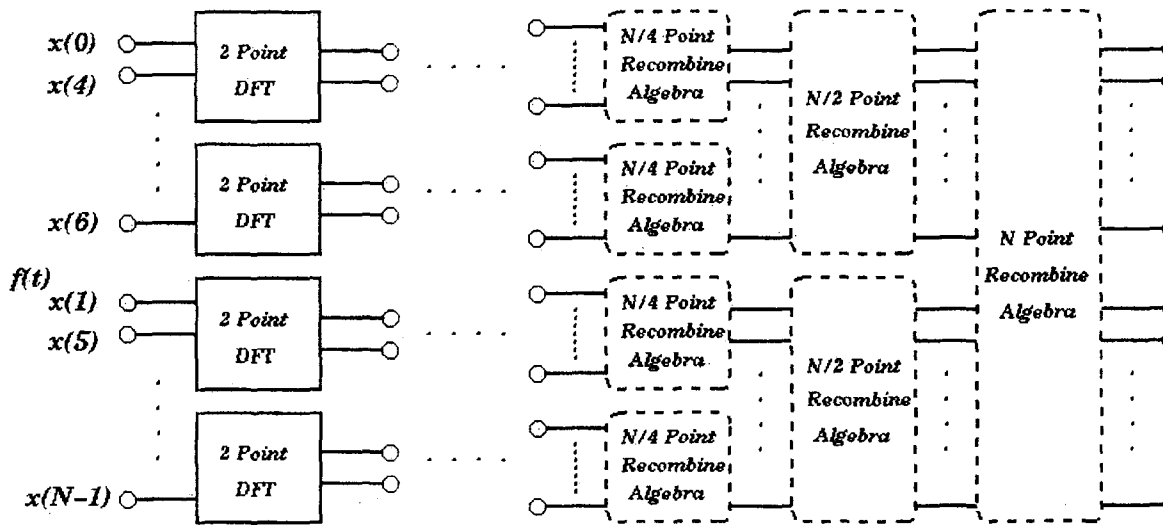
แล้วจึงทำการรวมซ้ำอีกครั้งโดยแบ่งองค์ประกอบออกเป็น 4 ส่วน ดังรูปที่ 4 ทำซ้ำจนกระทั่งอนุกรมเข้าสู่หา DFT 2 จุด (2 point DFT) ดังตัวอย่างของสัญญาณ 8 ตัว อย่างในรูปที่ 5



รูปที่ 3 แสดงการรวมสัญญาณทางพีชคณิตโดยการแบ่งสัญญาณออกเป็น 2 กลุ่ม



รูปที่ 4 แสดงการรวมสัญญาณทางพีชคณิตโดยการแบ่งสัญญาณออกเป็น 4 กลุ่ม และ 2 กลุ่มตามลำดับ



รูปที่ 5 แสดง FFT ของตัวอย่างกลุ่ม 8 ตัวอย่าง

2.6 โมดิฟายด์เครสทแฟคเตอร์ (Modify crest factor)

จากค่าเครสทแฟคเตอร์นิยามไว้ดังนี้

$$\text{เครสทแฟคเตอร์ (Crest factor)} = \frac{P_{\text{peak}}}{P_{\text{avg}}} \quad (19)$$

เมื่อ P_{peak} - ระดับกำลังงานสูงสุด, วัตต์

P_{avg} - ระดับกำลังงานโดยเฉลี่ย, วัตต์

สำหรับการวิเคราะห์เสียงค่าระดับกำลังงานมีหน่วยเดซิเบล ดังนั้นการวิเคราะห์หาค่าเครสทแฟคเตอร์จำเป็นต้องแปลงหน่วยจากเดซิเบลเป็นวัตต์

$$\text{จากสูตร} \quad \text{dB} = 10 * \text{Log}(P / P_0) \quad (20)$$

เมื่อ P - ระดับกำลังงานเสียงใดๆ, วัตต์

P_0 - ระดับกำลังงานเสียงมาตรฐานอ้างอิง, วัตต์

$$\text{ดังนั้น} \quad P = P_0 * 10^{(\text{dB}/10)} \quad (21)$$

ซึ่งการหาค่าเครสทแฟคเตอร์ในหน่วยพลังเป็นเดซิเบล จะใช้สูตรดังนี้

$$\text{เครสทแฟคเตอร์ (Crest factor)} = \frac{P_0 * 10^{(\text{dB}_{\text{peak}}/10)}}{P_0 * 10^{(\text{dB}_{\text{avg}}/10)}} \quad (22)$$

$$= 10^{(\text{dB}_{\text{max}} - \text{dB}_{\text{avg}})/10} \quad (23)$$

สำหรับการตรวจสอบความเสียหายแบริงด้วยวิธีการวัดเสียงหรือความสั่นสะเทือน ถ้านำค่ากำลังงานที่จุดสูงสุด (Peak power) มาพิจารณาตามสูตรของเครสทแฟคเตอร์โดยตรงอาจมีความผิดพลาดได้ เนื่องจากตัวเซนเซอร์ได้วัดค่าความดังเสียงหรือการสั่นของเครื่องจักรที่มีค่าแอมพลิจูดที่

สูงกว่าแอมพลิจูดที่เกิดจากความดังเสียงหรือการสั่นของชิ้นส่วนในตัวเองแบริง ซึ่งจะสังเกตได้ว่าการวัดความเสียหายของแบริงด้วยเครสทแฟคเตอร์มักไม่ได้ผลถ้านำไปใช้กับเครื่องจักรประเภทเครื่องปั๊มขึ้นรูปโลหะ, เครื่องร่อนแร่, เครื่องตัดโลหะขนาดใหญ่ เป็นต้น

ดังนั้นจึงเปลี่ยนจากการนำค่ากำลังงานที่จุดสูงสุด ณ เวลานั้นๆ มาคำนวณเป็นการใช้ค่ากำลังงานสูงสุดโดยเฉลี่ยช่วงเวลาสั้นช่วงหนึ่งบริเวณเวลานั้นๆ แทน ซึ่งจะให้ผลที่ดีขึ้นเรียกค่าใหม่นี้ว่าโมดิฟายด์เครสทแฟคเตอร์

$$\text{โมดิฟายด์เครสทแฟคเตอร์} = 10^{(\text{dB}_{\text{rms, max}} - \text{dB}_{\text{rms, avg}})/10}$$

(24)

2.7 ดัชนีความเสียหายแบริง (Bearing damage index)

โดยทั่วไปมักพิจารณาว่าแบริงมีความเสียหายแล้วเมื่อค่าเครสทแฟคเตอร์มากกว่า 3.5 และสำหรับแบริงใหม่มี

ค่าเครสทแฟคเตอร์ระหว่าง 2.5 ถึง 3.5 ดังนั้นประเด็นอยู่ที่ว่าถ้าค่าเครสทแฟคเตอร์มีค่า 3.6 จะเป็นแบริงที่เสียหรือไม่ ถ้าแบริงตัวนั้นเมื่อติดตั้งใหม่ให้ค่าเครสทแฟคเตอร์ 3.5 ในกรณีนี้จะเห็นได้ว่ายากที่จะให้คำตอบได้ว่าเป็นแบริงที่เสีย แต่ถ้าแบริงตัวนั้นเมื่อติดตั้งใหม่ให้ค่าเครสทแฟคเตอร์ 2.5 จะเห็นได้ว่าเป็นไปได้ที่จะสรุปได้ว่าแบริงตัวนั้น เสียแล้ว ดังนั้นในการพิจารณาประเมินความเสียหายของแบริงจะเป็นการไม่เพียงพอที่จะดูค่าเครสทแฟคเตอร์ในปัจจุบัน ซึ่งความแม่นยำในการประเมินความเสียหายของแบริงควรจะประเมินในเชิงสัมพันธ์กับค่าในอดีต โดยเฉพาะค่าเริ่มต้นของแบริงตัวนั้นเมื่อติดตั้งใหม่

จึงเป็นการดีกว่าที่จะสร้างดัชนีสำหรับการประเมินความเสียหายของแบริงในเชิงสัมพันธ์ โดยค่าดัชนีความเสียหายแบริงนี้ต้องเป็นการวัดแบริงตัวเดียวกันที่จุดวัดจุดเดียวกัน จึงจะทำให้การประเมินได้อย่างถูกต้องสูตรที่ใช้เป็นดังนี้

$$\text{ดัชนีความเสียหายแบริง (BDI)} = \frac{CF_{\text{now}}}{CF_{\text{inst}}} \quad (25)$$

เมื่อ CF_{now} - เครสทแฟคเตอร์ ณ เวลา ปัจจุบัน

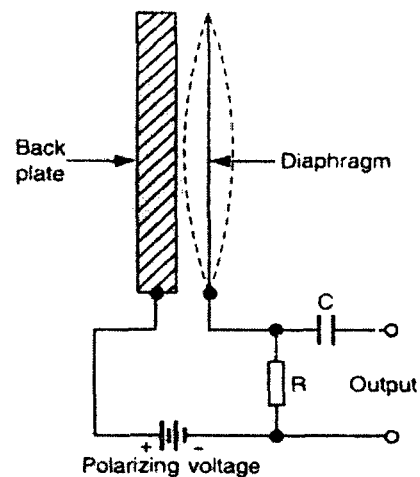
CF_{inst} - เครสทแฟคเตอร์ ณ เวลา ติดตั้ง

จากการประมาณค่าเครสทแฟคเตอร์พบว่าแบริงที่มีความเสียหายขั้นต้นที่อาจมีผลต่อการทำงานของเครื่องจักรที่ต้องอาศัยความละเอียดประณีตของผลงานมาก ๆ ให้ค่าตัวเลขเริ่มต้นไว้ที่ 3.5 เมื่อนำคำนวณดัชนีความเสียหายแบริงแล้วจะให้ค่า $BDI = 3.5/2.5 = 1.4$ และแบริงที่มีความเสียหายมาก ๆ จึงจะทำให้การเปลี่ยนใหม่สำหรับเครื่องจักรที่ไม่ต้องการความละเอียดประณีตของผลงานให้ค่าตัวเลขสูงถึง 11.0 เมื่อนำคำนวณดัชนีความเสียหายแบริง แล้วจะให้ค่า $BDI = 11/2.5 = 4.4$

ดังนั้นการที่จะสรุปว่า BDI มีค่าเป็นเท่าใดที่จะพิจารณาเปลี่ยนแบริงขึ้นอยู่กับสภาพการใช้งานเครื่องจักร, ตำแหน่งที่ติดตั้งในเครื่องจักรนั้นและประเภทเครื่องจักรนั้น ๆ การเก็บประวัติค่า BDI ของเครื่องจักรนั้น ๆ จะทำให้การตัดสินใจวางแผนการซ่อมบำรุงดียิ่งขึ้นในคราวต่อไปสำหรับเครื่องจักรที่คล้ายคลึงกันได้

2.8 ไมโครโฟนแบบตัวเก็บประจุ (Condenser microphone)

เป็นไมโครโฟนที่ประกอบไปด้วยแผ่นโลหะสองแผ่น แผ่นหนึ่งจะอยู่คงที่และอีกแผ่นหนึ่งจะเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ทำหน้าที่เป็นแผ่นไดอะแฟรม เป็นผลให้ค่าความจุเปลี่ยนแปลง โดยแผ่นโลหะทั้งสองจะถูกค้นไว้ด้วยฉนวน ดังรูปที่ 6 เมื่อมีคลื่นเสียงมากระทบที่แผ่นไดอะแฟรม เป็นผลทำให้ค่าความจุเปลี่ยนแปลง ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน และค่าแรงดันตกคร่อมเป็นสัญญาณเอาต์พุตของไมโครโฟนนำไปใช้งานต่อไปโดยทั่วไป ไมโครโฟนแบบนี้จะต้องมีแหล่งจ่ายกระแสไฟมาเลี้ยงตัวไมโครโฟน ซึ่งแสดงข้อตามโครงสร้างคร่อมสองแผ่นโลหะ [1]



รูปที่ 6 แสดงโครงสร้างของไมโครโฟนแบบตัวเก็บประจุผ่านตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทานสูงมาก หากพิจารณาโดยทั่วไปแล้ว ไมโครโฟนชนิดจะเป็นอุปกรณ์ที่มีคุณภาพสูง ความไวในการรับเสียงสูง และตอบสนองความถี่ได้ดีที่สุด

3.1 วิธีการทดสอบ

มีลำดับขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

3.1.1 เลือกเครื่องจักรและกำหนดจุดวัด โดยเลือกเครื่องที่ขณะทำงานมีเสียงดังมาก ๆ ในการทดสอบนี้เป็นเครื่องที่ทำงานด้วยระบบไฮโดรเป็นจำนวนมาก และจุดวัดเป็นจุดที่ติดตั้งตัวแบริงใกล้โซ่ เฟลาหมุนด้วยความเร็วรอบที่ต่ำมากเป็นพิเศษที่ 53.8 รอบต่อนาที

3.1.2 เตรียมแบริงเสียไว้โดยการทุบที่วงแหวนด้านใน

ของตัวแบริ่งให้เกิดการคลอนของรางแบริ่ง โดยใช้แบริ่งเบอร์ P205 ยี่ห้อ NTN

3.1.3 จัดเตรียมหัววัด สำหรับงานวิจัยอันนี้ใช้ไมโครโฟนชนิดคอนเดนเซอร์

3.1.4 ทำการวัดเก็บข้อมูลลงเทปบันทึกเสียง โดยใช้เครื่องบันทึกเสียงขนาดกระเป๋าสื่อที่มีช่องต่อสายไมโครโฟน คุณภาพเครื่องบันทึกเสียงระดับต่ำและปานกลาง อย่างละเครื่อง

3.1.5 ต่อสายเคเบิลจากช่องเสียบหูฟังของเครื่องบันทึกเสียงเข้ากับช่องรับสัญญาณเสียงของการ์ดเสียงบันทึกสัญญาณเสียงจากเทปเก็บลงในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมช่วยในการบันทึก

3.1.6 วิเคราะห์ไฟล์เสียงที่ได้โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป โดยโปรแกรมที่ใช้เป็นโปรแกรมประเภทแชร์แวร์หรือฟรีแวร์ทั่วไปที่มีความสามารถวิเคราะห์ค่าสเปกตรัมและระดับความเข้มเสียงที่เวลาใดๆได้



รูปที่ 7 หัววัดที่ใช้ในการทดสอบ คอนเดนเซอร์ไมค์ (ซ้าย) และ หัวโพรบคอนเดนเซอร์ไมค์ (ขวา)

3.1.7 นำแผนภาพและข้อมูลเชิงสถิติของคลื่นเสียงมาเปรียบเทียบหาความแตกต่างระหว่างแบริ่งดีและเสีย

3.2 ผลการทดสอบ

สามารถแยกความแตกต่างระหว่างแบริ่งดีและเสียออกจากกันได้

3.2.1 ไฟล์เสียงแบริ่งดี วัดด้วยโพรบคอนเดนเซอร์ไมค์ ชื่อไฟล์ BrGood#4 13sec V98.Wav เป็นไฟล์ที่เก็บไว้เพื่อแสดงถึงการลดเสียงรบกวนที่ความถี่ต่ำเนื่องจากแรงการสั่น



รูปที่ 8 แสดงวิธีการบันทึกเสียงด้วยหัวโพรบคอนเดนเซอร์ไมค์

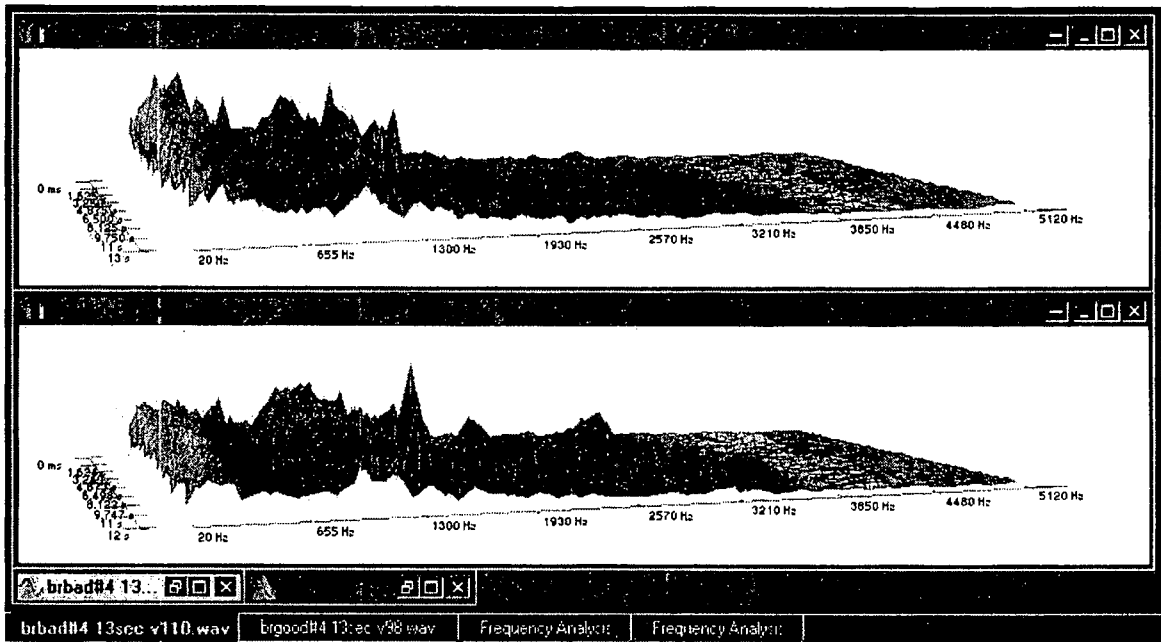
สะเทือนของเครื่องจักรและลดเสียงรบกวนจากภายนอกที่ความถี่สูงลงได้ แต่มีเสียงรบกวนจากการที่กระแสไฟฟ้ารั่วระหว่างหัวโพรบกับเครื่องจักร เป็นการวัดด้วยวิธีขึ้นเกลียวเข้ากับเสื้อแบริ่ง แสดงกราฟค่าสเปกตรัม, ระดับความเข้มเสียงที่เวลาต่างๆ ดังรูปที่ 9-a และตัวเลขวิเคราะห์ในเชิงสถิติของคลื่น ดังรูปที่ 9-b

3.2.2 ไฟล์เสียงแบริ่งเสีย วัดด้วยโพรบคอนเดนเซอร์ไมค์ ชื่อไฟล์ BrBad#4 13sec V110.Wav เป็นไฟล์ที่เก็บไว้เพื่อเปรียบเทียบกับแบริ่งในสภาพดี จากกราฟค่าสเปกตรัม, ระดับความเข้มเสียงที่เวลาต่างๆ ดังรูปที่ 9-a สามารถแยกความแตกต่างระหว่างแบริ่งดีและเสียออกจากกันได้

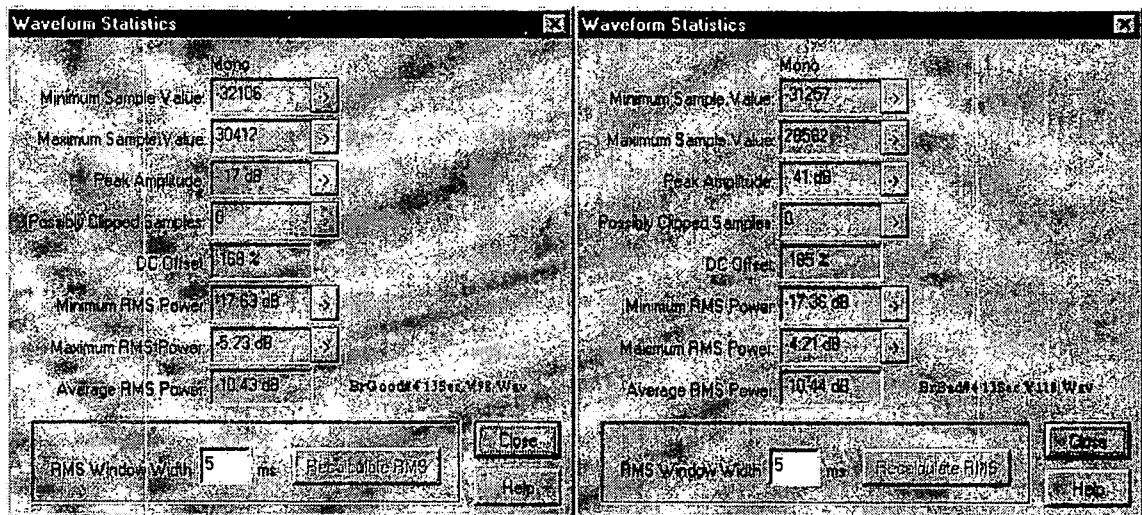
4.1 วิจารณ์ผลการทดสอบ

4.1.1 คอนเดนเซอร์ไมค์ที่ใช้จะวัดคลื่นเสียงในช่วงความถี่ 20 ถึง 10,000 เฮิรตซ์ ซึ่งเป็นคลื่นความถี่ที่มนุษย์สามารถได้ยิน โดยทั่วไปในการตรวจสอบเสียงอุปกรณ์ชิ้นต่างๆ ของเครื่องจักรจะใช้หูฟังของแพทย์แต่ได้ดัดแปลงเป็นปลายติดแท่งเหล็กซึ่งหาซื้อได้ทั่วไปในร้านขายอะไหล่เครื่องจักรกล และนิยมใช้กันมากในหน่วยซ่อมบำรุงของโรงงานที่มีระบบการซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน

4.1.2 จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าคอนเดนเซอร์ไมค์มีความเหมาะสมในการวัดเสียงที่เกิดจากแบริ่งได้ดี เนื่องจากสามารถตัดเสียงรบกวนจากการสั่นสะเทือนอุปกรณ์ชิ้นต่างๆ ของเครื่องจักรได้



รูปที่ 9-a สเปกตรัมคลื่นเสียงเปรียบเทียบเบร้งดี (บน) และเสีย (ล่าง) วัดด้วยหัวโพรบคอนเดนเซอร์ไมค์ ช่วงความถี่ 20 – 5120 Hz



รูปที่ 9-b ค่าเชิงสถิติเปรียบเทียบเบร้ง (ซ้าย) และเสีย (ขวา) วัดด้วยหัวโพรบคอนเดนเซอร์ไมค์

ไมค์อัดเสียงลงเทปและแปลงเป็นไฟล์เสียง .Wav ไว้ตรวจสอบฟัง แสดงกราฟและวิเคราะห์เชิงสถิติได้ในภายหลัง จึงเป็นการเพิ่มความแม่นยำในการประเมินความเสียหายเบร้งได้ดี

4.1.4 ความถี่ของเบร้งที่วัดได้จะประกอบด้วยความถี่ของชิ้นส่วนประกอบของเบร้งทั้งที่เป็นความถี่พื้นฐานและฮาร์โมนิกส์ของความถี่พื้นฐานนั้นๆ การที่ไม่โครโฟนชนิดธรรมดา

ไม่สามารถรับคลื่นเสียงความถี่ต่ำกว่า 20Hz ได้ทำให้ความถี่พื้นฐานและฮาร์โมนิกส์ความถี่ของชิ้นส่วนประกอบเบร้งบางความถี่หายไป แต่อย่างไรก็ดีฮาร์โมนิกส์ที่เหลือก็ยังพอที่จะบอกให้ทราบถึงแนวโน้มว่าเบร้ง อยู่ในสภาพดีหรือไม่

4.1 สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบระหว่างเบร้งดีและ

แบร้งเสียงโดยนำมาเขียนกราฟค่าสเปกตรัม,ระดับความเข้มเสียงที่เวลาต่างๆ แบร้งเสียงจะมีระดับความเข้มเสียงแตกต่างกันแต่ละความถี่มากกว่าแบร้งดีในหลายๆความถี่ และมีการกระจายกระจายเป็นหย่อม ๆ

สำหรับตัวเลขเชิงสถิติของแบร้งเสียงโดยการใช้คอนเดนเซอร์ไมค์การวัดด้วยวิธีฝังหัวโพรบของคอนเดนเซอร์ไมค์ลงในเสื้อแบร้งจึงแยกความแตกต่างระหว่างแบร้งดีและเสียได้ โดยมีอัตราส่วนของ Modified crest factor แบร้งเสียงและแบร้งดี(Bearing damage index) เท่ากับ 1.2677 ดังนั้นเพื่อความมั่นใจในการสรุปว่าแบร้งเสียหายสมควรที่จะพิจารณาใช้ Beaing damage index (BDI) ประกอบรูปกราฟค่าสเปกตรัม,ระดับความเข้มเสียงที่เวลาต่างๆ โดยกำหนดให้ค่า BDI มากกว่า 1.25 เป็นดัชนีชี้ความเสียหายของแบร้งขึ้นเริ่มต้นในเชิงเปรียบเทียบ ณ จุดติดตั้งเดียวกัน ด้วยวิธีฝังหัวโพรบของคอนเดนเซอร์ไมค์ลงในเสื้อแบร้งตัวเดียวกัน

กิตติกรรมประกาศ

1. งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยสยาม สาขาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำปี 2542

2. โปรแกรมแชร์แวร์ Cool edit version 96 Demo ช่วยในการวิเคราะห์คลื่นเสียง ทางคณะผู้วิจัยจึงใคร่ขอถือโอกาสนี้ขอบคุณบริษัท Syntrillium software coppration

เอกสารอ้างอิง

- [1] ธนากร ศิริพิทักษ์, 2541, ทฤษฎีเครื่องเสียง, ศูนย์หนังสือพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, พิมพ์ครั้งที่ 1, หน้า 22-23, 33, 89, 93
- [2] Boaz Porat ,Course in Digital Signal Processing, John Wiley & Son, Inc., 1997
- [3] Lyron, R.H. ,Machinery Noise and Diagnostic, Butteerworth
- [4] M.P.Norton ,Fundamentals of Noise and Vibration Analysis for Engineers, 1st ed, Cambridge University Press, 1989
- [5] Rumsey, F., and McCormick T.,Sound and Recording, 2nd ed, Oxford : Butterworth
- [6] [http :// www.spd.eee.strath.ac.uk/sinteract/fourier/fft.htm](http://www.spd.eee.strath.ac.uk/sinteract/fourier/fft.htm), January, 2000