การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อระดับเสียงและการสั่นสะเทือนในระบบส่งกำลังด้วยเฟือง

The Study of Factors that Effect to a Level of noise and a Level of vibration of Gear Transmission

อนันต์ วงศ์กระจ่าง[1]

บทคัดย่อ:

การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อระดับเสียงและการสั่นสะเทือนในระบบส่งกำลังด้วยเฟือง มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการหาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับเสียงและการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในระหว่างการส่งกำลังของเพลาที่ใช้ระบบส่งกำลังด้วยชุดเฟือง วิธีการศึกษาใช้ชุดทดลองที่ออกแบบขึ้นมาทำการทดลองโดยกำหนดปัจจัยที่เป็นตัวแปรอิสระ ได้แก่ อัตราทด การหล่อลื่นและภาระที่กระทำจากภายนอก ทำการวัดระดับเสียงและการสั่นสะเทือน

ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่เป็นตัวแปรทุกตัวแปรคือขนาดของอัตราทดการหล่อลื่นและภาระภายนอกที่กระทำมีผลต่อระดับเสียงและการสั่นสะเทือน

Abstract

The objective of this study is to determine the factors that effect to a level of noise and a level of vibration of gear transmission during operator. The study procedure comprise of designed a gear transmission set, tested the experiment set by setting an independent variables of Gear ratio, Lubricating and Carried Load condition at different values. The result of the study to found that those three factors are significantly influenced to a level of noise and a level of vibration.

ความเป็นมาและความสำคัญ

ในเครื่องจักรต่าง ๆ ในปัจจุบันนั้นต้องอาศัยการขับเคลื่อนจากแหล่งส่งกำลัง โดยการใช้กลไกในการส่งกำลัง ซึ่งกลไกเหล่านั้นก็มีอยู่หลายแบบ โดยขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้งาน และสภาวะการทำงานของเครื่องจักรนั้น ๆ ระบบที่ใช้ส่งกำลังก็มีอยู่หลายประเภท การส่งกำลังด้วยชุดเฟืองก็เป็นอีกประเภทหนึ่งที่ใช้ในการส่งกำลังและถ่ายทอดการหมุน ปัญหาของการส่งกำลังด้วยเฟืองที่สำคัญคือ การเกิดเสียงดังและการสั่นสะเทือนในขณะที่ใช้ส่งกำลังอันเป็นสาเหตุที่จะทำให้เครื่องจักรทำงานไม่สมบูรณ์ ถ้ามีเสียงดังมากก็จะทำลายสภาพแวดล้อมของการทำงาน ถ้าเกิดการสั่นสะเทือนมากเครื่องจักรบางชนิดไม่อาจจะทำงานได้และจะเกิดผลเสียต่อชิ้นงานที่ผลิตออกมาจากเครื่องจักรเหล่านั้น ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเกิดปัญหาดังกล่าว เพื่อจะได้หาแนวทางปรับปรุงแก้ไขและลดปัญหาที่เกิดขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการส่งกำลังและการทำงานของเครื่องจักรเพิ่มขึ้นด้วย

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

การศึกษานี้เพื่อต้องการหาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับเสียงและการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นระหว่างการส่งกำลังของเพลาที่ใช้ระบบส่งกำลังด้วยชุดเฟือง

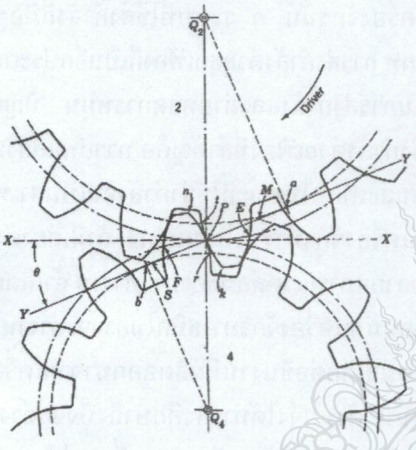
หลักการส่งกำลังด้วยระบบเฟือง

ระบบส่งกำลังในเครื่องจักรมีจุดประสงค์หลักอยู่ 2 ประการคือ ต้องการถ่ายทอดการหมุนจากเพลาขับไปยังเพลาตามด้วยโมเมนต์บิด (Torsional Moment) ที่เกิดจากการขับของต้นกำลังเช่น มอเตอร์ไฟฟ้าหรือ

[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

เครื่องยนต์สันดาปภายใน และต้องการเปลี่ยนความเร็วของเพลาตามด้วยการกำหนดอัตราทดหรือค่า i ตามความต้องการในการส่งกำลังนั้น ๆ

ระบบส่งกำลังที่มีประสิทธิภาพสูงระบบหนึ่งในเครื่องจักรก็คือการส่งกำลังด้วยชุดเฟือง (Gear Train) เพราะสามารถส่งกำลังด้วยอัตราทดที่สม่ำเสมออันเนื่องมาจากการส่งถ่ายแรงที่เกิดจากโมเมนต์บิดผ่านจากฟันเฟืองตัวขับโดยตรงไปยังฟันเฟืองตัวตามในแนวแรงการกระทำที่เรียกว่า Line of Action คือเส้น yy ส่งถ่ายแรงแบบฟันต่อฟัน ต่อเนื่องกันไปตลอดเวลาที่เพลาขับหมุนอยู่ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1

ระบบส่งกำลังชนิดอื่นที่มีใช้ในเครื่องจักรก็คือการส่งกำลังด้วยสายพานและการส่งกำลังด้วยโซ่ การส่งกำลังด้วยเฟืองจะมีข้อดีกว่าการส่งกำลังด้วยสายพานและโซ่ กล่าวคือการส่งกำลังด้วยเฟืองสามารถออกแบบเฟืองให้ใช้ส่งกำลังได้ทั้งระหว่างเพลาที่อยู่ในแนวขนานกัน หรือตั้งฉาก (เพลามี Alignment ในระดับเดียวกัน) หรือเพลาที่ตั้งฉากและข้ามกัน (เพลามี Alignment ต่างระดับกัน) และที่สำคัญคือ เพลาขับและเพลาตามที่มีระยะห่างของเส้นผ่านศูนย์กลางเพลาน้อย ซึ่งไม่สามารถใช้การส่งกำลังด้วยสายพานหรือโซ่ได้จึงใช้การส่งกำลังด้วยเฟืองแทน แต่ข้อเสียของการส่งกำลังด้วยเฟือง คือมีเสียงดังและเกิดการสั่นสะเทือนระหว่างส่งกำลัง หากเงื่อนไขของระบบส่งกำลังและการหล่อลื่นไม่ถูกต้อง ราคาแพงกว่า และการซ่อมบำรุงยากกว่า

การเกิดเสียงดังและการสั่นสะเทือน

ปัจจัยที่เป็นเหตุของการเกิดเสียงดังและการสั่นสะเทือนและการเปลี่ยนแปลงของเสียงและการสั่นสะเทือนที่รุนแรงขึ้นในระหว่างการส่งกำลัง มีหลายปัจจัยที่ส่งผลดังกล่าว ได้แก่ ขนาดความโตผ่าศูนย์กลาง (Gear diameter) ความกว้างของเฟือง (Face width) และความหนาของฟันเฟือง (Gear theet thickness) อัตราทดของการส่งกำลัง (Gear Ratio) ความเร็วที่แนววงกลมพิตช์ของเฟือง (Pitch Velocity) ช่องว่าง (Gab) ระหว่างฟันเฟืองขับและเฟืองตาม ที่เกิดจากความผิดพลาดของการประกอบเพลา รวมทั้งการสึกหรอของตัวฟันเฟืองที่ใช้งานมาเป็นเวลานานภายใต้การทำงานที่ไม่เหมาะสม การหล่อลื่นไม่ดี ขาดการบำรุงรักษาที่ถูกวิธี และการออกแบบขนาดเพลาและการเลือกวัสดุที่ไม่เหมาะสม ซึ่งเป็นเหตุให้เพลาเกิดการโก่งตัว (Delection) สูงเกินกำหนดส่งผลให้ระยะห่างระหว่างศูนย์กลาง Center distance ของเพลาขับและเพลาตามที่เกิดขึ้นมีค่าเกินกำหนด ก็ทำให้การส่งกำลังเกิดเสียงดังและเกิดการสั่นสะเทือนสูงขึ้น ทั้งนี้รวมถึงปัจจัยในการใช้สารหล่อลื่นที่เลือกใช้ น้ำมันหล่อลื่น จาระบี และเงื่อนไขที่ไม่มีการใช้สารหล่อลื่น

ภาระ (Load) ที่กระทำจากภายนอกที่กระทำต่อเพลาซึ่งอาจอยู่ในรูปของแรงลักษณะต่าง ๆ และโมเมนต์บิด เป็นปัจจัยหนึ่งที่จะส่งผลต่อการเกิดเสียงและการสั่นสะเทือนในการส่งกำลัง โดยที่ภาระจะมีขนาดที่ไม่คงที่อยู่เสมอ เช่นในกรณีของเครื่องกลึง (Turning Machine) หรือเครื่องกัด (Milling Machine) เป็นต้น แรงตัดเฉือน (Cutting force) ที่เกิดจากความเร็วตัด (Cutting speed) อัตราการป้อน (Feed Rate) แรงกดในแนวรัศมีที่เกิดจากการอัตราการกินลึก (Depth of cut) ของมีดตัด (cutting tool) ซึ่งจะเปลี่ยนไปตามชนิดของวัสดุชิ้นงานและลักษณะของงานก็จะส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนและมีเสียงดังในระบบส่งกำลัง

ระดับเสียงที่เกิดขึ้นในโรงงานผลิตที่ใช้เครื่องจักรกลจากผลการวิจัยของ สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ (สมศักดิ์, 2533) ซึ่งได้ทำการทดลองหาระดับของเสียงที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ พบว่าเสียงของเครื่องจักรโดย

เฉลี่ยอยู่ที่ 80 เดซิเบล เสียงที่เกิดขึ้นนี้เป็นเสียงจากการทำงานของเครื่องจักรอันเกิดจากระบบการส่งกำลังของเครื่องจักรด้วย

ปัจจัยที่เป็นเหตุของการเกิดการสั่นสะเทือนนอกจากที่ได้กล่าวมาแล้วอาจจะมีปัจจัยที่เป็นการประกอบติดตั้งระบบส่งกำลัง ซึ่งประกอบด้วยการประกอบรองลื่น (Bearing) กับเพลา การยึดเฟืองติดกับเพลาโดยใช้อุปกรณ์จับยึดเช่น ลิ่ม (Key) สลัก (Pin) หรือคับปลิ้ง (Coupling) แต่ในการศึกษานี้จะไม่คำนึงถึงปัจจัยดังกล่าวนี้

วิธีการศึกษา

1. กำหนดตัวแปร ตัวแปรที่เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับเสียงและการสั่นสะเทือน ซึ่งเป็นปัจจัยนำเข้า หรือเรียกว่า ตัวแปรอิสระ ได้แก่

1.1 อัตราทดของเฟือง

1.2 การหล่อลื่นในชุดเฟือง

1.3 ภาระภายนอกที่กระทำต่อเพลา

ผลลัพธ์ หรือเรียกว่า ตัวแปรตาม เป็นผลที่ต้องการศึกษาอันเกิดจากอิทธิพลของตัวแปรอิสระ คือ ระดับเสียงและการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในชุดทดลองระบบส่งกำลังด้วยเฟือง

2. ออกแบบและสร้างชุดทดลอง ทำการออกแบบและสร้างชุดทดลองขึ้น 1 ชุด มีลักษณะดังนี้

ประกอบด้วย ระบบเฟืองส่งกำลัง แบบ Single gear train ใช้เฟืองตรง (Super gear) แบบเพลา 2 เพลา ขนาดความโตผ่าศูนย์กลางของเพลาขับและเพลาตามเท่ากับ 30 มม.

เฟืองที่ใช้ส่งกำลังทั้งหมดมี 4 คู่ เป็นเฟืองขนาดโมดูล (Module) 2 เฟืองตัวขับความเร็ว 1450 rpm. ดังรายละเอียดในตารางที่ 1

ชุดทดลองมีกำลังส่งด้วยมอเตอร์ 1 เฟส ใช้ไฟฟ้า 220 v. ขนาด 1 แรงม้า (hp) ความเร็วรอบ 1450 rpm.

ตารางที่ 1 ข้อมูลการส่งกำลังของชุดเฟือง

a (mm)	i	n_1 (rpm)	n_2 (rpm)	z_1	z_2
100	4 : 1	1450	725	20	80
100	3 : 1	1450	483.33	25	75
100	3 : 2	1450	966.06	40	60
100	1 : 1	1450	1450	50	50

a : ระยะห่างระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาขับกับเพลาตาม

i : อัตราภาคของเฟือง

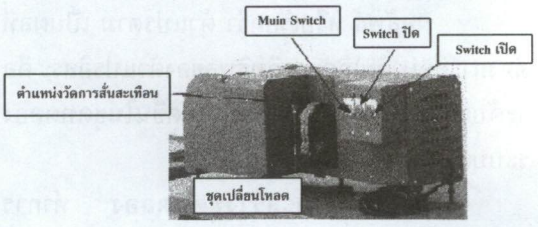
n_1 : ความเร็วของเพลาขับ

n_2 : ความเร็วของเพลาตาม

z_1 : จำนวนฟันเฟืองของเฟืองตัวขับ

z_2 : จำนวนฟันเฟืองของเฟืองตัวตาม

มีอุปกรณ์สำหรับถ่วงน้ำหนักเพื่อให้เกิดเป็นภาระต้านการหมุนของเพลาแทนภาระกระทำจากภายนอกและส่วนประกอบอื่น ๆ ดังในรูปที่ 2



รูปที่ 2

3. อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

- น้ำหนักถ่วง 3 ขนาดคือ 0.5 kg. (4.91 N) 1 kg. (9.81 N) และ 1.5 kg (14.72 N)
- เครื่องมือวัดเสียง มีหน่วยวัดเป็นเดซิเบล (dB)
- เครื่องมือวัดความสั่นสะเทือน (Vibrotip) มีหน่วยเป็น mm/s

4. การทดลอง

วิธีการทดลองดำเนินเป็นขั้นตอน ดังนี้คือ

ขั้นตอนที่ 1 ประกอบชุดเฟือง เพื่อทดลองเป็นคู่ ๆ จำนวน 4 คู่ เพื่อให้ได้อัตราทดที่กำหนด 4 อัตราทด ตามตารางที่1

ขั้นตอนที่ 2 ใช้น้ำหนักถ่วงแต่ละขนาด คือ 0.5 kg., 1 kg., และ 1.5 kg. ซึ่งทำให้เกิดภาระต้านจากภายนอกเป็นโมเมนต์บิดต้าน (Resistant Torque) เท่ากับ 442 Nmm, 844 Nmm, และ 1324.8 Nmm. ตามลำดับ ในทุก ๆ อัตราทดของการทดลองแต่ละครั้ง

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดเงื่อนไขของการหล่อลื่น โดยแบ่งเป็น 3 สภาวะ คือ ไม่มีการหล่อลื่น หล่อลื่นด้วยน้ำมันเกรด SAE40 และหล่อลื่นด้วยจาระบี สำหรับแต่ละอัตราทดของการทดลอง

ขั้นตอนที่ 4 ทำการทดลองโดยใช้ชุดมอเตอร์หมุนด้วยความเร็วคงที่ 1450 rpm.

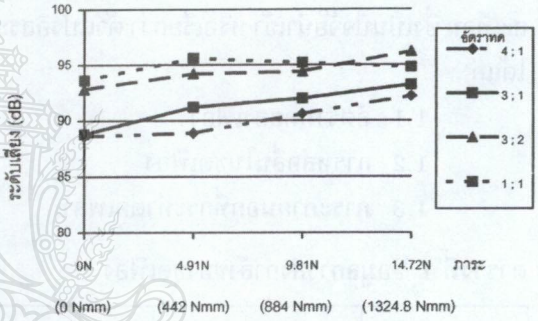
ขั้นตอนที่ 5 ใช้เครื่องมือวัดระดับเสียง และวัดความสั่นสะเทือนของชุดส่งกำลังที่เกิดขึ้น โดยทำการทดลองจำนวน 20 ครั้งต่อหนึ่งอัตราทด

การวัดด้วยเสียงใช้เครื่องมือวัดเสียงมีหน่วยเป็น dB โดยใช้หัววัดแนบกับห้องชุดเฟือง เพื่อให้ได้เสียงที่เกิดขึ้นสูงสุด การวัดความสั่นสะเทือนตั้งค่าวัดตามมาตรฐาน ISO 2372 โดยใช้ Vibration sensor สัมผัสที่ Housing ของ แบริ่ง ทำการบันทึกค่าระดับเสียงและค่าความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น

5. สรุปผลการทดลอง

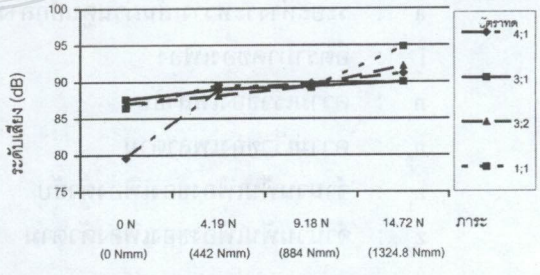
จากผลการทดลองในการส่งกำลังด้วยอัตราทด 4 อัตราภาค ตามสภาวะทั้ง 3 สภาวะ สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 ระดับเสียงที่เกิดขึ้นในระหว่างการส่งกำลังในแต่ละอัตราทดมีความสัมพันธ์ได้โดยตรงกับภาระภายนอกที่กระทำต่อเพลา กล่าวคือ เมื่อภาระเพิ่มขึ้นระดับเสียงจะเพิ่มขึ้น และอัตราทดของการส่งกำลังมีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนผกผันกับระดับเสียง กล่าวคือ เมื่ออัตราทดต่ำระดับเสียงจะสูงขึ้น และเมื่ออัตราทดเพิ่มขึ้น ระดับเสียงจะต่ำลงที่ความเร็วขับคงที่ในสภาวะที่ไม่มีการหล่อลื่น ดังรูปที่ 3



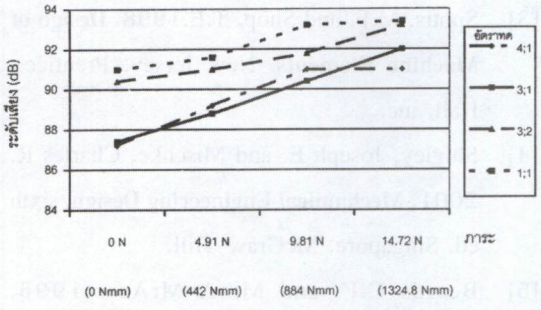
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระกับระดับเสียงในสภาวะไม่มีการหล่อลื่น

5.2 ระดับเสียงที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับภาระภายนอกที่กระทำต่อเพลา กล่าวคือ เมื่อภาระเพิ่มขึ้นระดับเสียงจะเพิ่มขึ้นในทุกอัตราทด ระดับเสียงไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราทดของการส่งกำลังในสภาวะที่มีการหล่อลื่นด้วยน้ำมันหล่อลื่น



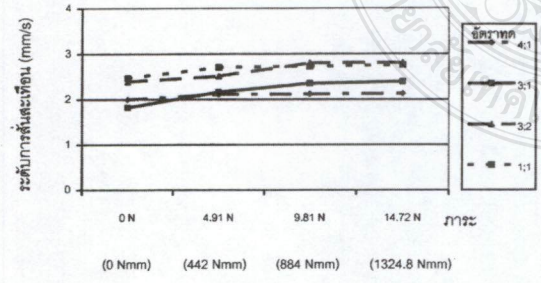
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระกับระดับเสียงในสภาวะที่มีการหล่อลื่นด้วยน้ำมันหล่อลื่น

5.3 ระดับเสียงที่เกิดขึ้นในแต่ละอัตราทด มีความสัมพันธ์โดยตรงกับภาระภายนอกที่กระทำต่อเพลา และระดับเสียงมีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนผกผันกับอัตราทดของการส่งกำลัง ดังรูปที่ 5

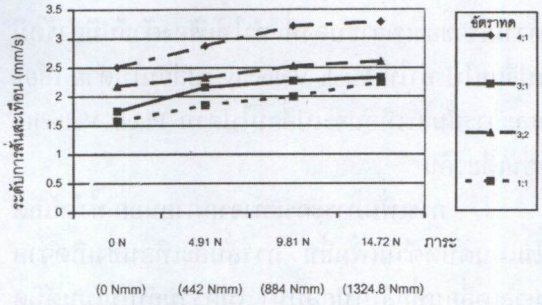


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระกับระดับเสียงในสภาวะที่มีการหล่อลื่นด้วยจาระบี

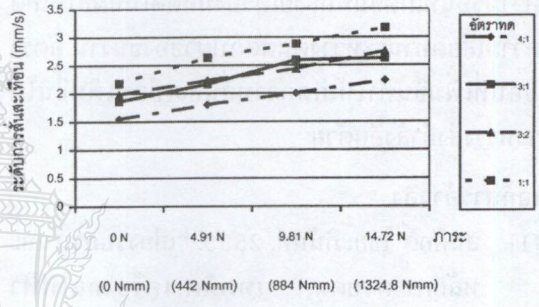
5.4 ระดับความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น มีความสัมพันธ์กับภาระภายนอกที่กระทำโดยตรงในทุกอัตราทดและทุกสภาวะของการหล่อลื่น กล่าวคือ เมื่อภาระเพิ่มขึ้นการส่งกำลังมีความสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้น และเมื่อเปลี่ยนอัตราทดที่สูงขึ้นความสั่นสะเทือนก็เพิ่มขึ้น ดังในรูปที่ 6 รูปที่ 7 และรูปที่ 8



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระกับระดับความสั่นสะเทือนในสภาวะที่ไม่มีการหล่อลื่น



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระกับระดับความสั่นสะเทือนในสภาวะที่มีการหล่อลื่นด้วยน้ำมันหล่อลื่น



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระกับระดับความสั่นสะเทือนในสภาวะที่มีการหล่อลื่นด้วยจาระบี

6. อภิปรายผล

จากผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่เป็นตัวแปรอิสระได้แก่ ค่าอัตราทดของชุดเฟือง การหล่อลื่น และ ภาระที่กระทำจากภายนอกมีผลต่อระดับเสียงและการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในชุดเฟืองส่งกำลัง การส่งกำลังของชุดเฟืองที่ไม่มีการหล่อลื่นเมื่อมีความเร็วเกิดขึ้น การเสียดสีของผิวฟันเฟืองที่เกิดจากการส่งถ่ายกำลังด้วยโมเมนต์บิด ทำให้เกิดเสียงดังขึ้น หากมีการหล่อลื่นที่ดีใช้สารหล่อลื่นที่มีคุณภาพทำให้ลดการเสียดสีระหว่างผิวสัมผัสลงได้ เสียงและการสั่นสะเทือนจะลดลง นอกจากนี้หากการประกอบชุดเฟืองไม่สมบูรณ์และการสึกหรอของผิวฟันเฟืองเกิดขึ้นสูง เนื่องจากเพิ่มภาระจากภายนอกและระยะเวลาที่ผ่านไปเป็นผลทำให้เกิดเสียงเพิ่มขึ้นได้

การเปลี่ยนอัตราทดของชุดฟันเฟือง ขณะที่ความเร็วของเพลาขับคงที่ ทำให้เฟืองตัวขับมีค่ารัศมีเปลี่ยนไป ทำให้ Pitch Velocity เปลี่ยนไปด้วย เสียงและการสั่นสะเทือนจะเปลี่ยนไปตาม Pitch Velocity เช่นเดียวกัน

การเพิ่มภาระกระทำจากภายนอก ทำให้เกิดโมเมนต์บิดต้านเพิ่มขึ้น การสั่นสะเทือนซึ่งเกิดจากมวลเคลื่อนที่กลับไปกลับมา เมื่อรวมกับโมเมนต์บิดที่เพิ่มขึ้น จึงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ตัวแปรอื่น ๆ ที่ควบคุมไม่ได้ เช่น การเกิดความร้อนในน้ำมันหล่อลื่น ในฟันเฟือง ความร้อนที่เกิดขึ้นที่ปลายเครื่องมือตัดเป็นผลให้เกิดความเสียดทานระหว่างคมตัดกับผิวของชิ้นงาน อัตราป้อนที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดความสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นในระหว่างส่งกำลังอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] สมศักดิ์ ไชยะภินันท์, 2533, "เสียงรบกวน และหลักการควบคุม," **เทคนิค เครื่องกลไฟฟ้า อุตสาหการ**, ปีที่ 7, ฉบับที่ 64 (กันยายน,2533), 88-96

[2] ก่อเกียรติ บุญชูกุศล, สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ และชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ, 2540, **การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน**. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น),

[3] Spotts, M.F. and Shop, T.E.1998. **Design of Machine Elements**. New Jersey: Prentice-Hall, inc.

[4] Shigley, Joseph E. and Mischke, Charles R. 2001, **Mechamical Engineering Design.** sixth ed. Singapore: McGraw-Hill.

[5] Beards C.F. and MioA MrAes. 1995. **Engineering Vibration Analysis with Application to Control system.** London: Adward Arnold.