หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
ผลการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟือง

การวิเคราะห์สัญญาณทำโดยพล็อตค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ[4]และมีส่วนเกี่ยวข้องกับเฟืองที่ระดับสึกหรอต่างๆ ความสัมพันธ์ของสัญญาณของการทดลองที่มีภาระให้ผลในลักษณะเดียวกัน โดยมีสัญญาณโดเมนเวลาและสเปกตรัมให้ผลเหมือนกันคือเมื่อระดับสึกหรอเพิ่มขึ้นค่าสัญญาณจะเพิ่มขึ้น ซึ่งแตกต่างจากสัญญาณเซปส์ตรัมซึ่งเมื่อระดับสึกหรอเพิ่มมากขึ้นค่าสัญญาณจะเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่งแล้วจึงลดลงอย่างต่อเนื่อง สัญญาณเซปส์ตรัมจึงน่าจะใช้ระบุความเสียหายของชุดเฟืองได้ดีกว่าสัญญาณชนิดอื่นๆ

5 – 1 <u>สัญญาณโดเมนเวลา</u>

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

1) Peak คือ ค่าแอมพลิจูดสูงที่สุดตลอดช่วงที่วัดสัญญาณ

2) RMS คือ ค่ารากที่สองของค่ากำลังสองเฉลี่ยตลอดช่วงที่วัดสัญญาณ

3) Crest Factor คือ อัตราส่วนระหว่างค่า Peak และ RMS

ใช้ค่าเฉลี่ยของค่าสัญญาณแต่ละชนิดจากการวัดสัญญาณ 10 ครั้ง ที่แต่ละระดับสึกหรอ หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณทั้งสามและระดับสึกหรอด้วยวิธีการถดถอยเชิงพหุนามกำลังสอง แต่ละระดับสึกหรอแสดงค่าพารามิเตอร์มากที่สุด น้อยที่สุด และค่าเฉลี่ย เส้นกราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ของค่าสัญญาณที่มีต่อระดับการสึกหรอของเฟือง

ความสัมพันธ์ของค่า Peak เห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนกว่าเมื่อระดับสึกหรอเพิ่มขึ้น ค่า RMS มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากแต่มีความน่าเชื่อถือมากกว่าค่า Peak เนื่องจากมีการกระจายค่าไม่มากนักเมื่อเทียบกับค่า Peak ส่วนค่า Crest Factor เป็นอัตราส่วนของค่า Peak ต่อ RMS ซึ่งเป็นการทำให้เป็นตัวแปรไร้หน่วยใช้เปรียบเทียบระดับการสั่นสะเทือนโดยทั่วไป

---

[4] ค่าของพารามิเตอร์ที่ใช้พล็อตความสัมพันธ์แสดงในภาคผนวก ง.

5 – 1 – 1 <u>ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณโดเมนเวลาและระดับสึกหรอของเฟือง</u>

ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณโดเมนเวลาและระดับสึกหรอของเฟืองแสดงเรียงตามลำดับชุดทดลองดังต่อไปนี้

1) ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Peak RMS และ ระดับสึกหรอของเฟือง

รูปที่ 5-1 : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวระดับ

รูปที่ 5-2 : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวดิ่ง

รูปที่ 5-3 : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวระดับ

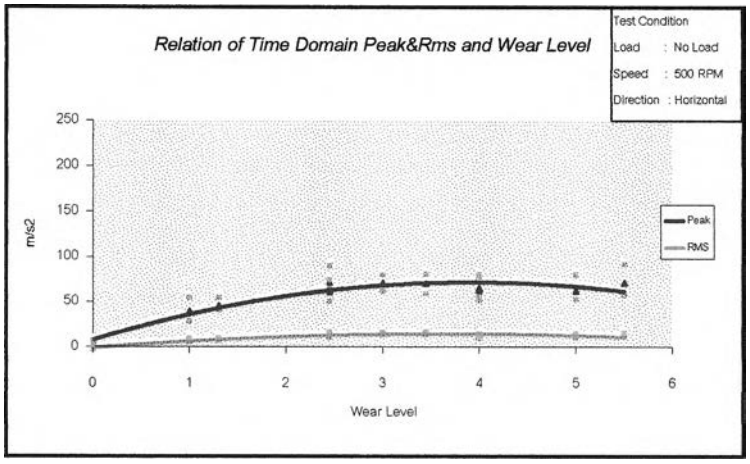
รูปที่ 5-4 : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวดิ่ง

2) ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Crest Factor และระดับสึกหรอของเฟือง

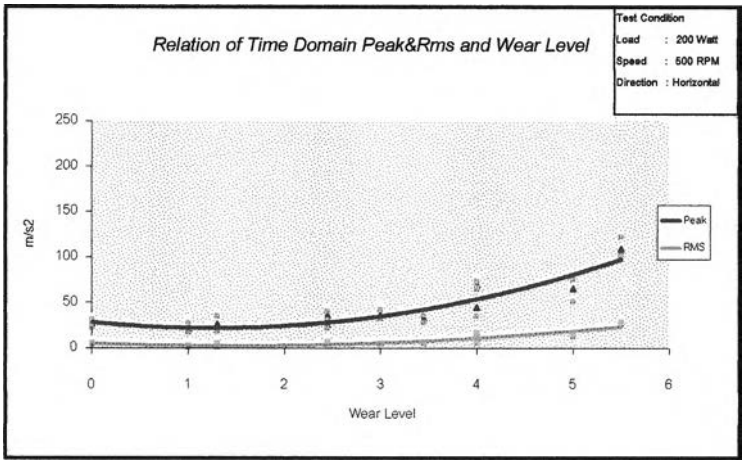
รูปที่ 5-5 : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที

รูปที่ 5-6 : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที

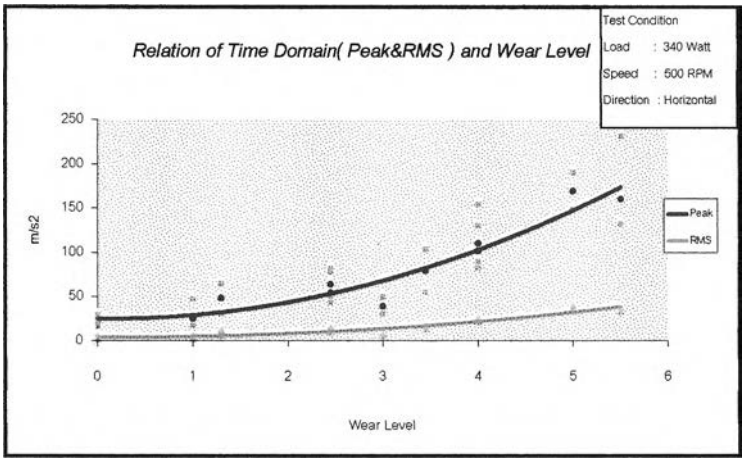
ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Peak RMS และระดับการสึกหรอของเฟือง
ความเร็ว 500 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวระดับ



ไม่มีภาระ
(No Load)



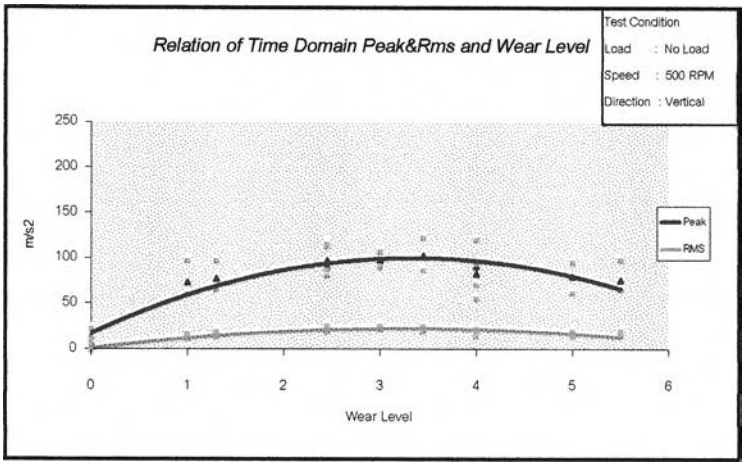
ภาระ 200 วัตต์
(Load 200 Watt)



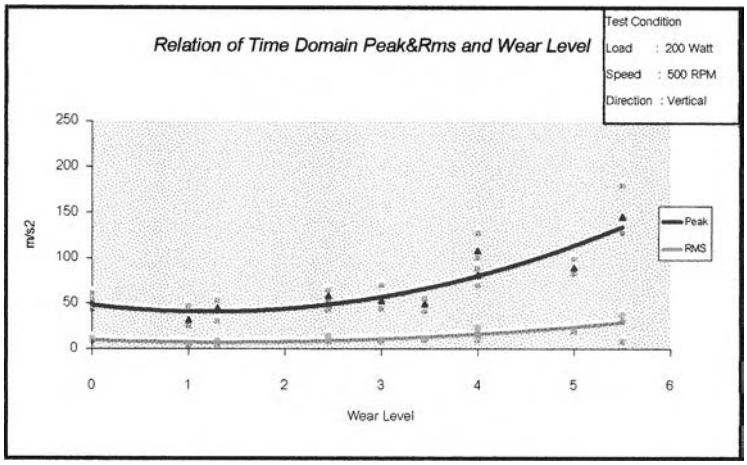
ภาระ 340 วัตต์
(Load 340 Watt)

รูปที่ 5-1 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณโดเมนเวลาและระดับสึกหรอ : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที
วัดสัญญาณแนวระดับ

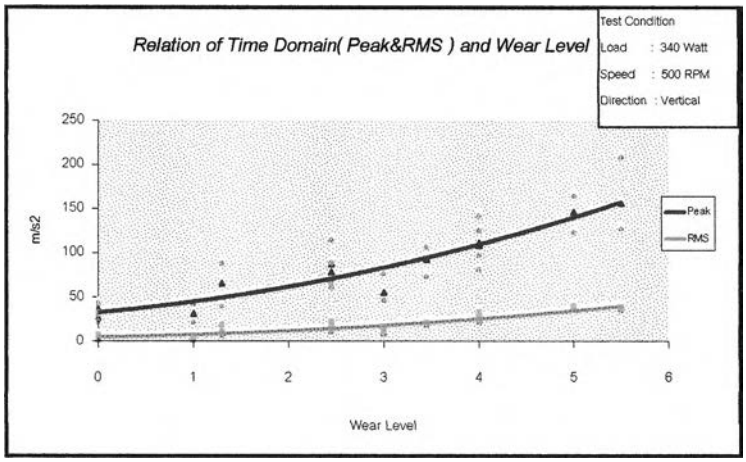
ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Peak RMS และระดับการสึกหรอของเฟือง
ความเร็ว 500 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวดิ่ง



ไม่มีภาระ
(No Load)



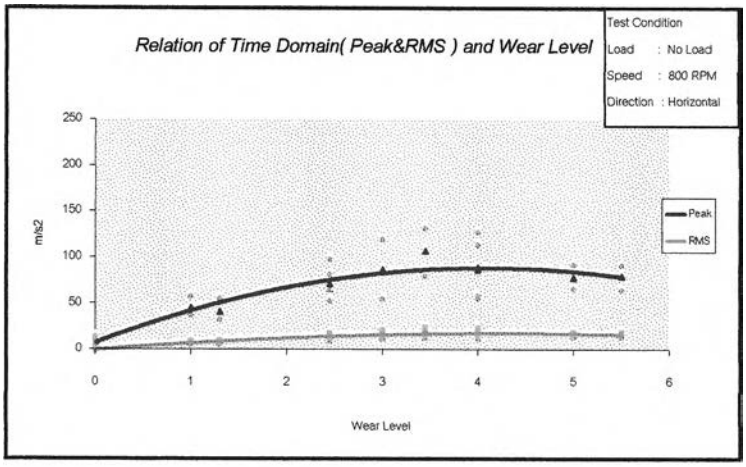
ภาระ 200 วัตต์
(Load 200 Watt)



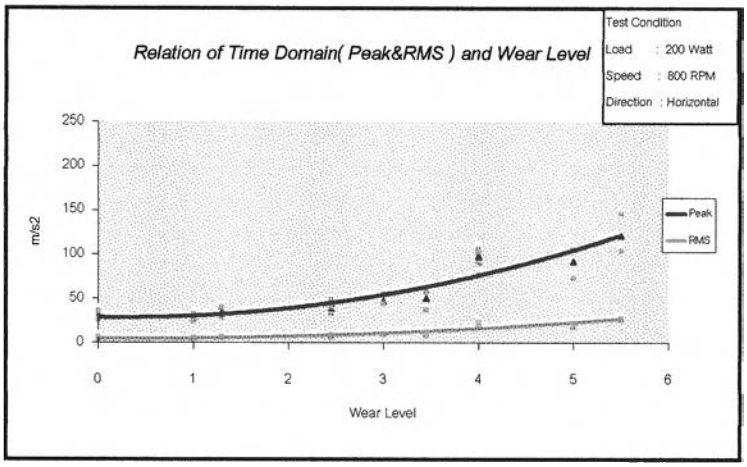
ภาระ 340 วัตต์
(Load 340 Watt)

รูปที่ 5-2 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณโดเมนเวลาและระดับสึกหรอ : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที
วัดสัญญาณแนวดิ่ง

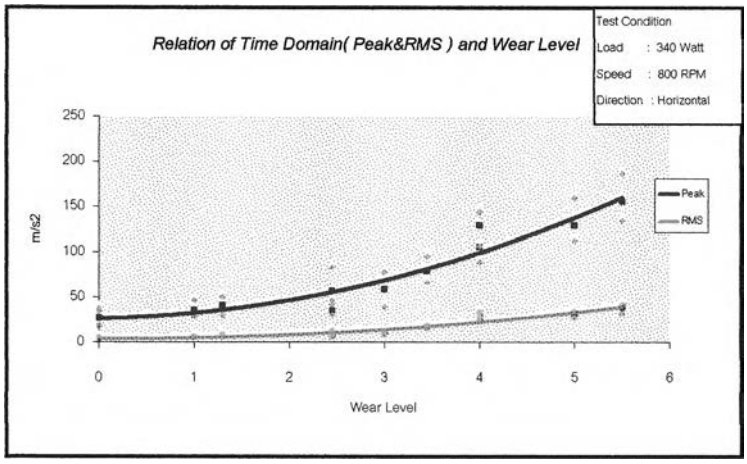
ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Peak RMS และระดับการสึกหรอของเฟือง
ความเร็ว 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวระดับ



ไม่มีภาระ
(No Load)



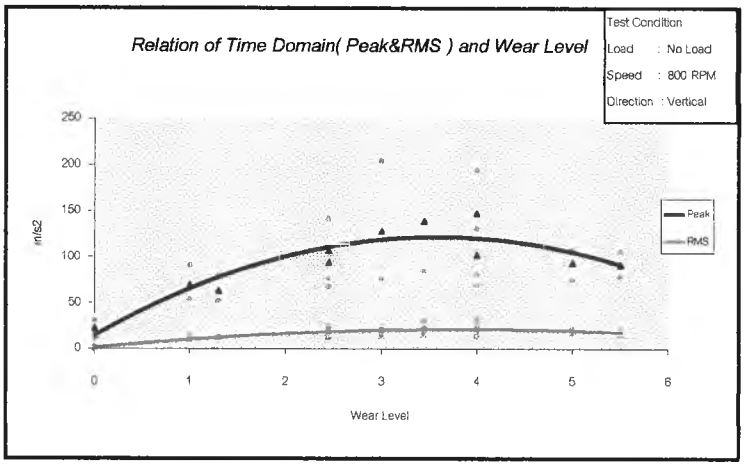
ภาระ 200 วัตต์
(Load 200 Watt)



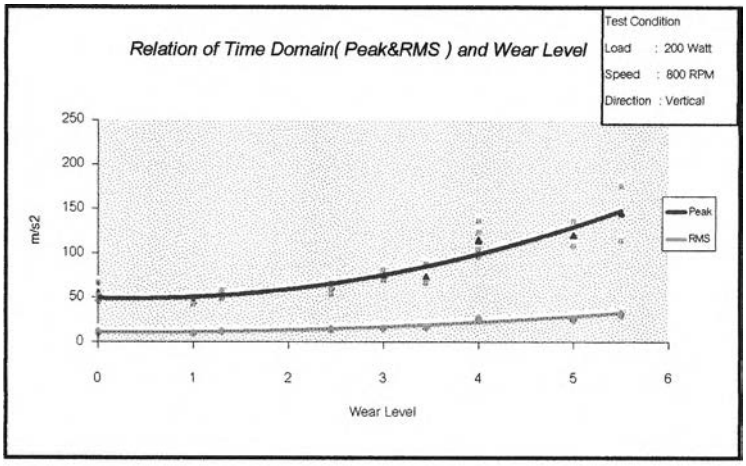
ภาระ 340 วัตต์
(Load 340 Watt)

รูปที่ 5-3 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณโดเมนเวลาและระดับสึกหรอ : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที
วัดสัญญาณแนวระดับ

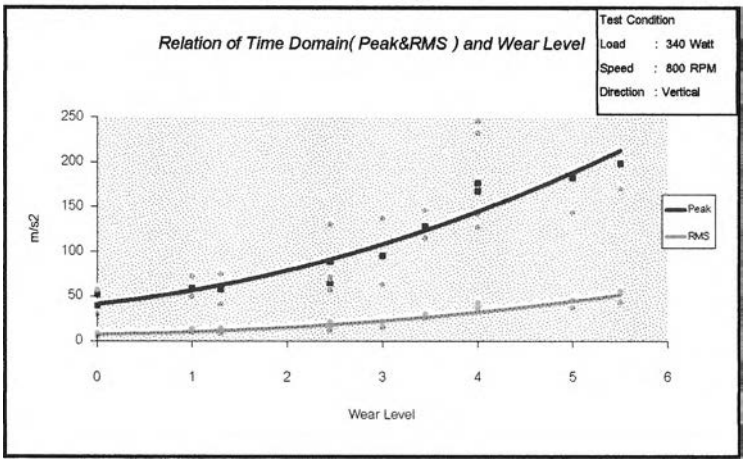
ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Peak RMS และระดับการสึกหรอของเฟือง
ความเร็ว 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวดิ่ง



ไม่มีภาระ
(No Load)



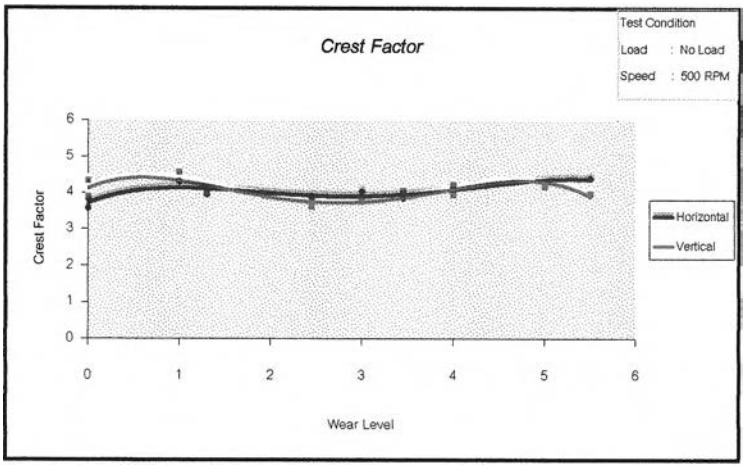
ภาระ 200 วัตต์
(Load 200 Watt)



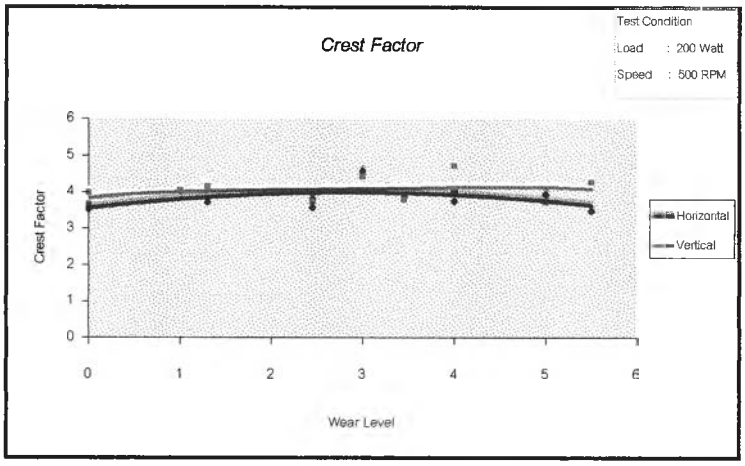
ภาระ 340 วัตต์
(Load 340 Watt)

รูปที่ 5-4 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณโดเมนเวลาและระดับสึกหรอ : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวดิ่ง

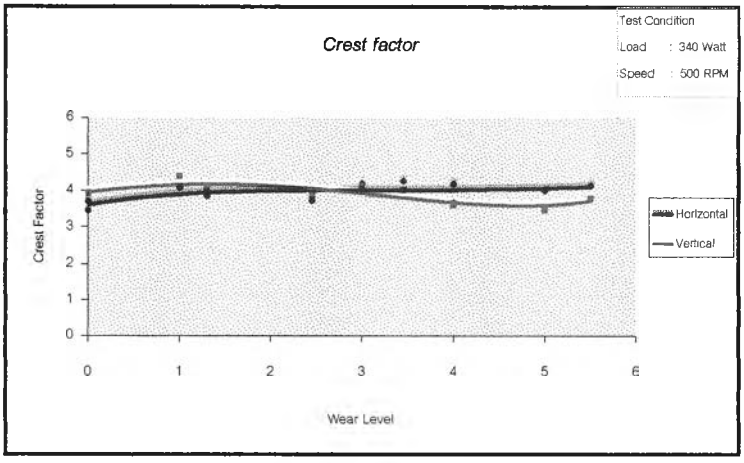
ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Crest Factor และระดับการสึกหรอของเฟือง
ความเร็ว 500 รอบต่อนาที



ไม่มีภาระ
(No Load)



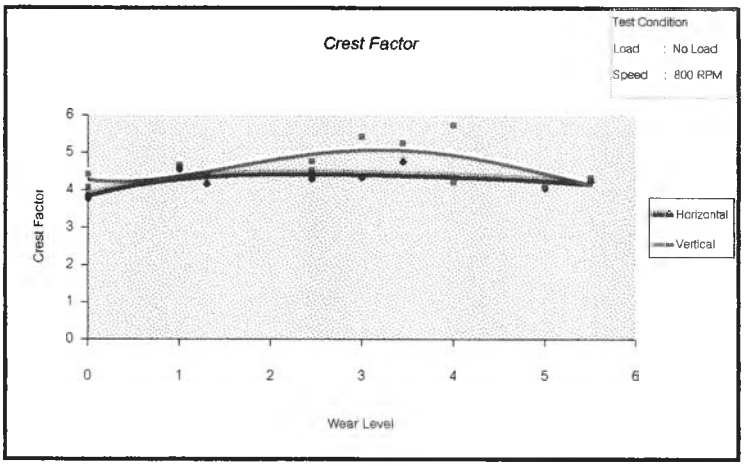
ภาระ 200 วัตต์
(Load 200 Watt)



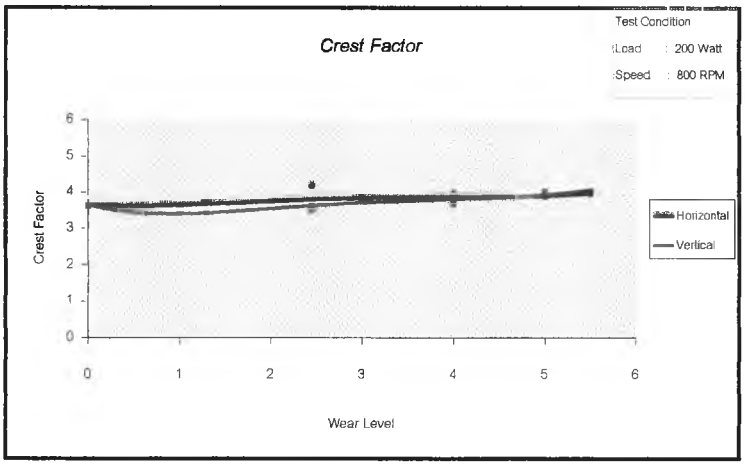
ภาระ 340 วัตต์
(Load 340 Watt)

รูปที่ 5-5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Crest Factor และระดับสึกหรอ : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที

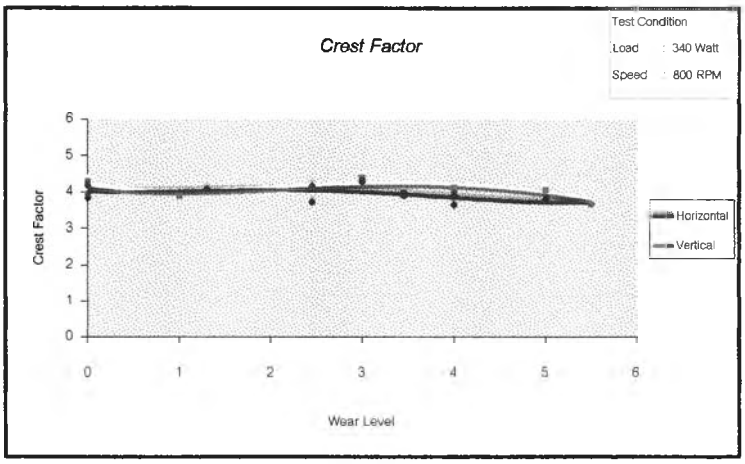
ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Crest Factor และระดับการสึกหรอของเฟือง
ความเร็ว 800 รอบต่อนาที



ไม่มีภาระ
(No Load)



ภาระ 200 วัตต์
(Load 200 Watt)



ภาระ 340 วัตต์
(Load 340 Watt)

รูปที่ 5-6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Crest Factor และระดับสึกหรอ : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที

5 – 1 – 2 <u>สรุปและวิเคราะห์ผล</u>

1) ค่า RMS มีการกระจายค่าสัญญาณน้อยมากเมื่อเทียบกับค่า Peak เนื่องจากค่า RMS เป็นค่าเฉลี่ยของค่าสัญญาณทั้งตลอดช่วงเวลาที่วัด ส่วนค่า Peak เป็นค่าแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนสูงสุดที่เกิดขึ้นเพียงครั้งเดียวตลอดช่วงการวัดสัญญาณ

2) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณและระดับสึกหรอแบบมีภาระทั้งสองระดับให้ผลทำนองเดียวกัน คือ ค่า Peak มีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจนต่อเนื่องเมื่อระดับสึกหรอเพิ่มมากขึ้น ส่วนค่า RMS มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระดับสึกหรอเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันแต่เพิ่มขึ้นด้วยอัตราส่วนน้อยมากเมื่อเทียบกับค่า Peak

3) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณและระดับสึกหรอแบบไม่มีภาระให้ผลแตกต่างออกไปคือ ทั้งค่า Peak และ RMS จะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆจนถึงช่วงระดับสึกหรอ 2.45 – 4 แล้วลดลงอย่างช้าๆ แต่ค่า Peak สังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงชัดเจนกว่าตามเหตุผลที่กล่าวในข้อ 1ทั้งนี้เนื่องมาจากในสภาวะฟันเฟืองยังปกติเฟืองตามจะหมุนตามความเร็วรอบด้วยอัตราส่วนที่คำนวณไว้ตั้งแต่ตอนออกแบบเฟือง ฟันเฟืองตามจะถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปตามช่องว่างระหว่างฟันของเฟืองขับโดยอัตโนมัติ เมื่อช่องว่างนั้นค่อยๆเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากแบกแลช และการสึกหรอของเฟืองขับ ทำให้ฟันเฟืองเกิดการกระแทกระดับการสั่นสะเทือนจึงสูงขึ้นดังสังเกตได้จากกราฟในช่วงตั้งแต่ระดับ 0 - 3 แต่หลังจากระดับ 3 เป็นต้นไปฟันเฟืองขับสึกหรอไปแล้วเกือบ 50 % ช่องว่างระหว่างฟันมีขนาดมากกว่าปกติไม่สามารถบังคับฟันเฟืองตามให้เคลื่อนไปตามฟันเฟืองขับโดยซี่ฟันสัมผัสกันตลอดเวลาได้ ประกอบกับไม่มีภาระมากระทำจึงมีแรงส่งผ่านฟันเฟืองน้อยเกินกว่าที่จะผลักให้ฟันขบกันได้สนิทพอดี เมื่อฟันเฟืองขับเคลื่อนที่เข้ามาในช่องว่างของฟันเฟืองตามยังไม่ทันได้กระทบกันดีก็ต้องเคลื่อนที่แยกจากกันไปจึงทำให้ระดับการสั่นสะเทือนลดลงในช่วงตั้งแต่ระดับ 3 เป็นต้นไป

4) เปรียบเทียบค่าสัญญาณโดยรวมแล้วผลของภาระที่มีต่อค่าสัญญาณ คือ ที่ความเร็วรอบเดียวกันและวัดสัญญาณแนวแกนเดียวกันที่ภาระมาก (340 วัตต์) จะมีค่าสัญญาณมากกว่าที่ภาระต่ำ (200 วัตต์)

5) เปรียบเทียบค่าสัญญาณโดยรวมแล้วผลของความเร็วรอบที่มีต่อค่าสัญญาณ คือ ที่ระดับ

ภาระเดียวกันและวัดสัญญาณในแนวแกนเดียวกัน ที่ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาทีให้ค่าสัญญาณสูงกว่า

6) เปรียบเทียบค่าสัญญาณโดยรวมแล้วผลของแนวแกนที่วัดสัญญาณที่มีต่อค่าสัญญาณ คือ ที่ความเร็วรอบเดียวกันและระดับภาระเดียวกันค่าสัญญาณที่วัดในแนวดิ่งจะมีค่าสูงกว่าค่าสัญญาณที่วัดในแนวระดับแสดงว่าการสั่นสะเทือนของเฟืองในแนวดิ่งมีมากกว่าในแนวระดับ สาเหตุน่าจะเป็นเพราะลักษณะโครงสร้างของชุดทดลองที่มีความแข็งเกร็งในแนวดิ่งน้อยกว่าในแนวระดับ

7) ค่า Crest Factor ค่อนข้างคงที่ประมาณ 4 ทุกการทดลอง แสดงว่าไม่สามารถใช้ Crest Factor เป็นตัวบอกระดับสึกหรอของเฟืองได้ อย่างไรก็ตามค่า Crest Factor เท่ากับ 4 แสดงว่าสัญญาณการสั่นสะเทือนมีค่า Peak ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับค่า RMS และถือว่ามีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับคลื่นไซน์ที่มีค่า Crest Factor ประมาณ 1.414

8) ไม่สามารถใช้สัญญาณโดเมนเวลาวิเคราะห์ปัญหาสึกหรอของเฟืองได้โดยตรง เพราะถ้ามีความเสียหายจากส่วนอื่นที่ไม่ใช่เฟืองก็จะให้ค่าสัญญาณสูงเช่นเดียวกันถึงแม้จะวัดสัญญาณบริเวณใกล้เฟืองก็ตาม นอกจากนี้ยังต้องทราบระดับของการสั่นสะเทือนที่ยอมรับได้ซึ่งในเฟืองแต่ละตัวก็จะมีระดับสั่นสะเทือนไม่เท่ากัน ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าค่า Peak ถึงแม้จะเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ค่อนข้างชัดเจนแต่ก็มีความเชื่อถือน้อยเพราะมีการกระจายค่ามากดังที่ได้กล่าวในข้อ 1 ส่วนค่า RMS ถึงแม้จะมีความน่าเชื่อถือมากแต่ไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนแม้ว่าระดับสึกหรอจะมีค่าสูงมากแล้วก็ตาม และค่า Crest Factor ไม่สามารถบอกระดับการสึกหรอได้เนื่องจากค่าค่อนข้างคงที่ตลอดทุกสภาวะทดลอง แต่อย่างไรก็ดีสัญญาณโดเมนเวลามีประโยชน์ในการใช้วินิจฉัยเบื้องต้นได้ว่ามีความผิดปกติอย่างหนึ่งอย่างใดเกิดขึ้นกับเครื่องจักรหรือไม่ เทคนิกการวิเคราะห์สัญญาณแบบอื่นจะช่วยวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาต่อไป

5 - 2 สเปกตรัม

พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์มี แอมพลิจูดที่ความถี่ 1GMF, 2GMF , 3GMF
1SBP, 2SBP , 3SBP
1SBG, 2SBG , 3SBG

ค่าความถี่ต่างๆที่ได้จากการคำนวณมีค่าดังตารางที่ 5 – 1

Frequency at GMF and Sideband

Speed	500	800	rpm
1GMF	216.67	346.67	Hz
SBP	8.33	13.33	Hz
SBG	5.70	9.12	Hz
1SBP left	208.33	333.33	Hz
right	225.00	360.00	Hz
1SBG left	210.96	337.54	Hz
right	222.37	355.79	Hz

ตารางที่ 5 – 1 ค่าความถี่ GMF และ แถบความถี่ข้าง

ค่าความถี่ SBP และ SBG นั้นคือความถี่ข้างเนื่องจากเฟืองขับและเฟืองตาม โดย 1SBP คือ แถบความถี่ข้างที่อยู่ห่างจากความถี่ 1GMF เท่ากับความถี่เนื่องจากความเร็วรอบเฟืองขับ นั่นคือค่าความถี่ที่ 1SBPด้านซ้ายนั้นจะอยู่ห่างจากความถี่ 1GMF ไปทางซ้ายเป็นระยะทางความถี่ SBP ส่วนค่าความถี่ 2SBP ด้านซ้ายนั้นจะอยู่ห่างจากความถี่ 2GMF ไปทางซ้ายเป็นระยะทางความถี่ SBP ส่วนแถบความถี่ข้างทางด้านขวาและความถี่ SBG คำนวณได้เช่นเดียวกัน

เนื่องจากความละเอียดของสัญญาณสเปกตรัมมีค่า 2 Hz ดังนั้นการเลือกตำแหน่งความถี่สัญญาณ GMF SBP และ SBG ใช้ค่าในช่วงที่เป็นไปได้ เช่น ที่ 500 รอบต่อนาที 1SBP ด้านซ้ายมีความถี่ 208.33 Hz ค่าสัญญาณที่ใช้วิเคราะห์เลือกจากแอมพลิจูดที่สูงกว่าระหว่างความถี่ 208 และ 210 Hz สำหรับค่าแอมพลิจูดของแถบความถี่ข้างใช้ค่าเฉลี่ยของความถี่ข้าง

ด้านซ้ายและด้านขวา

ใช้ค่าเฉลี่ยของค่าสัญญาณแต่ละชนิดจากการวัดสัญญาณ 10 ครั้ง ที่แต่ละระดับสึกหรอ หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณทั้งสามและระดับสึกหรอด้วยวิธีการถดถอยเชิงพหุนามกำลังสอง แต่ละระดับสึกหรอแสดงค่าพารามิเตอร์มากที่สุด น้อยที่สุด และค่าเฉลี่ย เส้นกราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ของค่าสัญญาณที่มีต่อระดับการสึกหรอของเฟือง โดยความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์สัญญาณสเปกตรัมทั้งหมดที่ระดับสึกหรอต่างๆให้รูปแบบเดียวกัน ที่ระดับภาระ 200 และ 340 วัตต์ คือมีขนาดสูงขึ้นเรื่อยๆตามระดับสึกหรอ ส่วนที่ไม่มีภาระนั้นค่าสัญญาณจะสูงขึ้นตามระดับสึกหรอระดับหนึ่งแล้วจึงลดลง

5 – 2 – 1 <u>ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณสเปกตรัมและระดับสึกหรอ</u>

ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณสเปกตรัมและระดับสึกหรอของเฟืองแสดงเรียงตามลำดับชุดทดลองดังต่อไปนี้

1).ความสัมพันธ์ของสัญญาณ GMF และระดับสึกหรอของเฟือง

รูปที่ 5-7 : ความเร็วเฟืองขับ 500 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวระดับ

รูปที่ 5-8 : ความเร็วเฟืองขับ 500 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวดิ่ง

รูปที่ 5-9 : ความเร็วรอบเฟืองขับ 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวระดับ

รูปที่ 5-10 : ความเร็วรอบเฟืองขับ 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวดิ่ง

2) ความสัมพันธ์ของสัญญาณ SBP และระดับสึกหรอของเฟือง

รูปที่ 5-11 : ความเร็วเฟืองขับ 500 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวระดับ

รูปที่ 5-12 : ความเร็วเฟืองขับ 500 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวดิ่ง

รูปที่ 5-13 : ความเร็วรอบเฟืองขับ 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวระดับ

รูปที่ 5-14 : ความเร็วรอบเฟืองขับ 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวดิ่ง

3) ความสัมพันธ์ของสัญญาณ SBG และระดับสึกหรอของเฟือง

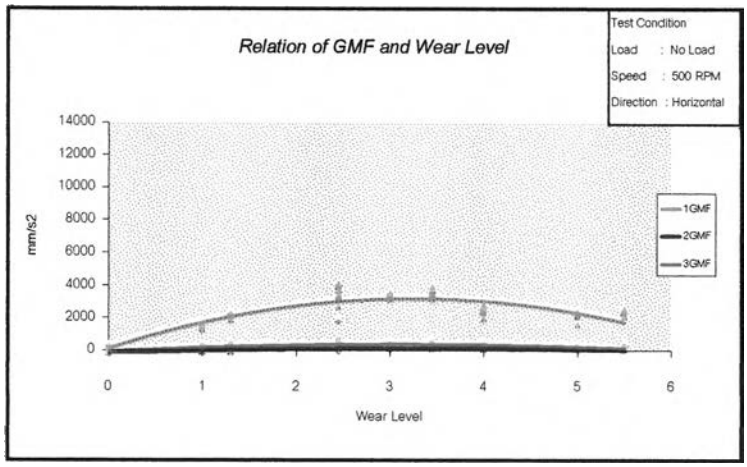
รูปที่ 5-15 : ความเร็วเฟืองขับ 500 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวระดับ

รูปที่ 5-16 : ความเร็วเฟืองขับ 500 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวดิ่ง

รูปที่ 5-17 : ความเร็วรอบเฟืองขับ 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวระดับ

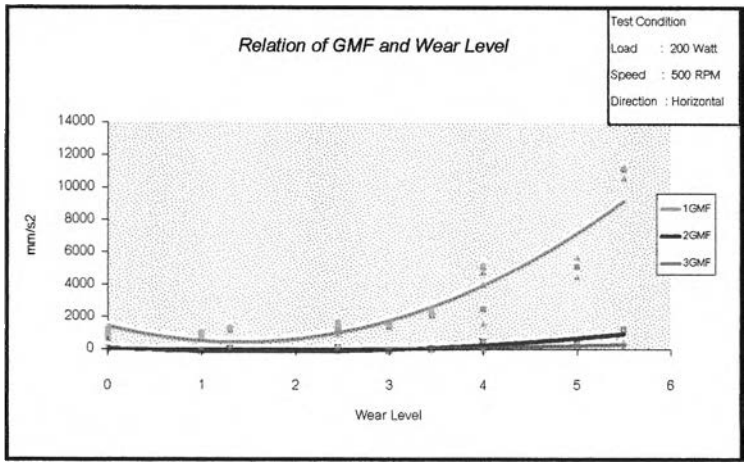
รูปที่ 5-18 : ความเร็วรอบเฟืองขับ 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวดิ่ง

สัญญาณ GMF ความเร็ว 500 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวระดับ



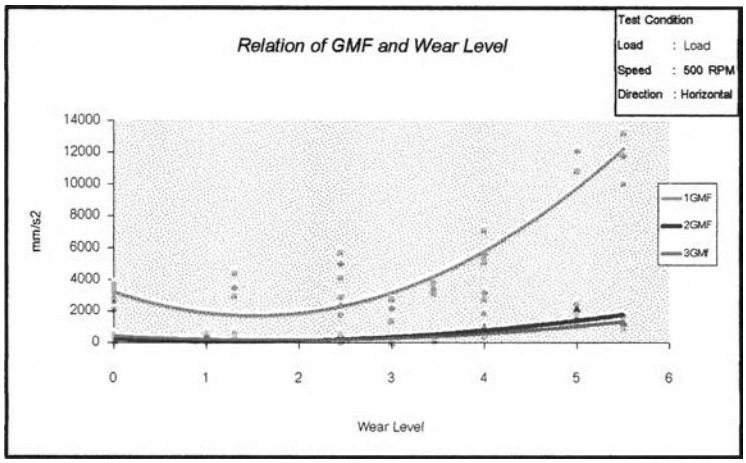
ไม่มีภาระ

(No Load)



ภาระ 200 วัตต์

(Load 200 Watt)

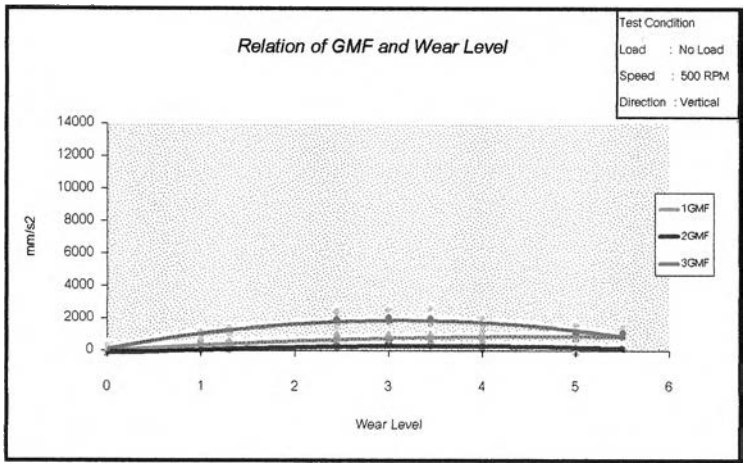


ภาระ 340 วัตต์

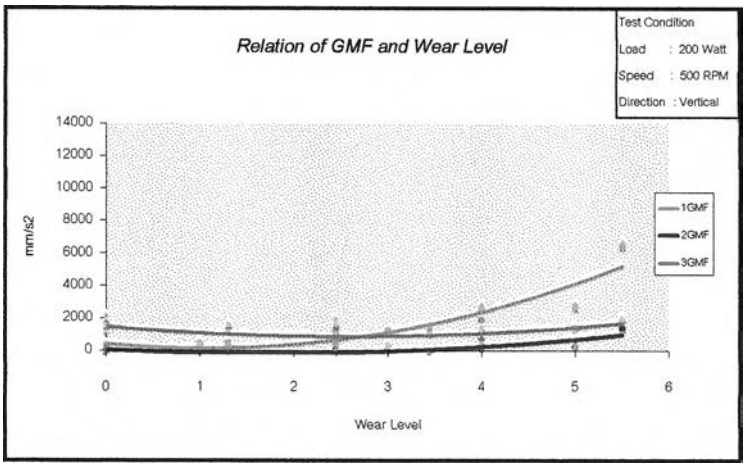
(Load 340 Watt)

รูปที่ 5-7 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณสเปกตรัมGMFและระดับสึกหรอ : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวระดับ

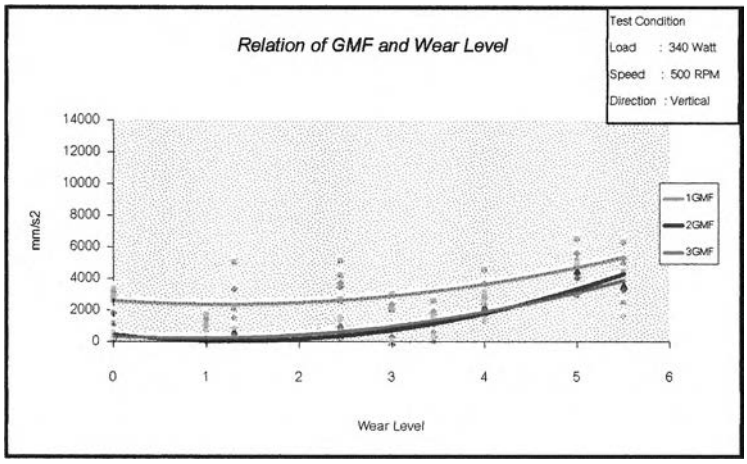
สัญญาณ GMF ความเร็ว 500 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวดิ่ง



ไม่มีภาระ
(No Load)



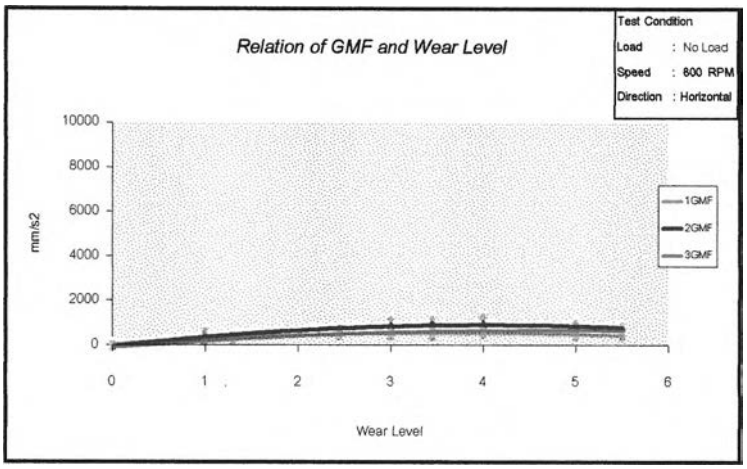
ภาระ 200 วัตต์
(Load 200 Watt)



ภาระ 340 วัตต์
(Load 340 Watt)

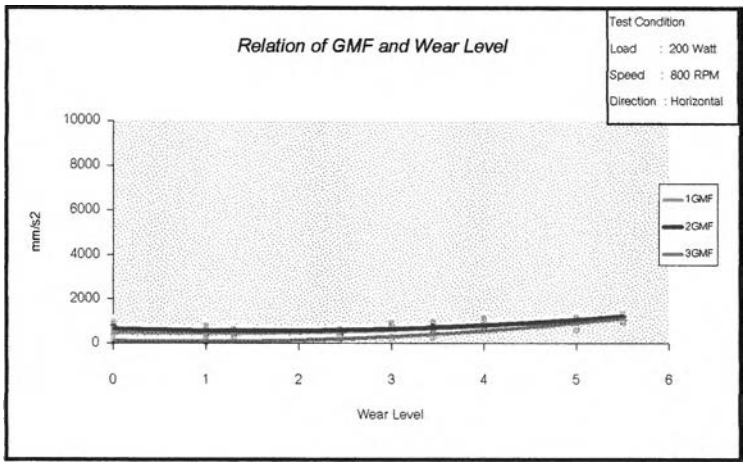
รูปที่ 5-8 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณสเปกตรัมGMFและระดับสึกหรอ : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวดิ่ง

สัญญาณ GMF ความเร็ว 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวระดับ



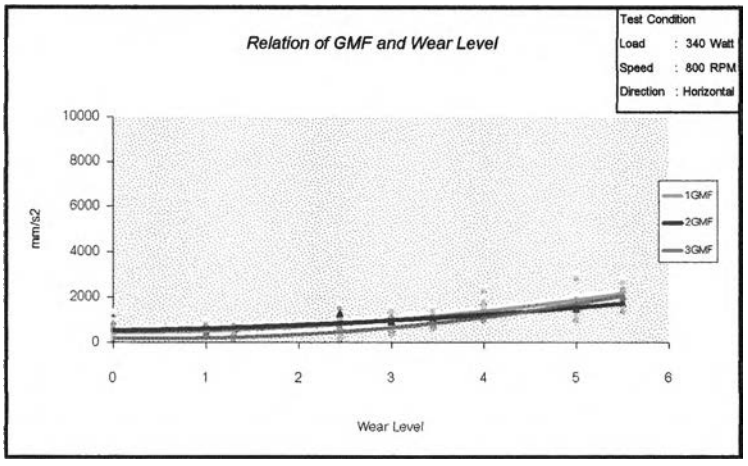
ไม่มีภาระ

(No Load)



ภาระ 200 วัตต์

(Load 200 Watt)

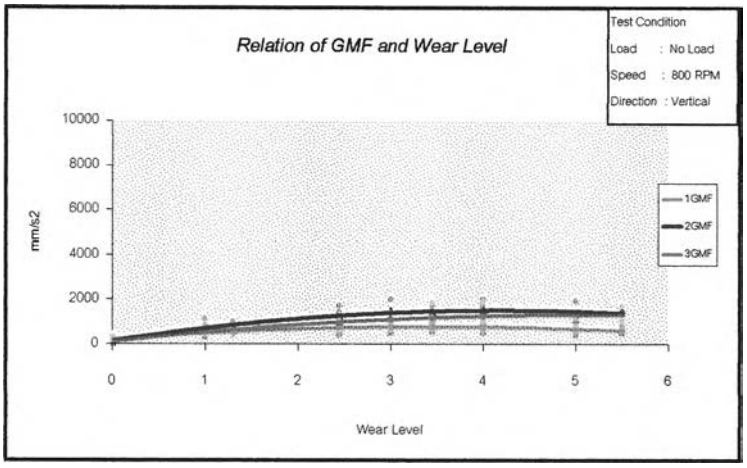


ภาระ 340 วัตต์

(Load 340 Watt)

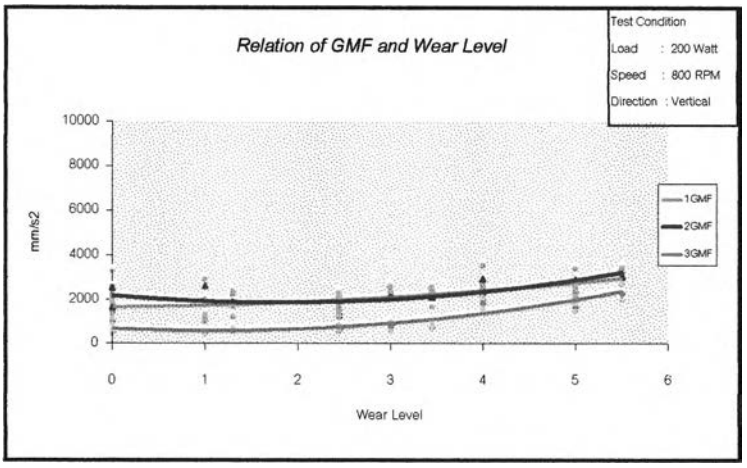
รูปที่ 5-9 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณสเปกตรัมGMFและระดับสึกหรอ : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวระดับ

สัญญาณ GMF ความเร็ว 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวดิ่ง



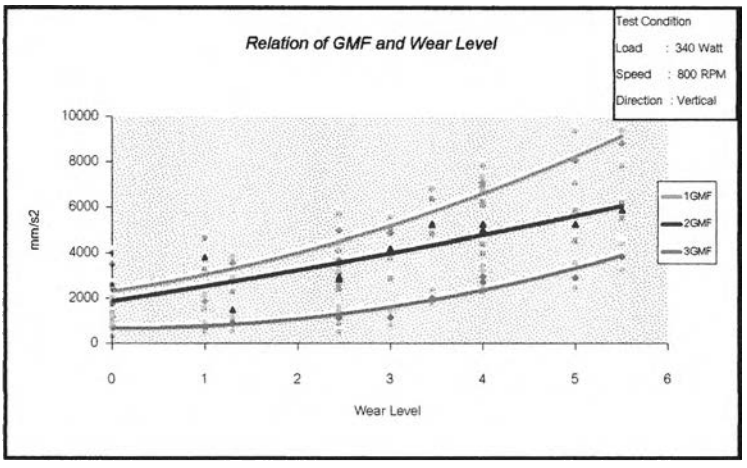
ไม่มีภาระ

(No Load)



ภาระ 200 วัตต์

(Load 200 Watt)

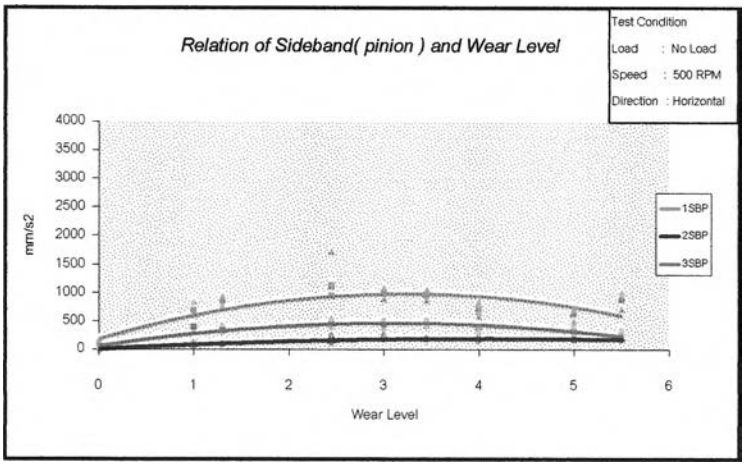


ภาระ 340 วัตต์

(Load 340 Watt)

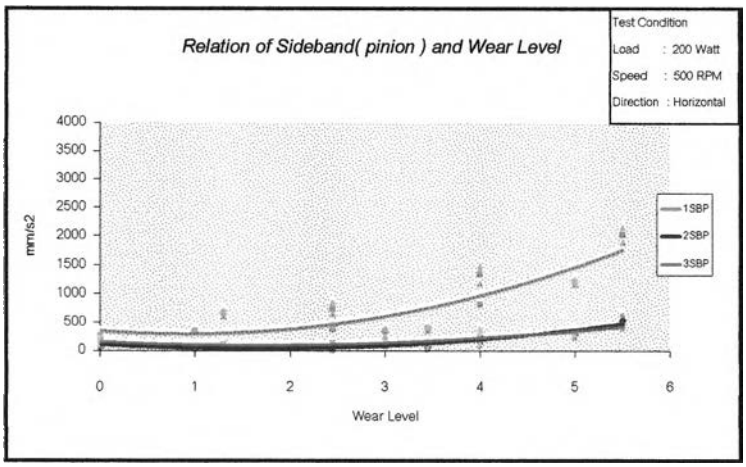
รูปที่ 5-10 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณสเปกตรัมGMFและระดับสึกหรอ : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวดิ่ง

สัญญาณ SBP ความเร็ว 500 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวระดับ



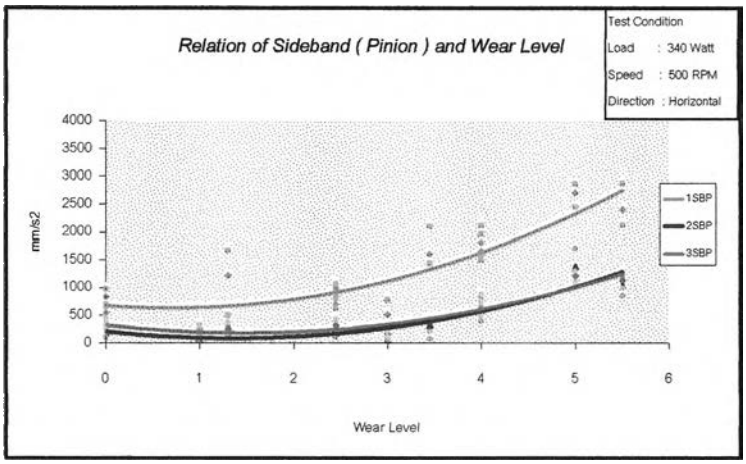
ไม่มีภาระ

(No Load)



ภาระ 200 วัตต์

(Load 200 Watt)

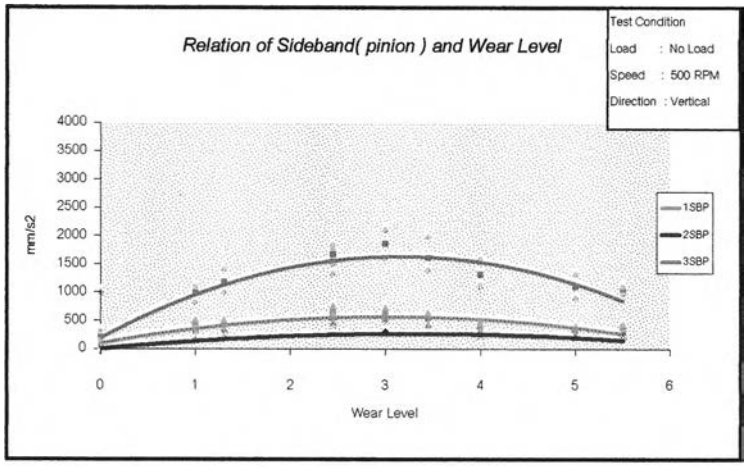


ภาระ 340 วัตต์

(Load 340 Watt)

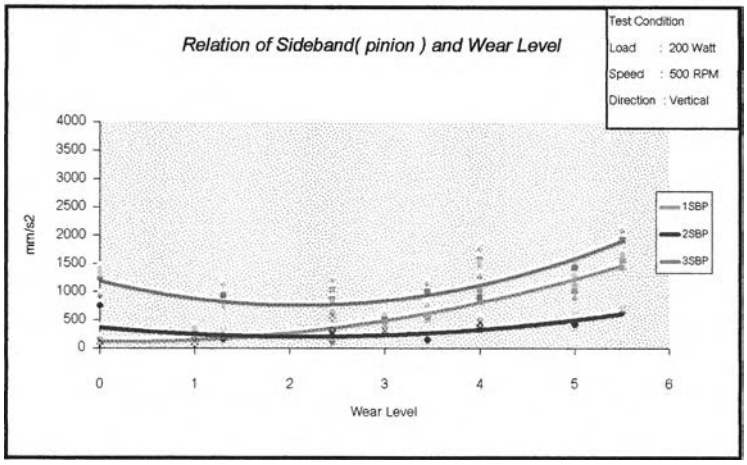
รูปที่ 5-11 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณสเปกตรัมSBPและระดับสึกหรอ : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวระดับ

สัญญาณ SBP ความเร็ว 500 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวดิ่ง



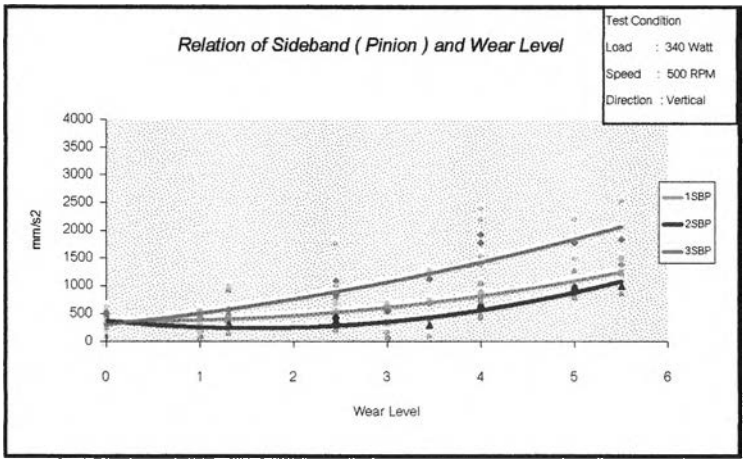
ไม่มีภาระ

(No Load)



ภาระ 200 วัตต์

(Load 200 Watt)

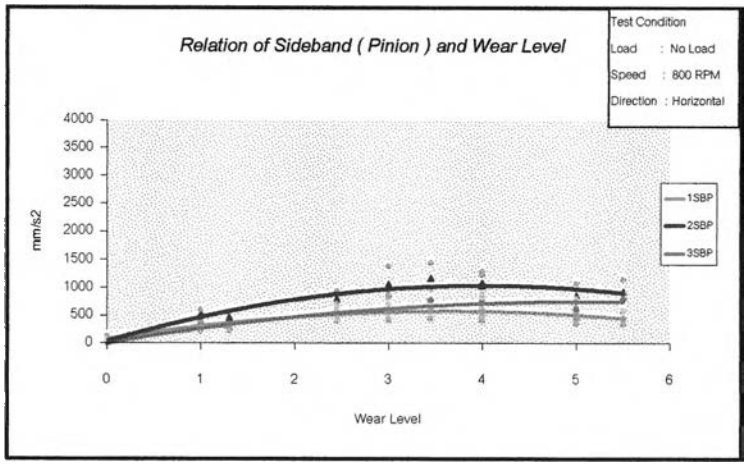


ภาระ 340 วัตต์

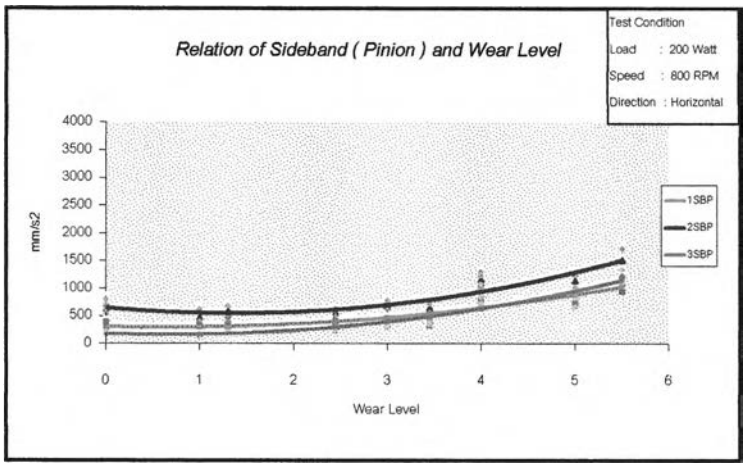
(Load 340 Watt)

รูปที่ 5-12 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณสเปกตรัมSBPและระดับสึกหรอ : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวดิ่ง

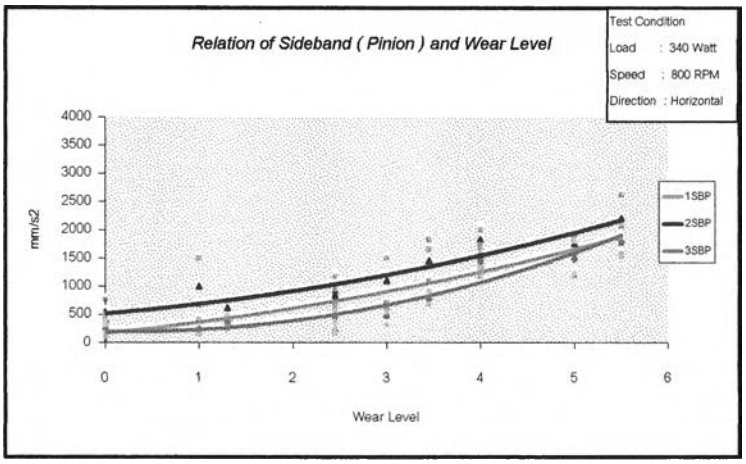
สัญญาณ SBP ความเร็ว 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวระดับ



ไม่มีภาระ
(No Load)



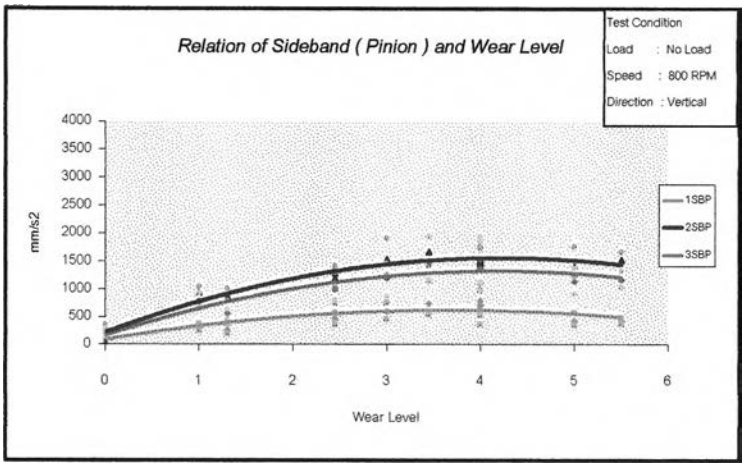
ภาระ 200 วัตต์
(Load 200 Watt)



ภาระ 340 วัตต์
(Load 340 Watt)

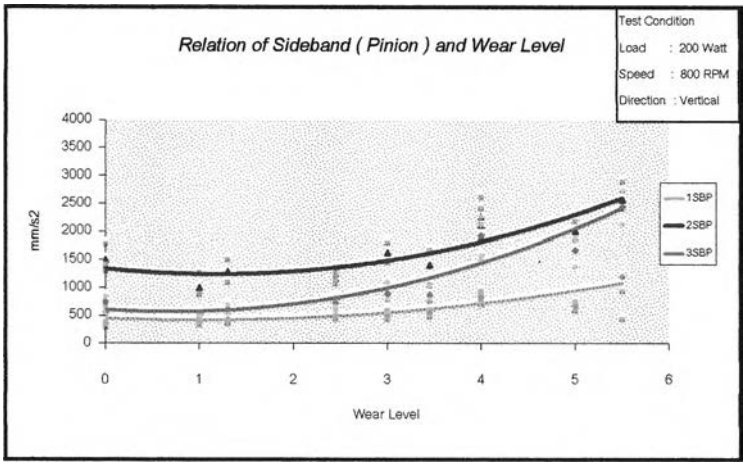
รูปที่ 5-13 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณสเปกตรัมSBPและระดับสึกหรอ : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวระดับ

สัญญาณ SBP ความเร็ว 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวดิ่ง



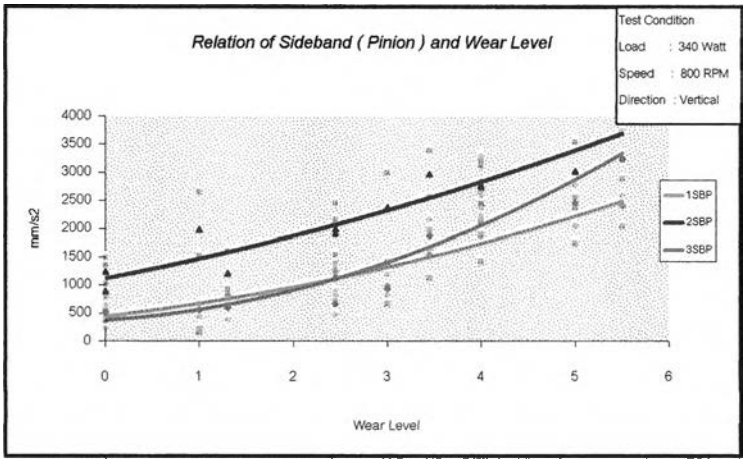
ไม่มีภาระ

(No Load)



ภาระ 200 วัตต์

(Load 200 Watt)

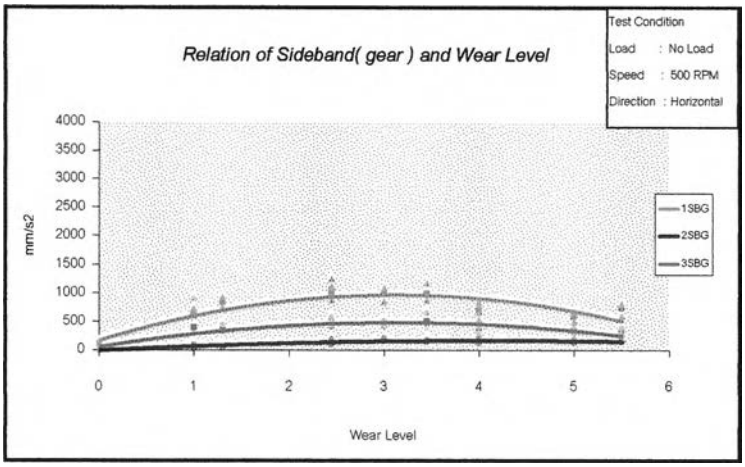


ภาระ 340 วัตต์

(Load 340 Watt)

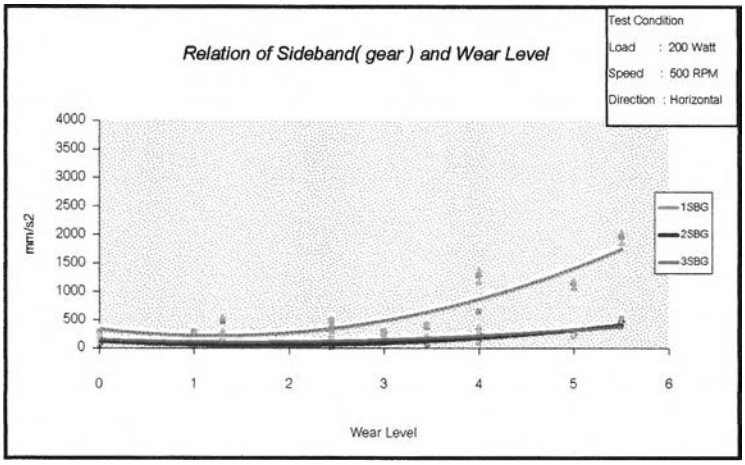
รูปที่ 5-14 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณสเปกตรัมSBPและระดับสึกหรอ : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวดิ่ง

สัญญาณ SBG ความเร็ว 500 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวระดับ



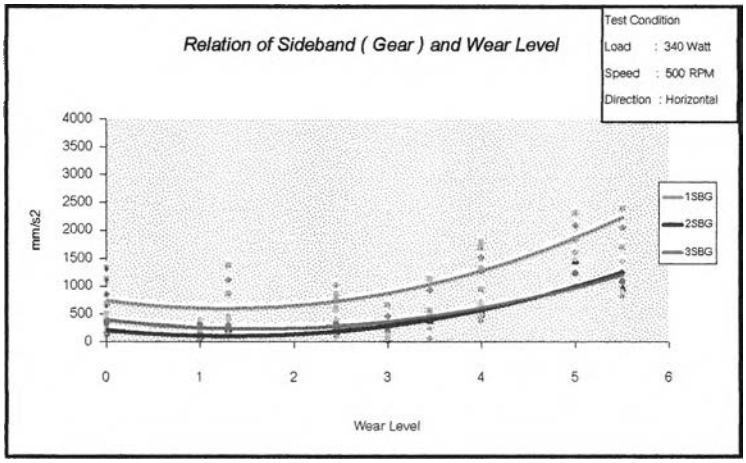
ไม่มีภาระ

(No Load)



ภาระ 200 วัตต์

(Load 200 Watt)

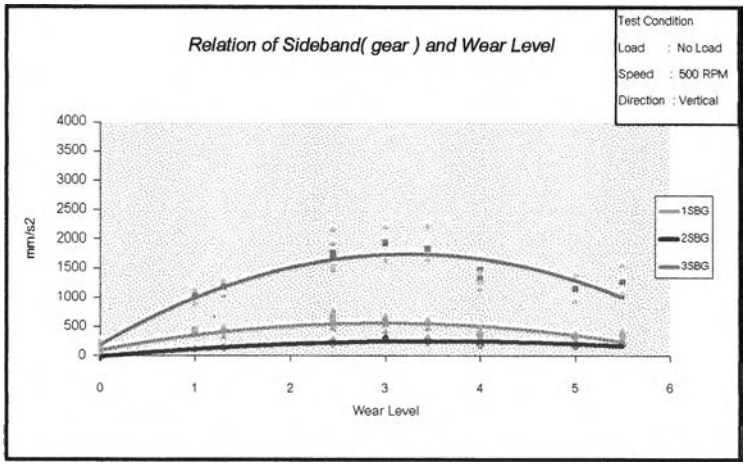


ภาระ 340 วัตต์

(Load 340 Watt)

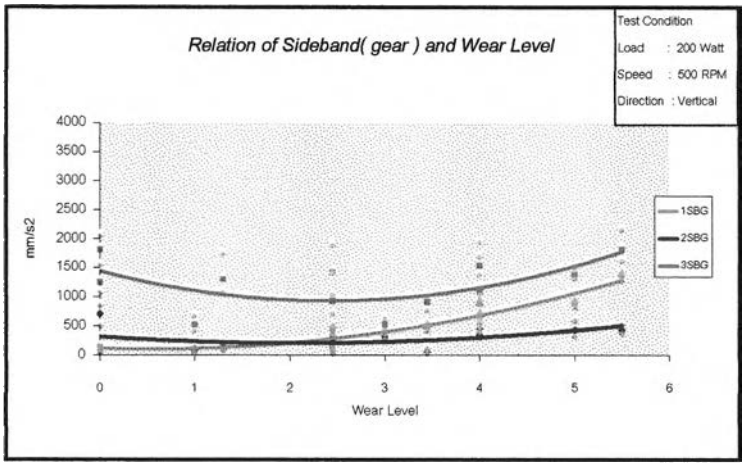
รูปที่ 5-15 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณสเปกตรัมSBGและระดับสึกหรอ : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวระดับ

สัญญาณ SBG ความเร็ว 500 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวดิ่ง



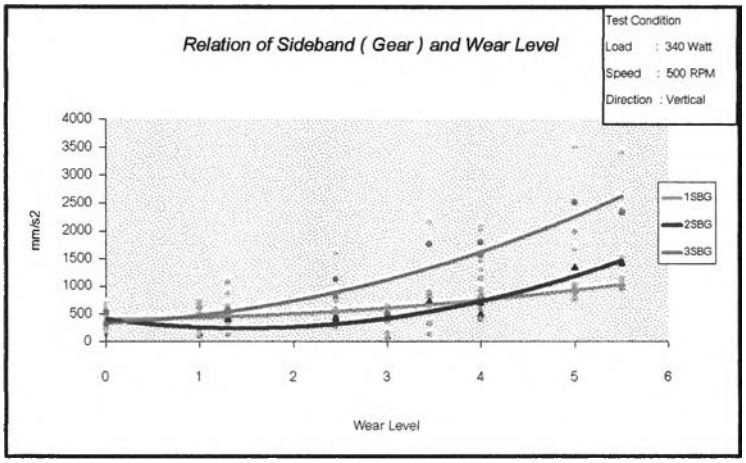
ไม่มีภาระ

(No Load)



ภาระ 200 วัตต์

(Load 200 Watt)

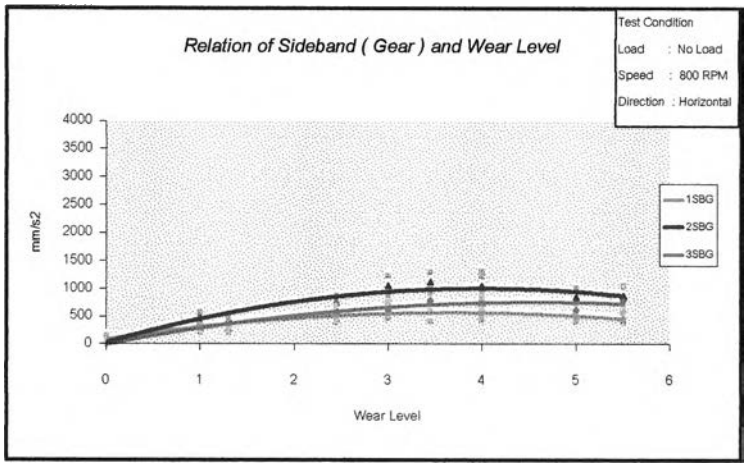


ภาระ 340 วัตต์

(Load 340 Watt)

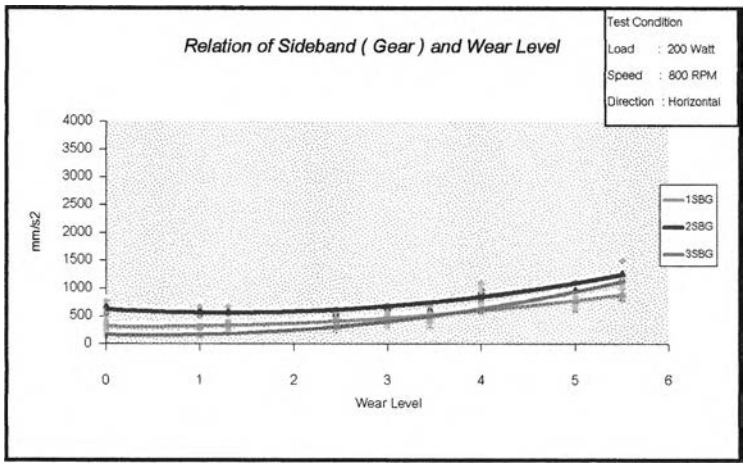
รูปที่ 5-16 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณสเปกตรัมSBGและระดับสึกหรอ : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวดิ่ง

สัญญาณ SBG ความเร็ว 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวระดับ



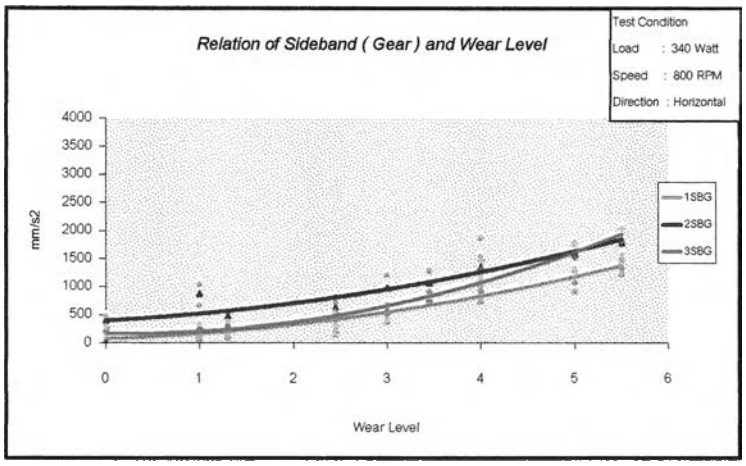
ไม่มีภาระ

(No Load)



ภาระ 200 วัตต์

(Load 200 Watt)

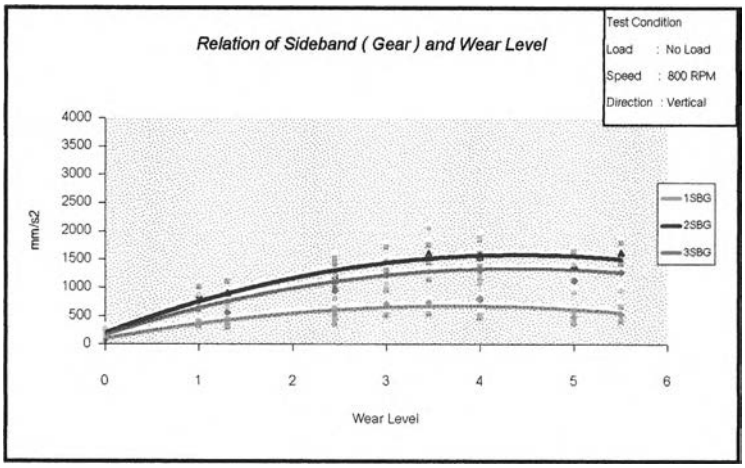


ภาระ 340 วัตต์

(Load 340 Watt)

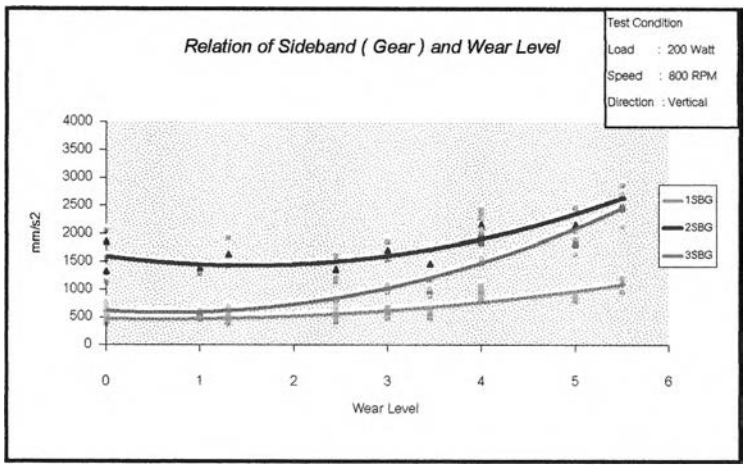
รูปที่ 5-17 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณสเปกตรัมSBGและระดับสึกหรอ : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวระดับ

สัญญาณ SBG ความเร็ว 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวดิ่ง



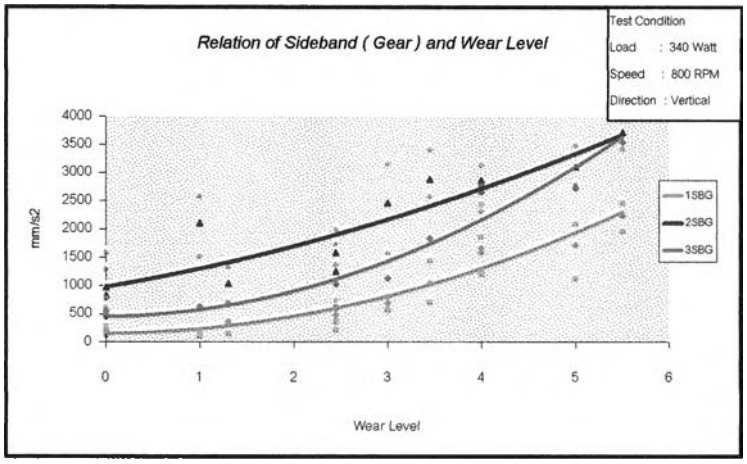
ไม่มีภาระ

(No Load)



ภาระ 200 วัตต์

(Load 200 Watt)



ภาระ 340 วัตต์

(Load 340 Watt)

รูปที่ 5-18 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณสเปกตรัมSBGและระดับสึกหรอ : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวดิ่ง

5 – 2 – 2 <u>สรุปและวิเคราะห์ผล</u>

1) ในแต่ละระดับภาระสัญญาณสเปกตรัมทุกค่ามีแนวโน้มเดียวกันทั้ง GMF SBP และ SBG ทุกฮาร์มอนิกและทุกสภาวะทดลอง คือ ค่าสัญญาณมีลักษณะเพิ่มขึ้นถึงระดับสึกหรอระดับหนึ่งแล้วลดลงสำหรับแบบไม่มีภาระ และค่าสัญญาณเพิ่มขึ้นตามระดับสึกหรอสำหรับแบบมีภาระโดยที่ภาระสูงมีค่าสัญญาณสูงกว่าที่ภาระต่ำ ค่าสัญญาณ GMF มีแอมพลิจูดมากกว่าสัญญาณ SBP และ SBG แสดงว่าแนวโน้มของแอมพลิจูดสัญญาณสเปกตรัมเหมือนกันตลอดช่วงความถี่ที่วัดสัญญาณ ต่างกันแต่เพียงขนาดแอมพลิจูดที่ความถี่ใดมีความเด่นชัดกว่า

2) ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณและระดับสึกหรอแบบมีภาระทั้งสองระดับให้ผลทำนองเดียวกัน คือค่าสัญญาณ GMF SBP และ SBG ทุกฮาร์มอนิกมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อระดับสึกหรอมากขึ้น แต่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอนชัดเจนและไม่สม่ำเสมอเฉพาะฮาร์มอนิกใดฮาร์มอนิกหนึ่ง

3) ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณและระดับสึกหรอแบบไม่มีภาระแตกต่างจากแบบมีภาระคือ ค่าสัญญาณ GMF SBP และ SBG ทุกฮาร์มอนิกจะเพิ่มขึ้นถึงช่วงระดับ 2.45 - 4 แล้วจึงลดลง สาเหตุน่าจะเป็นเพราะเมื่อช่องว่างระหว่างฟันเพิ่มขึ้นทำให้มีการกระแทกระหว่างฟันเกิดขึ้นเฟืองจึงขบกันรุนแรงขึ้นสัญญาณจึงสูงขึ้นในช่วงแรกๆ แต่เมื่อช่องว่างมีขนาดเพิ่มมากขึ้นค่อนข้างมากประกอบกับไม่มีภาระที่คอยบังคับให้ฟันเฟืองขบกันสนิทตลอดเวลาเฟืองตามซึ่งมีความเฉื่อยต่อการเคลื่อนที่น้อยจึงเคลื่อนที่ไปได้โดยบางจังหวะไม่มีการกระทบกันของฟันเฟืองหรือมีการกระทบกันด้วยความแรงลดลง เฟืองจึงเกิดการสั่นสะเทือนน้อยลง

4) เปรียบเทียบค่าสัญญาณโดยรวมแล้วผลของภาระที่มีต่อค่าสัญญาณ คือ ที่ความเร็วรอบเดียวกันและวัดสัญญาณแนวแกนเดียวกันค่าสัญญาณที่ระดับภาระสูงจะมีค่าสูงกว่าค่าสัญญาณที่ระดับภาระต่ำ

5) พบลักษณะการสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติเมื่อใช้ความเร็ว 500 รอบต่อนาทีวัดสัญญาณแนวระดับ ทุกระดับภาระมีค่าแอมพลิจูดสูงกว่าปกติที่ช่วงความถี่ 216 – 220 Hz ช่วงดังกล่าวตรงกับความถี่ GMF ที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาทีพอดี จึงทำให้ค่าสัญญาณ GMF ที่ความเร็วรอบนี้มีค่าสูงกว่าปกติ ซึ่งน่าจะเป็นลักษณะของชุดทดลองที่มีความถี่ธรรมชาติตรง

กับความถี่ช่วงนี้พอดี สังเกตได้จากสัญญาณที่ความเร็ว 800 รอบต่อนาทีพบยอดสัญญาณในช่วงความถี่นี้เช่นเดียวกันแม้ว่าไม่ได้ถูกกระตุ้นด้วยความถี่ GMF ค่าเดิมแต่มียอดสเปกตรัมต่ำลงมามาก

6) เปรียบเทียบค่าสัญญาณโดยรวมแล้วผลของความเร็วรอบที่มีต่อค่าสัญญาณ คือ ที่ระดับภาระเดียวกันและวัดสัญญาณในแนวแกนเดียวกัน ที่ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาทีให้ค่าสัญญาณสูงกว่า ยกเว้นที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาทีและวัดสัญญาณแนวระดับเนื่องจากการสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติตามข้อ 5

7) เปรียบเทียบค่าสัญญาณโดยรวมแล้วผลของแนวแกนวัดสัญญาณที่มีต่อค่าสัญญาณ คือ ที่ความเร็วรอบเดียวกันและระดับภาระเดียวกันค่าสัญญาณที่วัดในแนวดิ่งจะมีค่าสูงกว่าค่าสัญญาณที่วัดในแนวระดับแสดงว่าการสั่นสะเทือนของเฟืองในแนวดิ่งมีมากกว่าในแนวระดับยกเว้นแนวระดับที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาทีตามข้อ 5 สาเหตุน่าจะเป็นเพราะความแข็งเกร็งของชุดทดลองในแนวระดับมีมากกว่าในแนวดิ่ง ซึ่งปรากฏผลเช่นเดียวกันในสัญญาณโดเมนเวลา

8) ค่าสัญญาณ SBP มีแอมพลิจูดสูงกว่าค่าสัญญาณ SBG เล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องมาจากเฟืองตัวที่สึกหรอคือเฟืองขับจึงมีมอดูเลชันที่เฟืองขับมากกว่าทำให้ค่าแถบความถี่ข้างของเฟืองขับมากกว่าค่าแถบความถี่ข้างที่สูงขึ้นแสดงถึงการมอดูเลตทางแอมพลิจูดที่เพิ่มขึ้นเฟืองอาจมีความผิดปกติเกิดขึ้น เนื่องจากความถี่ข้างเป็นลักษณะของการสั่นสะเทือนของชุดเฟือง ถ้าชุดเฟืองมีความปกติความถี่ข้างจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก

9) สามารถใช้สัญญาณ GMFวิเคราะห์ปัญหาสึกหรอของเฟืองเบื้องต้นได้ เนื่องจากความถี่ GMFมีความเกี่ยวข้องกับชุดเฟือง นั่นคือถ้าสัญญาณโดเมนเวลามีแนวโน้มที่สูงขึ้นเรื่อยๆ และเมื่อตรวจสอบสัญญาณ GMF แล้วพบว่ามีแนวโน้มเดียวกันแสดงว่าสาเหตุของความบกพร่องอาจจะมาจากเฟืองได้

5 - 3 เซปส์ตรัม

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้จากสัญญาณเซปส์ตรัมมี 3 ค่า คือค่าแกมนิจูดที่ 1/P 2/P และ 1/G ค่าคิวเฟรนซีที่ 1/P 1/G และ 2/P ได้แสดงไว้แล้วในบทที่ 4 เนื่องจากความละเอียดของสัญญาณเซปส์ตรัมค่อนข้างมาก 244 ไมโครวินาทีในทางปฏิบัติจึงไม่มีปัญหาการบันทึกค่าที่ตำแหน่งคิวเฟรนซีที่ต้องการเหมือนในสัญญาณสเปกตรัม

ใช้ค่าเฉลี่ยของค่าสัญญาณแต่ละชนิดจากการวัดสัญญาณ 10 ครั้ง ที่แต่ละระดับสึกหรอหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณทั้งสามและระดับสึกหรอด้วยวิธีการถดถอยเชิงพหุนามอันดับสี่เนื่องจากมีลักษณะใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมากกว่า แต่ละระดับสึกหรอแสดงค่าพารามิเตอร์มากที่สุด น้อยที่สุด และค่าเฉลี่ย เส้นกราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ของค่าสัญญาณเฉลี่ยที่มีต่อระดับการสึกหรอของเฟือง

ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเซปส์ตรัมและระดับสึกหรอของเฟืองมีแนวโน้มเดียวกัน สำหรับการทดลองแบบมีภาระ คือ มีค่า 1/P เพิ่มขึ้นตามระดับสึกหรอระดับหนึ่งแล้วลดลง ส่วนการทดลองแบบไม่มีภาระนั้นค่าสัญญาณมีแนวโน้มลดลงในช่วงสึกหรอแรกๆและคงที่ต่อเนื่องทุกระดับสึกค่าสัญญาณที่ชัดที่สุดคือ ค่า 1/P ส่วนค่า 2/P พบเฉพาะที่ความเร็วรอบ 800 ที่มีภาระเท่านั้นส่วนที่อื่นไม่พบ ส่วนค่า 1/G มีค่าคงที่ทุกสภาวะการทดลอง

5 – 3 – 1 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเซปส์ตรัมและระดับสึกหรอของเฟือง

ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเซปส์ตรัมและระดับสึกหรอของเฟืองเรียงตามลำดับดังนี้

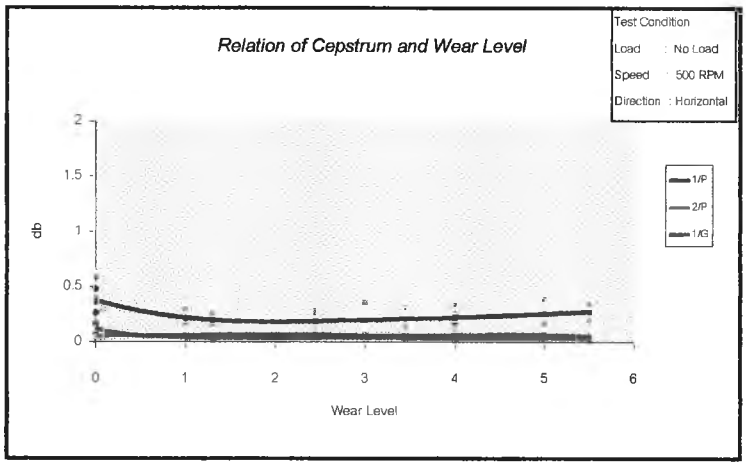
รูปที่ 5-19 : ความเร็วเฟืองขับ 500 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวระดับ

รูปที่ 5-20 : ความเร็วเฟืองขับ 500 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวดิ่ง

รูปที่ 5-21 : ความเร็วเฟืองขับ 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวระดับ

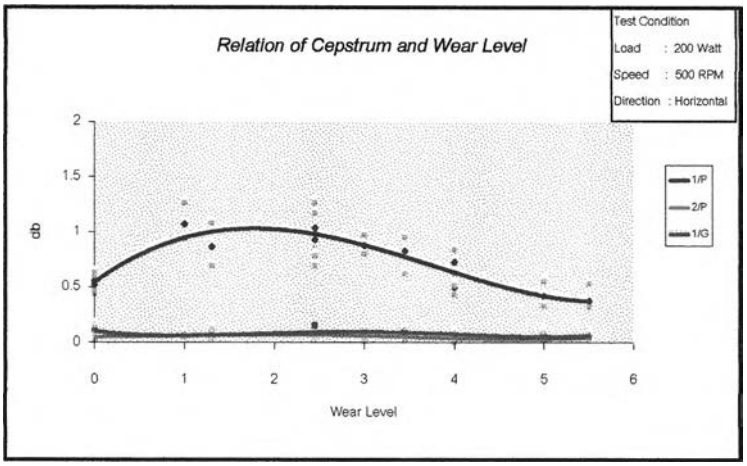
รูปที่ 5-22 : ความเร็วเฟืองขับ 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวดิ่ง

สัญญาณเซปส์ตรัม ความเร็ว 500 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวระดับ



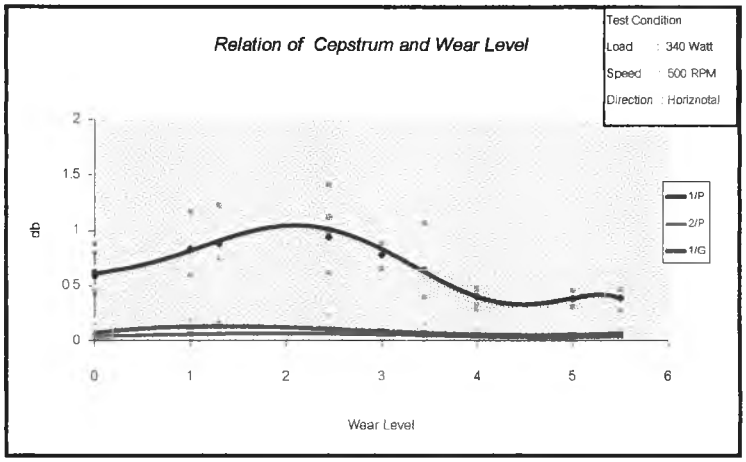
ไม่มีภาระ

(No Load)



ภาระ 200 วัตต์

(Load 200 Watt)

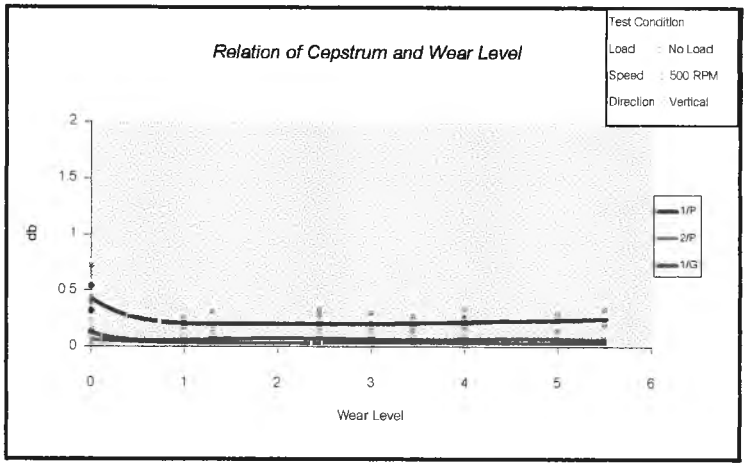


ภาระ 340 วัตต์

(Load 340 Watt)

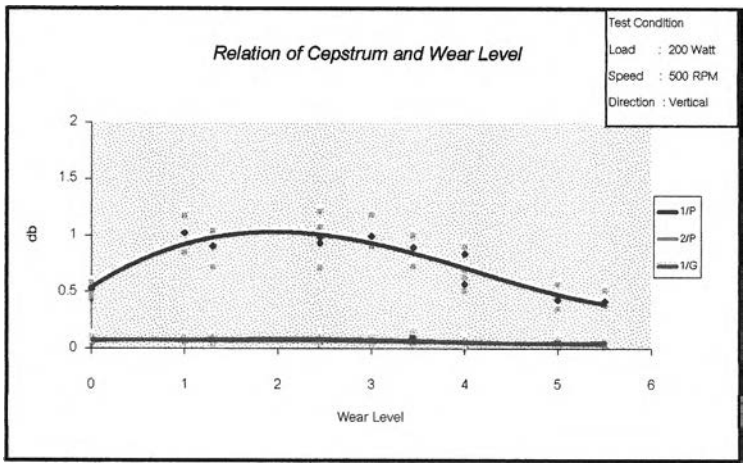
รูปที่ 5-19 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเซปส์ตรัมและระดับสึกหรอ : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวระดับ

สัญญาณเซปส์ตรัม ความเร็ว 500 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวดิ่ง



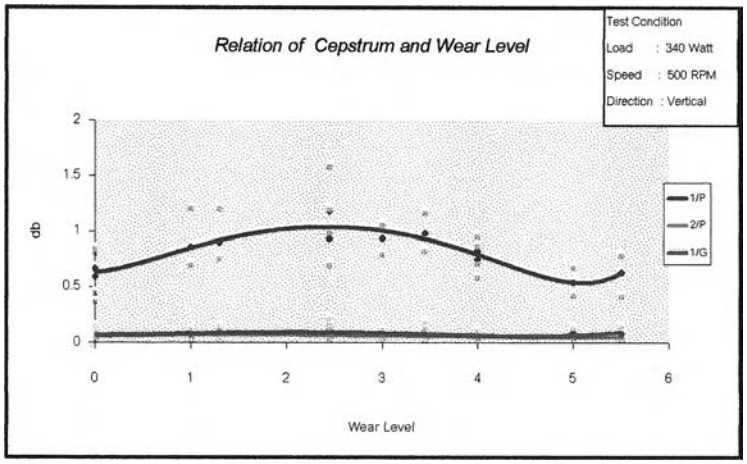
ไม่มีภาระ

(No Load)



ภาระ 200 วัตต์

(Load 200 Watt)

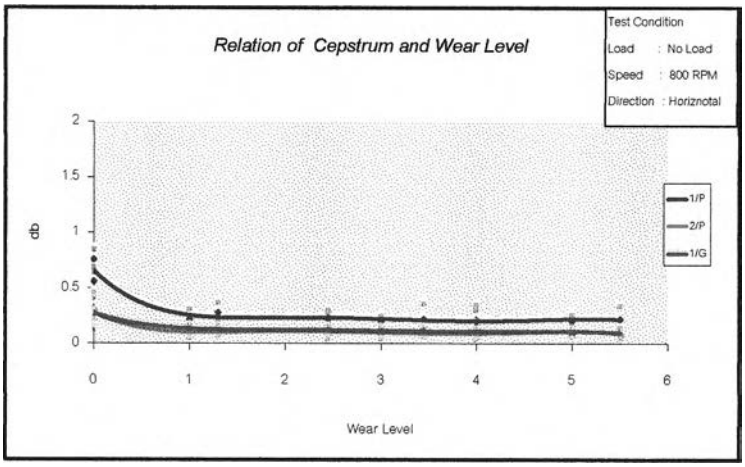


ภาระ 340 วัตต์

(Load 340 Watt)

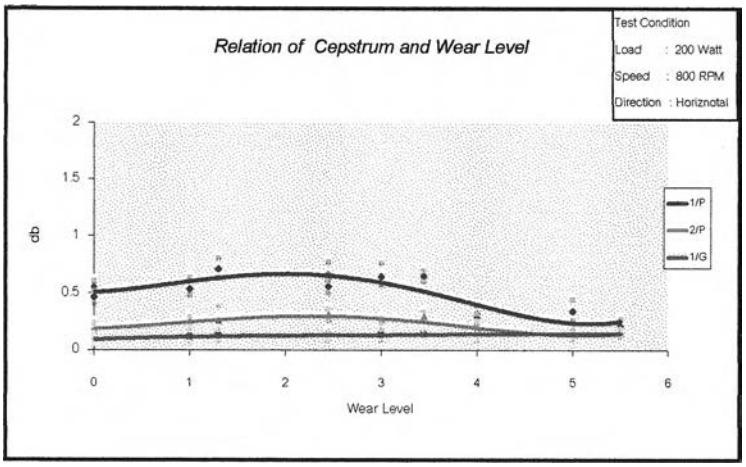
รูปที่ 5-20 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเซปส์ตรัมและระดับสึกหรอ : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวดิ่ง

สัญญาณเซปส์ตรัม ความเร็ว 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวระดับ



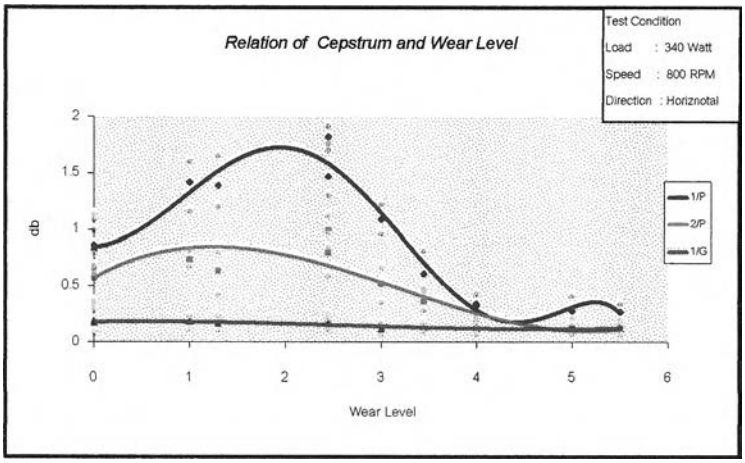
ไม่มีภาระ

(No Load)



ภาระ 200 วัตต์

(Load 200 Watt)

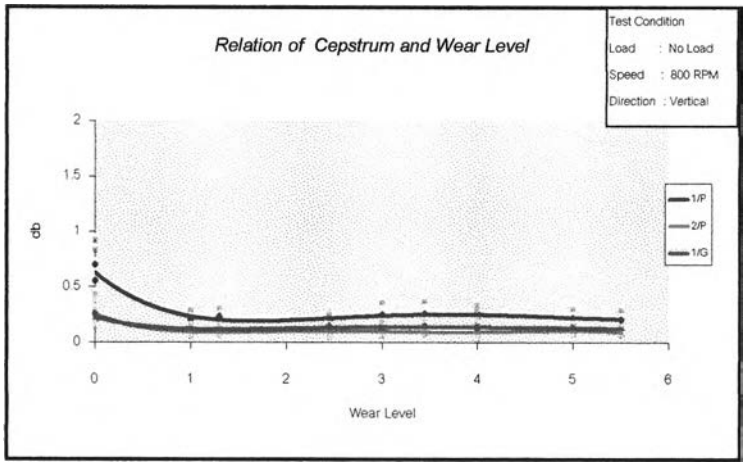


ภาระ 340 วัตต์

(Load 340 Watt)

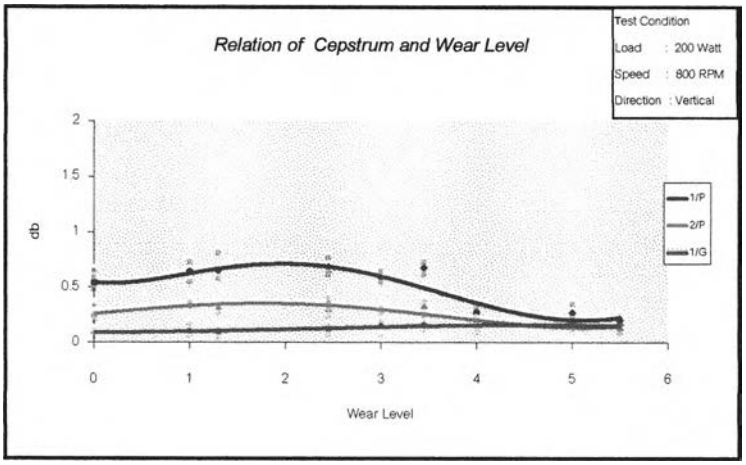
รูปที่ 5-21 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเซปส์ตรัมและระดับสึกหรอ : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวระดับ

สัญญาณเซปส์ตรัม ความเร็ว 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวดิ่ง



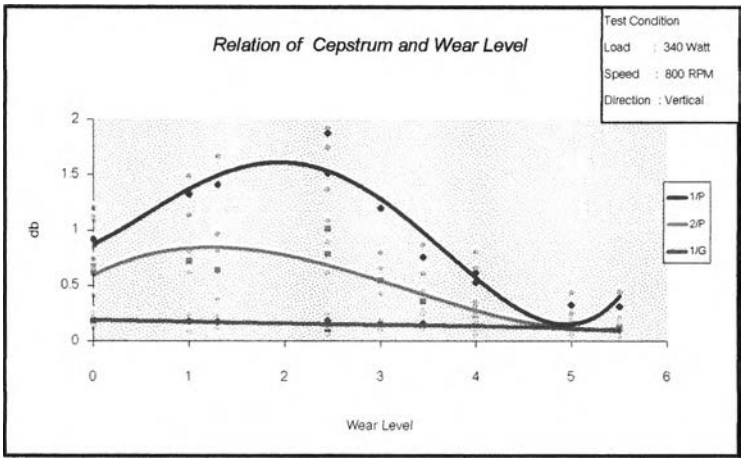
ไม่มีภาระ

(No Load)



ภาระ 200 วัตต์

(Load 200 Watt)



ภาระ 340 วัตต์

(Load 340 Watt)

รูปที่ 5-22 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเซปส์ตรัมและระดับสึกหรอ : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณแนวดิ่ง

5 – 3 – 2 <u>สรุปและวิเคราะห์ผล</u>

1) ขณะทดลองถ้าความเร็วรอบมีการเปลี่ยนแปลงกลับไปกลับมามากจะพบค่าสัญญาณ 1/P 2/Pและ 1/G มีขนาดลดลงกว่าเมื่อทดลองที่ความเร็วรอบค่อนข้างคงที่ ซึ่งตรงกับผลของสัญญาณจำลองในบทที่ 2 ที่ว่าเมื่อสัญญาณถูกมอดูเลตทางความถี่มากค่าสัญญาณเซปส์ตรัมจะมีค่าลดลง เนื่องจากผลของความเร็วรอบที่แปรปรวนให้ผลเหมือนมอดูเลตชันทางความถี่

2) การกระจายค่าของสัญญาณ 1/P มีมากที่สุดเนื่องจากค่าสัญญาณมากที่สุดทุกสภาวะการทดลอง

3) ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณและระดับสึกหรอแบบมีภาระให้ผลรูปแบบเดียวกันคือค่า 1/P ค่อยๆเพิ่มมากขึ้นเมื่อระดับสึกหรอมากขึ้นจนถึงช่วงระดับ 2 - 2.45 แล้วหลังจากนั้นจึงค่อยๆลดลง สาเหตุที่สัญญาณ 1/P มีการเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุดแล้วลดลงแสดงว่าตั้งแต่ระดับ 2.45 เป็นต้นไป Sideband ของเฟืองขับมีความเป็นคาบ(periodicity) น้อยลงทั้งๆที่ค่าสัญญาณสเปกตรัม SBP มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามระดับสึกหรอเนื่องจากการวัดค่า SBP วัดเฉพาะแอมพลิจูดเฉลี่ยของยอด SBP คู่แรกที่อยู่ชิดกับ GMF เท่านั้น ดังนั้นการที่ค่า 1/P ลดลงแต่ SBP กลับมีค่าสูงขึ้นแสดงว่าการมอดูเลชันทางแอมพลิจูดมีรูปแบบความเป็นคาบลดลง นั่นคือไม่พบยอดสัญญาณของแถบความถี่ข้างของเฟืองขับที่ระยะห่างออกไปไกลๆจากGMF เมื่อการสึกหรอเพิ่มมากขึ้นถึงระดับหนึ่ง ความถี่ของสัญญาณมอดูเลชันทางแอมพลิจูดไม่คงที่จึงมีการมอดูเลตทางความถี่ร่วมด้วยทำให้สัญญาณSBP มีความเป็นคาบลดลง สาเหตุน่าจะมาจากช่องว่างที่มากขึ้นระหว่างฟันเนื่องจากการสึกหรอ เมื่อฟันเฟืองขับดันฟันเฟืองตามให้เคลื่อนที่ไปแล้วก็ยังมีบริเวณด้านหลังอยู่อีกมาก ซึ่งฟันเฟืองขับสามารถขยับไปมาได้ตามการสั่นสะเทือน ทำให้รูปแบบการสั่นสะเทือนในแต่ละรอบของเฟืองขับมีรูปแบบไม่แน่นอน ทำให้ความชัดเจนของการมอดูเลชันลดลง

4) ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณและระดับสึกหรอเมื่อไม่มีภาระนั้นค่าสัญญาณเซปส์ตรัมทุกชนิดมีค่าค่อนข้างคงที่ทุกระดับการสึกหรอ โดยมีค่า 1/P สูงกว่าค่าอื่นและมีค่าสูงเล็กน้อยในช่วงระดับที่ 0 แล้วจึงค่อยๆลดลงจนคงที่ตั้งแต่ระดับ 1 เป็นต้นไป เนื่องจากขณะฟันยังไม่สึกหรอการขบกันของฟันเฟืองเป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้ค่อนข้างแน่นอนคือความเร็วเฟือง

ขับและเฟืองตามเป็นไปตามอัตราทดที่ออกแบบไว้ การมอดูเลชันจึงมีความเป็นคาบชัดเจน ค่าสัญญาณเซปส์ตรัม 1/P จึงมีความชัดเจนเนื่องจากทรานสดิวเซอร์วางอยู่ใกล้ตำแหน่งเฟืองขับ แต่เมื่อช่องว่างระหว่างฟันเพิ่มมากขึ้นและไม่มีภาระที่ทำให้เกิดแรงผลักระหว่างฟันทำให้โอกาสที่เฟืองจะกระทบกันมีความไม่แน่นอน การสั่นสะเทือนของเฟืองขับในแต่ละรอบไม่คงที่จึงทำให้ความเป็นคาบของแถบความถี่ข้างของเฟืองขับลดลงและคงที่

5) ค่า 2/P ให้ผลความสัมพันธ์เช่นเดียวกันแต่มีความชัดเจนน้อยกว่า และเห็นความสัมพันธ์เฉพาะการทดลองที่ความเร็ว 800 รอบต่อนาที แบบมีภาระเท่านั้น โดยมีลักษณะของความสัมพันธ์เช่นเดียวกับ 1/P แต่มีอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงต่อระดับสึกหรอน้อยกว่า

6) ไม่พบการเปลี่ยนแปลงหรือความสัมพันธ์ใดๆที่สัญญาณ 1/G มีต่อระดับสึกหรอต่างๆของเฟืองทั้งนี้เนื่องจากการสึกหรอเกิดขึ้นที่เฟืองขับเพียงตัวเดียว การมอดูเลชันของเฟืองตามจึงไม่มี ทำให้ค่า 1/G จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลง

7) เปรียบเทียบค่าสัญญาณโดยรวมแล้วผลของภาระที่มีต่อค่าสัญญาณ คือ ที่ความเร็วรอบเดียวกันและวัดสัญญาณแนวแกนเดียวกันที่ภาระสูง (340 วัตต์) จะมีค่าสัญญาณสูงกว่าที่ระดับภาระต่ำ (200 วัตต์)

8) เปรียบเทียบค่าสัญญาณโดยรวมแล้วผลของความเร็วรอบที่มีต่อค่าสัญญาณ คือ ที่ระดับภาระเดียวกันและวัดสัญญาณในแนวแกนเดียวกัน ที่ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาทีให้ค่าสัญญาณสูงกว่า

9) เปรียบเทียบค่าสัญญาณโดยรวมแล้วผลของแนวแกนวัดสัญญาณที่มีต่อค่าสัญญาณ คือ ที่ความเร็วรอบเดียวกันและระดับภาระเดียวกันค่าสัญญาณที่วัดในแนวดิ่งจะมีค่าสูงกว่าค่าสัญญาณที่วัดในแนวระดับแสดงว่าการสั่นสะเทือนของเฟืองในแนวดิ่งมีมากกว่าในแนวระดับ

10) การใช้สัญญาณเซปส์ตรัมวิเคราะห์การสึกหรอของเฟืองนั้นมีความเป็นไปได้สูงเนื่องจากรูปแบบความสัมพันธ์สอดคล้องกับค่าสัญญาณที่มาจากเฟืองตัวที่มีความผิดปกติเกิดขึ้น จากการสังเกตความสัมพันธ์ของสัญญาณทุกๆสภาวะทดลองพบว่าใช้สัญญาณเซปส์ตรัมวิเคราะห์ได้ผลดีที่ความเร็วรอบสูงๆ และระดับภาระมาก การเปลี่ยนแปลงของเซปส์ตรัมจะ

ไว(sensitive) ต่อระดับสึกหรอพอสมควร และอาจได้ผลไม่ดีนักเมื่อใช้วิเคราะห์สภาพชุดเฟืองที่ความเร็วรอบและระดับภาระต่ำ