



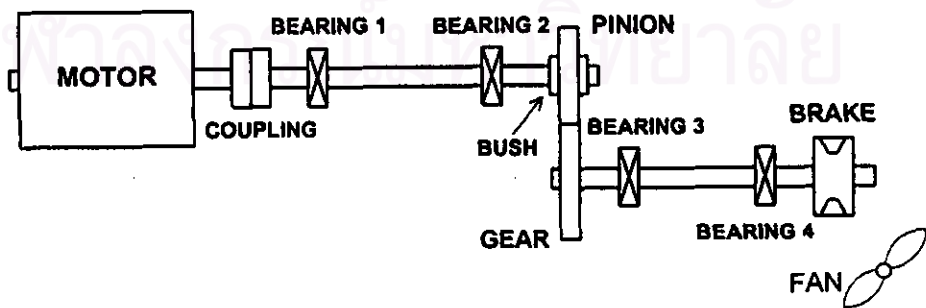
บทที่ 6

การทดลองวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน ของชุดเฟืองที่มีปัญหาการเยื้องศูนย์

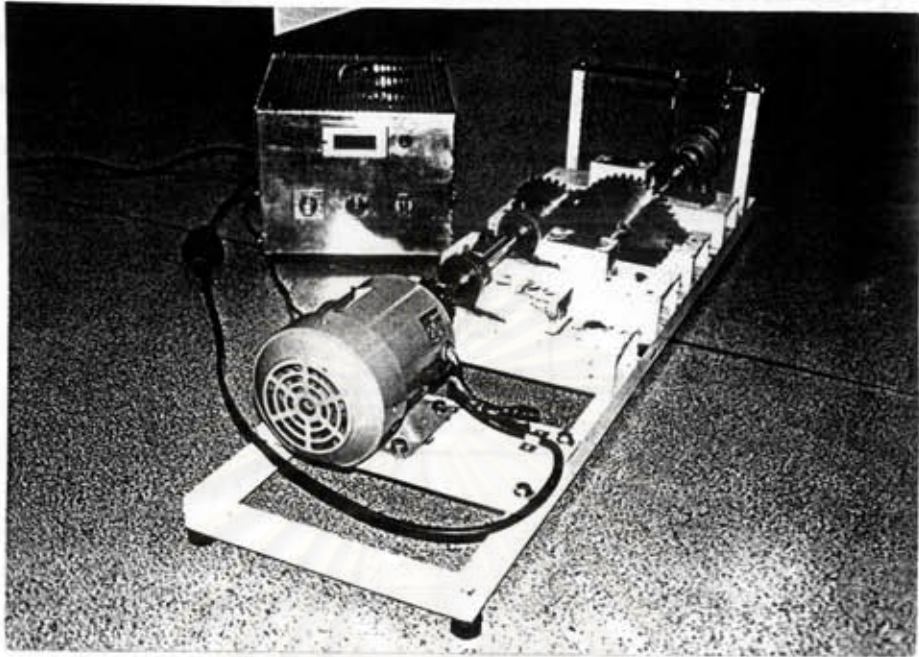
ในบทนี้เป็นการทดลองวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟืองที่มีปัญหาการเยื้องศูนย์ของเฟือง ชุดเฟืองถูกออกแบบให้เฟืองตัวขับมีระยะเยื้องศูนย์ 4 ระดับ ตรวจวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนและวิเคราะห์สเปกตรัมและเซปส์ตรัม

6-1 อุปกรณ์การทดลอง

ชุดทดลองประกอบด้วย ชุดเฟือง มอเตอร์ขนาด 0.5 แรงม้า คัปปลิง เพลลาขับ เพลลาตาม แบร์ริงลูกปืน 4 ตำแหน่ง ชุดเบรกที่สามารถปรับแรงดึงได้ พัดลมระบายความร้อน ชุดเบรก ฐานของชุดทดลอง อินเวอร์เตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ และมีเตอร์วัดกระแสไฟฟ้า ระหว่างฐานของชุดทดลองกับพื้นได้เสริมยางแผ่นที่มีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตรเพื่อให้ฐานสัมผัสกับพื้นตลอดเวลา เฟืองขับทำด้วยเหล็กกล้ามี 26 ฟัน มีเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมพิตช์ 91 มิลลิเมตร และมีความหนา 12 มิลลิเมตร เฟืองตามทำจากเหล็กกล้ามี 38 ฟัน มีเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมพิตช์ 133 มิลลิเมตร และมีความหนา 13 มิลลิเมตร เฟืองทั้งสองเป็นเฟืองตรง โมดูล 3.5 มิลลิเมตร เฟืองขับถูกออกแบบให้มีรูสำหรับใส่บุช (bush) เพื่อเปลี่ยนระดับการเยื้องศูนย์ของเฟืองขับได้ บุชประกอบเข้ากับเพลลาขับและเฟืองขับ บุชมี 4 ชั้นแต่ละชั้นเจาะรูให้มีระยะเยื้องศูนย์ต่างกัน แผนภาพของชุดทดลองแสดงดังรูปที่ 6-1 รูปถ่ายของชุดทดลองจริงแสดงในรูปที่ 6-2 รูปถ่ายของเฟืองขับและบุชที่ใช้ในการทดลองแสดงในรูปที่ 6-3 ขนาดของชุดทดลองแสดงในภาคผนวก



รูปที่ 6-1 แผนภาพของชุดทดลองการสั่นสะเทือนของชุดเฟืองที่มีปัญหาการเยื้องศูนย์ของเฟือง

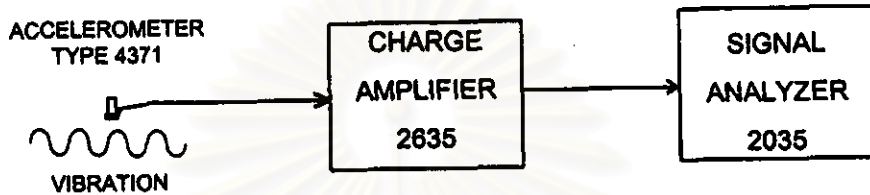


รูปที่ 6-2 รูปถ่ายชุดทดลองการสั่นสะเทือนของชุดเฟืองที่มีปัญหาการเอียงศูนย์



รูปที่ 6-3 รูปถ่ายเฟืองขับและบุชที่ใช้ในการทดลองวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟืองที่มีปัญหาการเอียงศูนย์

อุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนประกอบด้วย ตัวตรวจรู้ชนิดวัดความเร่ง
 รุ่น 4371 จับยึดตัวตรวจรู้กับตำแหน่งวัดด้วยแม่เหล็ก เครื่องขยายประจุน 2635
 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณ รุ่น 2035 อุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณทุกอย่างที่ใช้ในการทดลองเป็น
 ผลิตภัณฑ์ของบริษัท Bruel&Kjaer ผังการต่ออุปกรณ์วัดสัญญาณแสดงในรูปที่ 6-4 รูปถ่าย
 ของอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณแสดงในภาคผนวก ข



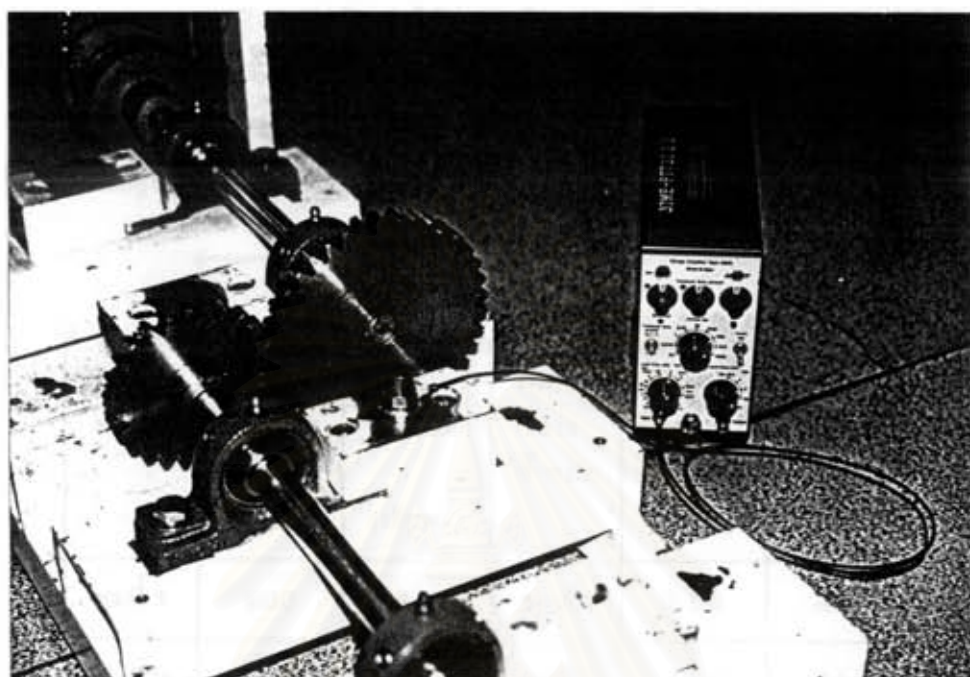
รูปที่ 6-4 ผังแสดงการต่ออุปกรณ์วัดสัญญาณการสั่นสะเทือน

6-2 การทดลอง

ชุดเฟืองทำงานด้วยการขับของมอเตอร์และรับภาระจากชุดเบรกซึ่งสามารถปรับแรงดึง
 ได้ ขณะที่ชุดเฟืองทำงาน มีการหล่อลื่นพื้นเฟืองด้วยจาระบีตลอดเวลา อินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่
 ที่จ่ายไฟให้มอเตอร์และควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ การทดลองแบ่งเป็น 3 ชุด การ
 ทดลองแต่ละชุดมีสภาวะการทำงานต่างกัน และให้เฟืองขับมีระยะเยื้องศูนย์กลาง 4 ระดับ ทำการ
 ตรวจวัดและวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนที่แบริง 1 แบริง 2 แบริง 3 และแบริง 4 ใน
 ทิศแนวตั้งและแนวนอน การตรวจวัดสัญญาณในแต่ละจุดวัดทำการเก็บทั้งหมด 6 สัญญาณ
 รูปที่ 6-5 แสดงการติดตั้งตัวตรวจรู้บนแบริง 2 ทิศแนวตั้ง และต่อตัวตรวจรู้เข้ากับเครื่องขยาย
 ประจุ

การทดลองแต่ละชุดแสดงรายละเอียดในตารางที่ 6-1 การทดลองในชุดที่ 1 และชุด
 ที่ 2 ชุดเฟืองรับภาระจากเบรกและมีความเร็วรอบหมุนต่างกัน การควบคุมกระแสไฟและ
 ความเร็วรอบหมุนต้องปรับแรงดึงของเบรกและการจ่ายกระแสไฟของอินเวอร์เตอร์ควบคู่กัน
 สำหรับการทดลองในชุดที่ 3 ชุดเฟืองไม่รับภาระจากเบรก แต่ควบคุมเฉพาะความเร็วรอบด้วย
 การปรับการจ่ายกระแสไฟของอินเวอร์เตอร์เท่านั้น การทดลองในชุดที่ 3 มีเจตนาศึกษา
 สัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟืองที่มีปัญหาการเยื้องศูนย์กลางเมื่อชุดเฟืองไม่รับภาระและทำงาน
 ที่ความเร็วรอบต่ำ ซึ่งตามทฤษฎีแล้วในสภาวะแบบนี้ พื้นเฟืองน่าจะสัมผัสกันตลอดเวลา และ

ชุดเฟืองจะสันสะท้อนเนื่องจากการกระตุ้นของความคลาดเคลื่อนโปรไฟล์ที่เบี่ยงเบนไปจากเส้นโค้งอินโวลูทและไม่มีผลจากความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการโก่งตัวของฟันเฟืองขณะรับภาระ



รูปที่ 6-5 แสดงการติดตั้งตัวตรวจรับแรง 2 ทิศแนวตั้ง และต่อตัวตรวจรับเข้ากับเครื่องขยายประจุ

| การทดลอง | ความเร็วรอบของมอเตอร์ (รอบต่อนาที) | กระแสไฟที่จ่ายให้อินเวอร์เตอร์ (แอมแปร์) | ระยะเยื้องของเฟืองขับ (มิลลิเมตร) | ระยะเยื้องของเฟืองตาม (มิลลิเมตร) | หมายเหตุ |
|----------|------------------------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|------------|
| ชุดที่ 1 | 510 | 1.8 | 0.23, 0.33, 0.75, 1.57 | 0.05 | - |
| ชุดที่ 2 | 960 | 1.8 | 0.15, 0.35, 0.75, 1.27 | 0.05 | - |
| ชุดที่ 3 | 250 | - | 0.15, 0.35, 0.66, 1.27 | 0.05 | ปลดเบรคออก |

ตารางที่ 6-1 สภาวะการทำงานของชุดเฟืองในการทดลองแต่ละชุด

6-3 การวิเคราะห์สัญญาณ

แต่ละจุดวัด ทำการเก็บสัญญาณทั้งหมด 6 สัญญาณ แต่ละสัญญาณที่ตรวจวัดได้ ถูกเฉลี่ยบนโดเมนความถี่ 10 ครั้งและใช้การเฉลี่ยแบบเหลื่อมกันมากที่สุด การเก็บสัญญาณ แต่ละครั้งนาน 1.0 วินาที 0.5 วินาทีและ 2.0 วินาทีสำหรับการทดลองชุดที่ 1 ชุดที่ 2 และชุดที่ 3 ตามลำดับ แล้วนำสัญญาณมาวิเคราะห์สเปกตรัมและเซปส์ตรัม โดยใช้พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์สัญญาณดังแสดงไว้ในตารางที่ 6-2

| การทดลอง | สเปกตรัม | | | เซปส์ตรัม | | |
|----------|-------------------------------|-----------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------------|
| | พิสัยบนโดเมนความถี่ (เฮิรตซ์) | ความละเอียด (เฮิรตซ์) | ฟังก์ชันถ่วงน้ำหนัก | พิสัยบนโดเมนคิวเฟรนซี (วินาที) | ความละเอียด (ไมโครวินาที) | ฟังก์ชันถ่วงน้ำหนัก |
| ชุดที่ 1 | 800 | 1.0 | ฮานนิง | 0.50 | 488 | ฮานนิง |
| ชุดที่ 2 | 1600 | 2.0 | ฮานนิง | 0.25 | 244 | ฮานนิง |
| ชุดที่ 3 | 400 | 0.5 | ฮานนิง | 1.00 | 977 | ฮานนิง |

ตารางที่ 6-2 ค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์สเปกตรัมและเซปส์ตรัม สำหรับเครื่องวิเคราะห์สัญญาณ Signal Analyzer 2035

ค่าสัญญาณต่างๆ ที่วิเคราะห์บนโดเมนเวลา โดเมนความถี่ และโดเมนคิวเฟรนซี มีดังนี้

(1) โดเมนเวลา

- Peak คือยอดสูงสุด (peak) ของสัญญาณ
- RMS คือรากที่สองของค่ากำลังสองเฉลี่ย (root mean square)

(2) โดเมนความถี่

- P คือแอมพลิจูดของยอดสเปกตรัมที่ความถี่เท่ากับความเร็วรอบหมุนของเฟืองขับ
- G คือแอมพลิจูดของยอดสเปกตรัมที่ความถี่เท่ากับความเร็วรอบหมุนของเฟืองตาม

- 1xGMF 2xGMF และ 3xGMF คือแอมพลิจูดของยอดสเปกตรัมที่ความถี่การขบกันของเฟือง ฮาร์มอนิกอันดับที่สองและอันดับที่สาม ตามลำดับ
- SBD-P คือ ค่าแอมพลิจูดเฉลี่ยของยอดแถบความถี่ข้าง ข้างซ้ายและข้างขวาของยอดสเปกตรัม 1xGMF โดยห่างจาก 1xGMF เท่ากับความเร็วยรอบของเฟืองขับ
- SBD-G คือ ค่าแอมพลิจูดเฉลี่ยของยอดแถบความถี่ข้าง ข้างซ้ายและข้างขวาของยอดสเปกตรัม 1xGMF โดยห่างจาก 1xGMF เท่ากับความเร็วยรอบของเฟืองตาม

(3) โคเมนทิวเฟรนซี

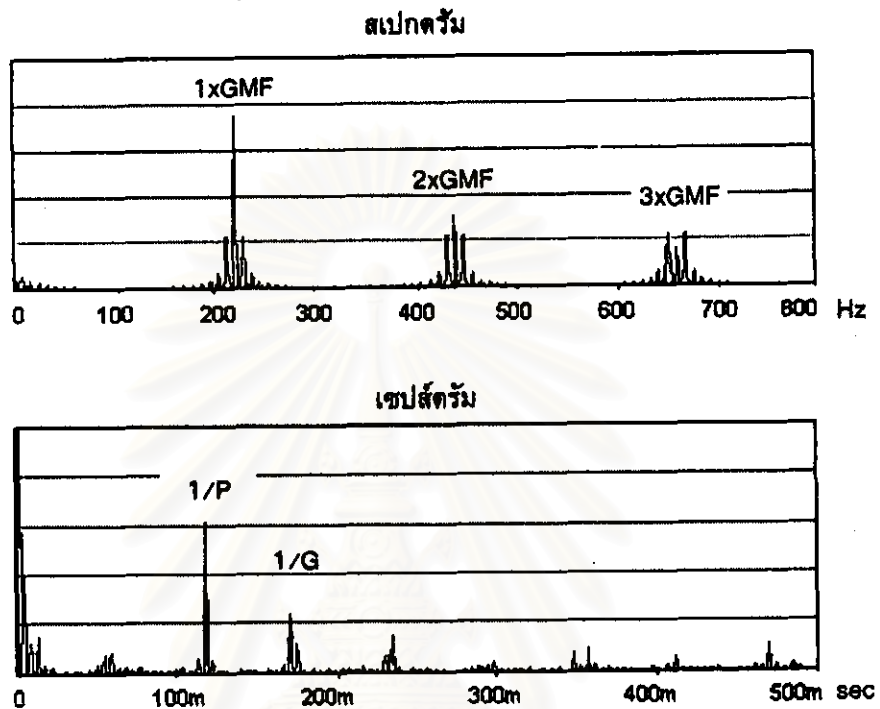
- 1/P คือ ค่าแอมพลิจูดของยอดเซปส์ตรัมที่คิวเฟรนซีเท่ากับ 1/(ความเร็วยรอบหมุนของเฟืองขับ)
- 1/G คือ ค่าแอมพลิจูดของยอดเซปส์ตรัมที่คิวเฟรนซีเท่ากับ 1/(ความเร็วยรอบหมุนของเฟืองตาม)

ความถี่ของยอดสเปกตรัม P G 1xGMF 2xGMF และ 3xGMF และคิวเฟรนซีของยอดเซปส์ตรัม 1/P และ 1/G แสดงในตารางที่ 6-3

| ตำแหน่ง ยอดสัญญาณ | การทดลองชุดที่ 1 | การทดลองชุดที่ 2 | การทดลองชุดที่ 3 |
|----------------------|------------------|------------------|------------------|
| P (เฮิรตซ์) | 8.5 | 16 | 4 |
| G (เฮิรตซ์) | 6 | 11 | 3 |
| 1xGMF (เฮิรตซ์) | 222 | 416 | 108.5 |
| 2xGMF (เฮิรตซ์) | 444 | 832 | 216.5 |
| 3xGMF (เฮิรตซ์) | 666 | 1248 | 325 |
| 1/P (มิลลิวินาที) | 117.12 | 62.50 | 240.00 |
| 1/G (มิลลิวินาที) | 171.17 | 91.35 | 350.77 |

ตารางที่ 6-3 ความถี่ของยอดสเปกตรัมและคิวเฟรนซีของยอดเซปส์ตรัม
ที่ทำการวิเคราะห์ค่าสัญญาณ

รูปที่ 6-6 แสดงตำแหน่งของค่าสัญญาณสำหรับการทดลองชุดที่ 1 บนโดเมนความถี่ และบนโดเมนคิวเฟรนซี สัญญาณที่แสดงในรูปถูกจำลองมาจากแบบจำลองในบทที่ 4 โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อให้ยอดสัญญาณสังเกตเห็นได้ชัดเจน



รูปที่ 6-6 ตำแหน่งของค่าสัญญาณ 1xGMF 2xGMF และ 3xGMF บนโดเมนความถี่ ค่าสัญญาณ 1/P และ 1/G บนโดเมนคิวเฟรนซี สำหรับการทดลองชุดที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6-4 ผลการทดลอง

ผลการทดลองมีทั้งหมด 3 ชุดคือชุดที่ 1 ชุดที่ 2 และชุดที่ 3 ผลการทดลองแต่ละชุดประกอบด้วยสองส่วนคือ

- สเปกตรัมและเซปส์ตรัมของสัญญาณ
- กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณกับระยะเยื้องศูนย์ของเฟืองขับ

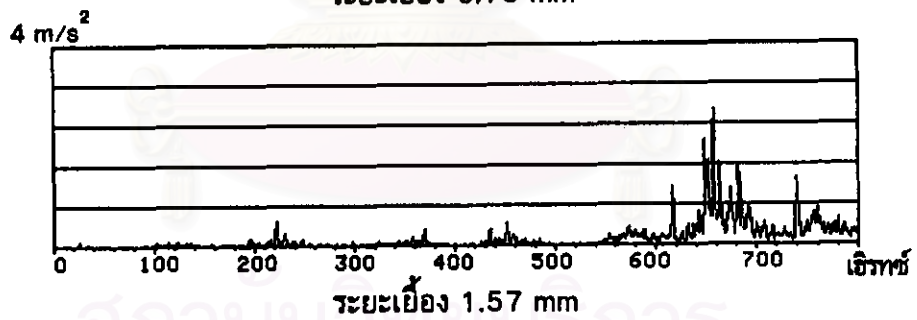
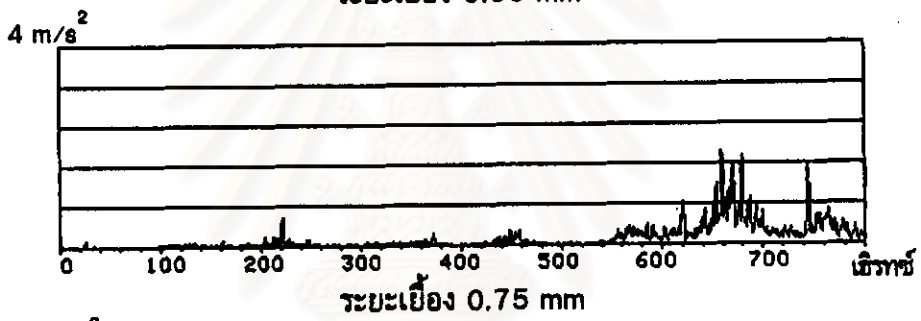
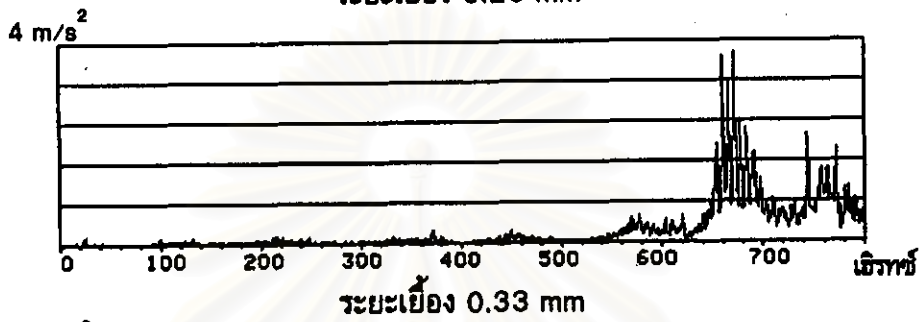
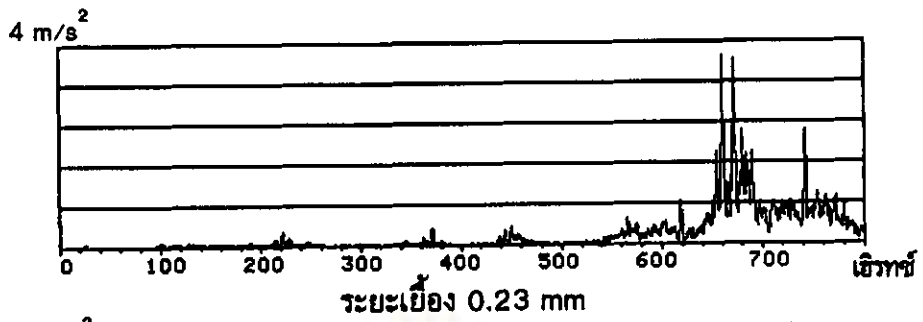
การทดลองแต่ละชุด ได้แปรเปลี่ยนระยะเยื้องศูนย์ของเฟืองขับทั้งหมด 4 ระดับ ที่ระยะเยื้องศูนย์ระดับหนึ่งๆ สัญญาณถูกตรวจวัดทั้งหมด 8 จุดวัด คือที่แบริง 1 แบริง 2 แบริง 3 และแบริง 4 ในทิศแนวตั้งและแนวนอน โดยที่แต่ละจุดวัดทำการเก็บสัญญาณทั้งหมด 6 สัญญาณ ดังนั้นสำหรับการทดลองแต่ละชุด ที่จุดวัดหนึ่งๆ ได้ตรวจวัดสัญญาณทั้งหมด $4 \times 6 = 24$ สัญญาณ

เนื่องจากสัญญาณที่ตรวจวัดได้ที่แต่ละแบริงมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณสอดคล้องกัน ผลการทดลองจึงแสดงสเปกตรัม เซปส์ตรัมและกราฟของสัญญาณเฉพาะที่ตรวจวัดได้ที่แบริง 2 ทิศแนวตั้งและทิศแนวนอน รูปสเปกตรัมและเซปส์ตรัมของสัญญาณถูกเลือกมาแสดงเพียง 1 ใน 6 ของสัญญาณที่เก็บได้ ส่วนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณกับระยะเยื้องศูนย์ ได้นำค่าสัญญาณซึ่งวิเคราะห์จากสัญญาณที่เก็บได้ทั้งหมด 24 สัญญาณแสดงไว้ในกราฟ

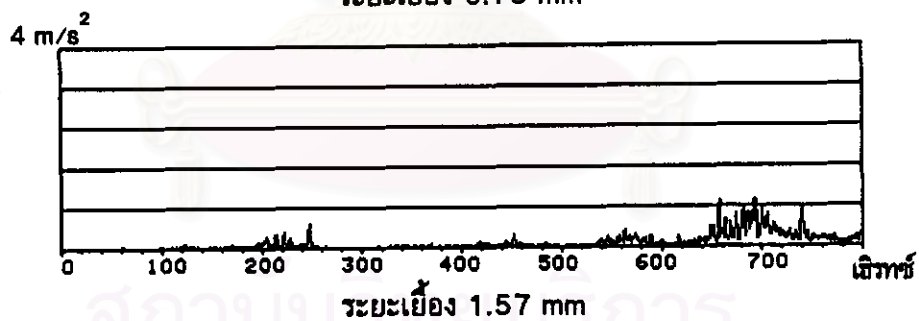
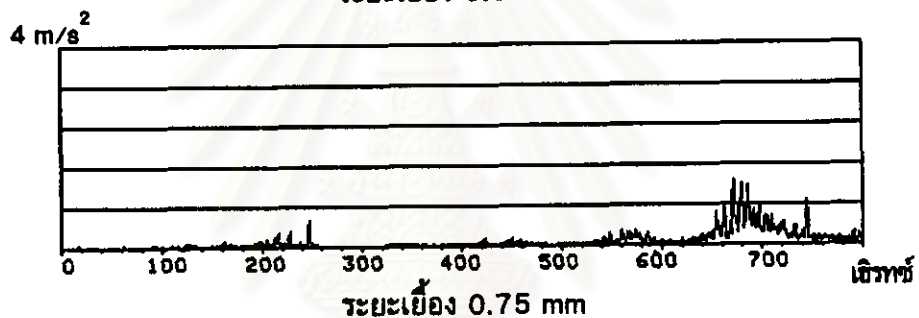
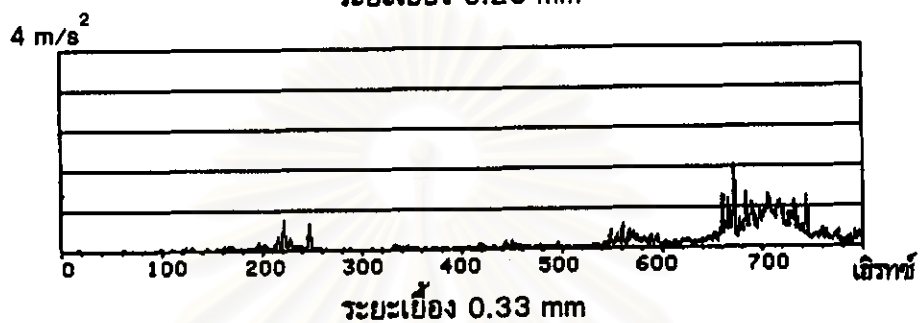
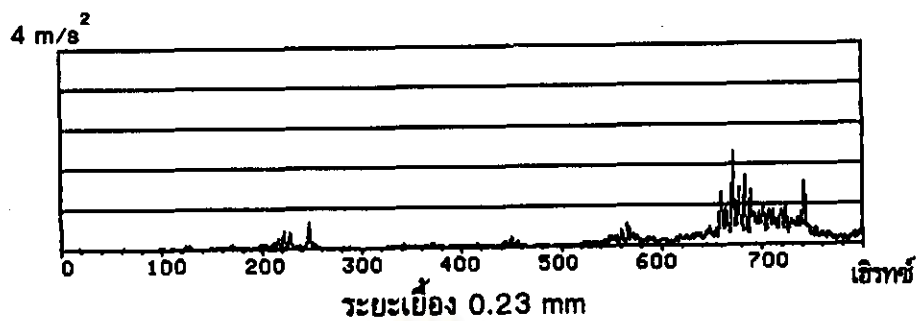
กราฟมีแกนตั้งเป็นค่าสัญญาณบนสเกลลอการิทึมและแกนนอนเป็นระยะเยื้องศูนย์ของเฟืองขับ กราฟประกอบด้วยจุดแสดงค่าสัญญาณและเส้นโค้งแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณเมื่อระยะเยื้องศูนย์ของเฟืองขับมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณบนโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ 6 dB เทียบได้กับ 2 เท่า 12 dB เทียบได้กับ 4 เท่า และ 18 dB เทียบได้กับ 8 เท่า

6-4-1 ผลการทดลองชุดที่ 1

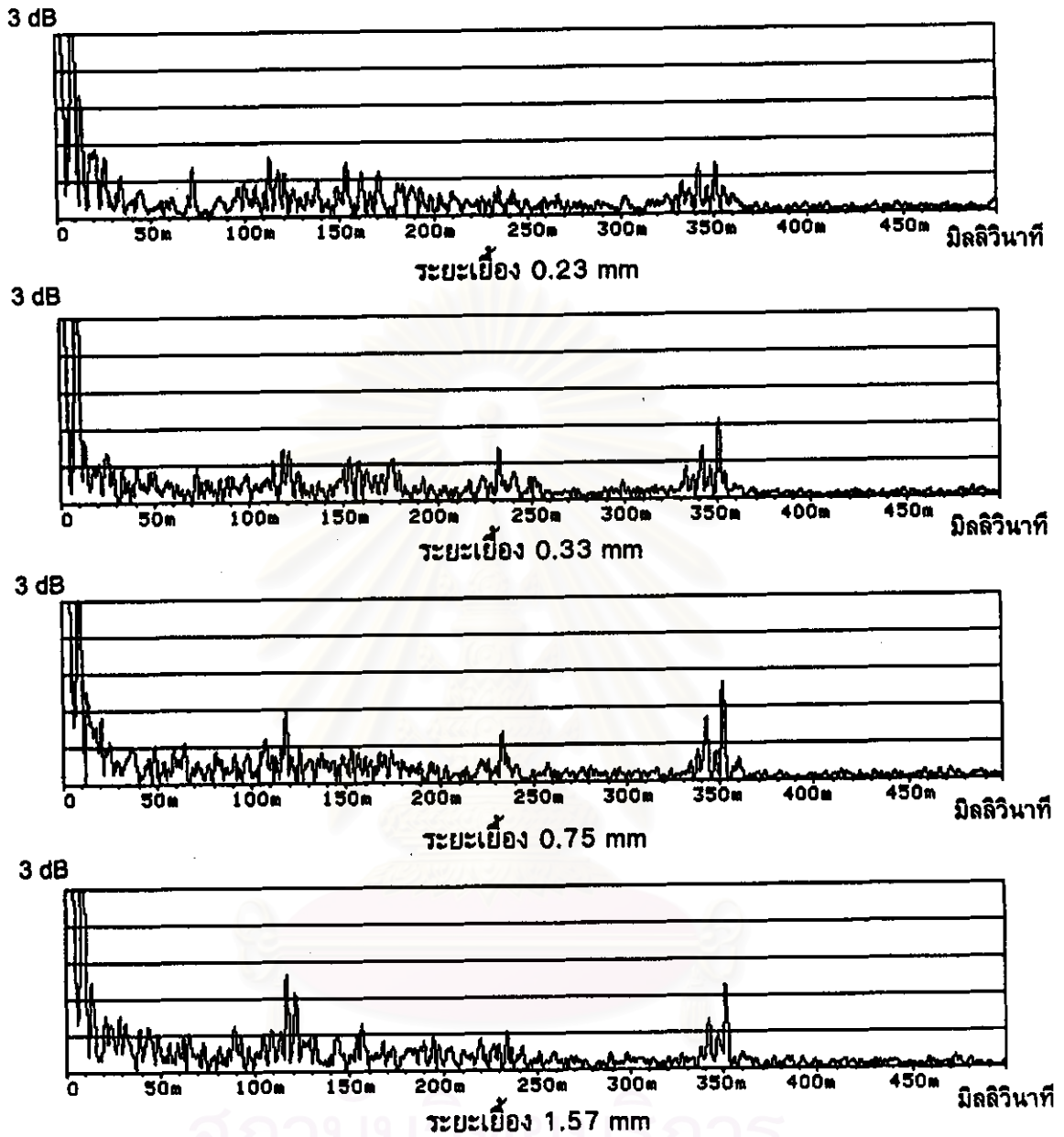
การทดลองชุดที่ 1 ชุดเฟืองหมุนด้วยความเร็วรอบ 510 รอบต่อนาทีและรับภาระ รูปที่ 6-7 และ 6-8 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณที่ตรวจวัดที่แบริง 2 ทิศแนวตั้งและทิศแนวนอนตามลำดับ รูป 6-9 และ 6-10 แสดงเซปส์ตรัมของสัญญาณที่ตรวจวัดที่แบริง 2 ทิศแนวตั้งและทิศแนวนอน ตามลำดับ



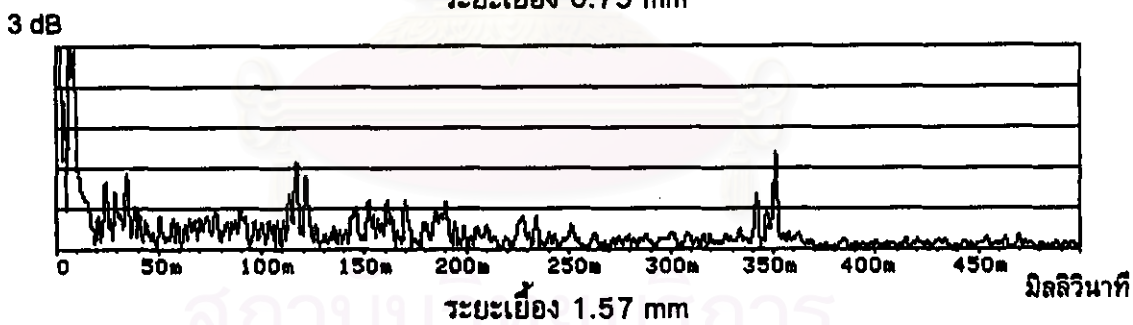
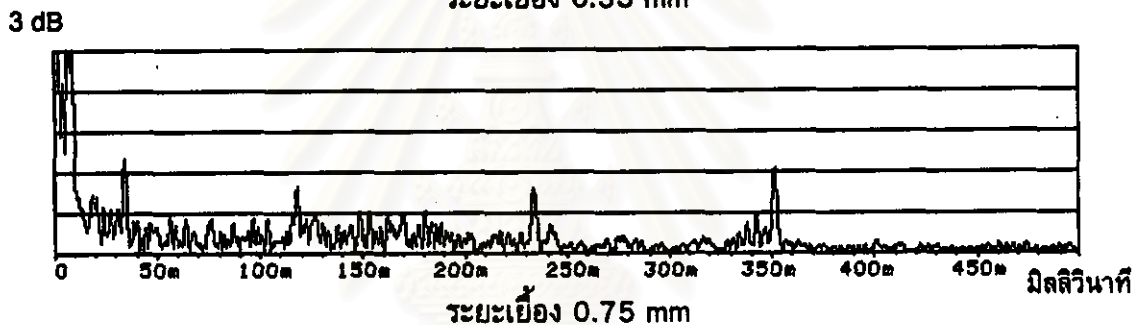
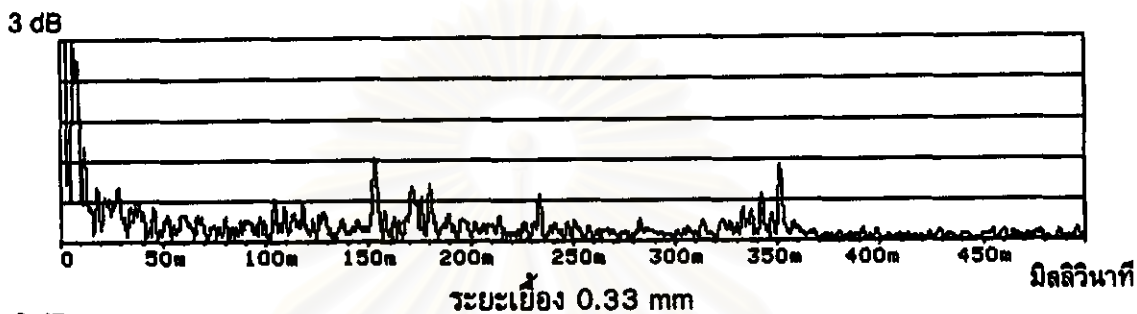
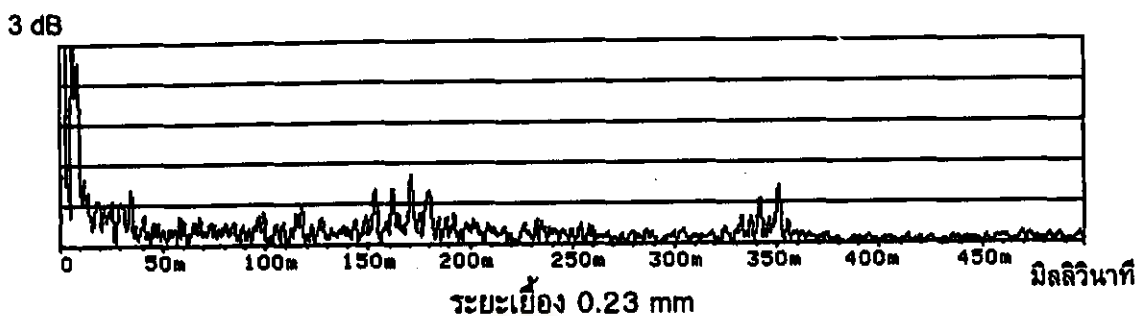
รูปที่ 6-7 สเปกตรัมของสัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟืองจากการทดลองชุดที่ 1
ตรวจวัดที่ แบริง 2 ทิศแนวตั้ง



รูปที่ 6-8 สเปกตรัมของสัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟืองจากการทดลองชุดที่ 1
ตรวจวัดที่ แบริง 2 กิตแนวนอน



รูปที่ 6-9 เชปส์คัมของสัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟืองจากการทดลองชุดที่ 1
ตรวจวัดที่ แบริง 2 กิตแนวตั้ง



รูปที่ 6-10 เซปส์ตรัมของสัญญาณการต้นสะเทือนของชุดเฟืองจากการทดลองชุดที่ 1
ตรวจวัดที่ แบริง 2 ทิศแนวนอน

จากรูปที่ 6-7 และ 6-8 สังเกตลักษณะสเปกตรัมของสัญญาณการสั่นสะเทือนสำหรับการทดลองชุดที่ 1 ดังนี้

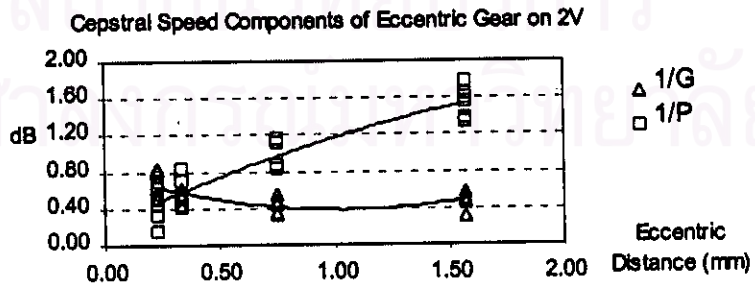
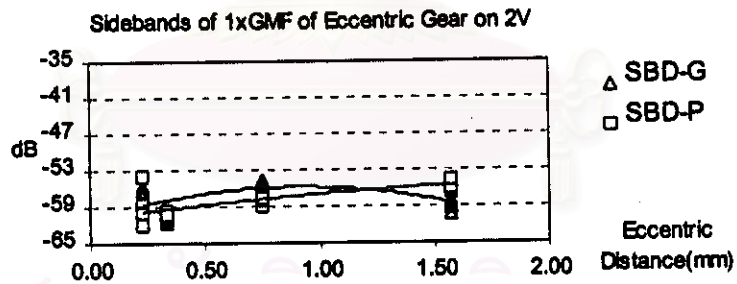
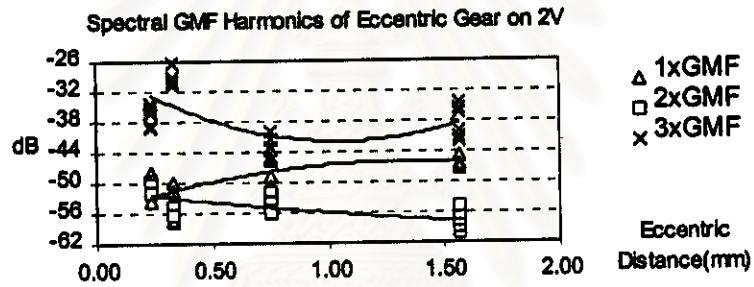
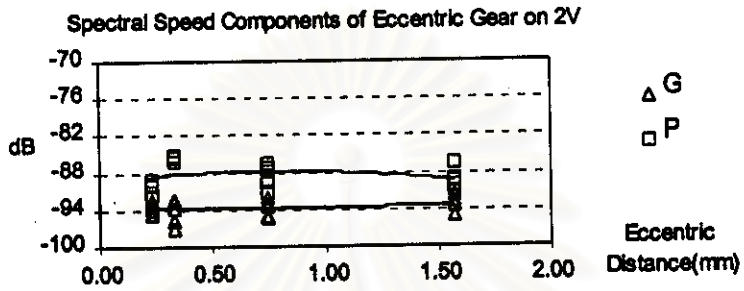
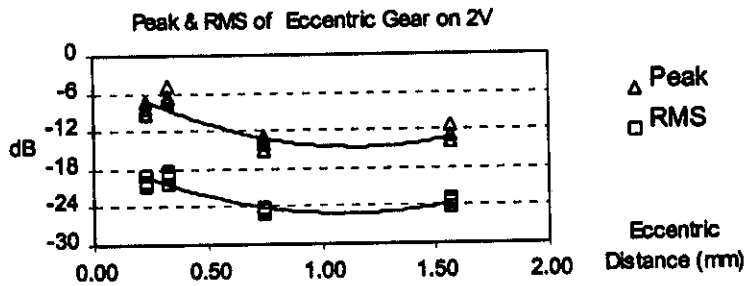
- 1) ที่ระยะเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับน้อยที่สุด สเปกตรัมของสัญญาณประกอบด้วยยอด 1xGMF 2xGMF 3xGMF และแถบความถี่ข้าง บริเวณปลายโดเมน 600-800 เฮิรตซ์ สเปกตรัมมีแอมพลิจูดสูง
- 2) เมื่อเฟืองขับมีระยะเยื้องมากขึ้น สเปกตรัมมีลักษณะเปลี่ยนไป แต่ไม่พบยอด P และ G และไม่พบข้อมูลที่สามารถเปรียบเทียบได้ว่าเฟืองขับมีระยะเยื้องศูนย์กลางมากขึ้น

จากรูปที่ 6-9 และ 6-10 สังเกตลักษณะเซปส์ตรัมของสัญญาณการสั่นสะเทือนสำหรับการทดลองชุดที่ 1 ดังนี้

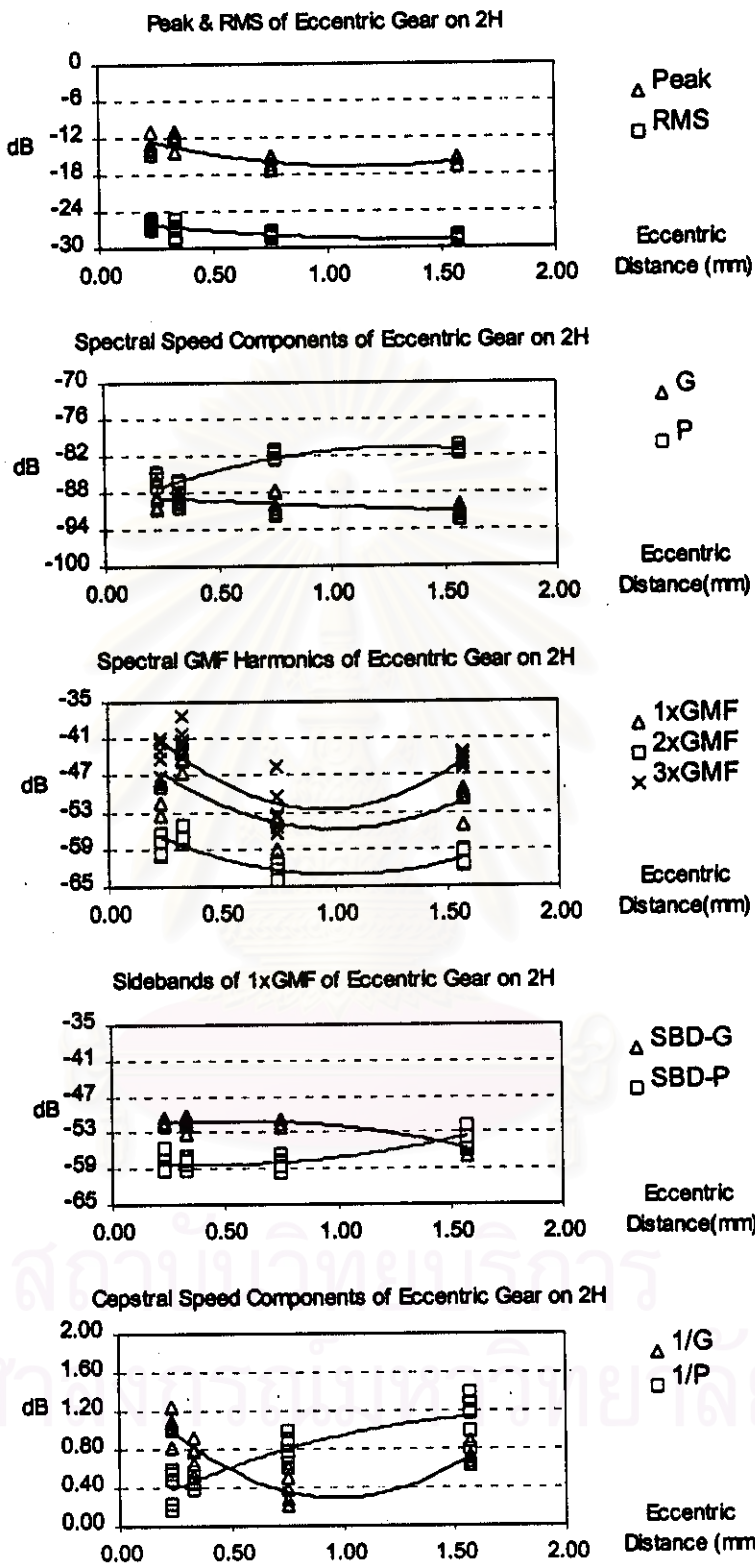
- 1) ที่ระยะเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับน้อยที่สุด เซปส์ตรัมประกอบด้วยยอด 1/P ยอด 2/P ยอด 3/P ยอด 1/G ยอด 2/G และยอดเซปส์ตรัมอื่นๆ อีกหลายยอดที่มีแอมพลิจูดอยู่ในระดับเดียวกับยอด 1/P และยอด 1/G
- 2) เมื่อเฟืองขับมีระยะเยื้องมากขึ้น ยอด 1/P มีแนวโน้มสูงขึ้น

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณกับระยะเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับสำหรับการทดลองชุดที่ 1 ตรวจวัดที่แบริง 2 ทิศแนวตั้งและแนวนอนแสดงในรูปที่ 6-11 และ 6-12 ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6-11 ค่าสัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟือง กับระยะเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับ
 ตรวจวัดที่แมริ่ง 2 ทิศแนวตั้ง สำหรับการทดลองชุดที่ 1



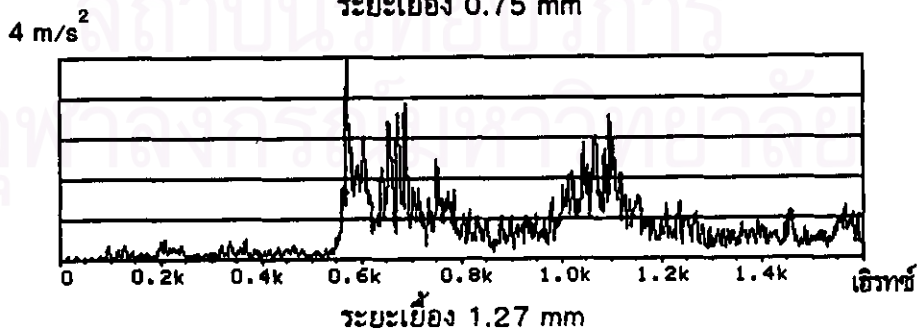
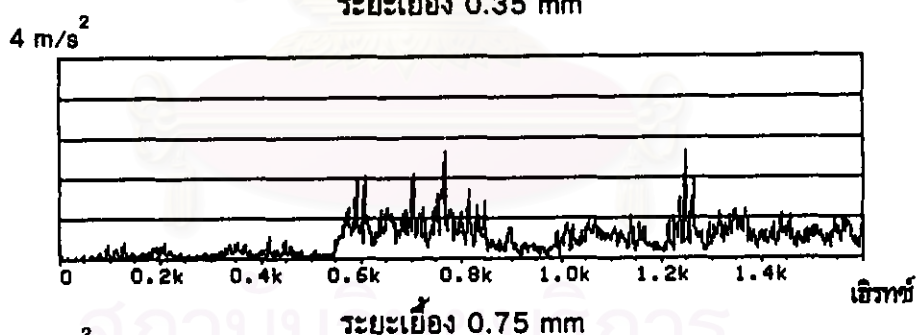
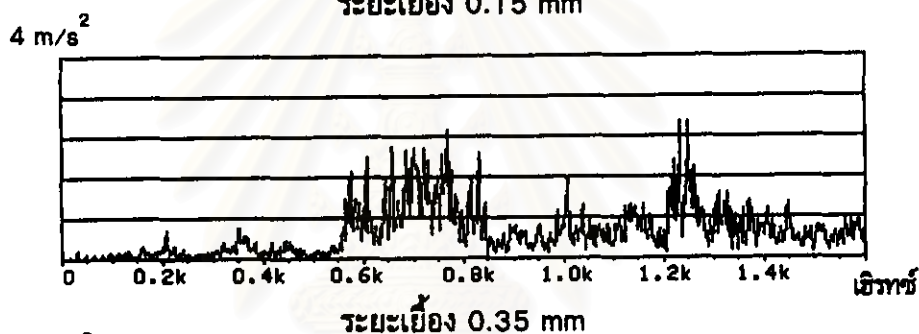
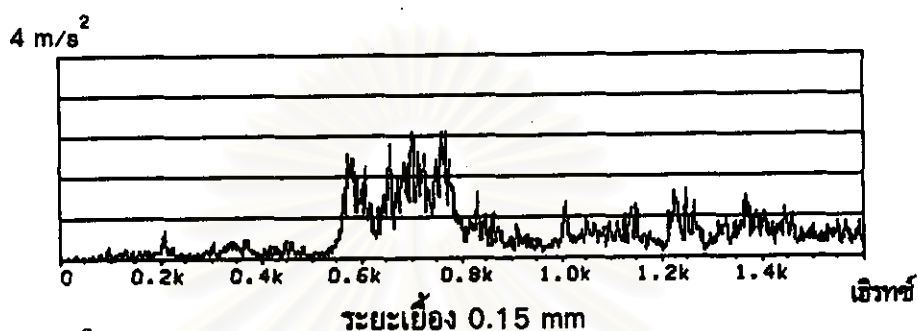
รูปที่ 6-12 ค่าสัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟือง กับระยะเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับ ตรวจวัดที่แบริง 2 ทิศแนวนอน สำหรับการทดลองชุดที่ 1

จากกราฟรูปที่ 6-11 และ 6-12 สังเกตการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณเมื่อระยะเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับมีมากขึ้น พบว่า

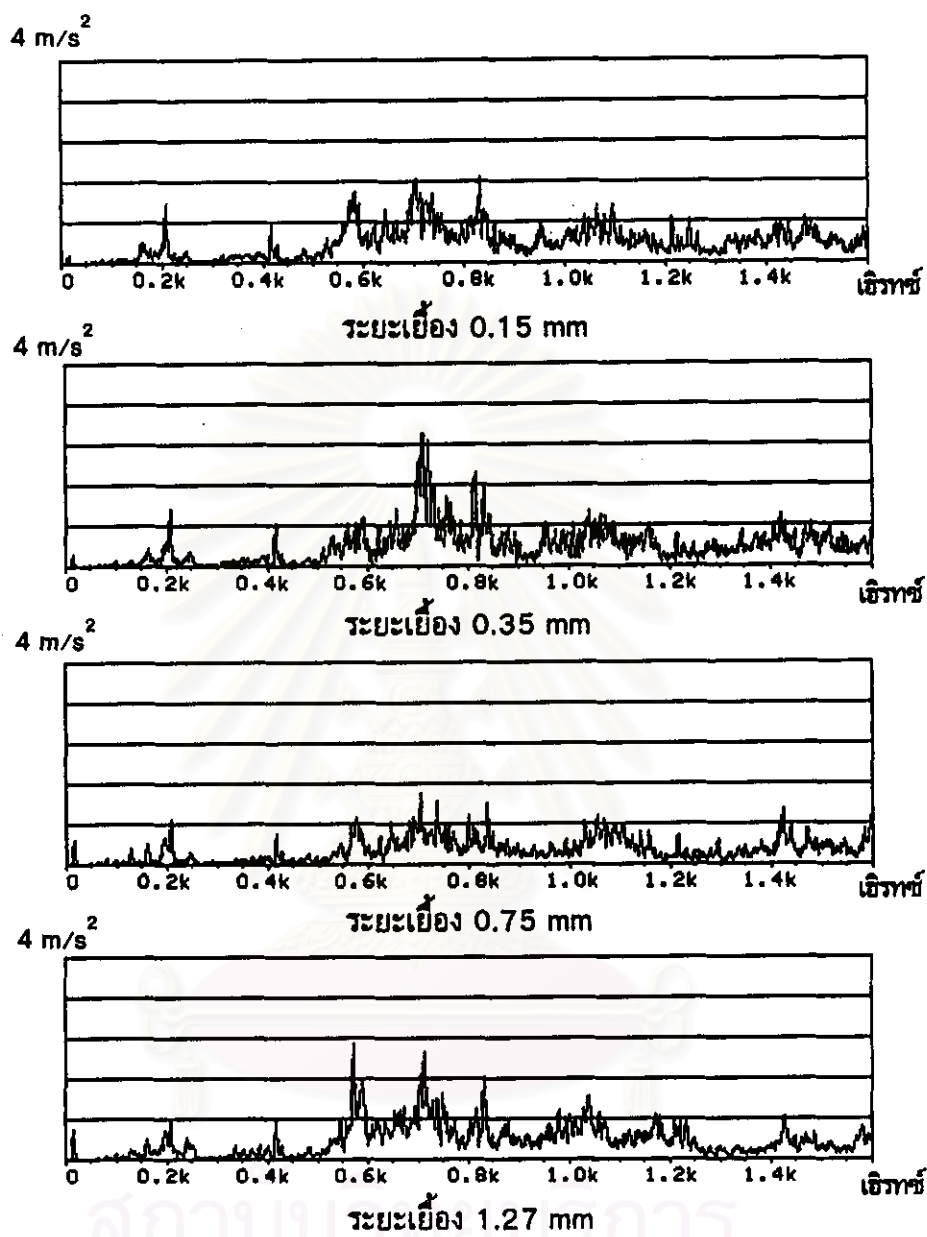
- 1) Peak และ RMS ไม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับเพิ่มขึ้น
- 2) P และ G ในแนวตั้ง ไม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับเพิ่มขึ้น
- 3) P และ G ในแนวนอน ค่าสัญญาณ P มีแนวโน้มสูงขึ้น ส่วนค่าสัญญาณ G มีแนวโน้มคงที่
- 4) 1xGMF 2xGMF และ 3xGMF ไม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับเพิ่มขึ้น
- 5) SBD-P และ SBD-G ค่าสัญญาณ SBD-P มีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อย ส่วนค่าสัญญาณ SBD-G มีแนวโน้มต่ำลงเล็กน้อย
- 6) 1/P และ 1/G ในแนวตั้ง ค่าสัญญาณ 1/P มีแนวโน้มสูงขึ้นและมีค่าสัญญาณอยู่ระหว่าง 0.4-1.6 dB ส่วนค่าสัญญาณ 1/G มีแนวโน้มคงที่
- 7) 1/P และ 1/G ในแนวนอน ค่าสัญญาณ 1/P มีแนวโน้มสูงขึ้นและมีค่าสัญญาณอยู่ระหว่าง 0.4-1.2 dB ส่วนค่าสัญญาณ 1/G มีแนวโน้มต่ำลงแล้วสูงขึ้น

6-4-2 ผลการทดลองชุดที่ 2

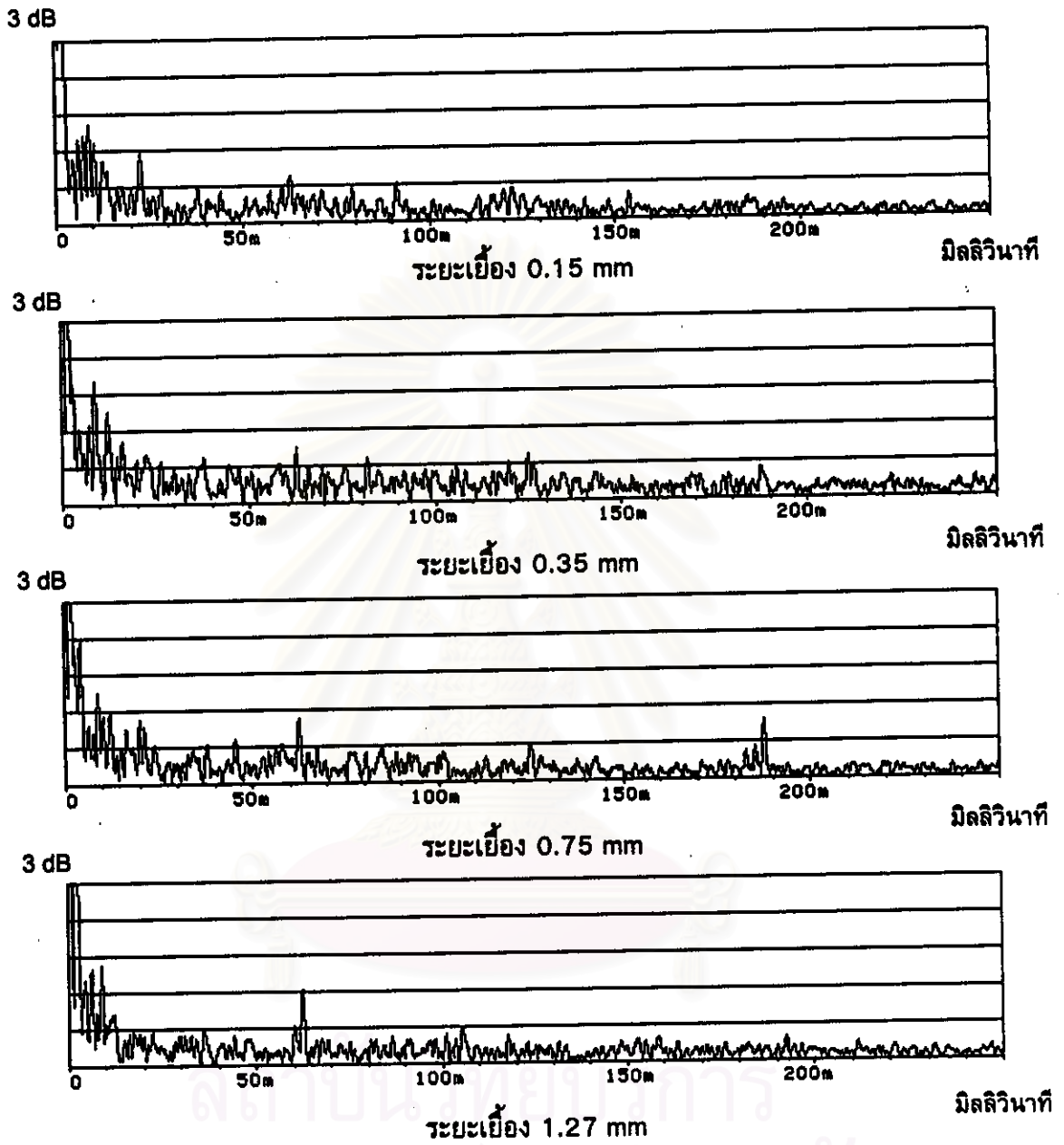
การทดลองชุดที่ 2 ชุดเฟืองหมุนด้วยความเร็วรอบ 960 รอบต่อนาทีและรับภาระ รูปที่ 6-13 และ 6-14 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณที่ตรวจวัดที่แบริ่ง 2 ทิศแนวตั้งและทิศแนวนอนตามลำดับ รูป 6-15 และ 6-16 แสดงเซปส์ตรัมของสัญญาณที่ตรวจวัดที่แบริ่ง 2 ทิศแนวตั้งและทิศแนวนอน ตามลำดับ



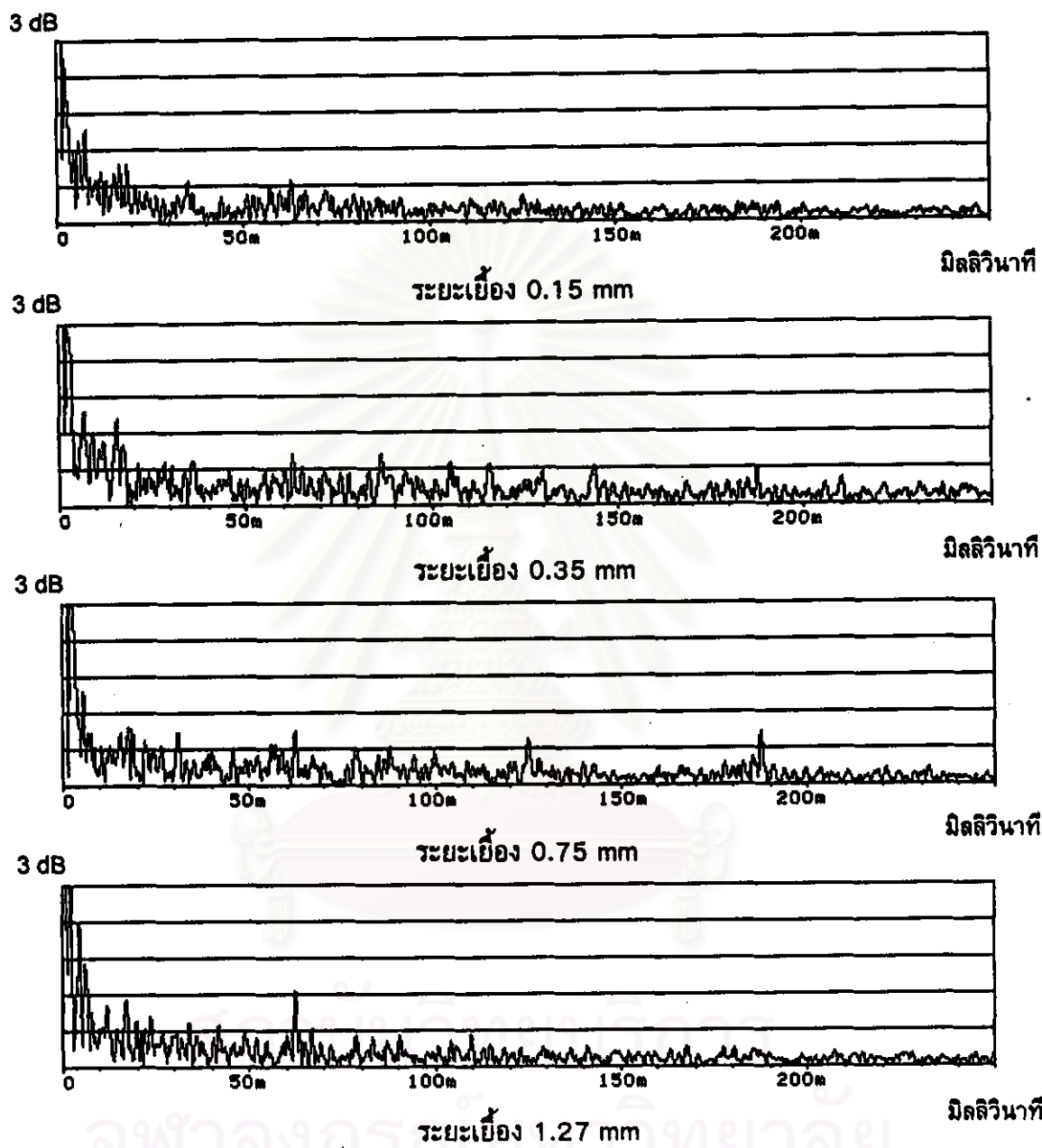
รูปที่ 6-13 สเปกตรัมของสัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟืองจากการทดลองชุดที่ 2 ตรวจวัดที่ แบริ่ง 2 ทิศแนวตั้ง



รูปที่ 6-14 สเปกตรัมของสัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟืองจากการทดลองชุดที่ 2
ตรวจวัดที่ แบริง 2 ทิศแนวนอน



รูปที่ 6-15 เซปัสตรัมของสัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟืองจากการทดลองชุดที่ 2
ตรวจวัดที่ แบร์ริง 2 ทิศแนวตั้ง



รูปที่ 6-16 เชปส์ตรัมของสัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟืองจากการทดลองชุดที่ 2
ตรวจวัดที่ แบริง 2 ทิศแนวนอน

จากรูปที่ 6-13 และ 6-14 สังเกตลักษณะสเปกตรัมของสัญญาณการสั่นสะเทือน สำหรับการทดลองชุดที่ 2 ดังนี้

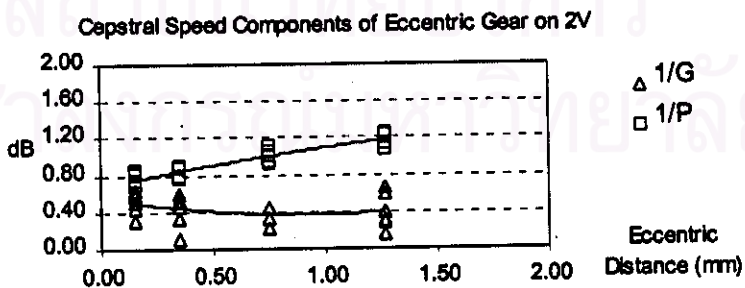
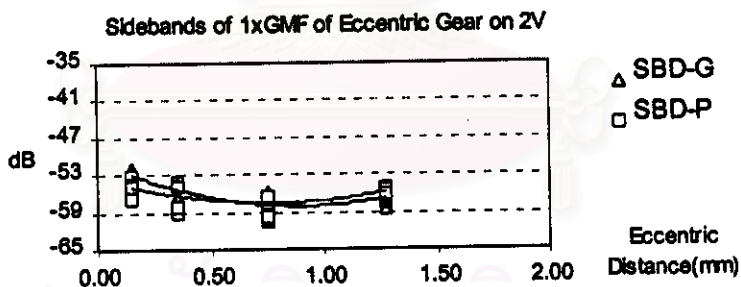
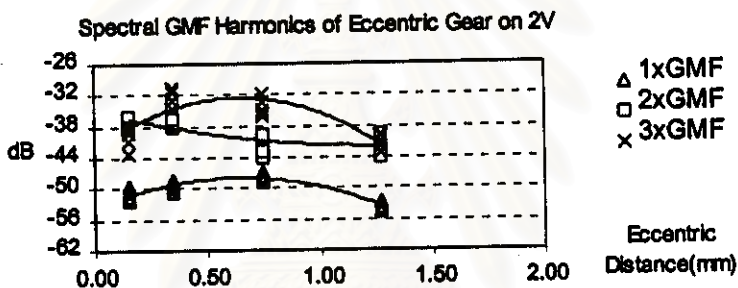
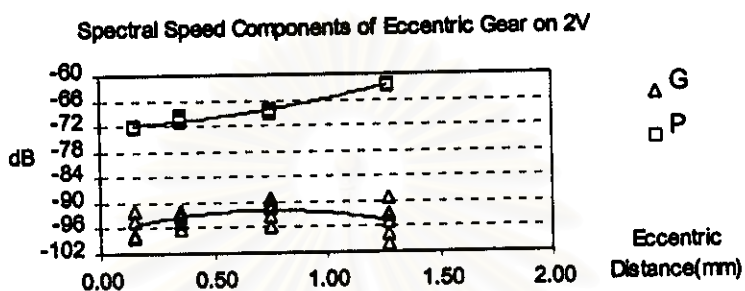
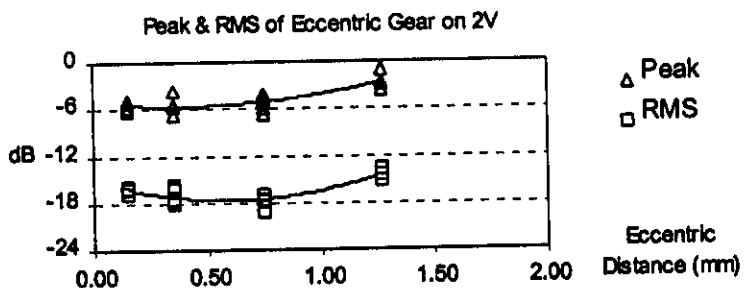
- 1) ที่ระยะเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับน้อยที่สุด สเปกตรัมของสัญญาณมีความซับซ้อนมาก สังเกตเห็นได้ยากกว่ามีชุดฮาร์โมนิกของ GMF และมีแถบความถี่ข้าง ระหว่างความถี่ 600-800 เฮิรตซ์สเปกตรัมมีแอมพลิจูดสูง
- 2) เมื่อเฟืองขับมีระยะเยื้องมากขึ้น สเปกตรัมมีลักษณะเปลี่ยนไป พบว่าสเปกตรัมในทิศแนวนอนมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดคือ ยอด P มีแนวโน้มสูงขึ้น แต่ไม่พบข้อมูลอื่นๆ ที่สามารถเปรียบเทียบได้ว่าเฟืองขับมีระยะเยื้องศูนย์กลางมากขึ้น

จากรูปที่ 6-15 และ 6-16 สังเกตลักษณะเซปส์ตรัมของสัญญาณการสั่นสะเทือน สำหรับการทดลองชุดที่ 2 ดังนี้

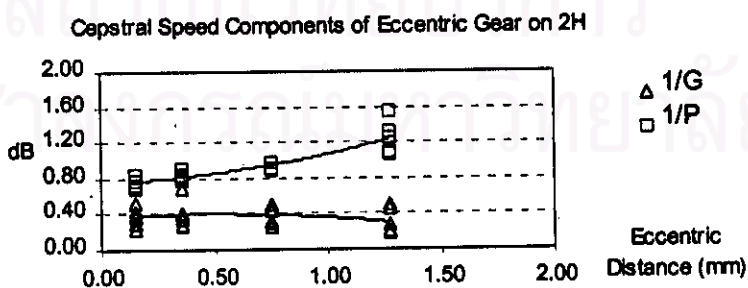
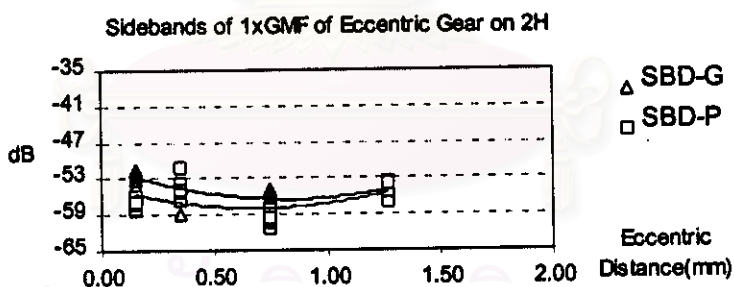
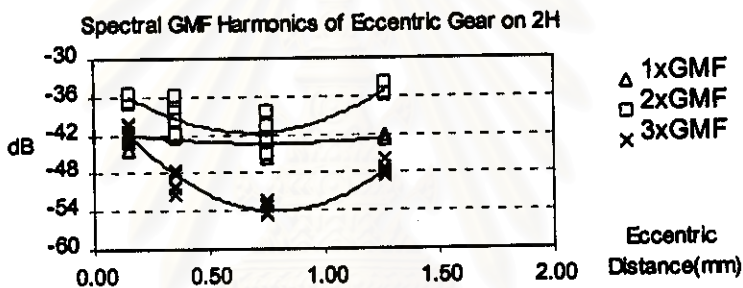
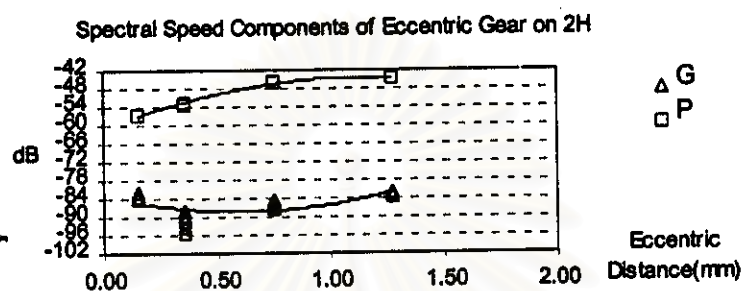
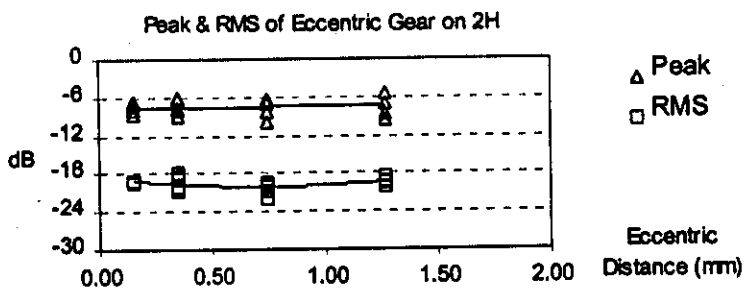
- 1) ที่ระยะเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับน้อยที่สุด สังเกตเห็นยอด 1/P และยอด 1/G ได้ยากเนื่องจาก มียอดเซปส์ตรัมมากมายที่มีแอมพลิจูดอยู่ในระดับเดียวกับยอด 1/P และยอด 1/G
- 2) เมื่อเฟืองขับมีระยะเยื้องมากขึ้น ยอด 1/P มีแนวโน้มสูงขึ้น

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณกับระยะเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับสำหรับการทดลองชุดที่ 2 ตรวจวัดที่แบริ่ง 2 ทิศแนวตั้งและแนวนอนแสดงในรูปที่ 6-17 และ 6-18 ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6-17 ค่าสัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟือง กับระยะเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับ
 ตรวจวัดที่แบร์ริง 2 ทิศแนวตั้ง สำหรับการทดลองชุดที่ 2



รูปที่ 6-18 ค่าสัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟือง กับระยะเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับ
ตรวจวัดที่แบร์ริง 2 ทิศแนวนอน สำหรับการทดลองชุดที่ 2

จากกราฟรูปที่ 6-17 และ 6-18 สังเกตการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณเมื่อระยะเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับมีมากขึ้น พบว่า

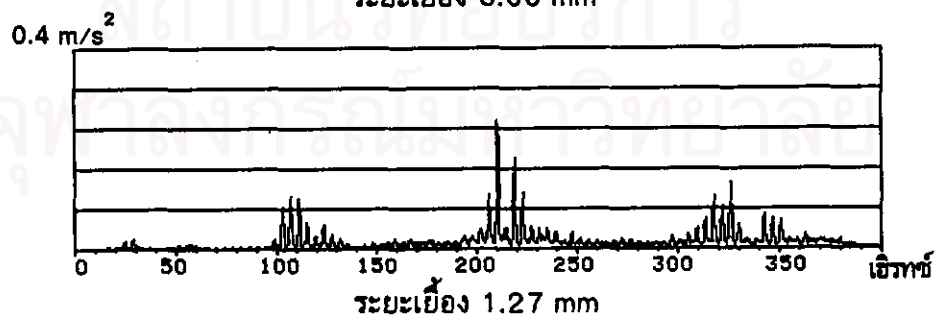
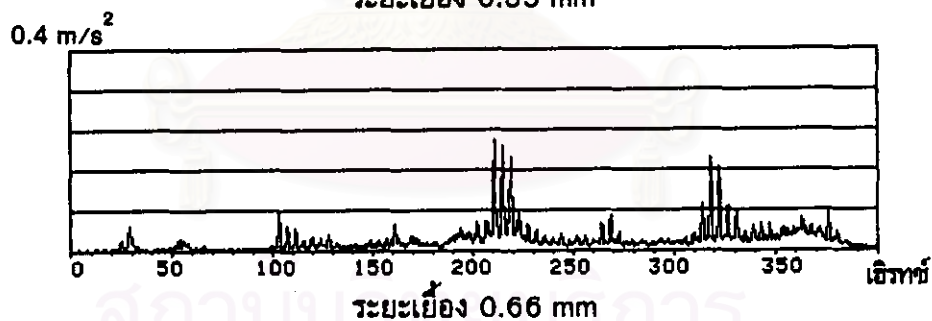
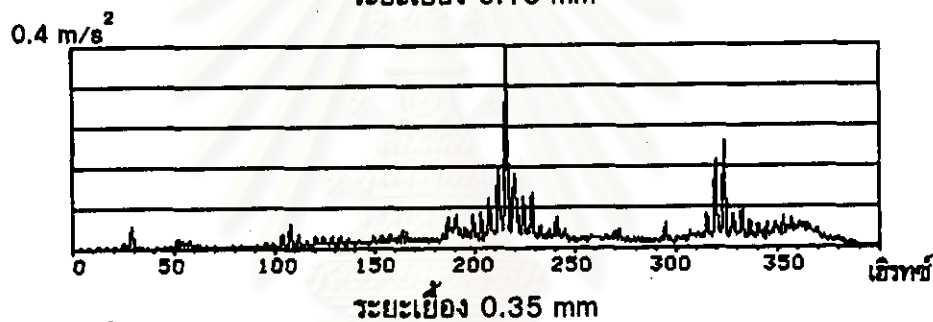
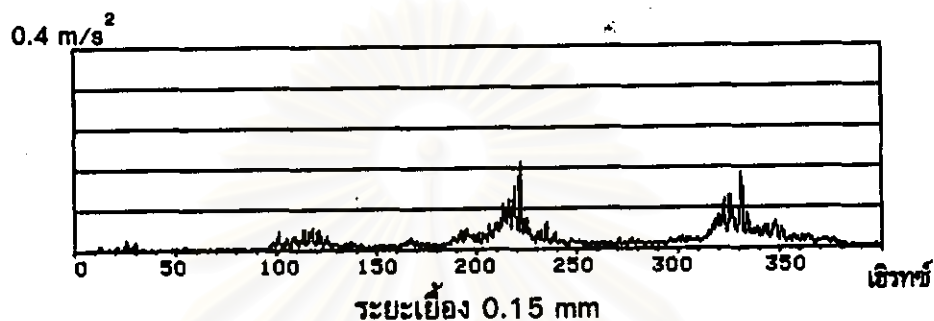
- 1) Peak และ RMS ไม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับเพิ่มขึ้น
- 2) P และ G ค่าสัญญาณ P มีแนวโน้มสูงขึ้น ส่วนค่าสัญญาณ G มีแนวโน้มคงที่ ค่าสัญญาณ P ในทิศแนวอนสูงกว่าค่าสัญญาณ P ในทิศแนวตั้งประมาณ 15-20 dB (5-10 เท่า)
- 3) 1xGMF 2xGMF และ 3xGMF ไม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับเพิ่มขึ้น
- 4) SBD-P และ SBD-G ไม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับเพิ่มขึ้น
- 5) 1/P และ 1/G ค่าสัญญาณ 1/P มีแนวโน้มสูงขึ้นและมีค่าสัญญาณอยู่ระหว่าง 0.8-1.2 dB ส่วนค่าสัญญาณ 1/G มีแนวโน้มคงที่



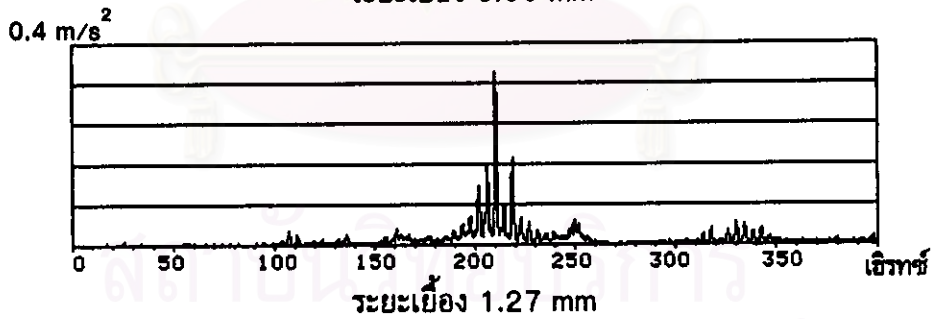
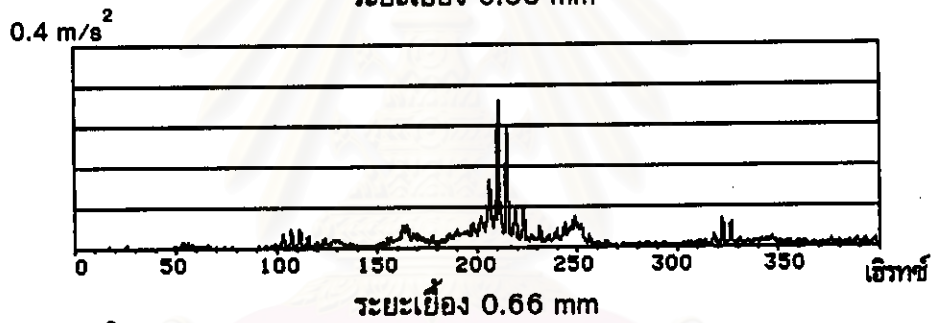
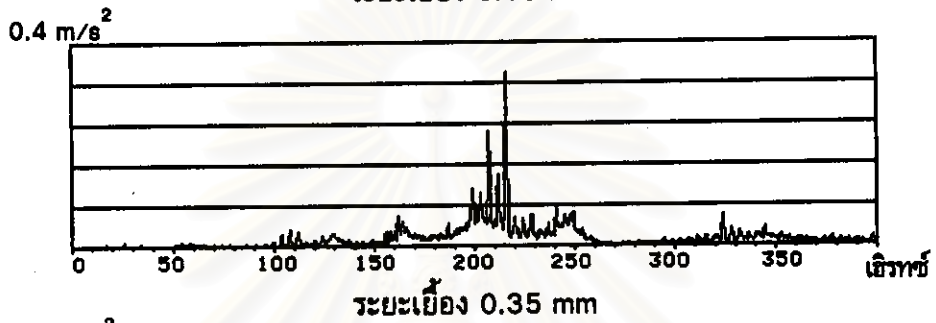
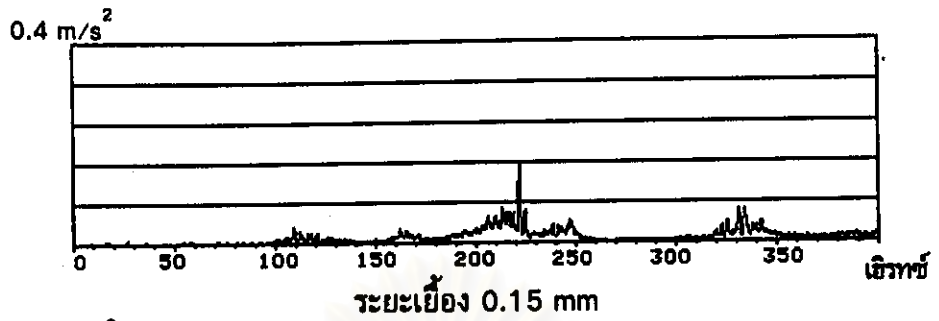
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6-4-3 ผลการทดลองชุดที่ 3

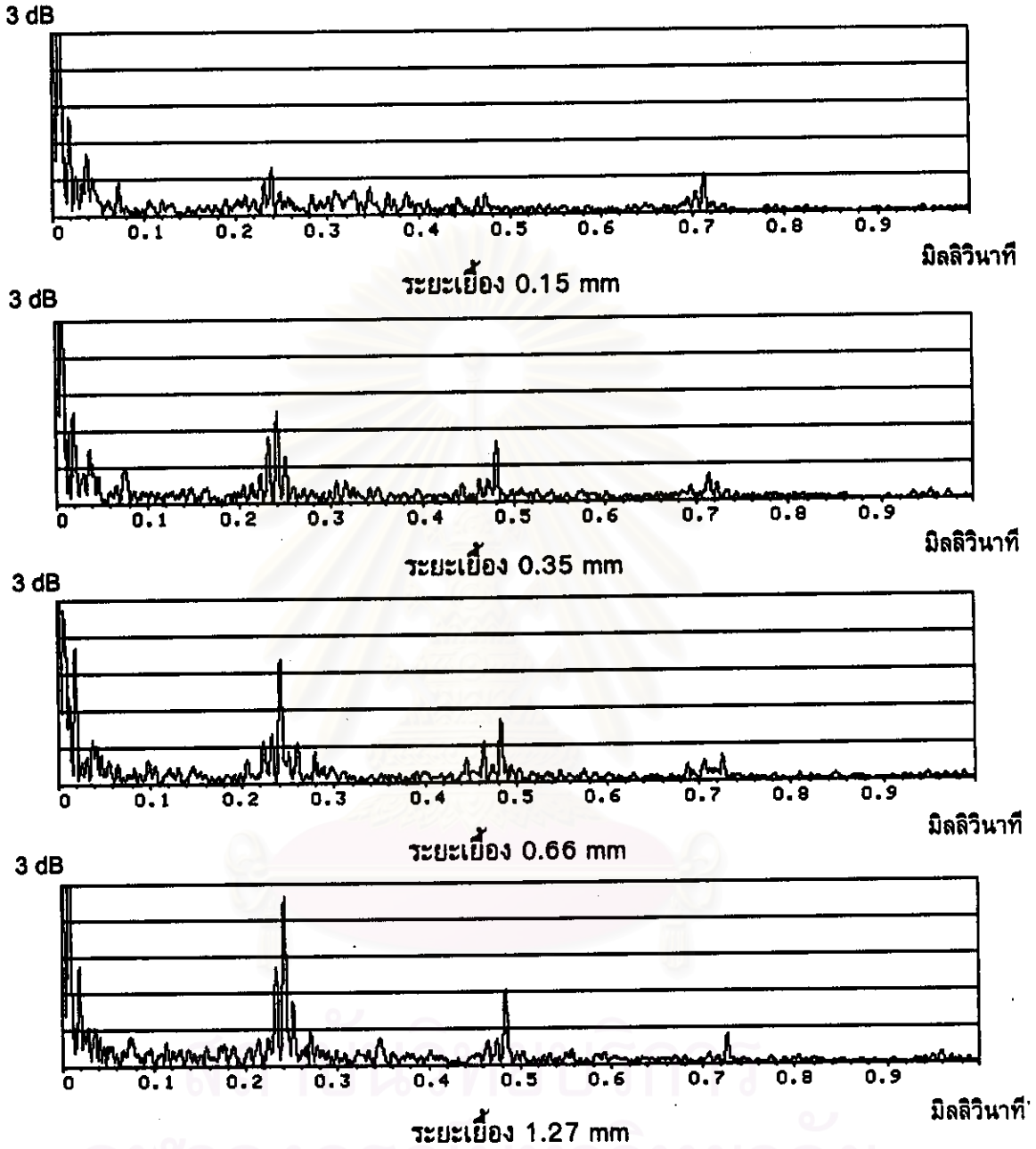
การทดลองชุดที่ 3 ชุดเฟืองหมุนด้วยความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาทีและไม่รับภาระ รูปที่ 6-19 และ 6-20 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณที่ตรวจวัดที่แบร็ง 2 ทิศแนวตั้งและทิศแนวนอน ตามลำดับ รูป 6-21 และ 6-22 แสดงเซปส์ตรัมของสัญญาณที่ตรวจวัดที่แบร็ง 2 ทิศแนวตั้งและทิศแนวนอน ตามลำดับ



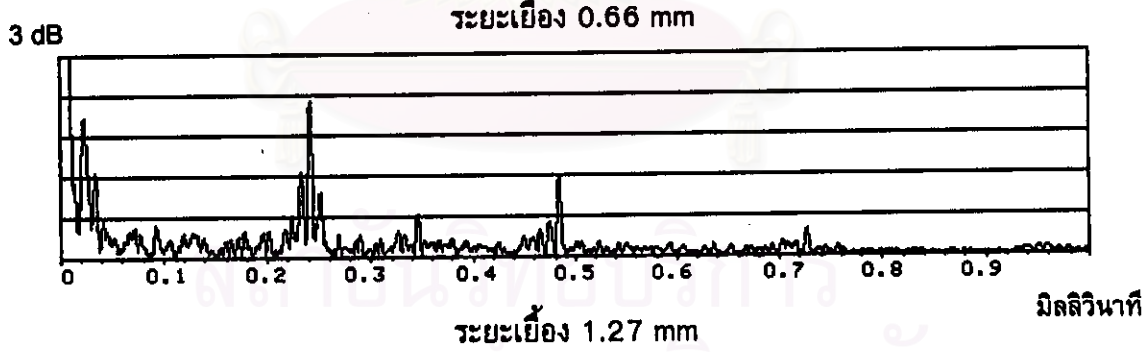
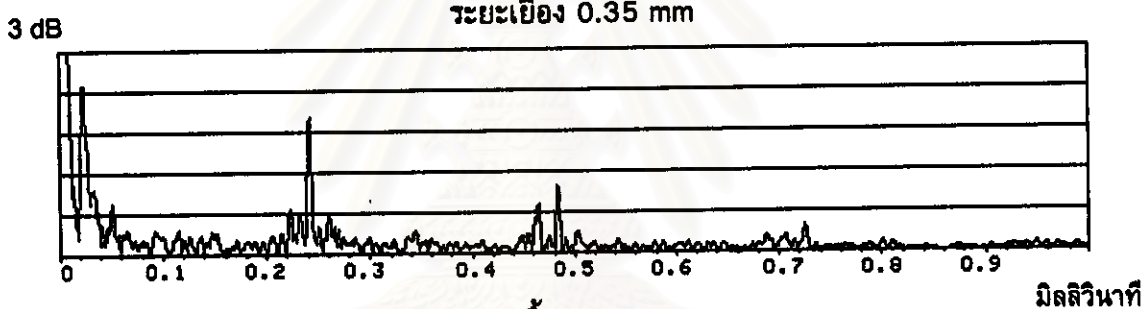
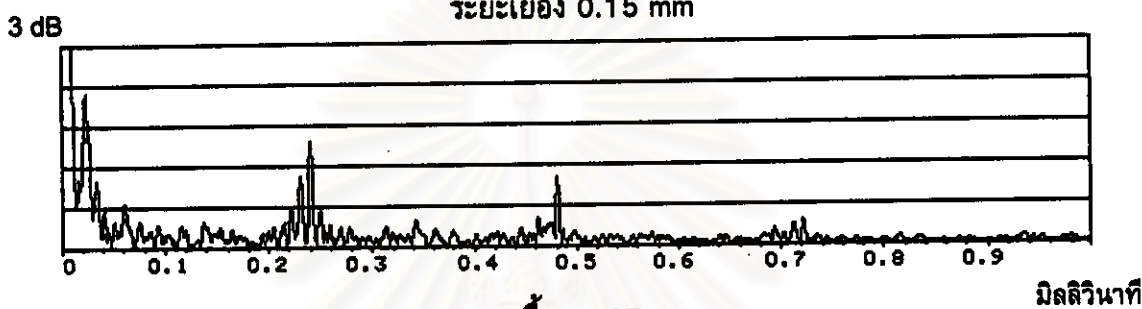
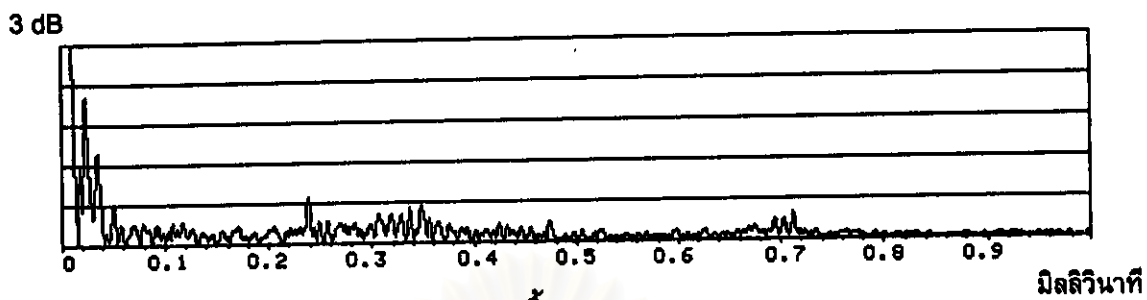
รูปที่ 6-19 สเปกตรัมของสัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟืองจากการทดลองชุดที่ 3 ตรวจวัดที่ แบร็ง 2 ทิศแนวตั้ง



รูปที่ 6-20 สเปกตรัมของสัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟืองจากการทดลองชุดที่ 3
ตรวจวัดที่ แบริง 2 ทิศแนวนอน



รูปที่ 6-21 เชปส์ตรัมของสัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟืองจากการทดลองชุดที่ 3
ตรวจวัดที่ แบริง 2 ทิศแนวตั้ง



รูปที่ 6-22 เซปส์ตรัมของสัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟืองจากการทดลองชุดที่ 3
ตรวจวัดที่ แบร์ริง 2 ทิศแนวนอน

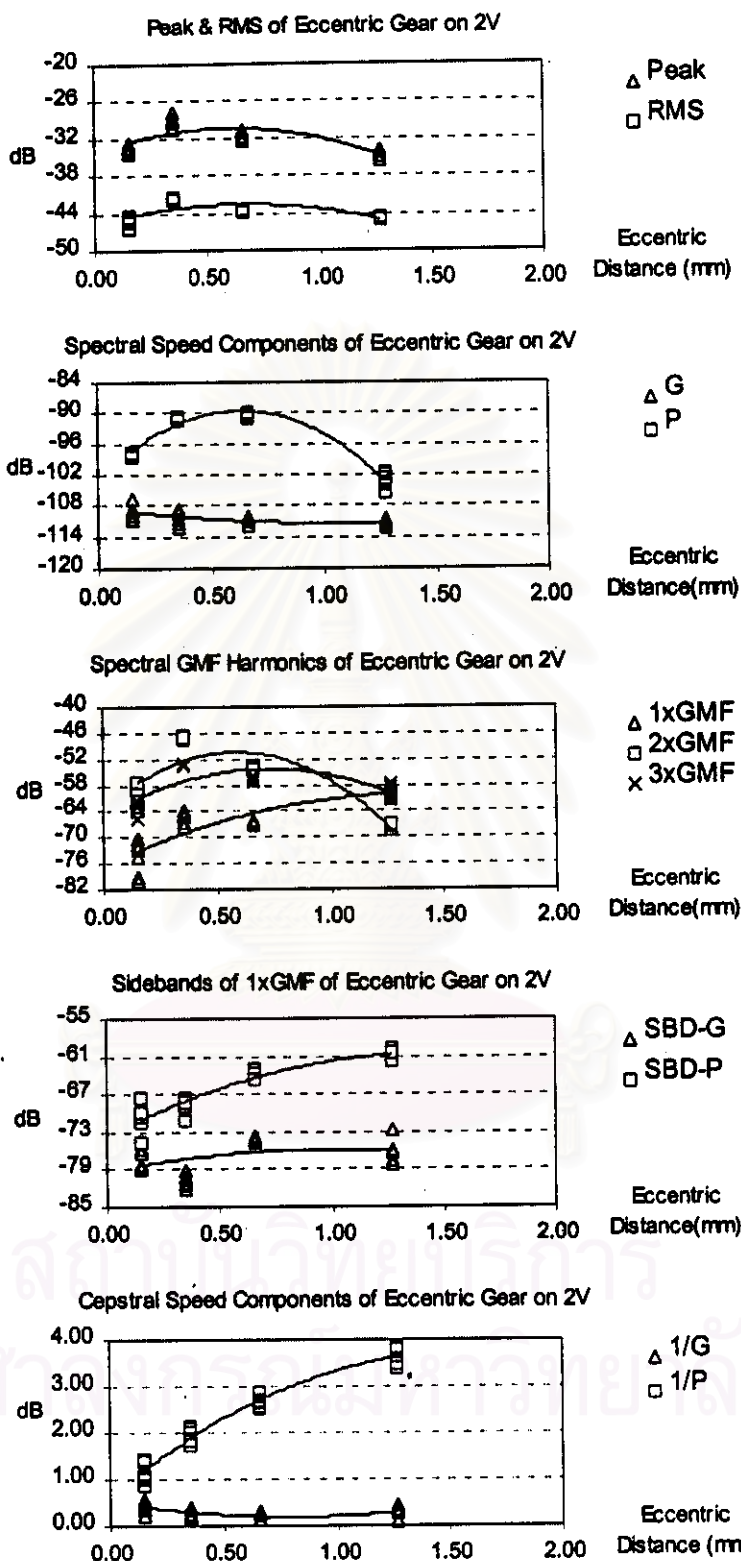
จากรูปที่ 6-19 และ 6-20 สังเกตลักษณะสเปกตรัมของสัญญาณการสั่นสะเทือน สำหรับการทดลองชุดที่ 3 ดังนี้

- 1) ที่ระยะเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับน้อยที่สุด สังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่าสเปกตรัมของสัญญาณ ประกอบด้วยยอด 1xGMF 2xGMF 3xGMF และแถบความถี่ข้าง มองเห็นยอด 2xGMF มีแอมพลิจูดสูงที่สุด
- 2) เมื่อเฟืองขับมีระยะเยื้องมากขึ้น สเปกตรัมมีลักษณะเปลี่ยนไป แถบความถี่ข้างสูงขึ้นและมีจำนวนยอดที่เห็นได้ชัดเจนมีมากขึ้น แต่ไม่สามารถเปรียบเทียบได้ว่าสเปกตรัมรูปไหนเป็นสเปกตรัมของชุดเฟืองที่มีระยะเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับมากกว่ากัน

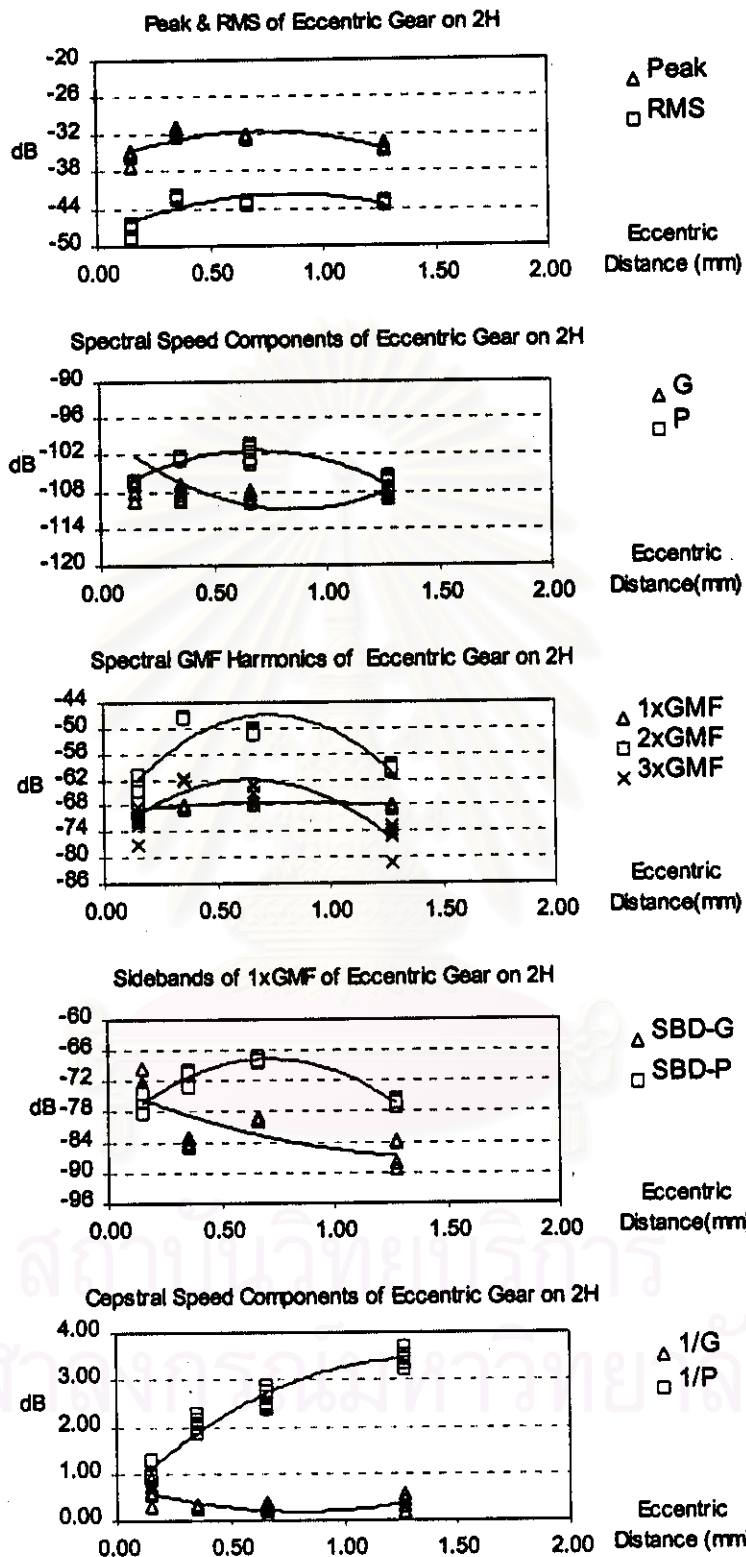
จากรูปที่ 6-21 และ 6-22 สังเกตลักษณะเซปส์ตรัมของสัญญาณการสั่นสะเทือน สำหรับการทดลองชุดที่ 3 ดังนี้

- 1) ที่ระยะเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับน้อยที่สุด สังเกตเห็นยอด 1/P และยอด 1/G ได้ชัดเจน
- 2) เมื่อเฟืองขับมีระยะเยื้องมากขึ้น ยอด 1/P มีแนวโน้มสูงขึ้น

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณกับระยะเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับสำหรับการทดลองชุดที่ 3 ตารางวัดที่แบริ่ง 2 ทิศแนวตั้งและแนวนอนแสดงในรูปที่ 6-23 และ 6-24 ตามลำดับ



รูปที่ 6-23 ค่าสัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟือง กับระยะเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับ ตระจวัดที่แมริง 2 ทิศแนวตั้ง สำหรับการทดลองชุดที่ 3



รูปที่ 6-24 ค่าสัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟือง กับระยะเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับ ตรวจวัดที่แบร์ริง 2 ทิศแนวนอน สำหรับการทดลองชุดที่ 3

จากกราฟรูปที่ 6-23 และ 6-24 สังเกตการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณเมื่อระยะเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับมีมากขึ้น พบว่า

- 1) Peak และ RMS ไม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับเพิ่มขึ้น
- 2) P และ G ไม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับเพิ่มขึ้น
- 3) 1xGMF 2xGMF และ 3xGMF ไม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับเพิ่มขึ้น
- 4) SBD-P และ SBD-G ทิศแนวตั้ง ค่าสัญญาณ SBD-P มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ส่วนค่าสัญญาณ SBD-G มีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อย ค่าสัญญาณ SBD-P สูงกว่าค่าสัญญาณ SBD-G ประมาณ 6-15 dB
- 5) SBD-P และ SBD-G ทิศแนวนอน ไม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับเพิ่มขึ้น
- 6) 1/P และ 1/G ค่าสัญญาณ 1/P มีแนวโน้มสูงขึ้นและมีค่าสัญญาณอยู่ระหว่าง 1.0-4.0 dB ส่วนค่าสัญญาณ 1/G มีแนวโน้มคงที่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6-5 อภิปรายผลการทดลอง

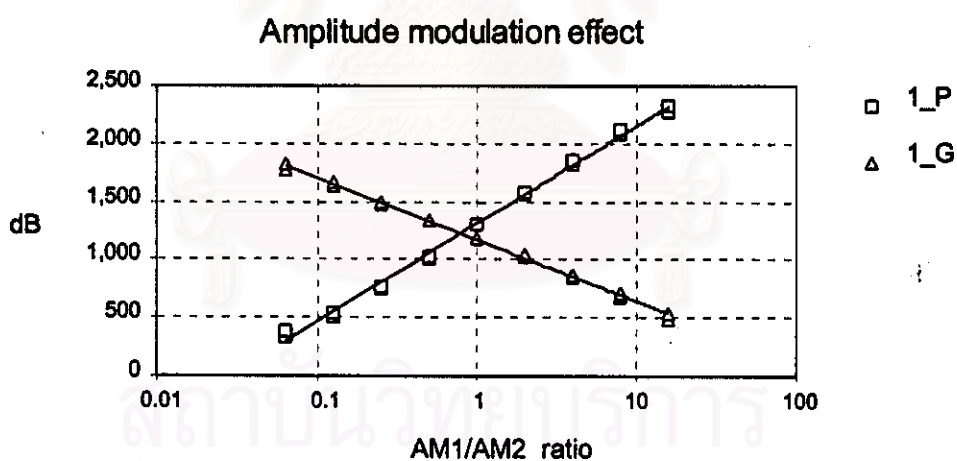
ชุดเฟืองที่มีปัญหาการเยื้องศูนย์ของเฟือง จะให้สเปกตรัมของสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ประกอบด้วย ชุดฮาร์มอนิกของ GMF ความถี่การหมุนของเฟืองที่เยื้องศูนย์ และชุดแถบความถี่ข้างที่มีระยะห่างความถี่เท่ากับความเร็วรอบหมุนของเฟืองที่เยื้องศูนย์ เมื่อชุดเฟืองมีปัญหาการเยื้องศูนย์มากขึ้น ความถี่การหมุนจะมีแอมพลิจูดสูงขึ้น และแถบความถี่ข้างจะมีแอมพลิจูดสูงขึ้น [11] และ [15]

จากผลการทดลอง สเปกตรัมของสัญญาณการสั่นสะเทือนประกอบด้วยยอดสเปกตรัม $1 \times \text{GMF}$ $2 \times \text{GMF}$ $3 \times \text{GMF}$ และแถบความถี่ข้าง เมื่อเฟืองขับเยื้องศูนย์มากขึ้น แถบความถี่ข้างมีแอมพลิจูดสูงขึ้นและมีจำนวนยอดแถบความถี่ข้างที่สังเกตเห็นมีมากขึ้น แต่ไม่สามารถเปรียบเทียบได้ว่าสเปกตรัมรูปไหนเป็นสเปกตรัมของชุดเฟืองที่มีระยะเยื้องศูนย์ของเฟืองขับมากกว่ากัน

ค่าสัญญาณ SBD-P ที่ได้จากการทดลองไม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเฟืองขับเยื้องศูนย์มากขึ้น น่าจะเป็นเพราะว่า เมื่อชุดเฟืองมีการเยื้องศูนย์มากขึ้น การมอดูเลตแอมพลิจูดมีแนวโน้มรุนแรงขึ้น แถบความถี่ข้างโดยรวมมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่การกระจายแอมพลิจูดของแถบความถี่ข้างมีลักษณะไม่สม่ำเสมอเฉพาะยอดโดยยอดหนึ่ง การสังเกตการเปลี่ยนแปลงของยอดแถบความถี่ข้างเพียงยอดโดยยอดหนึ่งอาจจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ไม่สอดคล้องกับระยะเยื้องศูนย์ที่เพิ่มขึ้น

การสั่นสะเทือนที่เกิดจากมวลเยื้องศูนย์หมุนรอบแกนเพลลาจะให้ยอดสเปกตรัมที่ความถี่เท่ากับความเร็วรอบของการหมุนของมวล โดยที่ขนาดแอมพลิจูดจะเป็นสัดส่วนกับ ระยะเยื้องขนาดมวล และความเร็วรอบหมุน ในกรณีที่เฟืองเยื้องศูนย์ ก็เปรียบได้กับมวลของเฟืองหมุนเยื้องศูนย์กับแกนเพลลา ดังนั้นการสั่นสะเทือนจะให้ยอดสัญญาณที่ความถี่การหมุนของเฟืองที่เยื้องศูนย์ด้วย แต่จากผลการทดลอง ยอด P ซึ่งเป็นยอดสเปกตรัมที่ความถี่การหมุนของเฟืองขับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเฟืองขับเยื้องศูนย์มากขึ้น เฉพาะผลในการทดลองชุดที่ 2 เท่านั้น ทั้งนี้ น่าจะเป็นเพราะว่า ที่ความเร็วรอบหมุนต่ำ การเยื้องศูนย์ของเฟืองมีผลน้อยและสาเหตุที่ค่าสัญญาณ P ของสัญญาณที่ตรวจวัดในทิศแนวนอนมีแอมพลิจูดสูงกว่าที่ตรวจวัดในแนวตั้ง น่าจะเป็นเพราะว่าความแข็งแกร่งของระบบในแนวนอนมีน้อยกว่าความแข็งแกร่งของระบบในแนวตั้งและเนื่องจากตำแหน่งของยอด P มีความถี่ต่ำ (เมื่อเทียบกับความถี่ธรรมชาติของระบบ) ดังนั้นค่าสัญญาณ P ของสัญญาณในทิศแนวนอนจึงมีแอมพลิจูดสูงกว่าค่าสัญญาณ P ของสัญญาณในทิศแนวตั้ง

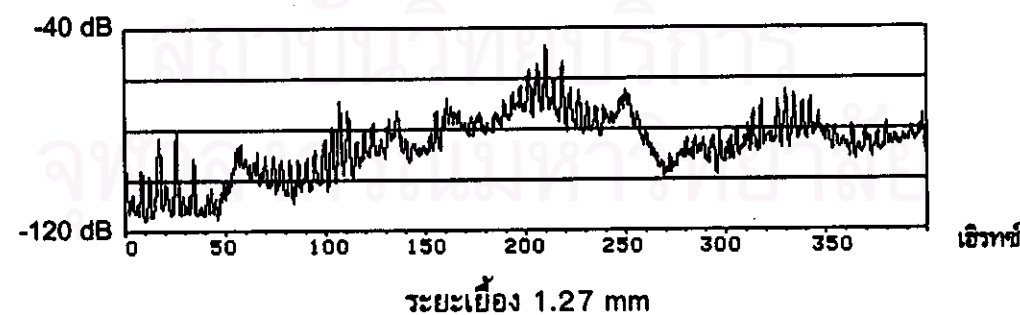
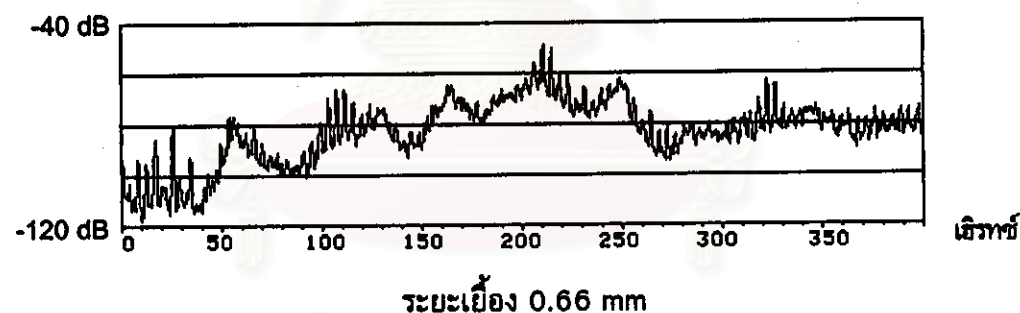
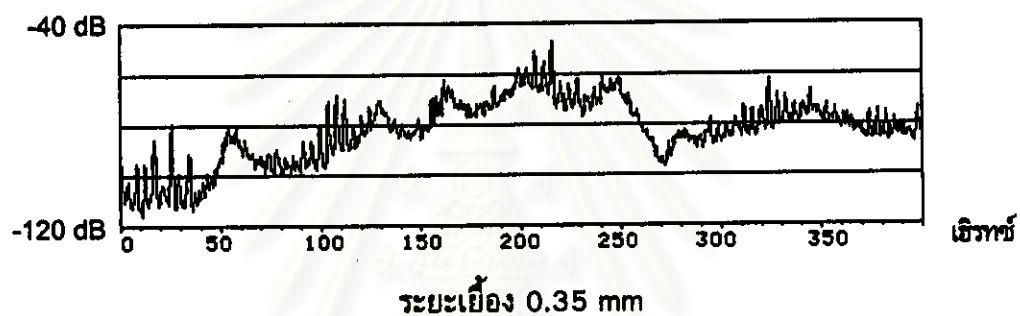
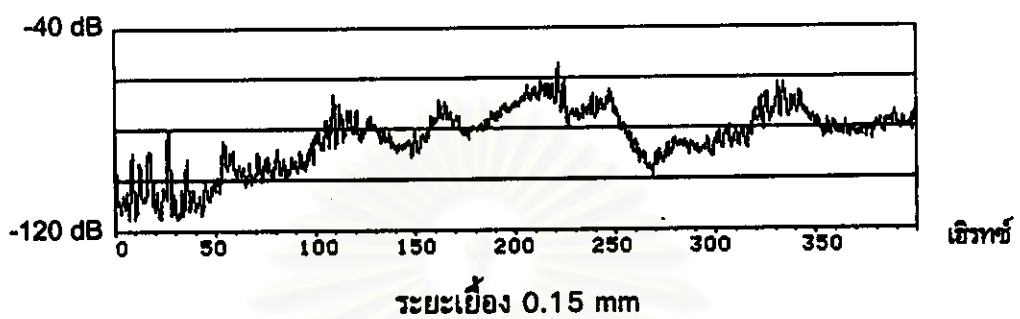
ยอด 1/P ให้ข้อมูลที่บอกภาวะเป็นคาบของชุดแถบความถี่ข้างที่มีระยะห่างความถี่เท่ากับความเร็วรอบหมุนของเฟืองขับ เมื่อเฟืองขับมีระยะเยื้องศูนย์กลางมากขึ้น แต่เฟืองตามมีระยะเยื้องศูนย์กลางคงที่ การมอดูเลตแอมพลิจูดจากปัญหาการเยื้องศูนย์กลางมีความรุนแรงมากขึ้น ชุดแถบความถี่ข้างมีแนวโน้มสูงขึ้น ยอด 1/P จึงสูงขึ้นตามไปด้วย และจากการศึกษาผลการแปลงสัญญาณจากแบบจำลองในบทที่ 4 ซึ่งแสดงในรูปที่ 6-25 ในรูปเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างยอดเซปส์ตรัม 1_P และ 1_G กับค่าสัดส่วนการมอดูเลตแอมพลิจูดของเฟือง 1 และเฟือง 2 ($AM1/AM2$) แกนตั้งเป็นแกนนิจูดของยอดเซปส์ตรัมมีหน่วยเป็น dB แกนนอนเป็นค่าสัดส่วน ($AM1/AM2$) ซึ่งมีสเกลเป็นลอการิทึม สังเกตจากกราฟ ทดลองให้การมอดูเลตแอมพลิจูดจากปัญหาของเฟือง 2 (ใช้สัญลักษณ์ AM2) มีค่าคงที่ค่าหนึ่ง แต่แปรเปลี่ยนการมอดูเลตแอมพลิจูดจากปัญหาของเฟือง 1 (ใช้สัญลักษณ์ AM1) ให้สูงขึ้น แล้วเปรียบเทียบค่าสัญญาณ 1_P และ 1_G พบว่าถ้า AM1 สูงขึ้น แล้วค่าสัญญาณ 1_P จะสูงขึ้นแต่ค่าสัญญาณ 1_G จะต่ำลง แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณ 1_P และ 1_G ในรูปที่ 6-25 คล้ายกับที่เกิดขึ้นในการทดลอง กล่าวคือ เมื่อเกิดการเยื้องศูนย์กลางของเฟืองขับมากขึ้นการมอดูเลตแอมพลิจูดจากเฟืองขับจะรุนแรงขึ้น ยอดเซปส์ตรัมของเฟืองขับมีแนวโน้มสูงขึ้น คล้ายกับที่ AM1 สูงขึ้น แล้วยอดเซปส์ตรัมของเฟือง 1 มีแนวโน้มสูงขึ้น



รูปที่ 6-25 ความสัมพันธ์ระหว่างยอดเซปส์ตรัม 1_P และ 1_G กับค่าสัดส่วน ($AM1/AM2$) จากผลการศึกษาในบทที่ 4

รูปที่ 6-26 เป็นสเปกตรัมของสัญญาณจากการทดลองชุดที่ 3 ตรวจวัดที่แบริง 2 ทิศแนวนอน ซึ่งเป็นสัญญาณเดียวกับรูปที่ 6-20 แต่แสดงแอมพลิจูดบนสเกลลอการิทึม สเกลลอการิทึมทำให้สังเกตเห็นยอดแถบความถี่ข้างที่มีแอมพลิจูดต่ำได้ชัดเจนขึ้น จากรูปจะเห็นว่าเมื่อเฟืองขับเยื้องศูนย์กลางมากขึ้น ยอดแถบความถี่ข้างจะมีจำนวนยอดมากขึ้นแต่ไม่สามารถใช้ยอด

โดยอดหนึ่งมาเปรียบเทียบระดับการเยื้องศูนย์ได้ ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับเซปส์ตรัมในรูปที่ 6-22 ซึ่งเป็นเซปส์ตรัมของสัญญาณในรูปที่ 6-20 แล้วพบว่าเซปส์ตรัมให้ผลการวิเคราะห์ปัญหาที่ถูกต้องง่ายและรวดเร็วกว่าการวิเคราะห์สเปกตรัม



รูปที่ 6-26 สเปกตรัมของสัญญาณจากการทดลองชุดที่ 3 ตรวจวัดที่เบริง 2 ทิศแนวนอน แสดงแอมพลิจูดบนสเกลลอการิทึม

6-6 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า สเปกตรัมของสัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟืองที่มีปัญหาการเยื้องศูนย์ของเฟือง ประกอบด้วย ชุดฮาร์มอนิกของความถี่ GMF ความถี่การหมุนของเฟืองที่เยื้องศูนย์ และแถบความถี่ข้างที่มีระยะห่างความถี่เท่ากับความเร็วรอบของเฟืองที่เยื้องศูนย์ เมื่อเฟืองเยื้องศูนย์มากขึ้น สัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้

- 1) แถบความถี่ข้างมีแนวโน้มสูงขึ้น
- 2) ยอดความถี่การหมุนของเฟืองที่เยื้องศูนย์มีแนวโน้มสูงขึ้น สังเกตได้ง่ายขึ้นเมื่อเฟืองหมุนด้วยความเร็วรอบสูงและตรวจวัดสัญญาณในทิศแนวนอน
- 3) ยอดเซปส์ตรัมที่ควิเฟรนซีเท่ากับ $1/(ความเร็วรอบหมุนของเฟืองที่เยื้องศูนย์)$ สูงขึ้น

จากผลการทดลองนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ตรวจสอบการเยื้องศูนย์ของเฟืองในงานติดตั้งชุดเฟืองได้ด้วยการวิเคราะห์สเปกตรัมและเซปส์ตรัมของสัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟืองที่กำลังทำการติดตั้ง อย่างไรก็ตาม เซปส์ตรัมให้ผลการวิเคราะห์ปัญหาการเยื้องศูนย์ของเฟืองได้ถูกต้อง และยังวิเคราะห์ได้ง่ายและรวดเร็วกว่าการวิเคราะห์สเปกตรัม

ผลการศึกษาแบบจำลองสัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟืองในบทที่ 4 มีประโยชน์ในการช่วยเสริมความเข้าใจการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนเมื่อชุดเฟืองมีปัญหาการเยื้องศูนย์ของเฟือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวิเคราะห์เซปส์ตรัมของสัญญาณ