

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการวิจัยและการวิจารณ์ผลการวิจัยที่กล่าวถึงในบทนี้ จะกำหนดจากหัวข้อที่ดำเนินการวิจัย ซึ่งประกอบด้วยเรื่องการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนที่เกิดจากการถูกกระตุ้นในช่วงความถี่ 20 - 30,000 Hz การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนที่เกิดจากการชำรุดโดยตรงของแบริ่ง ซึ่งทำการวัดในช่วงความถี่ 0.5 - 400 Hz (การวัดโดยตรงแบบไม่ใช้อุปกรณ์ปรับปรุงสัญญาณ และการวัดโดยใช้อุปกรณ์ปรับปรุงสัญญาณ) ผลการประเมินค่า mounted resonance การกรองสัญญาณออก ผลการทดสอบหาอัตราการใช้ของรอยแตกของรางนอกแบริ่ง ปัญหาและอุปสรรคในการวิจัย สุดท้ายเป็นการนำผลวิจัยไปใช้ในงานซ่อมบำรุงรักษาจริง

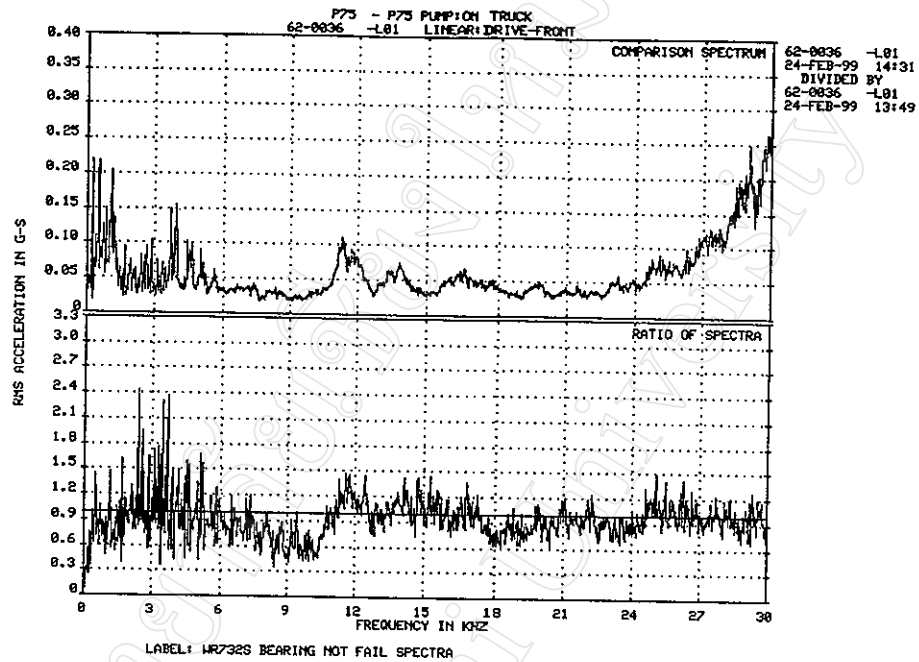
4.1 ผลการวัดการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการถูกกระตุ้นในช่วงความถี่ 20 - 30,000 Hz

ผลการวัดการสั่นสะเทือนในช่วงความถี่ 20 - 30,000 Hz จะแสดงในรูปของอัตราส่วนของแอมพลิจูดที่ความถี่ต่าง ๆ ในช่วง 20 - 30,000 Hz โดยการเอาแอมพลิจูดของการวัดอ้างอิง ณ จุดซึ่งแบริ่งยังมีสภาพดี เป็นตัวหารและการวัดในครั้งถัดมาเป็นตัวตั้ง ผลการวัดการสั่นสะเทือนในรูปของอัตราส่วนของแอมพลิจูดได้แยกให้เห็นชัดเจน ถึงการเปลี่ยนแปลงของการสั่นสะเทือน โดยแบ่งขั้นตอนการชำรุดของแบริ่งเป็น 3 ช่วง คือ การสั่นสะเทือนในช่วงแบริ่งยังไม่เกิดการชำรุด, ช่วงทำดำนที่แบริ่ง และช่วงที่แบริ่งมีการชำรุด ดังแสดงตามรูป 4.1 - 4.6 สำหรับการติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยสลักเกลียวและแม่เหล็กที่จุดวัดด้านหน้าของปั๊มไฮดรอลิค (L01) สำหรับการติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยสลักเกลียวและแม่เหล็กที่จุดวัดด้านหลังของปั๊มไฮดรอลิค (L02) ก็จะได้ผลในทำนองเดียวกันกับจุดวัดด้านหน้าของปั๊มไฮดรอลิค

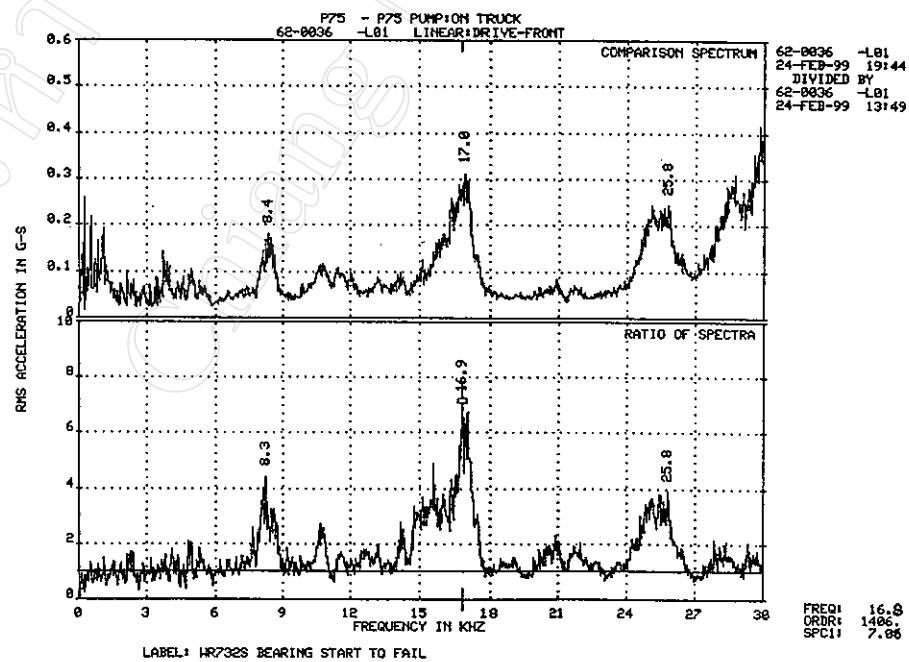
เมื่อนำผลของการวัดที่จุดวัดด้านหน้า (L01) และจุดวัดด้านหลัง (L02) มาเรียงลำดับตั้งแต่แบริ่งยังไม่เกิดการชำรุด จนถึงจุดที่แบริ่งเกิดการชำรุด โดยเรียงลำดับตั้งแต่ตำแหน่งจุดวัดด้านหน้าติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยสลักเกลียวและแม่เหล็ก ไปจนถึงตำแหน่งจุดวัดด้านหลังติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยสลักเกลียวและแม่เหล็กจะได้ดังแสดงตามรูป 4.7 - 4.10 ตามลำดับ ซึ่งจะสังเกตเห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของ spectrum และมีการเพิ่มขึ้นของแอมพลิจูดใน 3 ช่วงความถี่ที่สำคัญคือ ช่วง 7-9 kHz, 15 - 18 kHz และช่วง 24 - 27 kHz สำหรับข้อมูลการทดสอบรอบอีก 8 ครั้ง ที่ทดสอบได้ผลในทำนองเดียวกัน ซึ่งได้แสดงผลไว้ในภาคผนวก จ

จากรูป 4.1 - 4.10 เมื่อนำข้อมูลที่ทำการวัดทุกครั้ง มาลงเปรียบเทียบในตารางโดยกำหนดให้มีค่าอัตราส่วนของแอมพลิจูดสูงสุด 8 ค่าแรก และให้มีค่าสูงสุดของอัตราส่วนของแอมพลิจูดในช่วงต่ำกว่า 5,000 Hz อย่างน้อยครั้งละ 1 ค่าด้วย เพื่อจะตรวจสอบว่าในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 5,000 Hz มีการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างไร ตัวอย่างตารางแสดงไว้ในภาคผนวก ฉ จากตารางดังกล่าวเมื่อนำค่าสูงสุดของอัตราส่วนของแอมพลิจูดในแต่ละครั้งของการวัดมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของแอมพลิจูดกับจำนวนครั้งที่ทำการวัด ในช่วงความถี่ 5-30 kHz โดยพิจารณาเอาเฉพาะค่าสูงสุดใน 3 ช่วงความถี่ที่สำคัญดังกล่าว

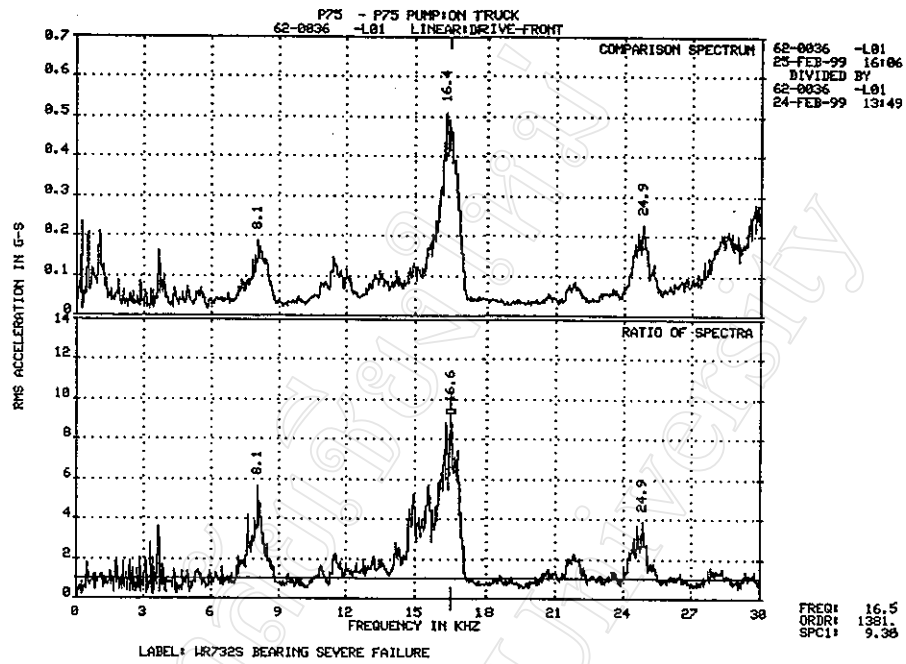
แล้วข้างต้น ทั้งจุดวัดด้านหน้าและด้านหลังของปั๊มไฮดรอลิก ทั้งการติดตั้งหัววัดด้วยสลักเกลียวและแม่เหล็กจะ
ได้กราฟดังแสดงในรูป 4.11 - 4.19 (รวมทั้ง 9 คัน)



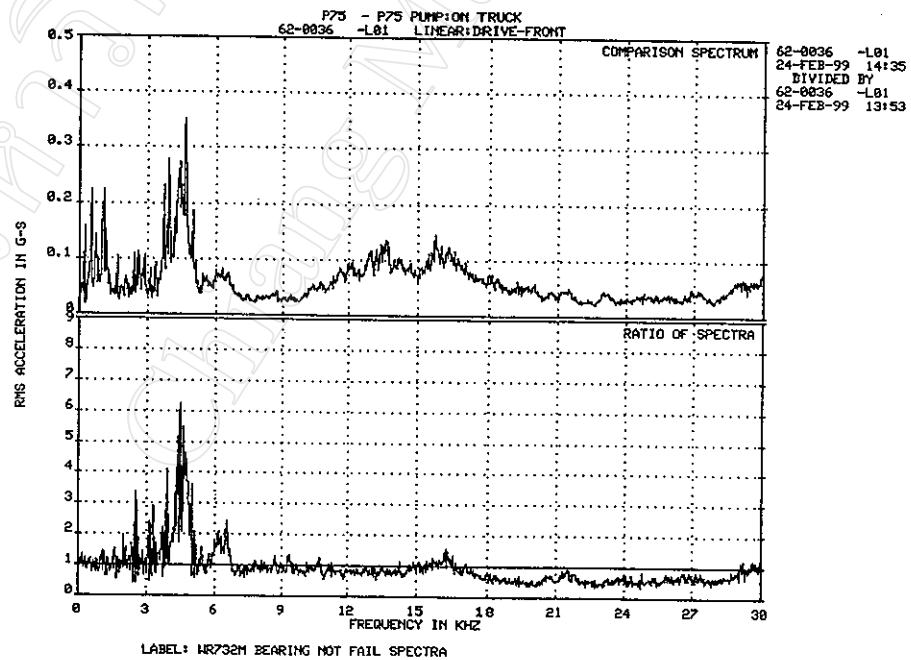
รูป 4.1 อัตราส่วนของแอมพลิจูด จุดวัด L01S เมื่อเบริงยังไม่เกิดการชำรุด



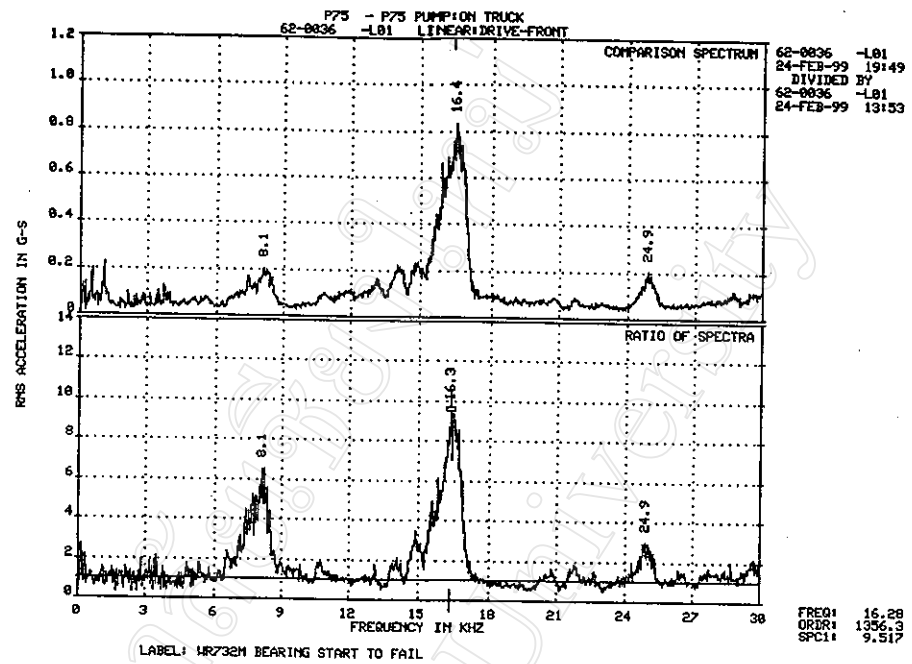
รูป 4.2 อัตราส่วนของแอมพลิจูด จุดวัด L01S เมื่อเริ่มทำตำหนิ



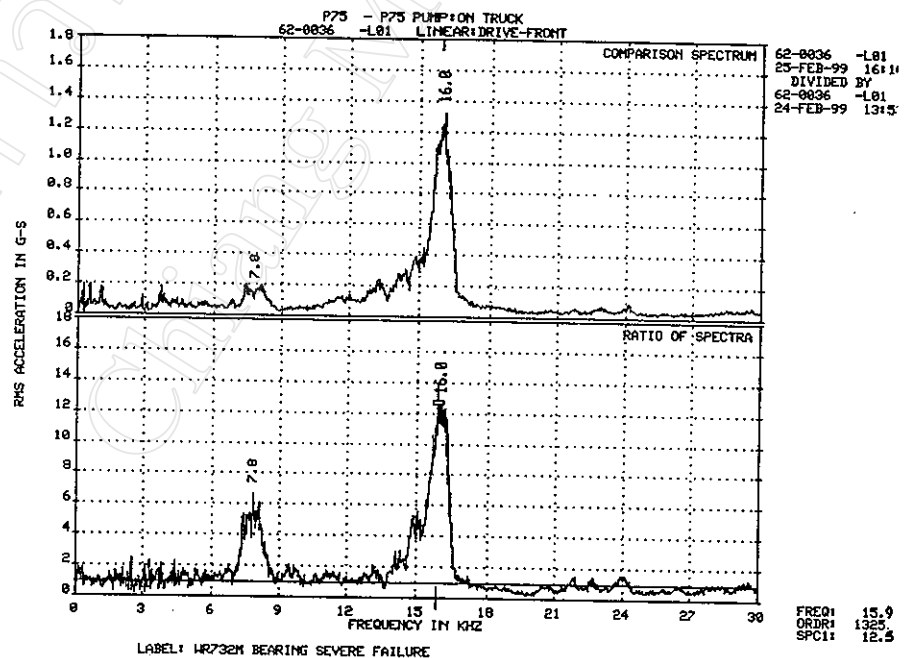
รูป 4.3 อัตราส่วนของแอมพลิจูด จุดวัดL01S เมื่อเบริงเกิดการชำรุดรุนแรง



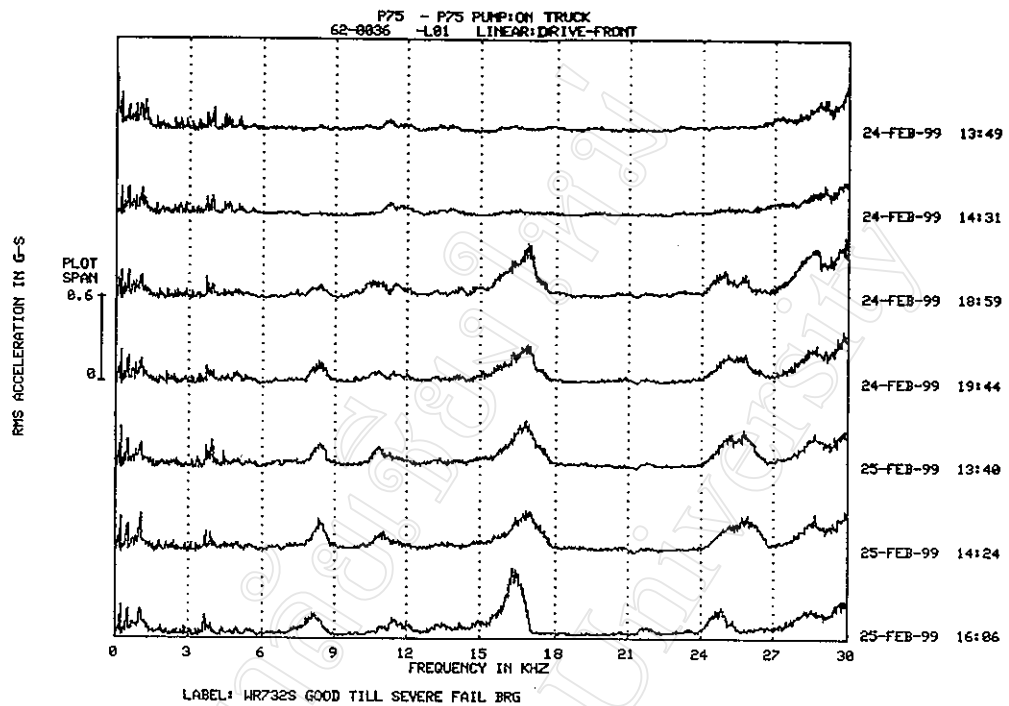
รูป 4.4 อัตราส่วนของแอมพลิจูด จุดวัดL01M เมื่อเบริงยังไม่เกิดการชำรุด



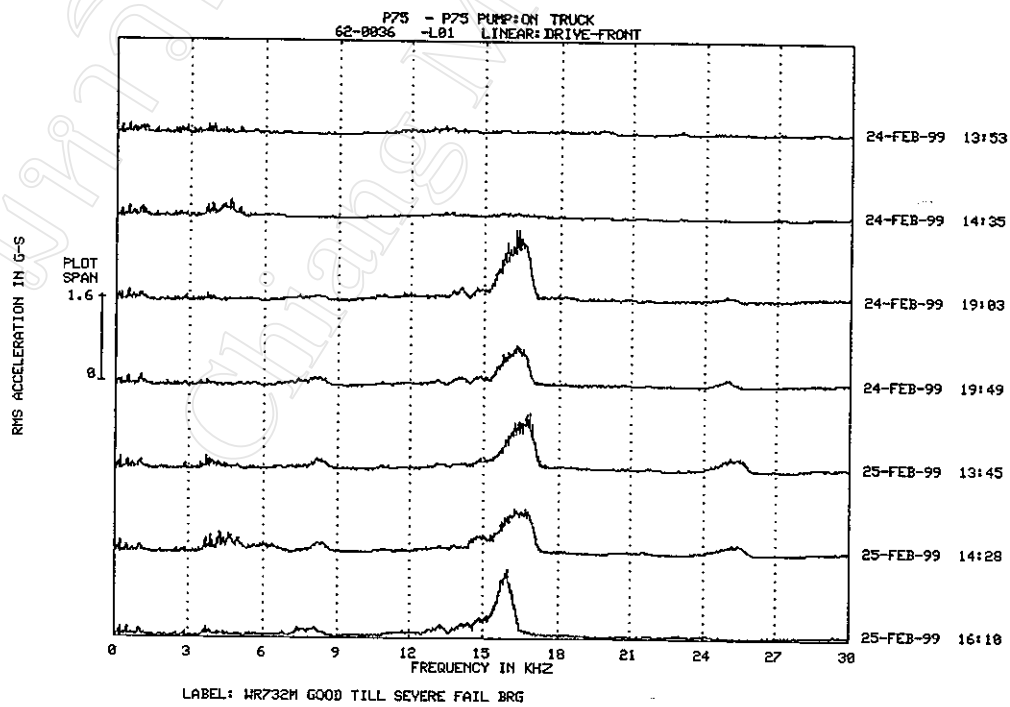
รูป 4.5 อัตราส่วนของแอมพลิจูด จุดวัด L01M เมื่อเริ่มทำงาน



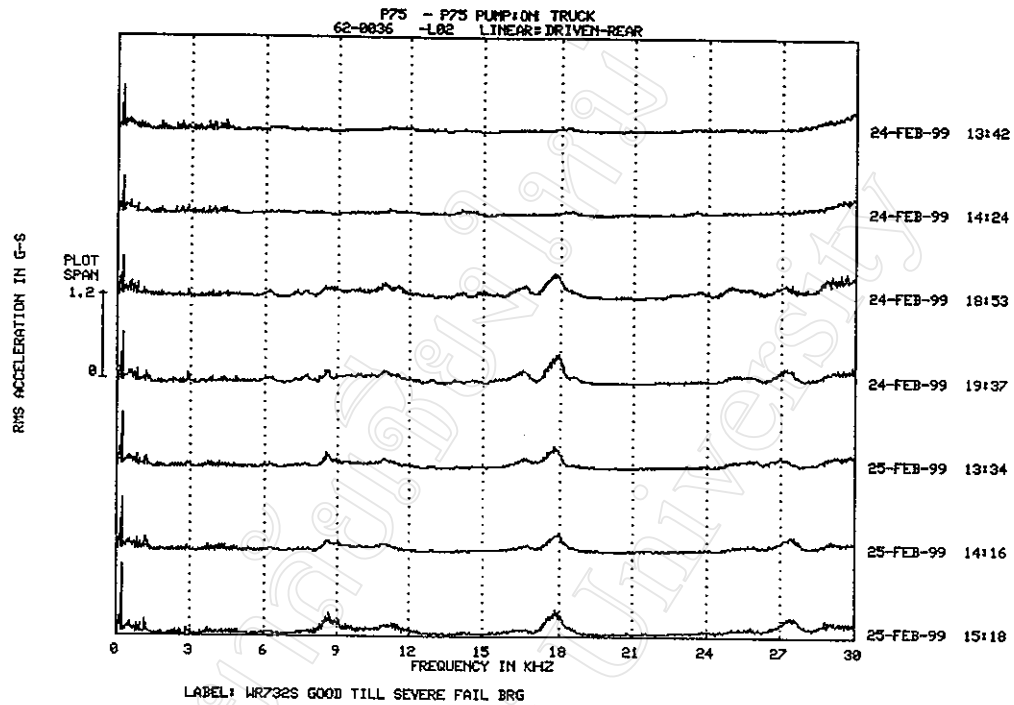
รูป 4.6 อัตราส่วนของแอมพลิจูด จุดวัด L01M เมื่อเริ่มเกิดการชำรุดรุนแรง



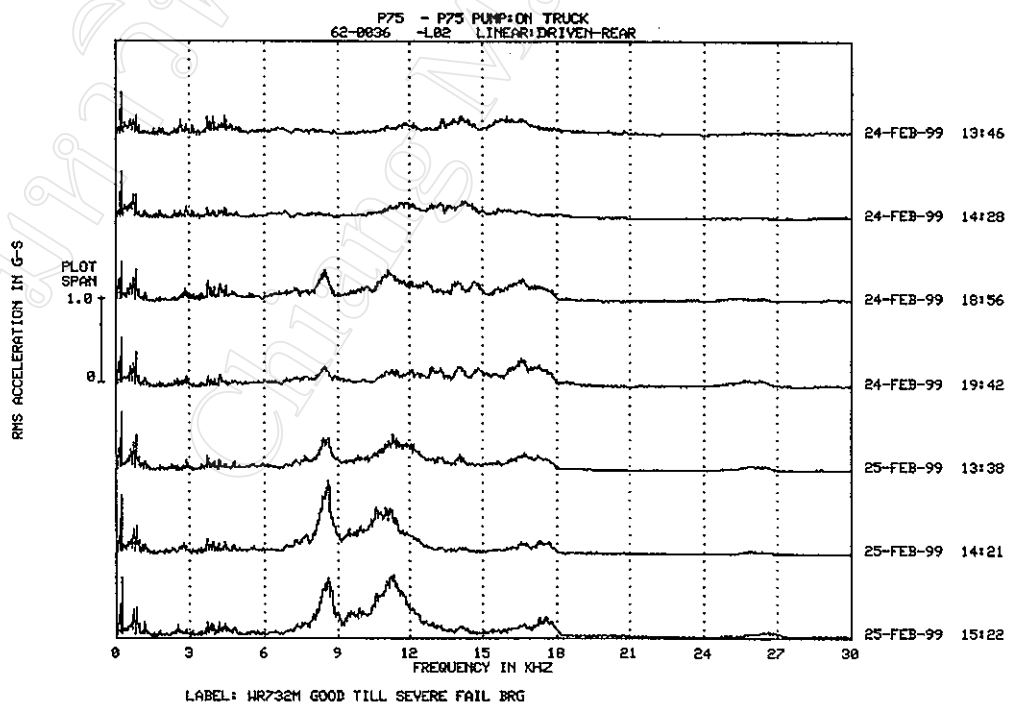
รูป 4.7 Spectra ที่ 30 KHz จุดวัด L01S ตั้งแต่เบรียงยังไม่ชำรุดจนถึงจุดที่ชำรุดรุนแรง



รูป 4.8 Spectra ที่ 30 KHz จุดวัด L01M ตั้งแต่เบรียงยังไม่ชำรุดจนถึงจุดที่ชำรุดรุนแรง



รูป 4.9 Spectra ที่ 30 kHz จุดวัด L02S ตั้งแต่เบรียงยังไม่ชำรุดจนถึงจุดที่ชำรุดรุนแรง

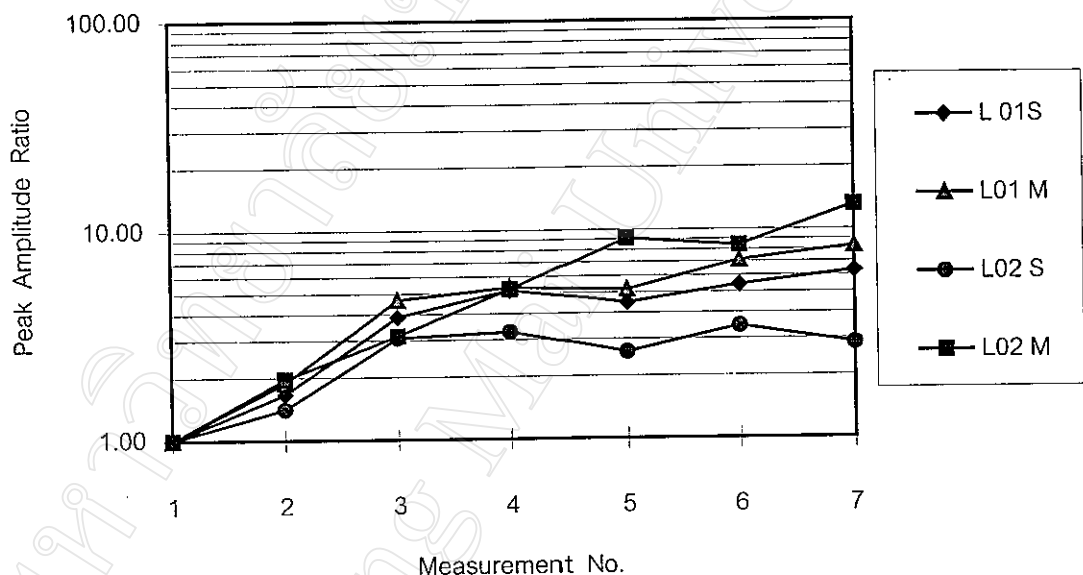


รูป 4.10 Spectra ที่ 30 kHz จุดวัด L02M ตั้งแต่เบรียงยังไม่ชำรุดจนถึงจุดที่ชำรุดรุนแรง

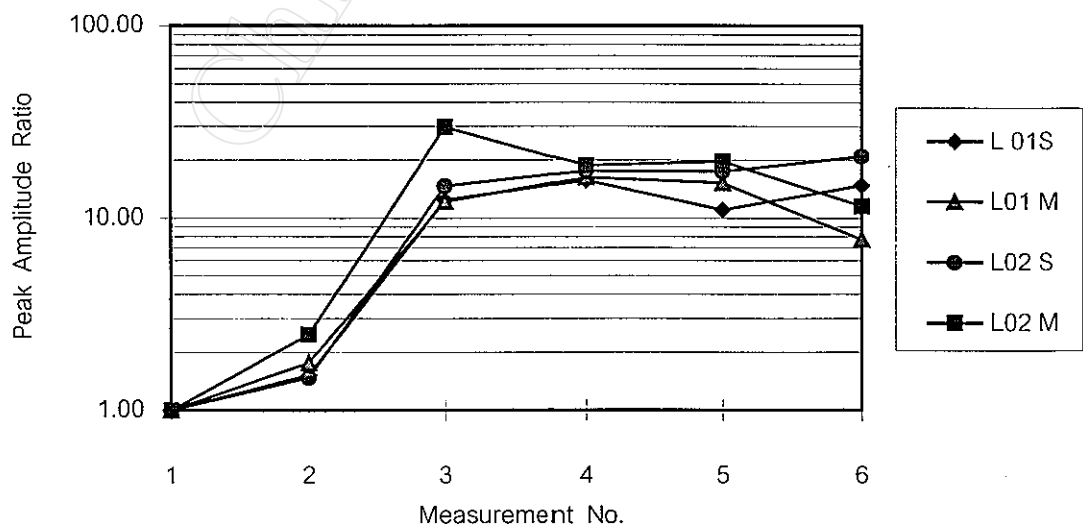
จากรูป 4.11 - 4.19 เมื่อได้ทำให้เบรียงมีรอยตำหนิเกิดขึ้นที่ผิวรายนอกของเบรียงแล้ว และดำเนินการให้ภาระแก่เบรียงและทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนเป็นระยะ ๆ ไปจนเบรียงเกิดการชำรุด เมื่อนำค่าต่ำสุดของ

อัตราส่วนของแอมพลิจูดสูงสุดใน 3 ช่วงความถี่ที่สำคัญที่เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนเท่าของจุดอ้างอิง ทั้งจุดวัดด้านหน้า และด้านหลังของปั๊มไฮดรอลิคตลอดช่วงของการวัดมาแสดงจะได้ค่าดังแสดงในตาราง 4.1 สำหรับการติดตั้ง หัววัดความเร่งด้วยสลักเกลียว อัตราส่วนของแอมพลิจูดที่เพิ่ม มีค่าต่ำสุดที่ 2.2 เท่า ค่าเฉลี่ย 5.70 เท่า ค่าช่วง 2.2 - 14.6 เท่า ส่วนการติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยแม่เหล็ก อัตราส่วนที่เพิ่ม มีค่าต่ำสุดที่ 3.0 เท่า ค่าเฉลี่ย 6.4 เท่า และค่าช่วง 3.0 - 11.5 เท่า

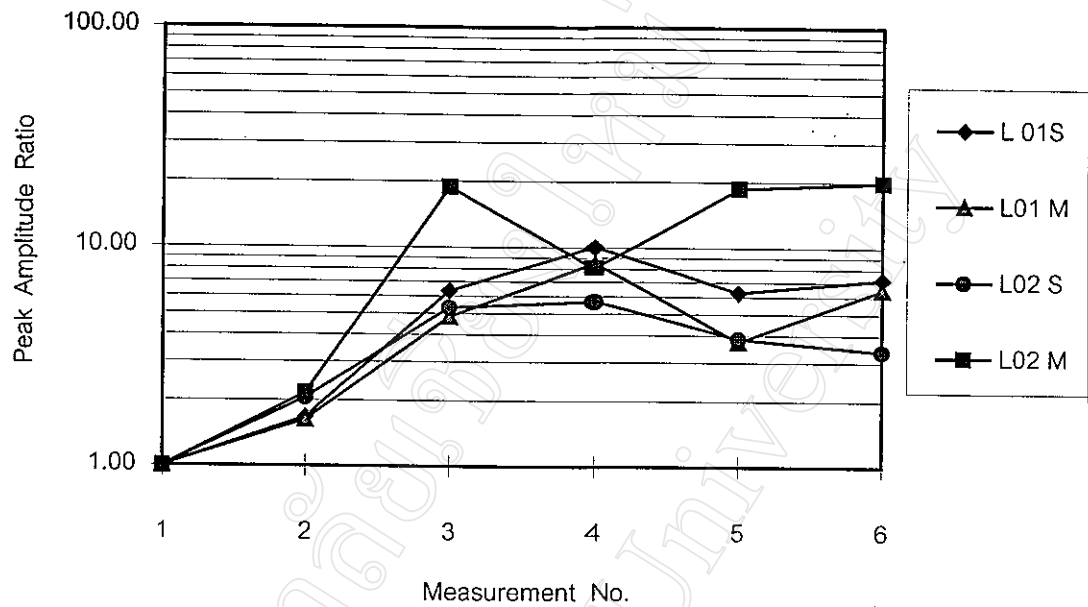
การวัดในขั้นตอนนี้เกิดปัญหาคือ ในช่วงที่อุณหภูมิของน้ำมันไฮดรอลิคต่ำกว่า 60°C ค่าการสั่นสะเทือนจะสูงและจะมีผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมาก ได้แก้ไขโดยการเริ่มทดสอบที่อุณหภูมิ ตั้งแต่ 60°C เป็นต้นไปและที่จุดวัดเดียวกัน อุณหภูมิแตกต่างกันไม่เกิน 3°C รายละเอียดของข้อมูลได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก



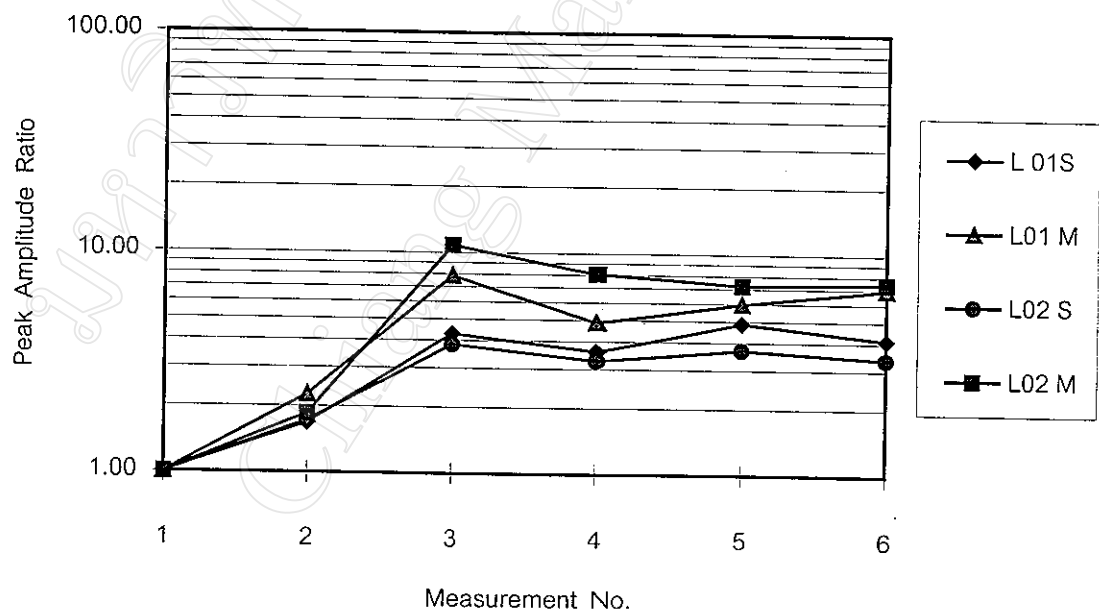
รูป 4.11 Peak amplitude ratio ใน 3 ช่วงความถี่ รท 62-0046



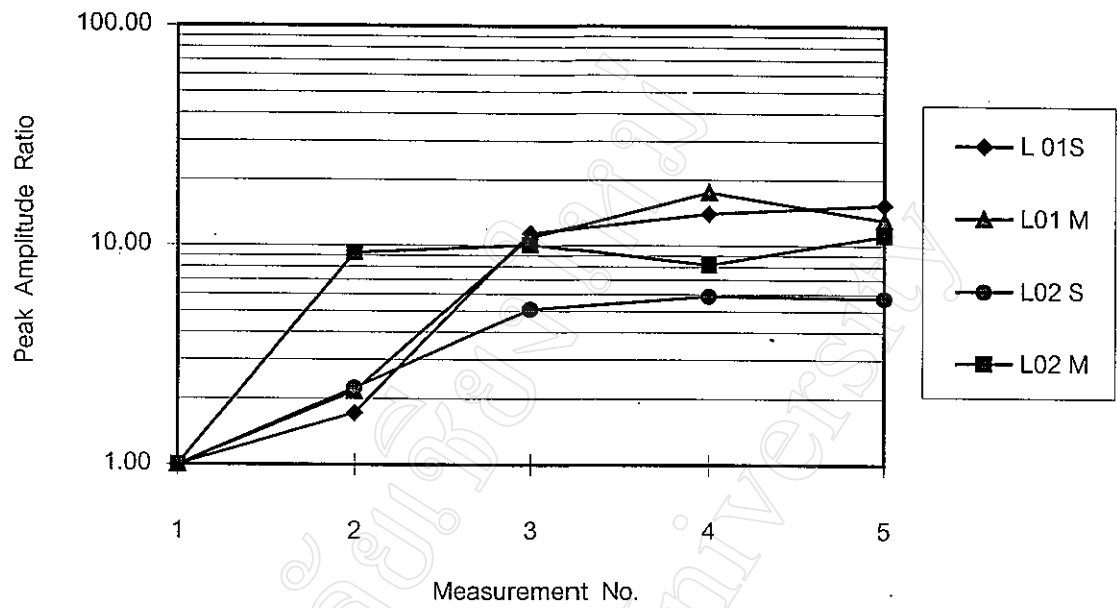
รูป 4.12 Peak amplitude ratio ใน 3 ช่วงความถี่ รท 62-0047



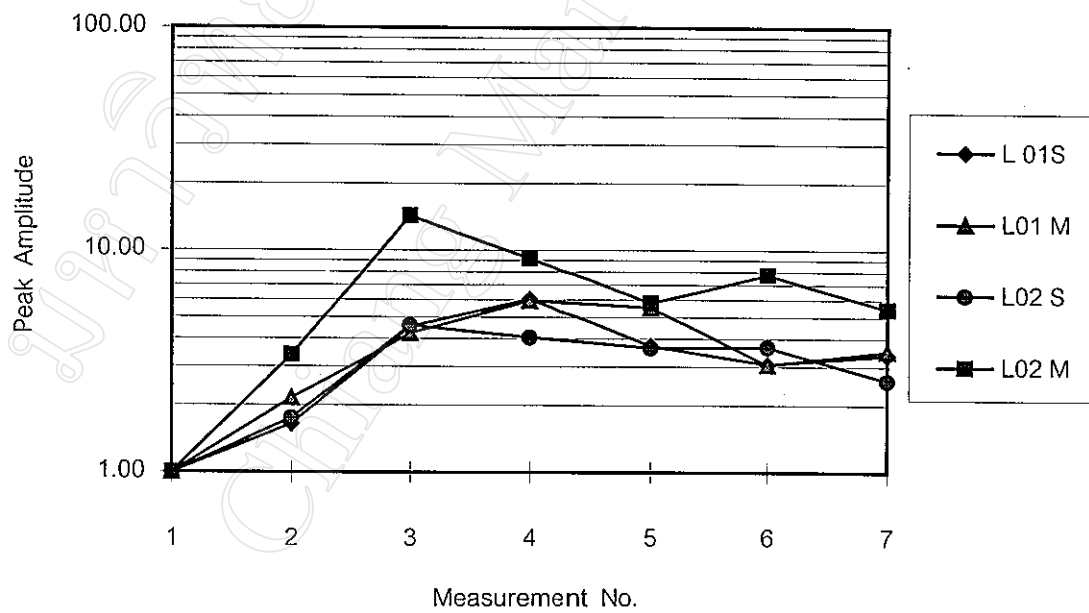
รูป 4.13 Peak amplitude ratio ใน 3 ช่วงความถี่ รต 62-0049



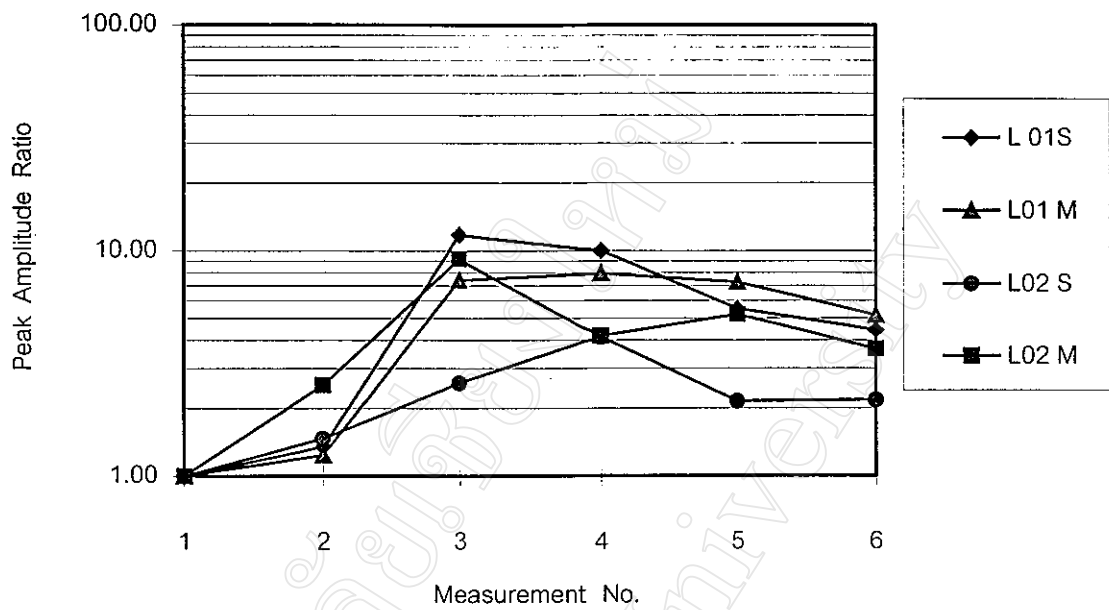
รูป 4.14 Peak amplitude ratio ใน 3 ช่วงความถี่ รต 62-0050



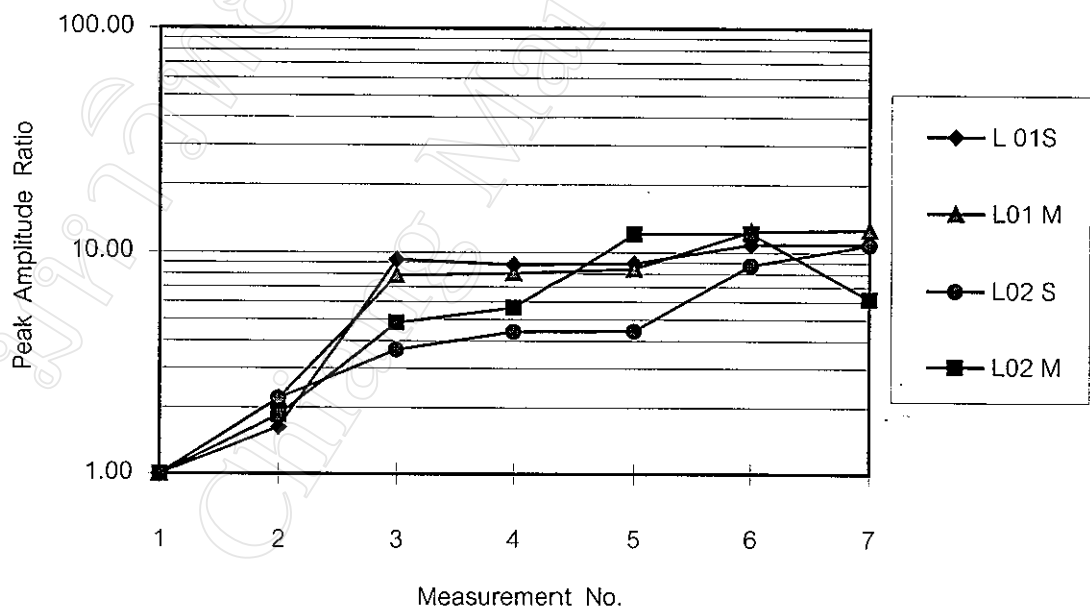
รูป 4.15 Peak amplitude ratio ใน 3 ช่วงความถี่ รท 62-0051



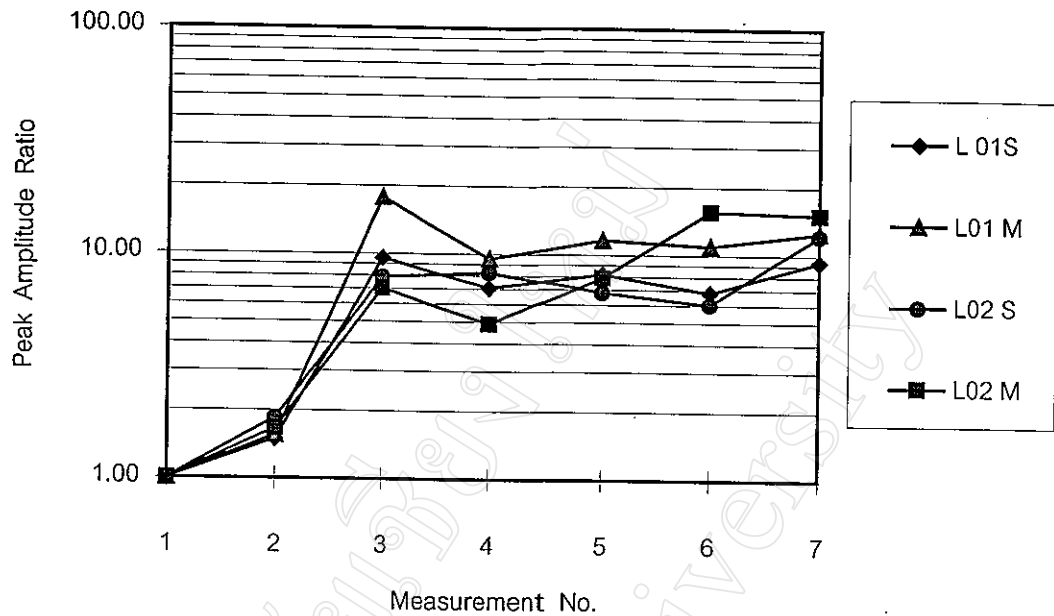
รูป 4.16 Peak amplitude ratio ใน 3 ช่วงความถี่ รท 62-0052



รูป 4.17 Peak amplitude ratio ใน 3 ช่วงความถี่ รด 62-0032



รูป 4.18 Peak amplitude ratio ใน 3 ช่วงความถี่ รด 62-0033



รูป 4.19 Peak amplitude ratio ใน 3 ช่วงความถี่ รท 62-0036

4.2 ผลการวัดการวัดสั่นสะเทือนที่เกิดจากการชำรุดโดยตรงของแบร้งแบบวัดโดยตรง (linear)

ผลการวัดการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการชำรุดโดยตรงของแบร้งแบบวัดโดยตรง โดยไม่มีการปรับปรุงสัญญาณ ในช่วงความถี่ 0.5 - 400 Hz จะแสดงในรูปกราฟของแอมพลิจูดที่ความถี่ต่าง ๆ ในช่วง 0.5 - 400 Hz โดยแบ่งขั้นตอนการชำรุดของแบร้งเป็น 3 ช่วง เช่นเดียวกับข้อ 4.1 ตามรูป 4.20 - 4.23 สำหรับการติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยสลักเกลียวและแม่เหล็กที่จุดวัดด้านหน้าของบีมไฮดรอลิค และสำหรับการติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยสลักเกลียวและแม่เหล็กที่จุดวัดด้านหลังของบีมไฮดรอลิคก็ได้ผลในทำนองเดียวกัน ซึ่งผลการวัดพบว่าการเพิ่มขึ้นของแอมพลิจูดของ BPF ค่อนข้างต่ำ

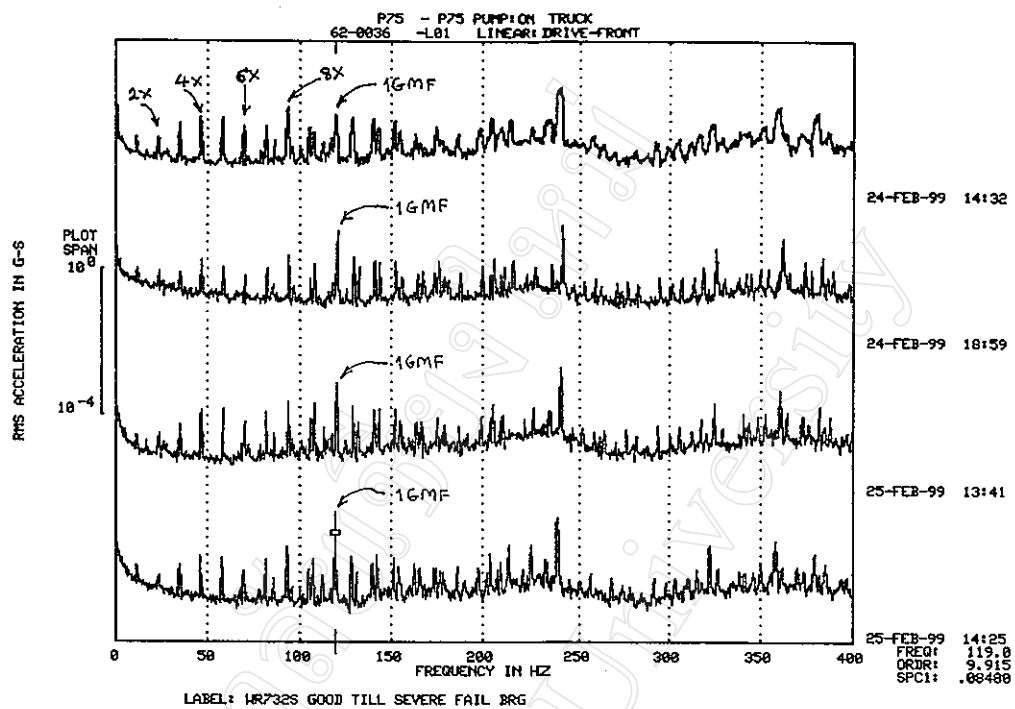
เมื่อนำค่าแอมพลิจูดที่เปลี่ยนแปลงไปของการวัดแต่ละครั้งและค่าการสั่นสะเทือนโดยรวมมาเขียนกราฟเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของ BPF ที่สำคัญคือ 1BPF0, 2BPF0 และ 4BPF0 จะได้กราฟดังแสดงในรูป 4.24 - 4.27 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของ BPF ไม่ชัดเจนและมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ

การไม่นำเสนอค่า 3BPF0 เนื่องจาก 3BPF0 จะใกล้เคียงกันมากกับค่า 2GMF กล่าวคือ ที่รอบของบีมไฮดรอลิคที่ทำการวัดค่า 12 Hz ค่า 2GMF เท่ากับ $2 \times 10 \times 12$ คือ 240 Hz (10 คือ จำนวนฟันเฟือง) ส่วนค่า 3BPF0 เท่ากับ $3 \times 12 \times 6.67$ คือ 240.12 Hz จากความถี่ที่วัดคือ 400 Hz และจำนวน line สูงสุดที่กำหนดคือ 3,200 line ค่าความถี่ละเอียดที่สุดระหว่าง line คือ 0.125 Hz ดังนั้น ความถี่ 240 และ 240.12 Hz แยกออกจากกันไม่ได้ชัดเจน

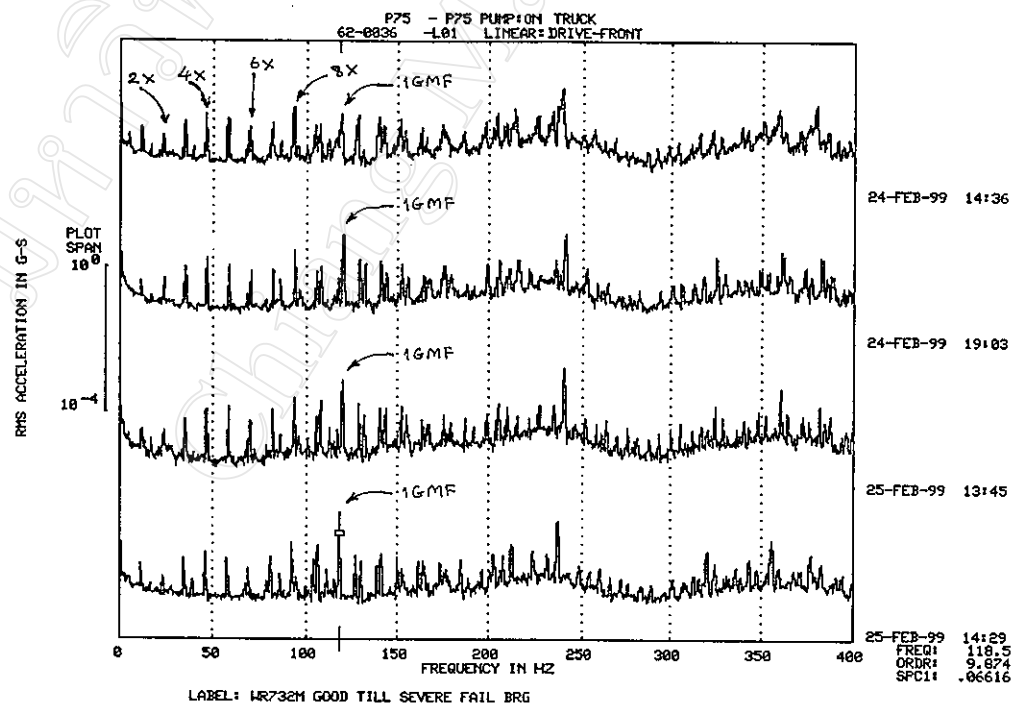
ส่วนการไม่นำเสนอค่า 1FTF เพราะค่าแอมพลิจูดไม่สูงจาก noise floor อย่างชัดเจน จึงไม่ควรแสดงข้อมูล และไม่ควรนำมาใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลง

ตาราง 4.1 ค่าอัตราส่วนของแอมพลิฟิเคชันต่ำสุดจากค่าสูงสุด ตลอดช่วงการวัด ตั้งแต่ปรับปรุงสภาพดินจนถึงจุดทำรูด

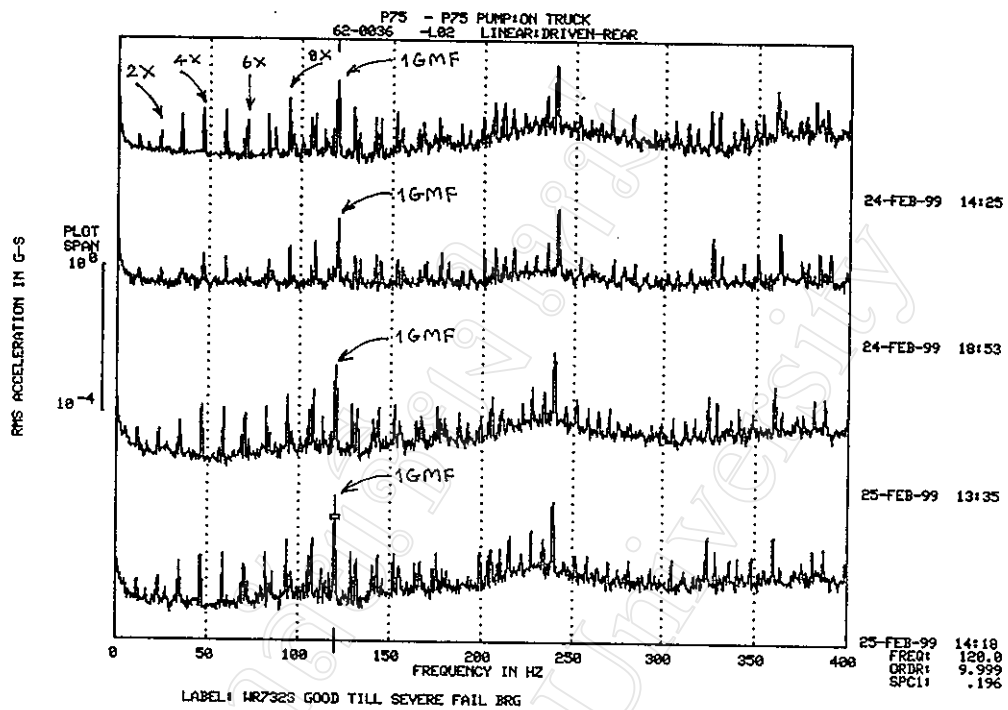
ที่	หมายเลขรถ	จุดวัดและอัตราส่วนของแอมพลิฟิเคชัน			
		L01 S	L02 S	L01 M	L02 M
1	62-0046	3.88	2.60	4.67	3.14
2	62-0047	11.03	14.63	7.74	11.52
3	62-0049	6.26	3.36	3.73	8.13
4	62-0050	3.60	3.27	4.87	7.40
5	62-0051	11.33	5.09	10.83	8.16
6	62-0052	3.07	2.58	3.05	5.43
7	62-0032	4.42	2.15	5.16	3.65
8	62-0033	8.79	3.64	7.89	4.82
9	62-0036	6.80	6.02	9.52	4.89
ค่าเฉลี่ย		5.70		6.40	
ค่าช่วง		2.15 - 14.63		3.05 - 11.52	



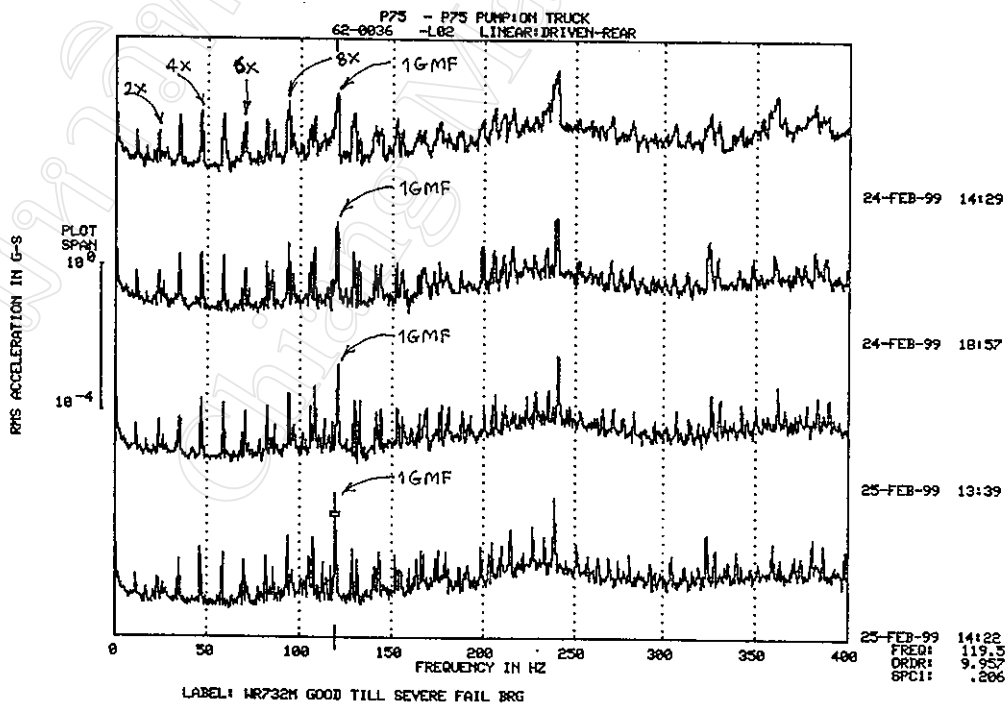
รูป 4.20 Spectra ที่ 400 Hz จุดวัด L01S ตั้งแต่เบรียงยังไม่ชำรุดจนถึงชำรุดรุนแรง



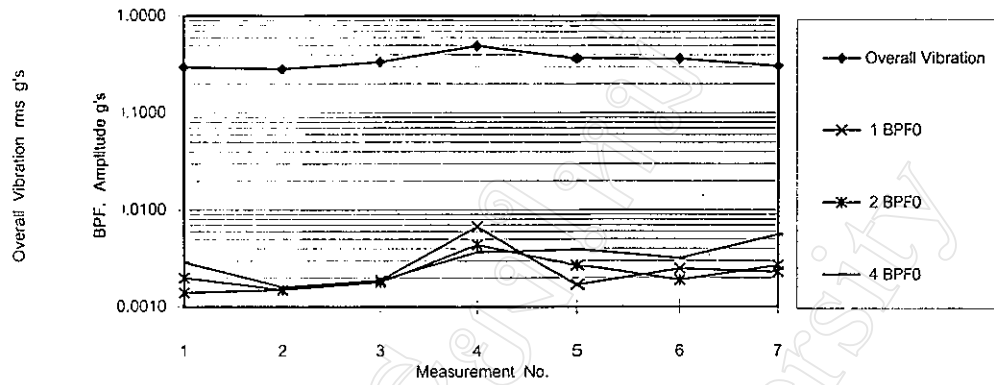
รูป 4.21 Spectra ที่ 400 Hz จุดวัด L01M ตั้งแต่เบรียงยังไม่ชำรุดจนถึงชำรุดรุนแรง



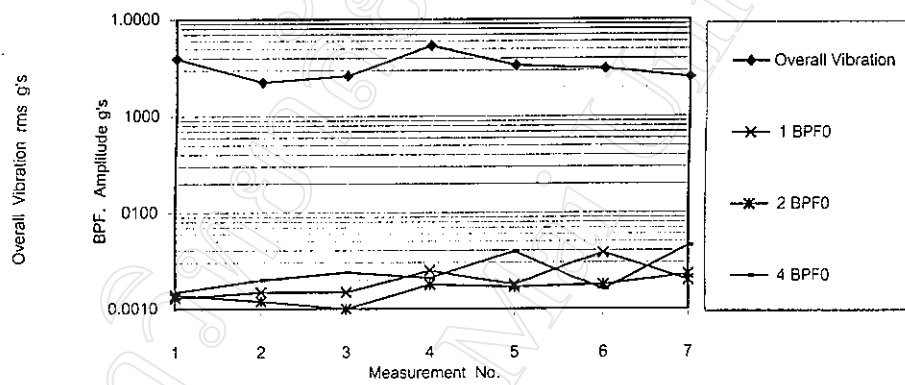
รูป 4.22 Spectra ที่ 400 Hz จุดวัด L02S ตั้งแต่เบรียงยังไม่ชำรุดจนถึงชำรุดรุนแรง



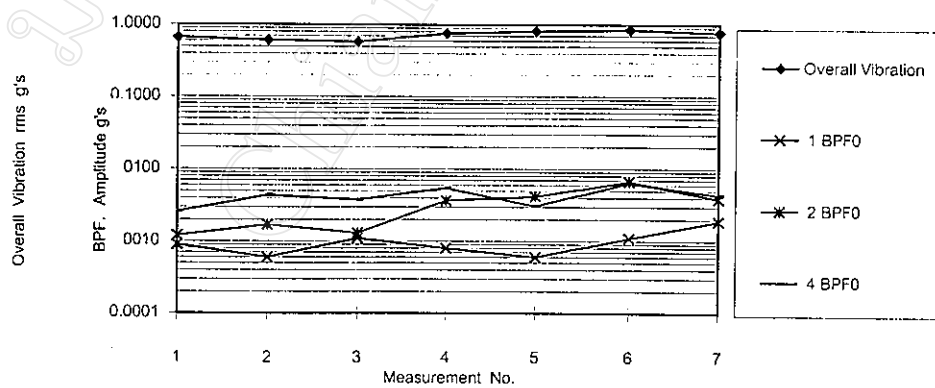
รูป 4.23 Spectra ที่ 400 Hz จุดวัด L02M ตั้งแต่เบรียงยังไม่ชำรุดจนถึงชำรุดรุนแรง



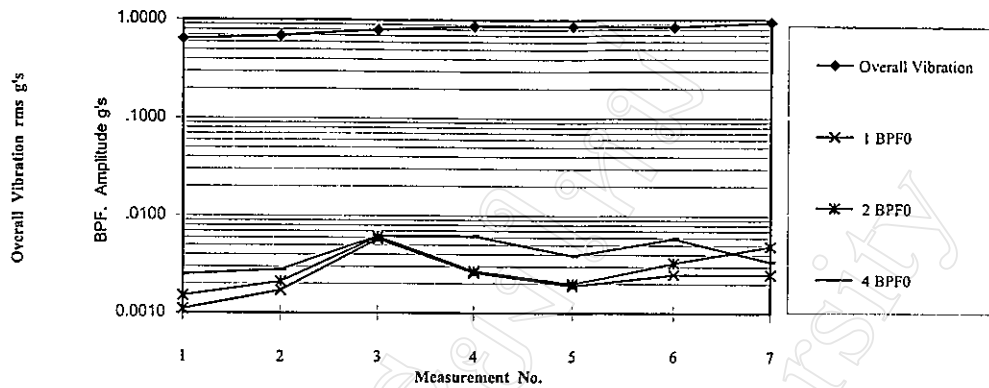
รูป 4.24 การสั่นสะเทือนโดยรวมและ BPF ที่ 400 Hz จุดวัด L01S รถ 62-0036



รูป 4.25 การสั่นสะเทือนโดยรวมและ BPF ที่ 400 Hz จุดวัด L01M รถ 62-0036



รูป 4.26 การสั่นสะเทือนโดยรวมและ BPF ที่ 400 Hz จุดวัด L02S รถ 62-0036



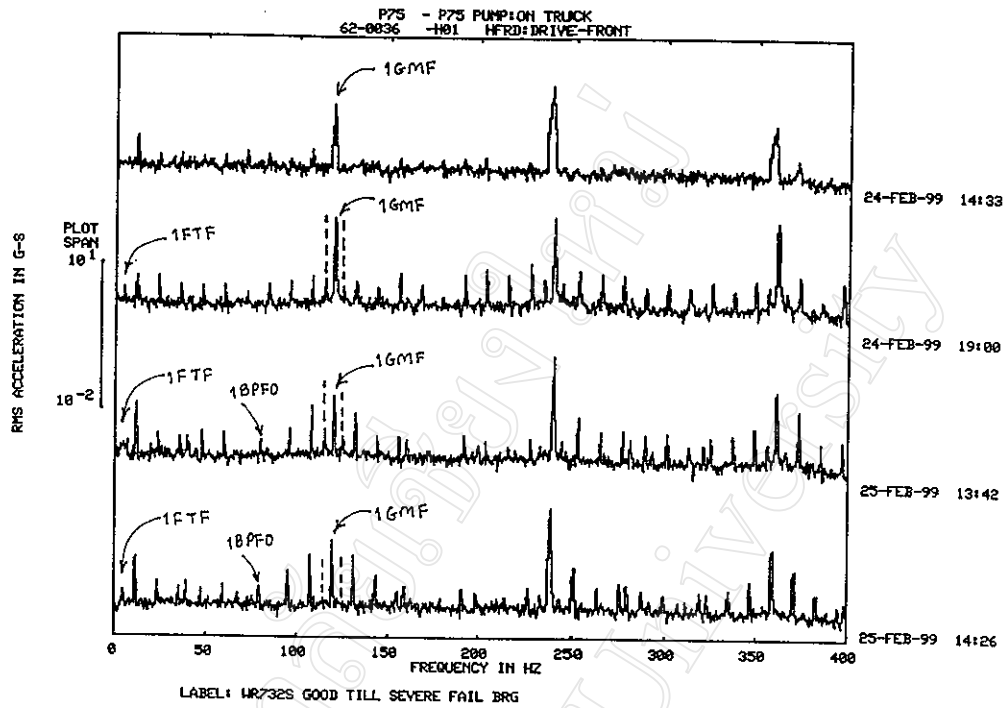
รูป 4.27 การสั่นสะเทือนโดยรวมและ BPF ที่ 400 Hz จุดวัด L02S รถ 62-0036

4.3 ผลการวัดการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการชำรุดโดยตรงของแบร้งวัดโดยการปรับปรุงสัญญาณ

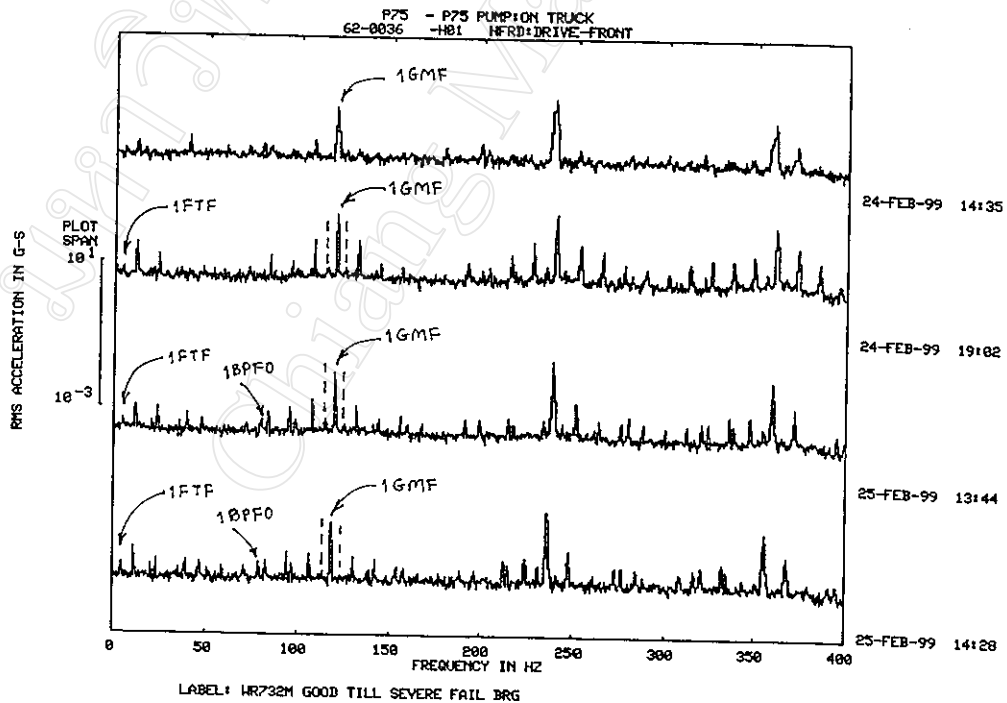
ผลการวัดการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการชำรุดโดยตรงของแบร้ง วัดโดยการปรับปรุงสัญญาณแบบ envelope demodulation กำหนดความถี่ที่ทำการวัด 0.5 - 400 Hz จะแสดงในรูปกราฟของแอมพลิจูดที่มีความถี่ต่าง ๆ ในช่วง 0.5 - 400 Hz โดยแบ่งขั้นตอนการชำรุดของแบร้งเป็น 3 ช่วง เช่นเดียวกับข้อ 4.1 ดังแสดงตามรูป 4.28 - 4.31 สำหรับการติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยสลักเกลียวและแม่เหล็กที่จุดวัดด้านหน้าของบีมไฮดรอลิค (H01) โดยเน้นให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของ 1BPF0, 1FTF และ side band ของ 1GMF คือ $\pm 1FTF$ (เส้นประ) โดยค่าความเร่งในแกน Y เป็น log scale จะเห็นการเปลี่ยนแปลงของ FTF และ BPF0 ชัดเจนกว่าสเกลธรรมดา (linear)

ผลการวัดที่ได้นี้ กำหนดให้มีการกรองสัญญาณในขั้นตอนของการปรับปรุงสัญญาณ โดยการกรองสัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่า 5,000 Hz ออก และให้ความถี่ตั้งแต่ 5,000 - 30,000 Hz เข้าสู่ขบวนการ demodulate เหตุผลที่เลือก HP ที่ 5,000 Hz เพราะว่าจากการวัดในข้อ 4.1 พบว่า ในช่วงความถี่ต่ำกว่า 5,000 Hz พบการเปลี่ยนแปลงของการสั่นสะเทือนน้อยมากและได้ทดลองเปลี่ยนค่า HP ตั้งแต่ 500, 1,000, 2,000 และ 5,000 Hz ไม่พบความแตกต่างที่ชัดเจน จึงเลือก HP ที่ความถี่สูง เพื่อลด noise floor ใน spectrum ที่ 400 Hz ข้อมูลจากการทดลองได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

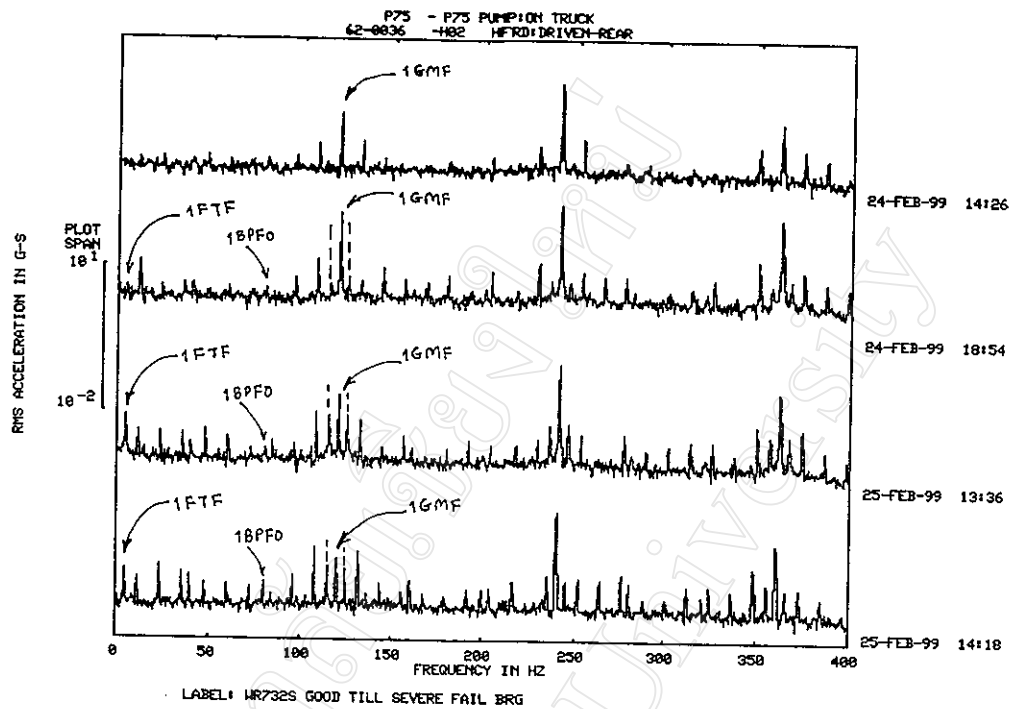
เมื่อนำค่าแอมพลิจูดที่เปลี่ยนแปลงไปของการวัดแต่ละครั้ง และค่าการสั่นสะเทือนโดยรวมมาเขียนกราฟเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของ BPF ที่สำคัญคือ 1FTF, 1BPF0, 2BPF0 และ 4BPF0 จะได้กราฟดังแสดงในรูป 4.32 - 4.35 ซึ่งจะเห็นค่าการเปลี่ยนแปลงของ BPF ชัดเจนกว่าผลการวัดโดยไม่มีการปรับปรุงสัญญาณ โดยค่าที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงกว่าค่าอื่น ๆ คือ ค่า 1FTF



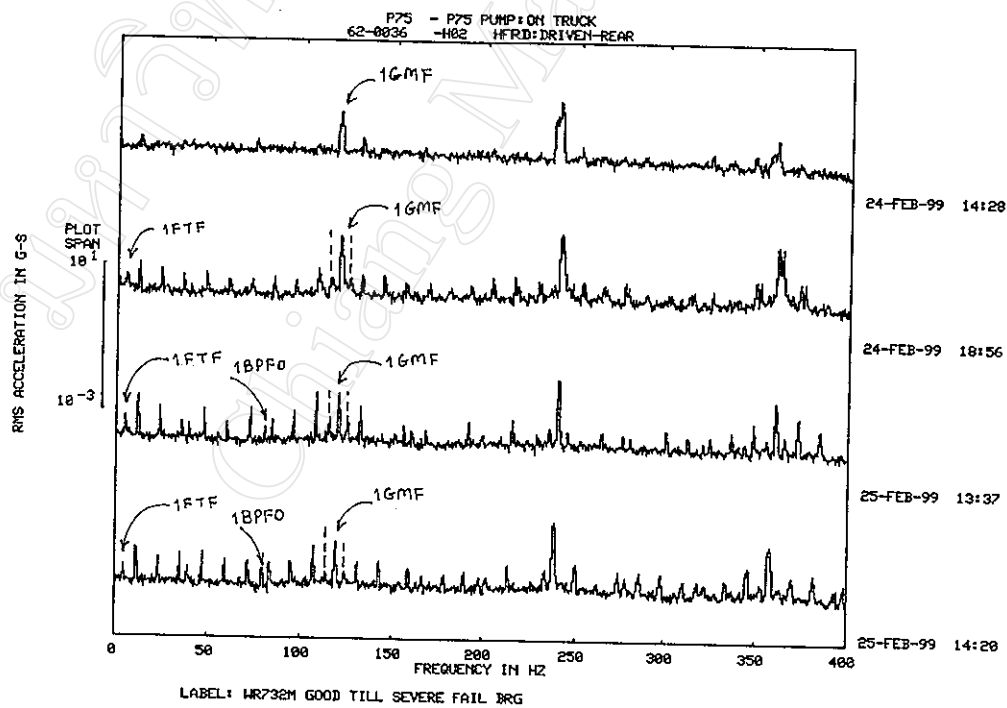
รูป 4.28 Spectra ที่ 400 Hz จุดวัด H01S ตั้งแต่เบรียงยังไม่ชำรุดจนถึงจุดชำรุดรุนแรง



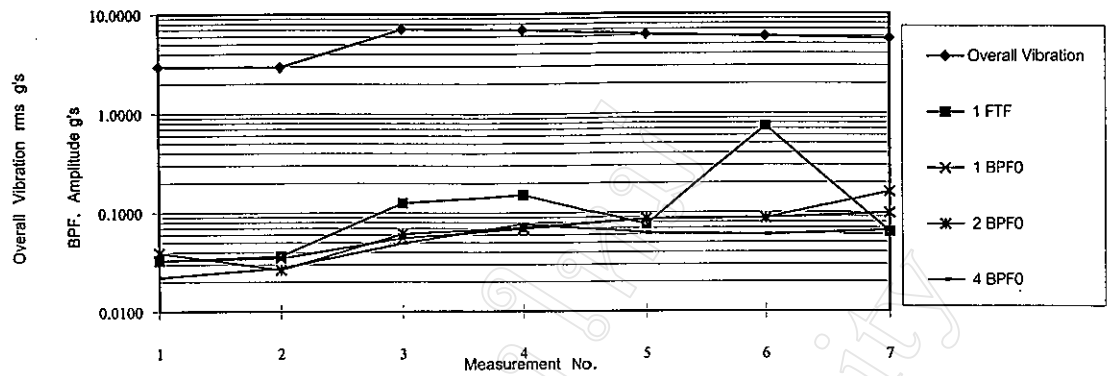
รูป 4.29 Spectra ที่ 400 Hz จุดวัด H01M ตั้งแต่เบรียงยังไม่ชำรุดจนถึงจุดชำรุดรุนแรง



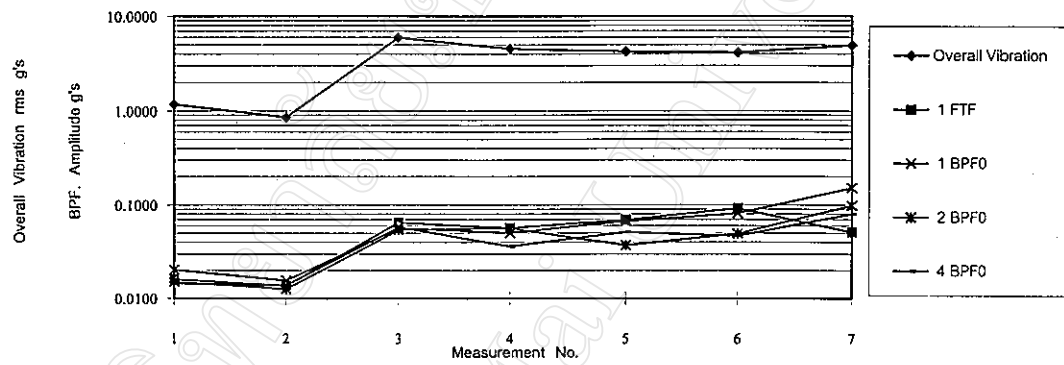
รูป 4.30 Spectra ที่ 400 Hz จุดวัด H02S ตั้งแต่เบรียงยังไม่ชำรุดจนถึงจุดชำรุดรุนแรง



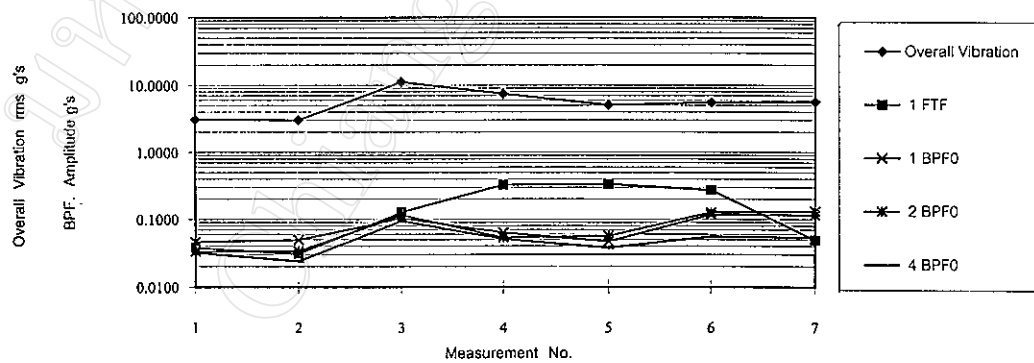
รูป 4.31 Spectra ที่ 400 Hz จุดวัด H02M ตั้งแต่เบรียงยังไม่ชำรุดจนถึงจุดชำรุดรุนแรง



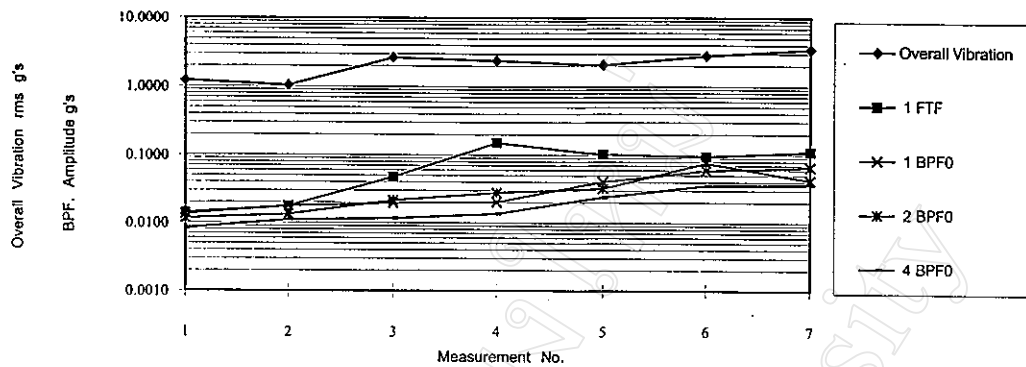
รูป 4.32 การสั่นสะเทือนโดยรวม และ BPF ที่ 400 HZ จุดวัด HO1S รถ 62-0036



รูป 4.33 การสั่นสะเทือนโดยรวม และ BPF ที่ 400 HZ จุดวัด HO1M รถ 62-0036



รูป 4.34 การสั่นสะเทือนโดยรวม และ BPF ที่ 400 HZ จุดวัด HO2S รถ 62-0036



รูป 4.35 การสั่นสะเทือนโดยรวม และ BPF ที่ 400 HZ จุดวัด HO2M รถ 62-0036

4.4 ผลการทดสอบหาอัตราการใช้ของรอยแตกของรางนอกเบร้ง

ผลการทดสอบนี้จะแสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่เครื่องจักรทำการยกกะบะกับขนาดรอยแตกที่ผิวรางนอกของเบร้งเป็นตารางมิลลิเมตร ซึ่งทำการทดสอบกับปั๊มไฮดรอลิค จำนวน 3 ชุด (หมายเลข 1 - 3) หรือนับเป็นจำนวนเบร้งที่ทดสอบ 12 ลูก ตามข้อมูลที่แสดงในตาราง 4.2 - 4.4 และนำผลมาเขียนกราฟรวมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ทำการยกกะบะกับขนาดรอยแตกที่ผิวของรางนอกของเบร้ง ดังแสดงตามกราฟรูป 4.36 รูป 4.37 แสดงเศษเหล็กชิ้นแรกของการชำรุดที่ผิวรางนอกของเบร้ง รูป 4.38 และ รูป 4.39 แสดงลักษณะการชำรุดที่ผิวของรางนอกเบร้งเมื่อลูกกลามออกไป

ตาราง 4.2 ผลการทดสอบอัตราการเติบโตของรอยแตก (Spall) ที่มีรูปร่างนอกของเบร้ง เทียบกับจำนวนครั้งที่ยกกะเบาะของเครื่องจักร

หมายเลขบ่มไฮดรอลิค : 01

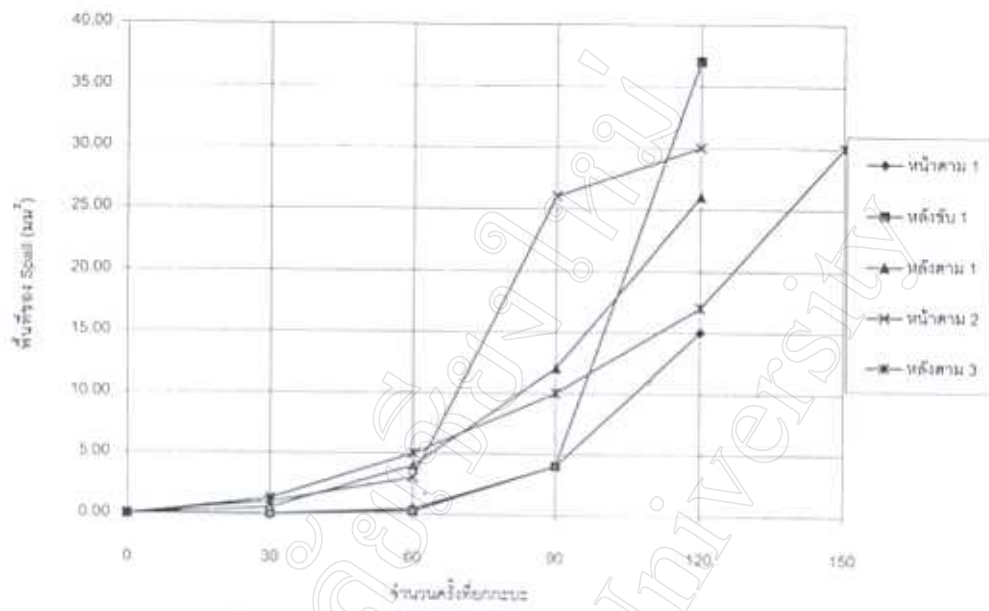
ที่	จำนวนครั้ง ที่ยกกะเบาะ	ค่าหนึ่งเบร้ง และขนาดรอยแตก							
		หน้าขั้ว		หน้าตาม		หลังขั้ว		หลังตาม	
		ขนาดโตสุดของ Spall มม. x มม.	พื้นที่ของ Spall (มม) ²	ขนาดโตสุดของ Spall มม. x มม.	พื้นที่ของ Spall (มม) ²	ขนาดโตสุดของ Spall มม. x มม.	พื้นที่ของ Spall (มม) ²	ขนาดโตสุดของ Spall มม. x มม.	พื้นที่ของ Spall (มม) ²
1	180	0	0	0	0	0	0	0	0
2	210	0	0	0	0	0	0	0.5 x 1	0.5
3	240	0	0	3 x 3	5	0.5 x 0.5	0.25	3 x 5	8
4	270	0	0	4 x 4	11	4 x 15	36	4 x 9	21

ตาราง 4.4 ผลการทดสอบอัตราการเติบโตของรอยแตก (Spall) ที่ผิวรองนอกของเบร้ง เทียบกับจำนวนครั้งที่ยกกระดานเครื่องจักร

หมายเลขปัมไฮดรอลิค : 03

ที่	จำนวนครั้ง	ตำแหน่งเบร้ง และขนาดรอยแตก									
		หน้าซ้าย		หน้าตาม		หลังซ้าย		หลังตาม			
		ขนาดโตสุดของ Spall มม. x มม.	พื้นที่ของ Spall (มม) ²	ขนาดโตสุดของ Spall มม. x มม.	พื้นที่ของ Spall (มม) ²	ขนาดโตสุดของ Spall มม. x มม.	พื้นที่ของ Spall (มม) ²	ขนาดโตสุดของ Spall มม. x มม.	พื้นที่ของ Spall (มม) ²		
1	390	0	0	0	0	0	0	0	0		
*2	420	0	0	0	0	0	0	1.7 x 0.76	1.28		
3	450	0	0	0	0	0	0	3 x 2	5		
4	480	0	0	0	0	0	0	3 x 5	10		
5	510	0	0	0	0	0	0	4 x 5	17		
6	540	0	0	0	0	0	0	5 x 8	30		

หมายเหตุ : การวัดขนาดรอยแตกและพื้นที่ของรอยแตก (Spall) ทำโดยการใช้กระดาษใสติดตารางเป็นตารางมิลลิเมตร และวัดค่าโดยประมาณ
กรณีปัมไฮดรอลิคหมายเลข 03 ตามตารางที่ 2 วัดขนาดโดยใช้กล้องวัดขนาดช่วยทำการวัด โดยวัดจากเศษเหล็กชิ้นแรกที่แตกออกมาจาก
ผิวรองนอกของเบร้ง (ดังแสดงตามรูปที่ 4.37)



รูป 4.36 อัตราการเติบโตของรอยแตก (spall) ที่มีรูปร่างนอกของแบร็ง



(ก)



(ข)

รูป 4.37 เศษเหล็กขึ้นแรกของการชำรุด ที่มีรูปร่างนอกของแบร็ง

ขนาด 0.76 x 1.69 x 0.26 มม. (ก) คว่ำลง และ (ข) หายขึ้น



รูป 4.38 การเริ่มเข้าชุดที่มีวรางนอกของแบริง ขนาดรอยแผล 3 x 3 มม.



รูป 4.39 การเข้าชุดรุนแรงที่มีวรางนอกของแบริง ขนาดรอยแผล 15 x 20 มม.

4.5 การวิจารณ์ผลการวัดการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการถูกกระตุ้นในช่วงความถี่ 20 ถึง 30,000 Hz

จากการแบ่งขั้นตอนการชำรุดของแบริ่งเป็น 3 ช่วง คือ ก่อนการชำรุด การทำดำหนิ และการชำรุดรุนแรงขึ้น ผลการวัดการสั่นสะเทือนในรูปของอัตราส่วนของแอมพลิจูด ตามรูป 4.1 - 4.6 ทั้งการวัดด้านหน้าและด้านหลัง ทั้งการติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยสลักเกลียวและแม่เหล็กได้แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่มีการสั่นสะเทือนสูงขึ้น

หากสังเกตความแตกต่างจากผลของการติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยสลักเกลียวและแม่เหล็ก เมื่อนำผลการวัดการสั่นสะเทือนมาเปรียบเทียบความแตกต่างตั้งแต่แบริ่งยังไม่ชำรุดจนแบริ่งเกิดการชำรุดรุนแรงตามรูป 4.7 - 4.10 จะเห็นการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนของแอมพลิจูดสูงมากในช่วง 3 กลุ่มความถี่คือ ช่วงความถี่ 7 - 9 kHz 15 - 18 kHz และ 24 - 27 kHz ทั้งนี้ในช่วงความถี่ต่ำกว่า 5 kHz ค่าอัตราส่วนไม่ค่อยมีผลจากการชำรุดของแบริ่ง และในช่วงความถี่ 24 - 27 kHz อัตราส่วนจะไม่สูงมากสำหรับการติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยแม่เหล็ก เนื่องจากช่วงดังกล่าวจะเลยจุดที่เป็น mounted resonance ไปแล้ว โดยค่า mounted resonance สำหรับการติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยแม่เหล็ก จะอยู่ในช่วงประมาณ 12 - 20 kHz ทั้งนี้การติดตั้งโดยวิธีดังกล่าวจะมีความแตกต่างกันเพราะจุดติดตั้งแต่ละครั้ง อาจไม่ได้อยู่ที่เดิม และแรงยึดติดกับผิวที่ทำการวัดมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าการติดตั้งโดยสลักเกลียว รายละเอียดของการหาค่า mounted resonance กล่าวไว้ในข้อ 4.8

จากรูป 4.11 - 4.19 แสดงให้เห็นว่า หากเกิดการชำรุดขึ้นที่แบริ่ง ไม่ว่าจะเป็นตำแหน่งหน้าหรือตำแหน่งหลัง เพียงตำแหน่งเดียวหรือแบริ่งเพียงตัวเดียว ก็จะมีผลให้เกิดการสั่นสะเทือนสูงเหมือนกัน ทั้งนี้สาเหตุจากตำแหน่งเลื้อยแบริ่งด้านหน้าและด้านหลังถูกยึดติดกันกับเสื้อของปั๊มโดยใช้โบลต์ชุดเดียวกัน จำนวน 8 ตัว ทำให้กลายเป็นชิ้นส่วนเดียวกัน และจุดวัดหน้าและหลังมีระยะห่างกันเพียง 125 มม. ข้อสังเกตอีกประการคือค่าของอัตราส่วนของแอมพลิจูดเมื่อแบริ่งเริ่มชำรุดไปจนถึงเกิดการชำรุดรุนแรงขึ้น มีแนวโน้มคงที่หรือลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

การวิจัยนี้ต้องการนำผลการวิจัยไปใช้งานจริงกับเครื่องจักร ข้อมูลจากการทดสอบได้เห็นการเปลี่ยนแปลงของการสั่นสะเทือนชัดเจน จากการประเมินผลในรูปของอัตราส่วนของแอมพลิจูด ข้อมูลในตาราง 4.1 กำหนดให้อัตราส่วนของแอมพลิจูดตลอดช่วงของการวัดที่เพิ่มขึ้นอย่างต่ำ 2.2 เท่าหรือ 6.8 dB สำหรับการติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยสลักเกลียวเป็นจุดระบุว่าเกิดการชำรุดขึ้นที่รางนอกของแบริ่ง และการเพิ่มขึ้น 3.0 เท่าหรือ 9.5 dB สำหรับการติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยแม่เหล็กเป็นจุดระบุว่าเกิดการชำรุดขึ้นที่รางนอกของแบริ่ง ทั้งนี้ค่าที่กำหนดขึ้นนี้ใกล้เคียงกับค่าที่ Randall, R. B. (24) กำหนดไว้ที่ 2 - 2.5 เท่า

อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยของ Mitchell, J. S. (20) กล่าวว่า "การทำ condition monitoring ของเครื่องจักรเพื่อบำรุงรักษาแบบ predictive maintenance โดยใช้ FFT vibration spectra อาจนำมาเปรียบเทียบกับ base-line หรือสถิติที่เป็นปกติได้ อย่างไรก็ตามแล้วแต่การสร้างกฎเพื่อเปรียบเทียบเป็นสิ่งที่ยากมาก เนื่องจากความซับซ้อนของการสั่นสะเทือน ประสบการณ์ และการทดสอบจากของจริงจะช่วยให้ในการกำหนดหลักเกณฑ์ได้ดีที่สุด" ดังนั้นค่าที่กำหนดขึ้น จึงน่าจะเป็นค่าที่นำไปใช้งานได้เลยในครั้งแรก และพัฒนาปรับปรุงต่อไปเมื่อมีฐานข้อมูลมากขึ้น

4.6 การวิจารณ์ผลการวัดการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการชำรุดโดยตรงของแบร้งแบบวัดโดยตรง (linear)

การวัดโดยตรงโดยไม่มีการปรับปรุงสัญญาณในช่วงความถี่ 0.5 - 400 Hz เพื่อจะติดตามการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดของ BPF เมื่อแบร้งเกิดการชำรุด โดยได้นำผลจากรูป 4.20 - 4.23 มาสรุปได้ตามรูป 4.24 - 4.27 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดของ BPF ในทิศทางที่เพิ่มขึ้นมีบ้างเล็กน้อย แต่ถ้าจะกำหนดการเพิ่มขึ้นของแอมพลิจูดประมาณตั้งแต่ 2 เท่าเป็นต้นไปมีน้อยมาก และค่าแอมพลิจูดเป็นค่าที่ต่ำมาก ทำให้การวิเคราะห์แบบนี้ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน predictive maintenance เพราะการติดตามการเปลี่ยนแปลงที่มีค่าต่ำกว่า 2 เท่าจะทำให้เกิดความไม่ชัดเจนในการตัดสินใจ อาจทำให้เกิดผลเสียภัยกับงานขึ้นได้ และความน่าเชื่อถือในการใช้งานต่ำลง สาเหตุที่การปรากฏของ BPF ไม่ชัดเจนเนื่องจากความถี่ในช่วงที่ทำการวัดมีแหล่งกำเนิดจากหลายที่ซึ่งซับซ้อน เช่น จากเครื่องยนต์ gearbox ชุดเพลอาขับ เฟืองเกียร์ของปั๊ม ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่มีค่าใกล้เคียงกันมาก ทำให้การแยกความถี่ทำได้ยากและมีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนได้สูง

4.7 การวิจารณ์ผลการวัดการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการชำรุดโดยตรงของแบร้ง วัดโดยการปรับปรุงสัญญาณ

การวัดโดยวิธีปรับปรุงสัญญาณแบบ envelope demodulation และกำหนดความถี่ที่กรองออกโดยวิธี high pass filter ที่ 5,000 Hz ตามที่ได้แสดงผลตามรูป 4.28 - 4.31 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของ BPF ที่ชัดเจนและมีค่าสูงกว่าการวัดแบบ linear โดยชี้ให้เห็นการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ 1BPFO, 2BPFO และ 4BPFO และชี้ให้เห็นการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ 1FTF การแสดงผลเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของ BPF กำหนดค่าแกน Y เป็น log scale เนื่องจากค่าของแอมพลิจูดมีค่าต่ำมาก เมื่อเทียบกับค่าแอมพลิจูดของ GMF ทำให้มองเห็นการเปลี่ยนแปลงและความแตกต่างได้ยาก หากกำหนดค่าในแกน Y เป็น สเกลธรรมดา (linear scale)

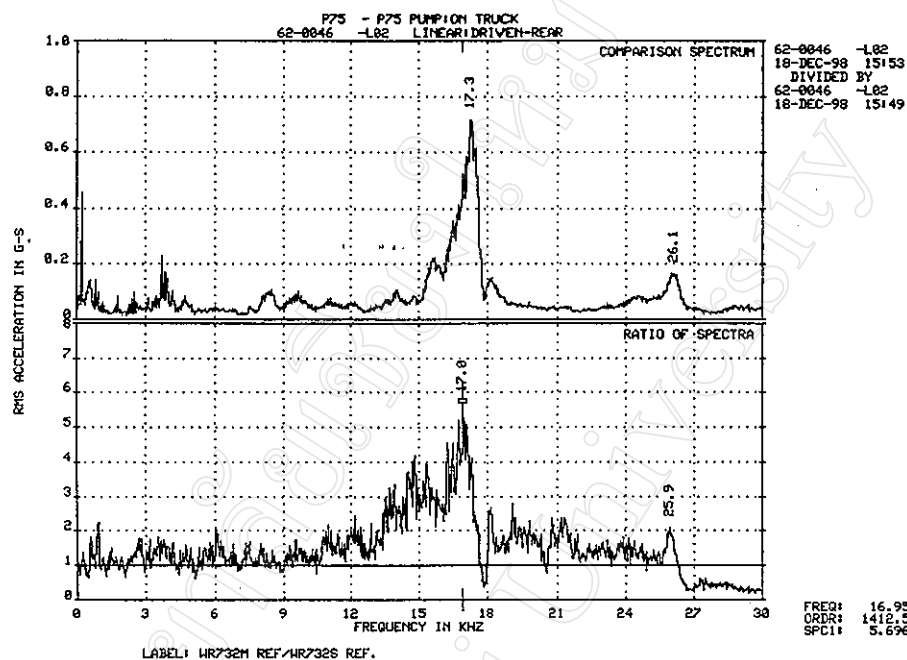
เมื่อนำค่าแอมพลิจูดของ BPF คือ 1FTF, 1BPFO และ harmonic มาเขียนกราฟเพื่อติดตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงของการวัด จะได้ดังกราฟที่แสดงตามรูป 4.32 - 4.35 ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของ 1BPFO และ harmonic ยังมีค่าไม่สูงมากนัก (ข้อมูลเพิ่มเติมแสดงในภาคผนวก ข) ทำให้การติดตามทำได้ไม่สะดวก ส่วนค่าที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูงและเห็นได้ชัดเจน จากกราฟคือค่า 1FTF ซึ่งค่า 1FTF นี้ไม่ได้เกี่ยวข้องกับชำรุดของรางนอกของแบร้ง ซึ่งจะแสดงค่า BPFO ออกมา แต่การปรากฏของ 1FTF แสดงให้เห็นการ modulate กันระหว่าง FTF กับ GMF ซึ่งเมื่อย้อนกลับไปดูรูป 4.28 - 4.31 จะเห็นการปรากฏขึ้นมาของ 1FTF เกิดขึ้นพร้อมกับการเกิด side band โดยรอบความถี่ของ 1GMF โดยขนาดความถี่ของ side band มีขนาดเท่ากับ $\pm 1FTF$ ซึ่งเกิดการ side band นี้เป็นผลมาจากการ demodulate ของสัญญาณความถี่สูงคือ 1GMF และมีความถี่ 1FTF ซึ่งเป็นความถี่ต่ำหรือตัว modulator (ดูรูป 2.12 และ 2.13 ประกอบ)

การเพิ่มขึ้นของ 1FTF และเกิด side band ขึ้นที่ 1GMF เท่ากับ $\pm 1FTF$ เกิดขึ้นจากการทดสอบรถ 8 ใน 9 คัน เมื่อติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยสลักเกลียว และเกิดขึ้น 7 ใน 9 คัน เมื่อติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยแม่

เหล็ก ซึ่งการเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวจะเป็นตัวช่วยสนับสนุนและยืนยันการวัดในช่วงความถี่สูงได้ว่าแท้จริงเกิดการชำรุดขึ้นจริง

4.8 การประมาณค่าความถี่ที่เกิด Mounted Resonance เมื่อติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยแม่เหล็ก

จากทฤษฎีที่กล่าวถึงในหัวข้อ 2.7 ค่า mounted resonance คือความถี่ที่เกิด resonance ของตัวหัววัดความเร่งเอง เมื่อทำการติดตั้ง โดยปกติแล้วความถี่ที่ใช้งานหรือ useful range frequency จะใช้ที่ประมาณ 1 ใน 3 ของค่าความถี่ mounted resonance (21) แต่ในการวิจัยนี้ได้ใช้หัววัดความเร่งวัดค่าการสั่นสะเทือน โดยการติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยแม่เหล็กด้วย และคาดว่าความถี่สูงสุดที่ทำการวัด จะเลยจุด mounted resonance ดังนั้น จึงกำหนดให้หาค่าดังกล่าวด้วย เพื่อเป็นการศึกษาทดลอง ซึ่งจากการทดสอบจริงเราสามารถหาค่า mounted resonance ของการติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยแม่เหล็กได้ โดยการเปรียบเทียบอัตราส่วนของแอมพลิจูด ณ จุดที่แท้จริงไม่เกิดการชำรุด โดยการนำค่าแอมพลิจูดของการวัดที่ติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยสลักเกลียว ไปหารค่าแอมพลิจูดจากการวัดที่ติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยแม่เหล็ก ลักษณะกราฟอัตราส่วนของแอมพลิจูด ดังแสดงในรูปที่ 4.40 เมื่อนำข้อมูลจากการทดสอบ แสดงในตาราง 4.5 โดยแสดงค่าความถี่ในแต่ละจุดวัดเป็น 2 ค่า คือความถี่ที่แอมพลิจูดสูงสุดกับความถี่ที่อัตราส่วนของแอมพลิจูดสูงสุด จะเห็นว่าค่าความถี่เฉลี่ยเกือบเท่ากัน คือ 15.2, 15.4, 15.5 และ 15.6 kHz การติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยสลักเกลียว มีค่า mounted resonance ประมาณ 40 - 50 kHz ดังนั้นค่าที่จะนำมาคิดเป็น mounted resonance คือค่าความถี่ที่อัตราส่วนของแอมพลิจูดสูงสุด ซึ่งถือว่าที่ความถี่ดังกล่าว การวัดโดยติดตั้งหัววัดด้วยสลักเกลียว ไม่เกิดการเบี่ยงเบนของแอมพลิจูด หรือยังอยู่ในช่วงปกติ จากตารางสรุปได้ว่าการทดลองหาค่าความถี่ที่เกิด mounted resonance จากการติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยแม่เหล็กในครั้งนี้มีค่าเท่ากับ 15.45 kHz หรือคิดเป็นประมาณ 1 ใน 3 ของ mounted resonance ที่ติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยสลักเกลียว หรือค่าที่กำหนดมาจากผู้ผลิตหัววัดความเร่ง อย่างไรก็ตามการกำหนดความถี่ที่ทำการวัดที่ความถี่ 30 kHz ซึ่งเลยค่า mounted resonance กรณีการวิจัยนี้สามารถใช้ได้ในเชิงเปรียบเทียบ หรือติดตามแนวโน้ม (trend) ได้



รูป 4.40 อัตราส่วนของแอมพลิจูด ติดตั้งหัววัดด้วยแม่เหล็ก / ติดตั้งหัววัดด้วยสลักเกลียว

ตาราง 4.5 ความถี่ที่เกิด Mounted resonance เมื่อติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยแม่เหล็ก

ที่	เบอร์รถ	ความถี่ที่จุดวัด L01M (kHz)		ความถี่ที่จุดวัด L02M (kHz)	
		ที่ Peak Amp.	ที่ Peak Amp. Ratio	ที่ Peak Amp.	ที่ Peak Amp. Ratio
1	62-0046	16.9	19.8	17.3	17.0
2	62-0047	16.1	15.9	16.5	14.7
3	62-0049	14.1	14.8	12.2	12.3
4	62-0050	16.5	14.6	17.0	15.3
5	62-0051	14.1	15.5	14.2	17.3
6	62-0052	16.4	15.1	16.3	15.9
7	62-0032	15.7	15.2	15.4	16.1
8	62-0033	13.7	12.4	15.7	15.3
9	62-0036	13.4	15.3	16.0	15.6
	เฉลี่ย	15.2	15.4	15.6	15.5
	ช่วง	13.4 - 16.9	12.4 - 19.8	12.2 - 17.3	12.3 - 17.3

4.9 การพิจารณาความถี่ที่ควรกรองสัญญาณออก

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงความถี่ที่ควรทำการกรองสัญญาณออก โดยเป้าหมายหลักในการกรองสัญญาณออกคือ เพื่อให้เหลือสัญญาณที่เกี่ยวข้องกับสิ่งที่สนใจหรือสิ่งที่มีความสำคัญเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อความสะดวก ง่าย และมีความน่าเชื่อถือสูงในการคาดหมายลักษณะการชำรุดของแบร้ง

ความถี่ที่ควรกรองสัญญาณออกในที่นี้จะกล่าวถึงการวัดใน 2 ข้อ คือ การวัดในช่วงความถี่ 20 - 30,000 Hz กับ การวัดในช่วงความถี่ 0.5 - 400 Hz วัดโดยการปรับปรุงสัญญาณ

จากผลการวัดจริงในช่วงความถี่ 20 - 30,000 Hz (ดูภาคผนวก จ ประกอบ) พบว่า ในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 5,000 Hz ไม่มีผลกระทบจากการชำรุดหรือไม่ชำรุดของแบร้ง ดังนั้นในการวัดจริงในช่วงความถี่ดังกล่าวควร กำหนดความถี่ค่าต่ำจากเดิม 20 Hz เป็น 5,000 Hz ได้ เพราะตามที่ได้กล่าวแล้วในข้อ 4.5 ว่า ความถี่ที่เกิดค่าอัตราส่วนของแอมพลิจูดสูงเกิดใน 3 ช่วงของความถี่ คือ 7 - 9, 15 - 18 และ 24 - 27 kHz

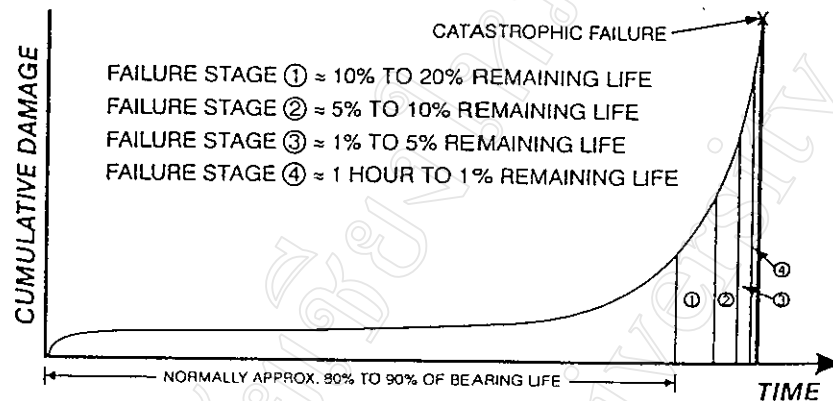
การวัดในช่วงความถี่ 0.5 - 400 Hz โดยการปรับปรุงสัญญาณจะมีการกรองสัญญาณ HP ที่ 5,000 Hz ซึ่งในช่วงแรกของการทดสอบได้ทดลองเปลี่ยนค่าการกรองที่ HP ต่าง ๆ กัน คือที่ 500 Hz, 1,000 Hz, 2,000 Hz และ 5,000 Hz และทดลองเปลี่ยนขนาดรอยแตกที่ผิวรางนอกของแบร้งเป็น 4 ขนาด คือ 0.1, 0.2, 0.3 และ 1 มม. ผลการทดลองแสดงไว้ในภาคผนวก ก และสรุปได้ว่า ค่าแอมพลิจูดของ BPF ไม่ได้มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน เมื่อเปลี่ยนค่า HP ส่วนค่าการสั่นสะเทือนโดยรวมลดลงเล็กน้อย เมื่อค่า HP สูงขึ้น เนื่องจากการกำหนด HP ต่ำจะมีสัญญาณเข้าขบวนการ demodulate มากกว่า ค่า noise floor ของการสั่นสะเทือนจะมากกว่า ดังนั้นในการเลือก HP จึงเลือกที่ 5,000 Hz หรือมากกว่าเพื่อลด noise floor ของการสั่นสะเทือน เพื่อให้การติดตามค่า BPF ทำได้ง่ายขึ้น และหากพิจารณาดู spectrum ที่ 20 - 30,000 Hz จะพบว่าบริเวณที่มีการเพิ่มขึ้นของการสั่นสะเทือนอยู่ใน 3 ช่วงความถี่ที่ได้กล่าวถึงแล้วในข้อ 4.5 ซึ่งจะทำให้สามารถทำ HP ได้ถึง 5,000 Hz การทำ HP ที่มากกว่านี้เช่น 6,000 Hz อาจมีผลทำให้สัญญาณในช่วง 7,000 Hz หายไปได้ เพราะลักษณะของการกรองแบบ HP จะมีลักษณะตามรูป 2.16

4.10 การวิจารณ์ผลการทดสอบหาอัตราการเติบโตของรอยแตกของรางนอกแบร้ง

จากผลการทดสอบซึ่งได้จากการทดสอบจริงบนตัวเครื่องจักร ที่แสดงในรูป 4.36 จะเห็นว่าเมื่อแบร้งเริ่มเกิดการชำรุดแล้ว อัตราการเติบโตของรอยแตกที่ผิวของแบร้ง ซึ่งวัดเป็นตารางมิลลิเมตร จะมีลักษณะเป็นฟังก์ชันยกกำลัง คือรอยแตกจะลุกลามอย่างรวดเร็วมาก ซึ่งมีลักษณะทำนองเดียวกับข้อมูลเรื่องลักษณะทั่วไปของขั้นตอนการชำรุดของแบร้ง เทียบเป็นอายุการใช้งานที่เหลือที่เสนอโดย Berry, J. E. (6) ตามที่แสดงในรูป 4.41

การนำข้อมูลจากการทดสอบมาใช้งาน ยึดหลักตามที่บริษัท Timken (29) กำหนดให้รอยแตกที่มีขนาด 6 ตารางมิลลิเมตร เป็นการแตกที่สมบูรณ์แล้ว ประกอบกับการยึดหลักการป้องกันการชำรุดลุกลามไปยังส่วนสำคัญและราคาสูงของระบบไฮดรอลิกคือกระบอกไฮดรอลิก จึงกำหนดขนาดของรอยแตกที่แบร้งทั้ง 4 ตัวรวมกันไม่เกิน 24 ตารางมิลลิเมตร

จากจุดที่แบร้งเริ่มชำรุดไปจนถึงจุดที่มีพื้นที่ของรอยแตกรวมกันได้ประมาณ 24 ตารางมิลลิเมตร นับจำนวนครั้งที่มีการยกกะบะ และคิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์อายุรวมของแบร้งสรุปได้ดังตาราง 4.6



รูป 4.41 ลักษณะทั่วไปของขั้นตอนการชำรุดของแบริ่ง เทียบเป็นอายุการใช้งานที่เหลือ

ตาราง 4.6 จำนวนครั้งที่ทำการยกกะบะได้สูงสุดและอายุของแบริ่งหลังการเริ่มชำรุด

หมายเลขบีม	เมื่อเริ่มชำรุด (ครั้ง)	ใช้งานต่อ (ครั้ง)	รวมใช้งานทั้งหมด (ครั้ง)	คิดเป็น % ของอายุรวม
1	180	67	247	27.1
2	300	88	388	22.6
3	390	136	526	25.8
	รวม	291	1,161	-
	เฉลี่ย			25.1

จากตาราง 4.6 จำนวนชั่วโมงที่จะใช้งานเครื่องจักรได้ต่อ หลังการเริ่มชำรุดของแบริ่งประมาณ 22 % คิดเป็นประมาณ 260 ชั่วโมงใช้งาน หรือประมาณ 1 เดือน ดังนั้นเพื่อป้องกันการชำรุดลุกลามที่จะเกิดขึ้นในระบบ และเพื่อให้สามารถตรวจสอบการชำรุดของแบริ่งได้พบ จึงควรทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนทุกครึ่งอายุการใช้งานของแบริ่ง เมื่อเริ่มเกิดการชำรุดคือทุก 130 ชั่วโมง การใช้งานของเครื่องจักร

4.11 ปัญหาและอุปสรรคในการวิจัย

การทำวิจัยนี้ได้ใช้เวลาในการทดสอบเก็บข้อมูลนานกว่าที่กำหนดไว้ในแผนงานประมาณ 3 เท่าตัว (จาก 3 เดือน เป็น 9 เดือน) เนื่องจากเกิดปัญหาและอุปสรรคที่สำคัญ 3 ประการคือ

4.11.1 ปัญหาเรื่องผลกระทบจากอุณหภูมิของน้ำมันไฮดรอลิก คือ หากอุณหภูมิมีความแตกต่างกันมากระหว่างการวัดค่าการสั่นสะเทือนแต่ละครั้ง จะมีผลต่อค่าการสั่นสะเทือน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวัดในช่วงความถี่ 20 - 30,000 Hz ทำให้การแปลผลผิดพลาด และทำให้เสียเวลาในการทดสอบมาก ได้ทำการแก้ไขโดยทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนของแอมพลิจูดที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน ในขณะที่เบร้งยังอยู่ในสภาพดี พบว่าอุณหภูมิควรต่างกันไม่เกิน 3 °C และควรเริ่มทำการทดสอบที่อุณหภูมิตั้งแต่ 60 °C โดยเริ่มวัดจากจุดวัดด้านหลังก่อน เพราะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิสูงกว่าจุดวัดด้านหน้า เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำกว่า 60 °C เช่นที่ 40 °C หรือ 50 °C จะพบว่าเกิดการสั่นสะเทือนลักษณะของการเกิด resonance ที่ความถี่สูง เช่นเดียวกับกรณีเกิดการชำรุดขึ้นที่เบร้ง แสดงถึงผลกระทบจากค่าความหนืดของน้ำมัน ทำให้เกิดแรงขึ้นภายในตัวปั๊มไฮดรอลิกและมีความแรงพอที่จะกระตุ้นให้เกิดการ resonance ขึ้นได้ รายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ก

4.11.2 ปัญหาการทำให้เกิดการชำรุดของเบร้งลำช้า หลังจากการทำด้านที่ทรงนอกของเบร้ง ไม่ทำการแก้ไขโดยการทำให้เกิด shock load ขึ้นในระบบ ทดแทนการให้ภาระอย่างต่อเนื่อง ซึ่งได้ทดลองแล้วพบว่า เบร้งจะมีการชำรุดช้ามาก เนื่องจากสภาพการหล่อลื่นมีลักษณะเป็น full film lubrication ทำให้การเก็บข้อมูลต้องใช้เวลามาก

การทำให้เกิด shock ขึ้นในระบบ ทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นของความดันสูงกว่าปกติ ทำให้เบร้งชำรุดเร็วขึ้น ตามที่แสดงกราฟอัตราการเพิ่มของความดันไว้ในภาคผนวก ข

4.11.3 ปัญหาผลกระทบจากภาระของปั๊มไฮดรอลิก เมื่อปัญหาข้อ 4.11.2 ได้รับการแก้ไข การทดสอบได้พยายามดำเนินการบนหลักการที่จะนำผลการทดสอบไปใช้งานกับเครื่องจักรได้สะดวก และรวดเร็วที่สุดโดยไม่ต้องดำเนินการดัดแปลงใด ๆ ทั้งสิ้น คือทดสอบที่สภาวะคั่นบังคับระบบยกกระบอกอยู่ที่ตำแหน่งว่าง ปั๊มไฮดรอลิก มีภาระไม่เกิน 10 psi และได้ทำการทดสอบที่ภาระสูงขึ้น เช่น 200 psi พบว่าที่สภาวะภาระของปั๊มต่ำเกินไป จะวิเคราะห์ข้อมูลไม่ได้ตามที่ต้องการ ในที่สุดจึงต้องกำหนดให้ภาระของปั๊มเป็น 2,000 psi หรือ 100 % ของภาระใช้งาน รายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ง

4.12 การนำผลการวิจัยไปใช้ในงานจริง

จากวัตถุประสงค์หลักของการทำวิจัยคือการนำผลวิจัยไปใช้ในการบำรุงรักษาปั๊มไฮดรอลิกแบบ predictive maintenance โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน ซึ่งจากผลการวิจัยสรุปได้ว่าสามารถนำผลการวิจัยไปใช้ในงานจริงได้ ข้อมูลการบำรุงรักษาเครื่องจักรเบื้องต้น คือเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องยนต์และเปลี่ยนปั๊มไฮดรอลิกที่ 400 และ 1,200 ชั่วโมง ตามลำดับ ข้อเสนอที่จะพิจารณานำไปใช้งานจริงสรุปได้ดังต่อไปนี้

4.12.1 เงื่อนไขของเครื่องจักรขณะทำการวัด

- ก. รอบการหมุนของปั๊มเท่ากับรอบเดินเบาของเครื่องยนต์ (ประมาณ 700 - 720 rpm.)
- ข. ภาระของปั๊มขณะทำการวัด ประมาณ 2,200 - 2,400 psi ตำแหน่งวาล์วควบคุมทิศทางไหลอยู่ที่ตำแหน่ง ยกสุดและระบบอยู่ที่ภาวะ pressure relief (ยกกระบอกค้างไว้ที่จุดสูงสุด)
- ค. ตำแหน่งติดตั้งหัววัดความแรง เลือกที่เสื้อเบร้งหน้าและหลัง รวม 2 ตำแหน่ง
- ง. สภาพผิวที่ติดตั้งหัววัดความแรงผ่านการไลปาดให้เรียบ

จ. อุณหภูมิน้ำมันที่เข้าปั๊มด้านดูด 70-72 °C (จุดวัดด้านหลัง) และ 72-74 °C (จุดวัดด้านหน้า)

4.12.2 เครื่องมือวัดและการปรับค่า parameter ใน vibration analyzer

- ก. หัววัดความเร่ง มี frequency response ไม่ต่ำกว่า 50 kHz พร้อมสายวัด
- ข. Vibration analyzer และอุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบ Infrared pyrometer
- ค. ทำการวัดที่ความถี่ 5,000 - 30,000 Hz เป็นหลัก ส่วนการวัดที่ 0.5 - 400 Hz แบบปรับปรุงสัญญาณทำ HP ที่ 5,000 Hz เป็นการวัดเพื่อสนับสนุนเป็นบางครั้งเมื่อจะมีการตัดสินใจ และเลือกการติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยแม่เหล็กเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลาที่ใช้ในการวัด

ง. ควรใช้จารบีแบบซิลิโคน ทาทุกครั้งที่ทำกรวัด เพื่อให้การส่งผ่านสัญญาณดีขึ้น และเป็น การป้องกันการเกิดสนิมที่ปั๊มไฮดรอลิคด้วย

4.12.3 แผนการดำเนินงาน

ก. ดำเนินการวัดค่าการสั่นสะเทือนครั้งแรก เมื่อมีการเปลี่ยนปั๊มไฮดรอลิคที่ซ่อมแล้วเสร็จ ขึ้นติดตั้งบนตัวรถ

ข. การวัดครั้งที่สองและสาม ดำเนินการที่รอบการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องยนต์ คือ 400 และ 800 ชั่วโมง

ค. การวัดครั้งที่สี่ ดำเนินการที่อายุการใช้งานปั๊มไฮดรอลิค ประมาณ 1,000 ชั่วโมง

ง. การวัดครั้งต่อไป ดำเนินการทุก ๆ 130 ชั่วโมง ใช้งานของเครื่องจักร หรือทุก 15 วัน

จ. หากพบการเปลี่ยนแปลงที่คาดว่าแรงสั่นสะเทือนจะเกิดการชำรุด ให้แจ้งผู้ใช้งานเตรียมเปลี่ยนรถสำรองลงใช้งานแทน และทำการวัดค่าซ้ำทุก 3 วัน (32) หากพบความผิดปกติจริง ดำเนินการแจ้งหยุดเครื่องจักร และวางแผนงานซ่อมบำรุงต่อไป