ภาคผนวก ก

ข้อมูลปั๊มไฮดรอลิค แบริ่งที่ทดสอบและการคำนวณ BPF ของแบริ่ง

ในบทนี้ข้อมูลปั๊มไฮดรอลิคจะกล่าวถึงรายละเอียดเพิ่มเติมของปั๊มไฮดรอลิค ข้อมูลของแบริ่งที่อยู่ภายในปั๊มไฮดรอลิค พร้อมทั้งที่มาของสูตรที่ใช้คำนวณค่า BPF ของแบริ่ง

ก-1 ข้อมูลปั๊มไฮดรอลิค

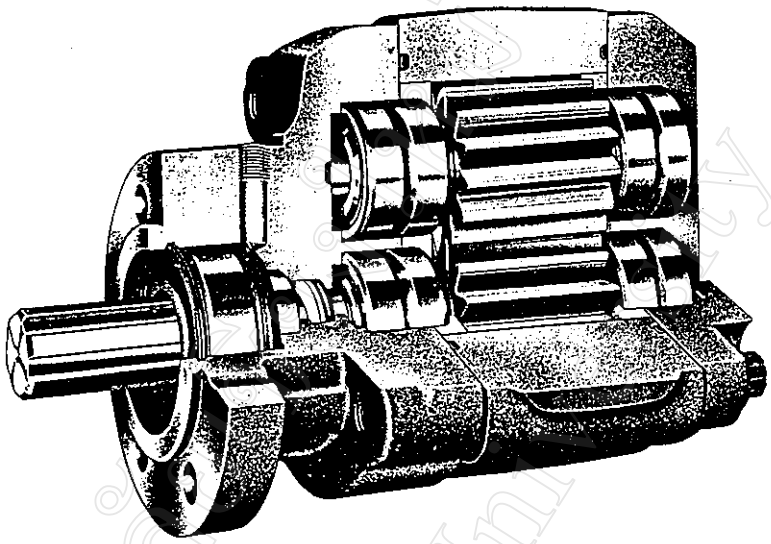
ปั๊มไฮดรอลิคที่ใช้ในการทดสอบเป็นแบบ gear type ตอนเดียวตามที่แสดงในรูป ก-1 มีเฟืองเกียร์ขับและตามอย่างละตัวมีจำนวนเฟือง 10 เฟือง โดยมีแบริ่งแบบ cylindrical roller bearing รองรับเพลาแต่ละด้านของเฟืองเกียร์ โดยเพลาดังกล่าวทำหน้าที่เป็นแหวนรางในของแบริ่งด้วย ลักษณะการติดตั้งของแบริ่งติดตั้งโดยสวมฟิตกับเสื้อของแบริ่ง ซึ่งทำหน้าที่เป็นฝาครอบ ด้านหน้าและด้านหลังของปั๊มไฮดรอลิค

ปั๊มไฮดรอลิคที่ทดสอบนี้มีอัตราการจ่ายน้ำมัน 93 gpm หรือ 363 ลิตรต่อนาที ที่รอบการหมุน 2100 รอบต่อนาที ความดันใช้งานต่อเนื่องที่ 2,000 psi การทดสอบนี้ใช้น้ำมันไฮดรอลิค SAE grade 10W

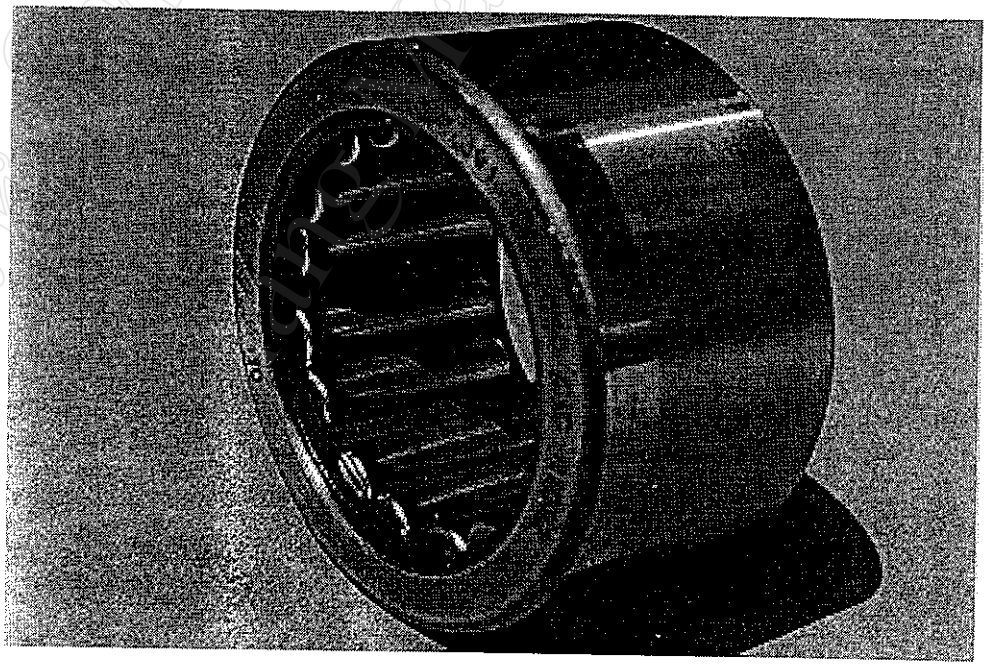
ก-2 ข้อมูลแบริ่ง

แบริ่งที่ใช้ทดสอบเป็นแบริ่งที่ติดตั้งอยู่ในปั๊มไฮดรอลิคอยู่แล้ว ลักษณะของแบริ่งเป็นแบบ cylindrical roller bearing ตามรูป ก-2 ที่แสดง มีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนคือ เม็ดแบริ่งแบบ cylindrical roller รางนอก (outer race) ทำขึ้นเป็นชิ้นเดียวกับฝาปิดด้านข้าง และสุดท้ายคือ cage ทำจากเหล็กเหนียว โดยออกแบบให้แต่ละช่องว่างของ cage มีเม็ดแบริ่ง 2 เม็ด รวมทั้งหมด 16 เม็ด หรือ 8 ช่องของ cage

รายการขนาดและจำนวนที่เป็นองค์ประกอบของแบริ่งได้แสดงในตาราง ก-1 จากสูตรในสมการที่ 6,11,16 และ 25 ในหัวข้อ ก-3 เมื่อแทนค่า ω_0 เท่ากับศูนย์ เพราะรางนอกของแบริ่งไม่หมุน และแทนค่า P_d = 45.70 , B_d = 7.60 และมุม ϕ = 0.0 จะได้ค่าความถี่ของ BPF เป็นจำนวนเท่าของ ω_i หรือความเร็วรอบของเพลาขับปั๊มไฮดรอลิค ดังค่าที่แสดงในตาราง ก-1 ลำดับที่ 10 ถึง 13



รูป ก-1 ภาคตัดภายในของปั๊มไฮดรอลิคที่ใช้ทดสอบ



รูป ก-2 ลักษณะและส่วนประกอบของแบริ่งที่ทดสอบ

ตาราง ก-1 ข้อมูลรายละเอียดของแบริ่งและ BPF

ที่	รายการ	หน่วย
1	Outside diameter	59.00 มม.
2	Pitch diameter (P_d)	45.70 มม.
3	Inner race diameter	38.10 มม.
4	Width	31.70 มม.
5	Roller diameter (B_d)	7.60 มม.
6	Contact angle (ϕ)	0.00 degree
7	Number of rollers/length	16/25.30 มม.
8	Bearing bore (เฉลี่ย)	58.97 มม.
9	Internal clearance/class	เฉลี่ย 45 μm/c3
10	1FTF	0.417 เท่า
11	BSF	2.920 เท่า
12	BPFO	6.670 เท่า
13	BPFI	9.330 เท่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ก-3 การคำนวณ Ball Pass Frequency ของแบริ่ง

การคำนวณนี้อ้างถึงรูป 2.10 และ 2.11 ซึ่งแสดงภาคตัดตามแนวแกนและแนวขวางของแบริ่ง

Fundamental Train Frequency (FTF)

FTF คือ ความเร็วเชิงมุมของรัง (cage) หรือของจุดศูนย์กลางของเม็ดลูกปืน จากรูปที่ 2.10 คือ V_c จะมีความเร็วเชิงเส้น

$$V_c = \frac{V_i + V_o}{2} \quad (1)$$

V_i และ V_o คือความเร็วเชิงเส้นของ inner และ outer race ตามลำดับ

จากความสัมพันธ์ $V = \omega r$

ω คือ ความเร็วเชิงมุม

r คือ รัศมี

ดังนั้น

$$\omega_c = \frac{\frac{V_i + V_o}{2}}{\frac{P_d}{2}} \quad (2)$$

$$= \frac{V_i + V_o}{P_d} \quad (3)$$

$$= \frac{\omega_i(\frac{P_d}{2} - \frac{B_d\cos\phi}{2}) + \omega_o(\frac{P_d}{2} + \frac{B_d\cos\phi}{2})}{P_d} \quad (4)$$

$$= \frac{\omega_i}{2} - \frac{\omega_i B_d\cos\phi}{2P_d} + \frac{\omega_o}{2} + \frac{\omega_o B_d\cos\phi}{2P_d} \quad (5)$$

ω_c หรือ FTF $= \frac{1}{2}\left[\omega_i\left(1-\frac{B_d\cos\phi}{P_d}\right) + \omega_o\left(1+\frac{B_d\cos\phi}{P_d}\right)\right]$ (6)

ซึ่ง ω_i และ ω_o คือ ความเร็วเชิงมุมของ inner และ outer race ตามลำดับ ส่วน ω_c คือความเร็วเชิงมุมของรัง (cage) หรือเรียก fundamental train frequency

Ball Pass Frequency of Outer Race (BPFO)

BPFO คือความถี่ที่เม็ดแบริ่งวิ่งผ่าน outer race หรือคือจำนวนเม็ดแบริ่ง (N_b) คูณกับผลต่างของความถี่ของรังกับ outer race

$$BPFO = N_b |\omega_c - \omega_o| \quad (7)$$

$$= \left| N_b \frac{1}{2}\left[\left(\omega_i \left(1 - \frac{B_d \cos\phi}{P_d}\right) + \omega_o \left(1 + \frac{B_d \cos\phi}{P_d}\right) - \omega_o \right]\right) \right| \quad (8)$$

$$= \left| N_b \left(\frac{\omega_i}{2} - \frac{\omega_i B_d \cos\phi}{2 P_d} + \frac{\omega_o}{2} + \frac{\omega_0 B_d \cos\phi}{2 P_d} - \omega_o \right) \right| \quad (9)$$

$$= \left| N_b \left[\left(\frac{\omega_i - \omega_0}{2}\right) - \left(\frac{\omega_i - \omega_0}{2}\right)\left(\frac{B_d \cos\phi}{P_d}\right) \right] \right| \quad (10)$$

$$= \left| \frac{N_b}{2}(\omega_i - \omega_o)\left(1 - \left(\frac{B_d \cos\phi}{P_d}\right)\right) \right| \quad (11)$$

Ball Pass Frequency of Inner Race (BPFI)

BPFI คือความถี่ที่เม็ดแบริ่งที่วิ่งผ่านจุดหนึ่งบน inner race หรือคือจำนวนเม็ดแบริ่งคูณด้วยผลต่างของความถี่ระหว่าง inner race กับรัง (cage) หรือ

$$BPFI = N_b |\omega_i - \omega_c| \quad (12)$$

$$= \left| N_b \left(\omega_i - \frac{1}{2}\left[\omega_i \left(1 - \frac{B_d \cos\phi}{P_d}\right) + \omega_o \left(1 + \frac{B_d \cos\phi}{P_d}\right) \right] \right) \right| \quad (13)$$

$$= \left| N_b \left(\omega_i - \frac{\omega_i}{2} + \frac{\omega_i B_d \cos\phi}{2 P_d} - \frac{\omega_0}{2} - \frac{\omega_0 B_d \cos\phi}{2 P_d} \right) \right| \quad (14)$$

$$= \left| N_b \left[\left(\frac{\omega_i - \omega_0}{2}\right) + \left(\frac{\omega_i - \omega_0}{2}\right)\frac{B_d \cos\phi}{P_d} \right] \right| \quad (15)$$

$$= \left| \frac{N_b}{2}(\omega_i - \omega_o)\left(1 + \frac{B_d \cos\phi}{P_d}\right) \right| \quad (16)$$

Ball Spin Frequency (BSF)

BSF คือความถี่ที่เม็ดแบริ่งวิ่งไปบนผิวของ inner race และผิว outer race โดยแยกพิจารณาเป็นกรณีที่เม็ดแบริ่ง contact กับ inner race และ outer race ดังนี้

กรณี Inner race contact กับเม็ดแบริ่ง

V_b คือความเร็วเชิงเส้นที่ผิวของแบริ่ง

$$v_b = (\omega_i - \omega_c) r_i \quad (17)$$

r_i = รัศมีของ inner race

ความเร็วเชิงมุมของลูกปืน Ball Spin Frequency

$$BSF = \left| (\omega_i - \omega_c) \frac{r_i}{r_b} \right| \quad (18)$$

r_b = รัศมีของเม็ดลูกปืน

$$BSF = \left| (\omega_i - \omega_c) \left[\frac{\frac{P_d - B_d \cos\phi}{2}}{\frac{B_d}{2}} \right] \right| \quad (19)$$

แทนค่า ω_c

$$BSF = \left| \left[\omega_i - \frac{1}{2} \left(\omega_i \left(1 - \frac{B_d \cos\phi}{P_d}\right) + \omega_o \left(1 + \frac{B_d \cos\phi}{P_d}\right) \right) \right] \left(\frac{P_d - B_d \cos\phi}{B_d} \right) \right| \quad (20)$$

$$= \left| \left(\omega_i - \frac{\omega_i}{2} + \frac{\omega_i B_d \cos\phi}{2 P_d} - \frac{\omega_0}{2} - \frac{\omega_0 B_d \cos\phi}{2 P_d} \right) \left(\frac{P_d - B_d \cos\phi}{B_d} \right) \right| \quad (21)$$

$$= \left| \left(\frac{\omega_i - \omega_0}{2} \right) \left(1 + \frac{B_d \cos\phi)}{P_d}\right) \left(\frac{P_d - B_d \cos\phi}{B_d} \right) \right| \quad (22)$$

$$= \left| \left(\frac{\omega_i - \omega_0}{2} \right) \left(\frac{P_d}{B_d} - \cos\phi + \cos\phi - \frac{B_d \cos^2\phi}{P_d} \right) \right| \quad (23)$$

$$= \left| \left(\frac{\omega_i - \omega_0}{2} \right) \left(\frac{P_d}{B_d} \right) \left(1 - \frac{B_d^2 \cos^2\phi}{P_d^2}\right) \right| \quad (24)$$

$$= \left| \frac{P_d}{2 B_d} (\omega_i - \omega_o) \left(1 - \frac{B_d^2 \cos^2\phi}{P_d^2}\right) \right| \quad (25)$$

<u>กรณี outer race contact กับเม็ดแบริ่ง</u>

$v_b = (\omega_c - \omega_o) r_o$

r_o คือ รัศมีของผิวใน outer race (26)

จะได้ BSF $= \left| (\omega_c - \omega_o) \frac{r_o}{r_b} \right|$ (27)

$$= \left| \left[\frac{1}{2} \left(\omega_i \left(1 - \frac{B_d \cos\phi}{P_d}\right) + \omega_o \left(1 + \frac{B_d \cos\phi}{P_d}\right) \right) - \omega_o \right] \left(\frac{P_d + B_d \cos\phi}{B_d} \right) \right| \quad (28)$$

$$= \left| \left(\frac{\omega_i}{2} - \frac{\omega_i B_d \cos\phi}{2 P_d} + \frac{\omega_0}{2} + \frac{\omega_0 B_d \cos\phi}{2 P_d} - \omega_o \right) \left(\frac{P_d + B_d \cos\phi}{B_d} \right) \right| \quad (29)$$

$$= \left| \left(\frac{\omega_i - \omega_0}{2} \right) \left(1 - \frac{B_d \cos\phi}{P_d}\right) \left(\frac{P_d + B_d \cos\phi}{B_d} \right) \right| \quad (30)$$

$$= \left| \left(\frac{\omega_i - \omega_0}{2} \right) \left(\frac{P_d}{B_d} + \cos\phi - \cos\phi - \frac{B_d \cos^2\phi}{P_d} \right) \right| \quad (31)$$

$$= \left| \left(\frac{\omega_i - \omega_0}{2} \right) \left(\frac{P_d}{B_d} \right) \left(1 - \frac{B_d^2 \cos^2\phi}{P_d^2}\right) \right| \quad (32)$$

$$= \left| \frac{P_d}{2B_d} (\omega_i - \omega_o) \left(1 - \frac{B_d^2 \cos^2 \phi}{P_d^2} \right) \right| \quad (33)$$

ซึ่งทั้ง 2 กรณีจะได้ความถี่ BSF เท่ากัน

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ภาคผนวก ข

ข้อมูลหัววัดความเร่งที่ใช้ในการทดสอบ

หัววัดความเร่งที่ใช้เป็นเครื่องมือในการทำวิจัยนี้ เป็นแบบ piezoelectric มีคุณลักษณะที่สำคัญดังนี้

1. Voltage sensitivity	10.0	mV/g
2. Mounted resonanse	52	kHz
3. Max amplitude range	500	g.peak
4. Frequency response		
± 5 %	2.0 Hz to 18	kHz
± 3dB	0.5 Hz to >25	kHz
5. Temperature range	-50 to120 °C	
6. Cabling	10-32 coaxial connector and coaxial teflon jacket, 30 pF/ft cable	

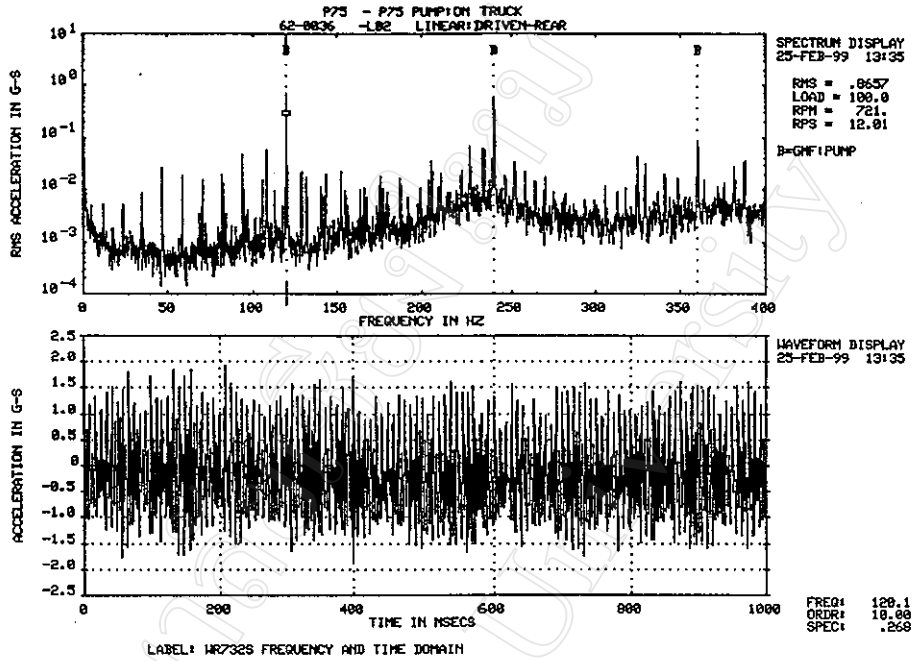
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ภาคผนวก ค

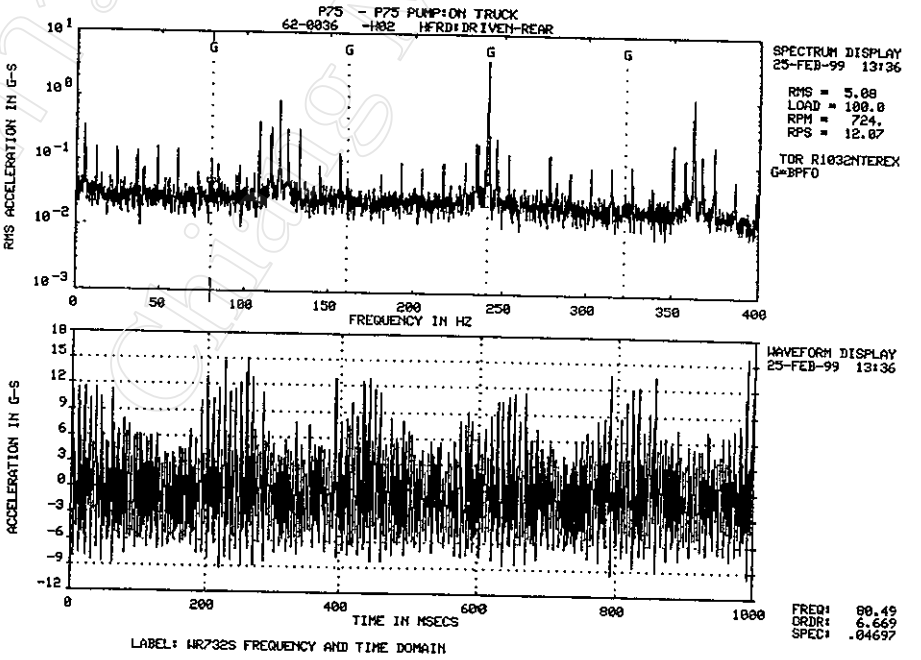
ตัวอย่างผลการวัดการสั่นสะเทือนในรูปของโดเมนความถี่และเวลา

การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในระบบที่มีแหล่งกำเนิดการสั่นสะเทือนหลาย ๆ แหล่ง ทำให้การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในรูปของ time domain จะทำได้ยากเนื่องจากการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นและรูปกราฟที่แสดงออกมาเป็นผลรวมของการสั่นสะเทือนทั้งหมด หากการสั่นสะเทือนนั้นรุนแรงและเป็นคาบที่แน่นอน ก็อาจจะแสดงให้เห็นชัดเจนได้ เช่น ในการขบกันของเฟืองเกียร์ การชำรุดของแบริ่งที่รองรับเพลาที่หมุนด้วยความเร็วรอบต่ำ ๆ รูป ค-1 แสดงให้เห็น time waveform ของการวัดที่ 0.5 - 400 Hz ซึ่งวัดค่าโดยตรง จะสังเกตและแยกความถี่ต่าง ๆ ออกมาได้ยากมาก รูป ค-2 แสดงให้เห็น time waveform ของการวัดที่ 0.5 - 400 Hz โดยการปรับปรุงสัญญาณ จะสังเกตเห็นระยะห่างกันของยอดคลื่นที่ความถี่ประมาณ 200 Hz คือ 2GMF หรือที่ความถี่ 5 Hz ซึ่งคือความถี่ของ 1 FTF ส่วนรูป ค-3 แสดง time waveform ของการวัดที่ 20 - 20,000 Hz ซึ่งแสดงให้เห็นชัดเจนเพียงรูปของคลื่นที่เกิดจากการขบกันของเฟืองเกียร์ ที่ความถี่ประมาณ 200 Hz หรือ 2GMF

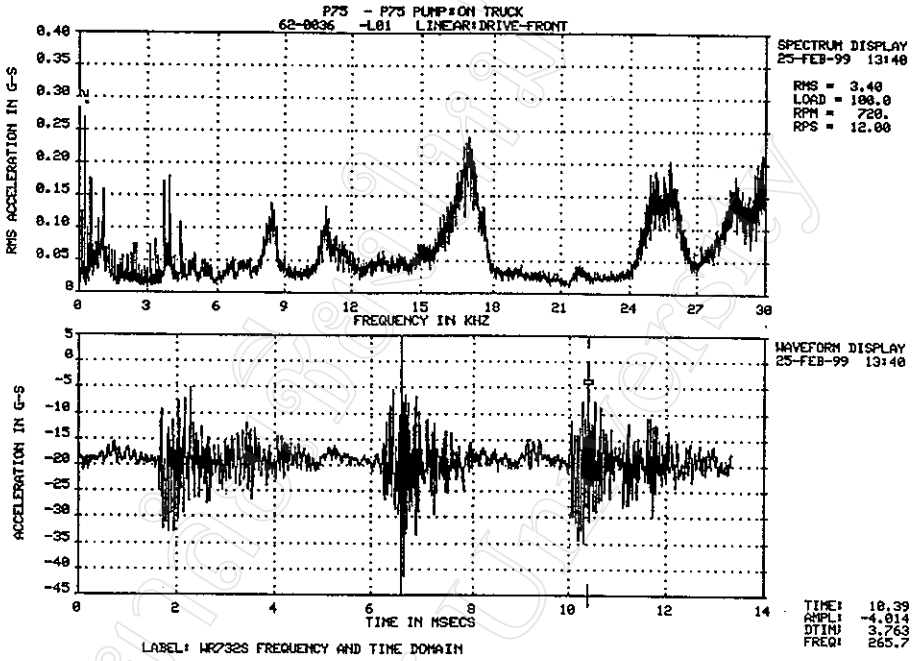
จากรูปที่ได้เสนอมาทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในรูปของ time domain ในเครื่องจักรที่ซับซ้อนและมีรอบการหมุนที่สูง ๆ จะทำให้รายละเอียดที่เป็นลักษณะเฉพาะของการทำงานของชิ้นส่วนต่าง ๆ หายไป โดยเฉพาะหากสัญญาณที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำและการส่งผ่านสัญญาณไม่ดี และยังเกิดความยุ่งยากในการคำนวณ ทำให้เสียเวลาในการวิเคราะห์ด้วย อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ใน time domain ยังเป็นสิ่งจำเป็นและเกิดประโยชน์ในบางงาน ซึ่งต้องมีการกำหนดองค์ประกอบปลีกย่อยอื่น ๆ ให้เหมาะสม



รูป ค-1 frequency และ time domain สำหรับการวัดโดยตรง (linear) ที่ความถี่ 0.5 - 400 Hz



รูป ค-2 frequency และ time domain สำหรับการวัดโดยปรับปรุงสัญญาณ ที่ความถี่ 0.5 - 400 Hz



รูป ค-3 frequency และ time domain สำหรับการวัดโดยตรง ที่ความถี่ 20 - 30,000 Hz

ภาคผนวก ง

การทำ Bump Test (Impact Test) (12)

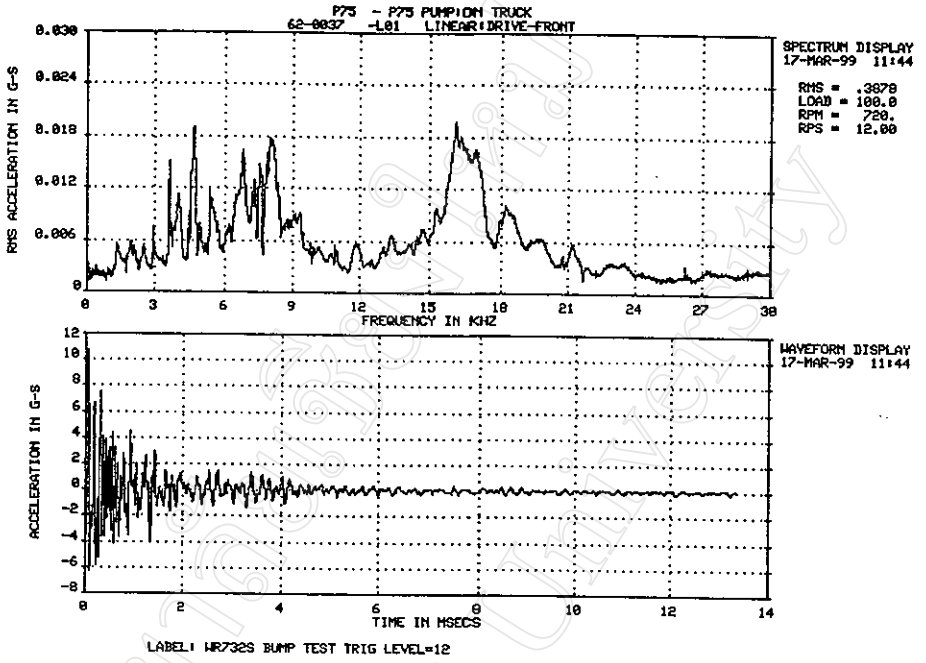
การทำ bump test หรือ impact test เป็นวิธีการทดสอบค่าการสั่นสะเทือน เพื่อหาค่าความถี่ธรรมชาติ ของชิ้นส่วนหรือโครงสร้างที่มีความซับซ้อน ไม่สะดวกในการคำนวณ โดยทั่วไปการทำ bump test จะคล้ายกับการวัดการสั่นสะเทือนตามปกติ คงมีส่วนที่แตกต่างกันอยู่บ้าง ประการสำคัญคือมีการเคาะโครงสร้างที่ต้องการวัดค่าความถี่ธรรมชาติโดยใช้ impact hammer หรือฆ้อนที่มีลักษณะปลายหัวฆ้อนบริเวณที่ใช้เคาะ มีหัวมนกลม เพื่อให้การเคาะเป็นลักษณะกระแทกแบบ sharp impact

นอกจากนี้การกำหนดฟังค์ชั่นของ window จะเป็นแบบ rectangular หรือ uniform คือการให้สัญญาณผ่านเข้ามาเท่ากันตลอดช่วงเวลาที่เก็บข้อมูลในเครื่องวัดการสั่นสะเทือน

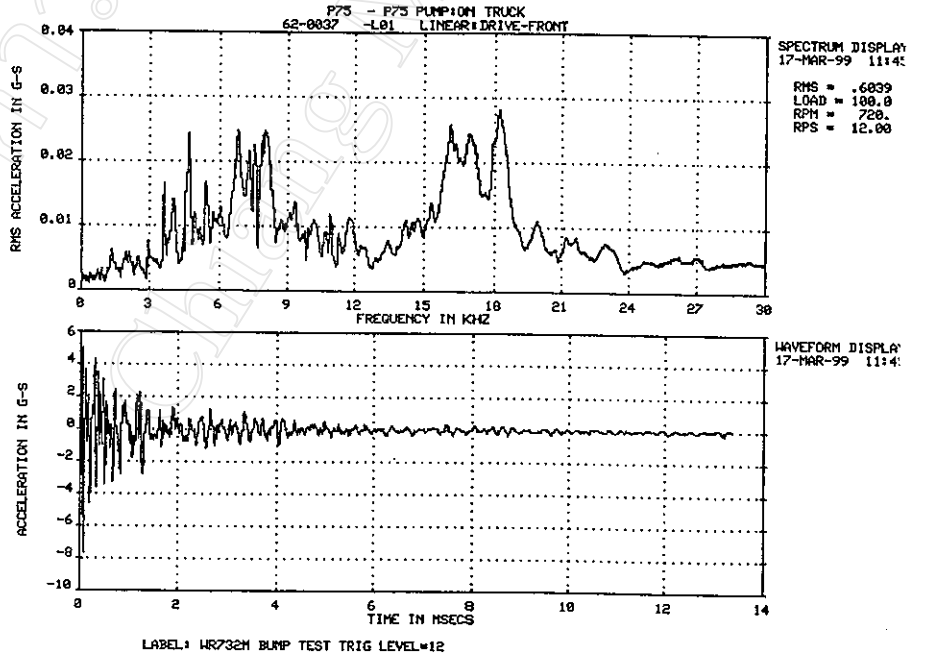
ในการวิจัยนี้ได้ทำการติดตั้งหัววัดความเร่งที่เดียวกับการวัดตามปกติ โดยทำการติดตั้งหัววัดความเร่งโดยสลักเกลียวและแม่เหล็ก โดยที่ระยะห่างของจุดวัดด้านหน้าและหลังของปั๊มไฮดรอลิคห่างกันเพียง 125 มม. จึงทำการเคาะด้านหลังเมื่อต้องการวัดด้านหน้า และทำการเคาะด้านหน้า เมื่อต้องการวัดด้านหลัง

ผลจากการทำ bump test ได้แสดงผลของการสั่นสะเทือนในรูปของ frequency domain และ time domain ดังแสดงตามรูป ง-1 ถึงรูป ง-4 ซึ่งช่วงของความถี่ที่มีการสั่นสะเทือนสูง จะคล้ายกันทั้งการติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยสลักเกลียวและแม่เหล็ก คืออยู่ในช่วงความถี่ 3 - 6 kHz 6 - 9 kHz และ 15 - 18 kHz ซึ่งคล้ายกับเวลาที่เกิดการชำรุดจริงของแบริ่ง ส่วนในช่วงความถี่ 24 - 27 KHz จะมีค่าค่อนข้างต่ำ แต่เมื่อเกิดการชำรุดของแบริ่ง ค่าการสั่นสะเทือนที่ช่วงนี้จะสูงด้วย มีสาเหตุจากพลังงานที่ได้จากการเคาะ อาจต่ำเกินไปเมื่อเทียบกับสภาวะที่เกิดการชำรุดจริง

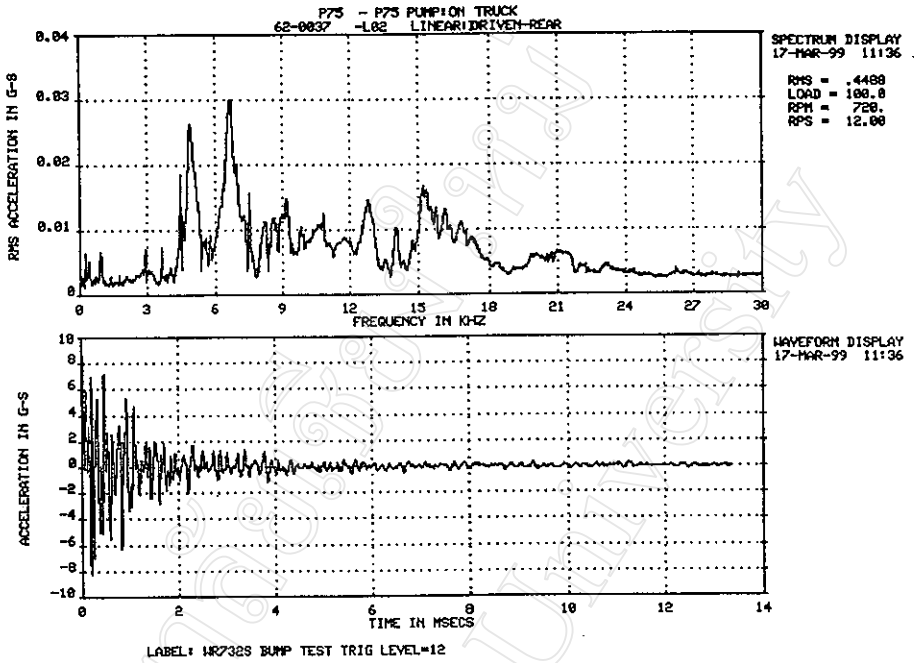
ในรูปของ time domain จะสังเกตเห็นลักษณะของการหน่วง (damping) ที่เกิดขึ้นในระบบ หรือการที่แอมปลิจูดจะลดลงตามเวลาที่ผ่านไป การหน่วงนี้จะมีส่วนช่วยให้ค่าของแอมปลิจูดที่เกิดจากการสั่นสะเทือนต่ำลง และลดเวลาในการสั่นสะเทือนให้สั้นลงเมื่อแรงที่เกิดขึ้นหยุดกระทำต่อระบบ



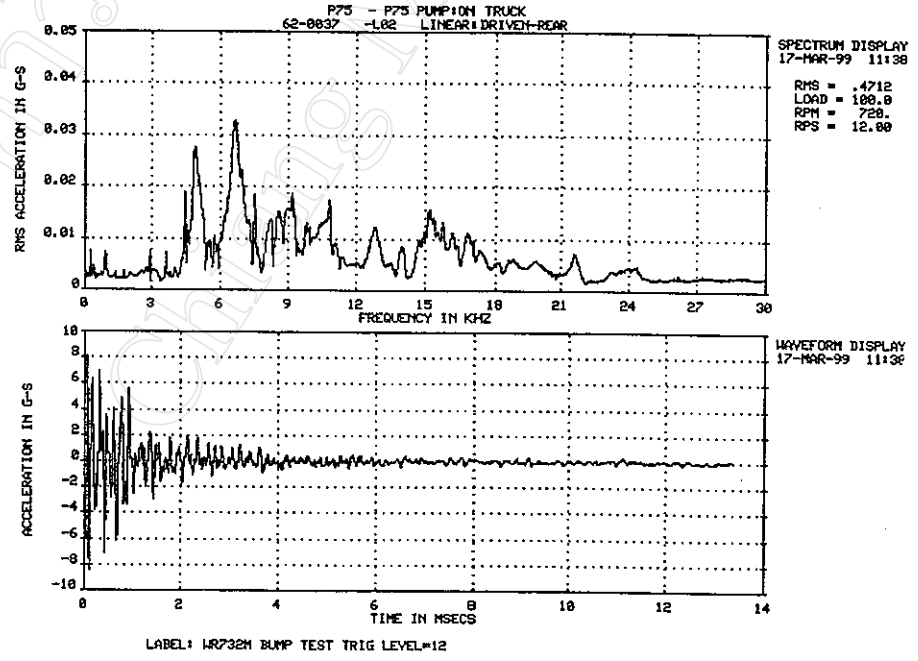
รูป ง-1 การทำ bump test แสดงผลการวัดในรูป frequency และ time domain จุดวัด L01S



รูป ง-2 การทำ bump test แสดงผลการวัดในรูป frequency และ time domain จุดวัด L01M



รูป ง-3 การทำ bump test แสดงผลการวัดในรูป frequency และ time domain จุดวัด L02S



รูป ง-4 การทำ bump test แสดงผลการวัดในรูป frequency และ time domain จุดวัด L02M

ภาคผนวก จ

การกำหนดองค์ประกอบที่สำคัญในการวัดในโปรแกรมของ CSI

การกำหนดองค์ประกอบที่สำคัญในการวิเคราะห์นี้ เป็นการกำหนดข้อมูลที่จะทำการวัดใส่ไว้ในโปรแกรมของเครื่องมือวัด เพื่อให้การวัดเป็นไปด้วยความรวดเร็ว โดยไม่ต้องใส่ข้อมูลซ้ำอีกในการวัดในจุดที่เหมือนกัน ในที่นี้จะกล่าวถึงข้อมูลที่สำคัญตามวิธีการวัดที่กำหนดขึ้นทั้ง 3 แบบ คือ การวัดโดยตรง ที่ความถี่ 20 - 30,000 Hz และที่ 0.5 - 400 Hz และการวัดโดยการปรับปรุงสัญญาณที่ความถี่ 0.5 - 400 Hz

จ-1 การวัดโดยตรงที่ความถี่ 20 - 30,000 Hz

FFT Analysis			
Upper frequency:	:	30,000	Hz
Lower frequency	:	20	Hz
Number of lines	:	3,200	lines
Number of averages	:	12	
Window type	:	hanning	

จ-2 การวัดโดยตรงที่ความถี่ 0.5 - 400 Hz

FFT Analysis			
Upper frequency	:	400	Hz
Lower frequency	:	0.5	Hz
Number of lines	:	3,200	lines
Number of averages	:	4	
Window type	:	hanning	

จ-3 การวัดโดยการปรับปรุงสัญญาณ

FFT Analysis			
Upper frequency	:	400	Hz
Lower frequency	:	0.5	Hz

Number of lines	:	3,200 lines
Number of averages	:	6
Window type:	:	hanning
Use analog pre-processor	:	yes
Filter setting	:	HP 5000
Envelope demodulator	:	on

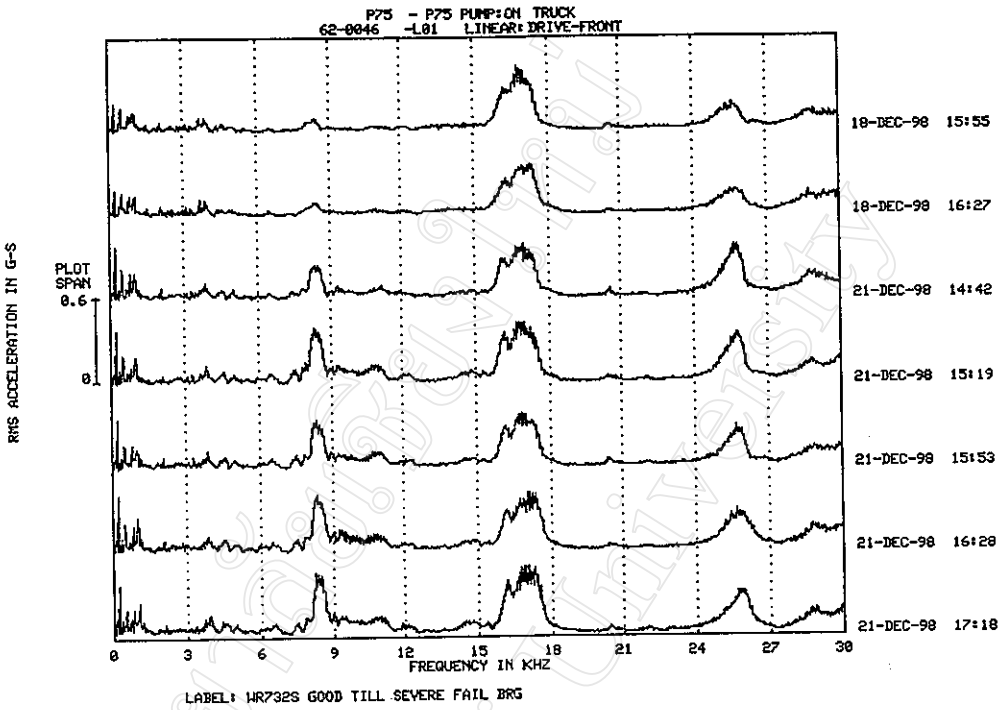
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ภาคผนวก ฉ

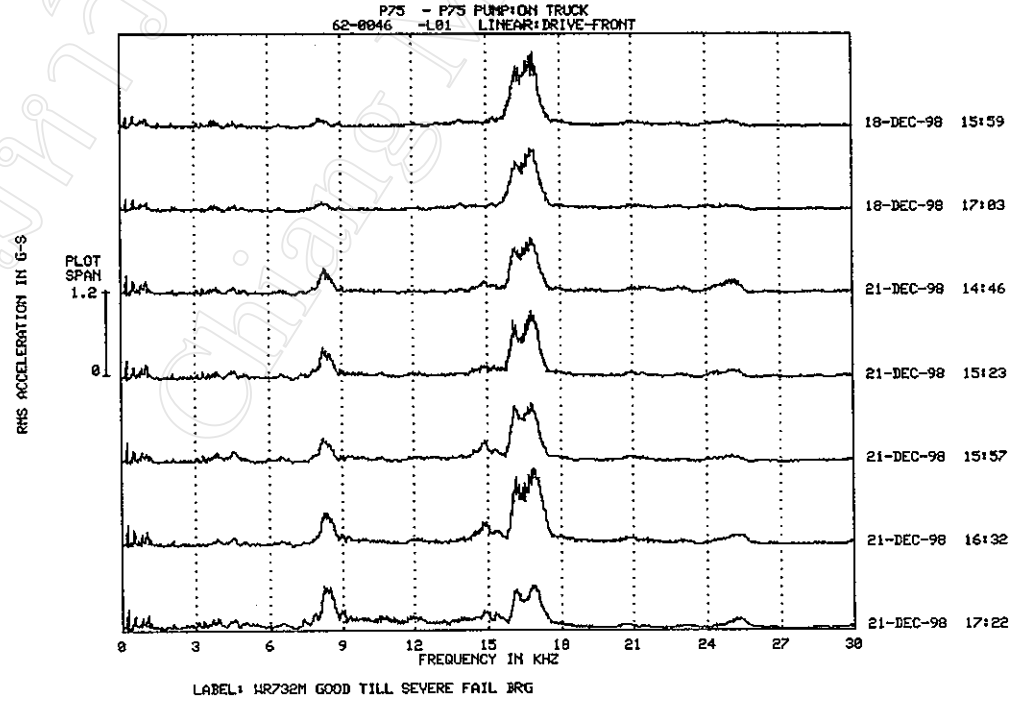
ข้อมูลการเรียงลำดับของ spectrum ที่ทำการวัดในช่วงความถี่ 20 - 30,000 Hz

ในบทนี้จะนำเสนอข้อมูลจากการทดสอบทั้งหมด นอกเหนือจากที่ได้แสดงไว้แล้วในหัวข้อ 4.1 ซึ่งจะเป็นรูปของ spectrum ที่จุดวัดต่าง ๆ เมื่อนำมาเรียงกันในรูปของ multiple spectra เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลง ตั้งแต่แบริ่งยังไม่เกิดการชำรุด จนกระทั่งแบริ่งเกิดการชำรุด ทั้งนี้ได้นำเสนอเครื่องจักรหมายเลข 62-0036 ไปแล้ว ยังมีข้อมูลนำเสนออีก 8 คัน แต่ละคันจะเรียงลำดับการนำเสนอจากจุดวัด L01S, L01M, L02S จนถึง L02M รวมทั้งหมด 32 จุดวัด คำอธิบายรูปจะแสดงดังตัวอย่าง เช่น "รถ 62-0046 จุดวัด L01S" คือเครื่องจักรหมายเลข 62-0046 L01 คือจุดวัดด้านหน้า S คือการติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยสลักเกลียว และ M คือติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยแม่เหล็ก ขนาดรอยแผลการชำรุดของรางนอกของแบริ่ง จากการทดสอบรถทั้ง 9 คัน ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ญ

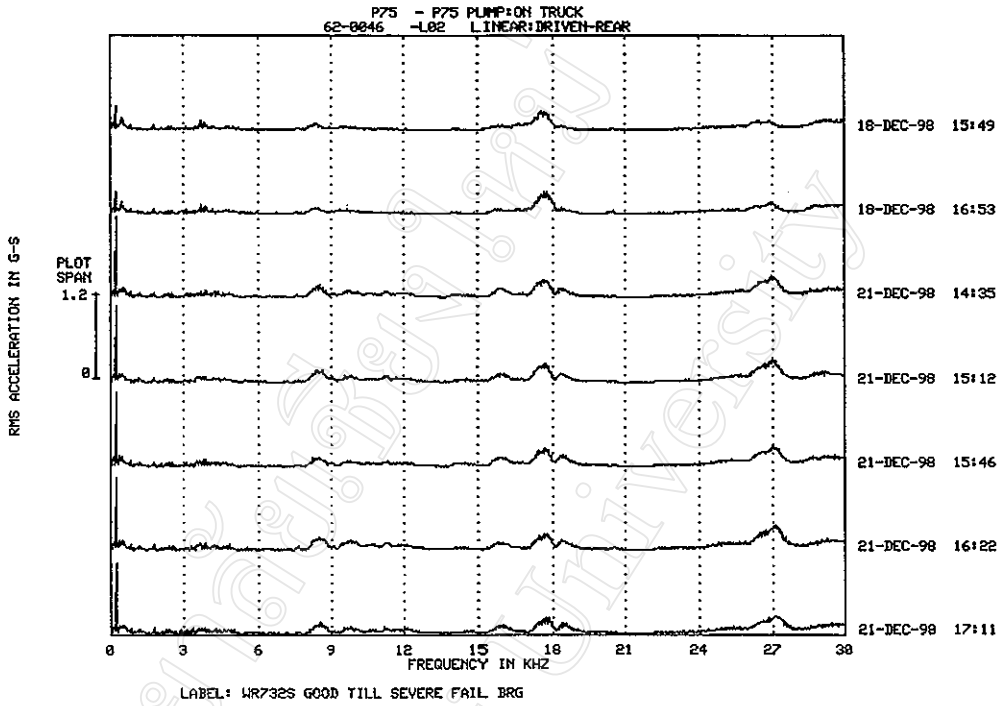
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University



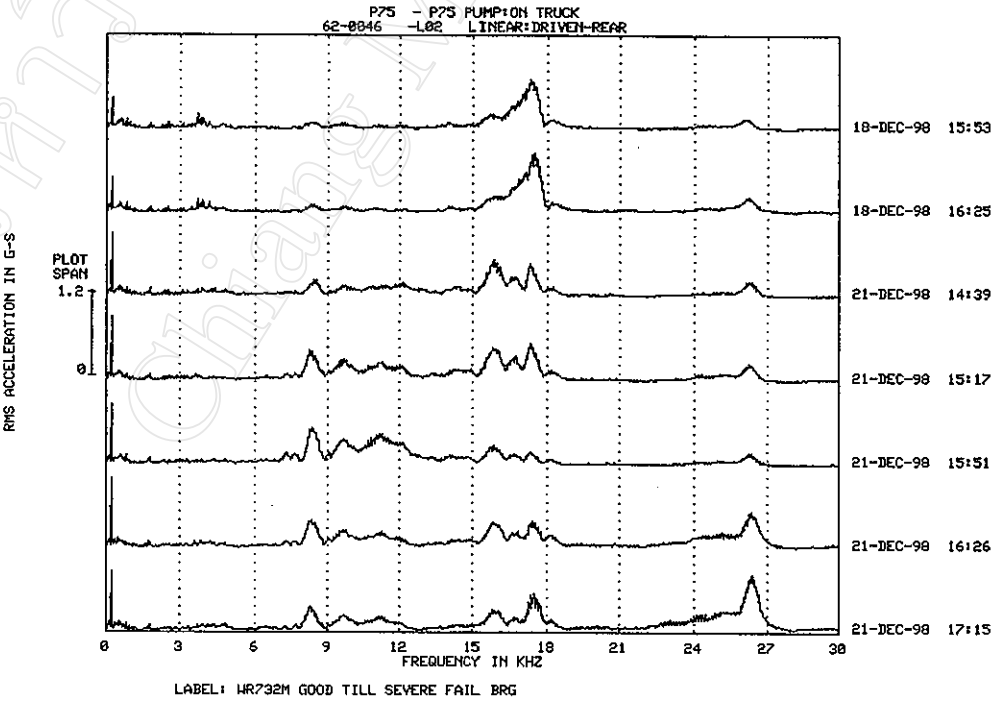
รูป ฉ-1 รถ 62-0046 จุดวัด L01S spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



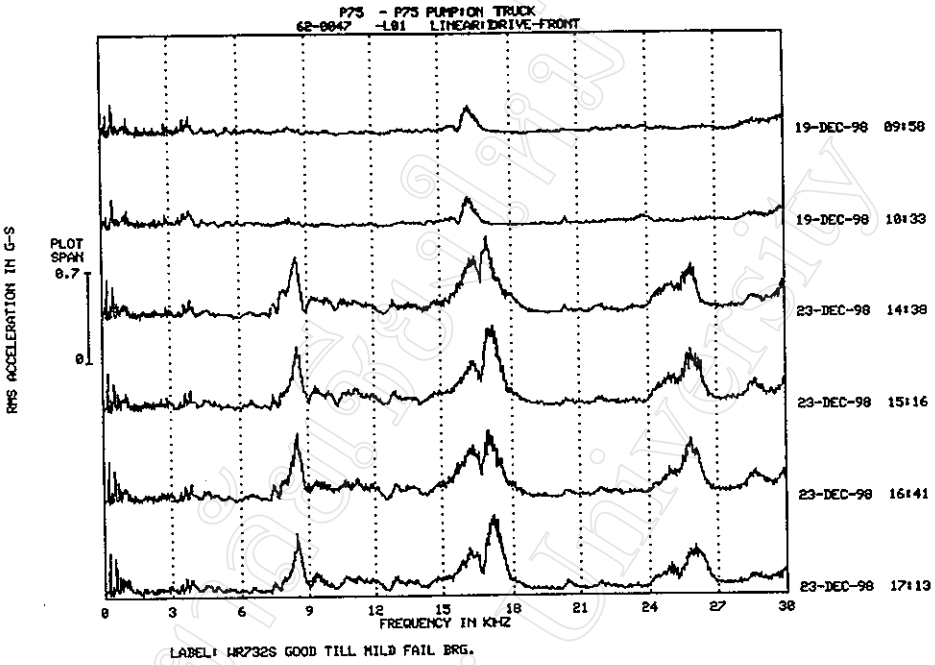
รูป ฉ-2 รถ 62-0046 จุดวัด L01M spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



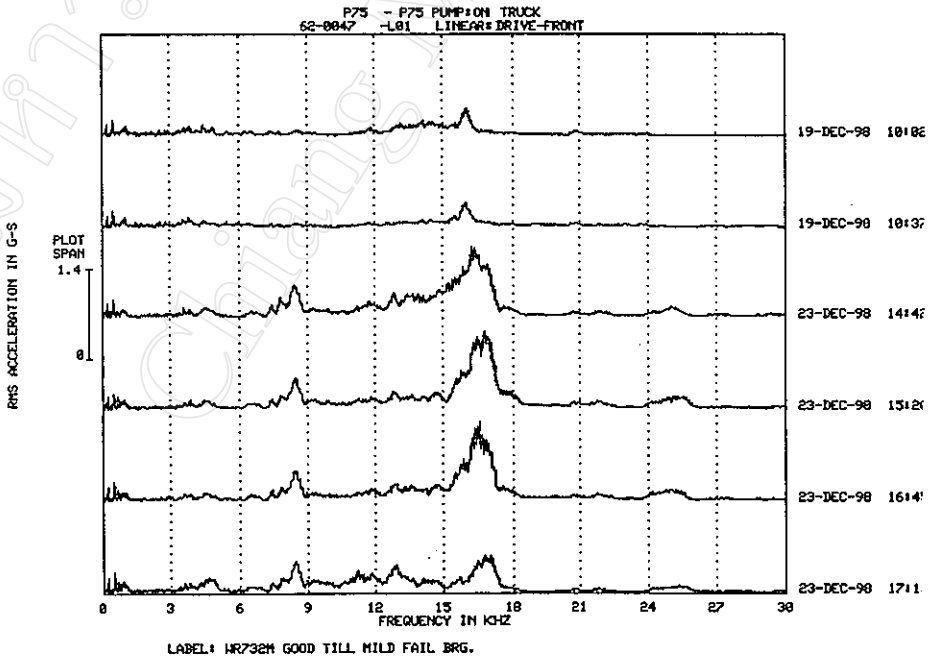
รูป ฉ-3 รถ 62-0046 จุดวัด L02S spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



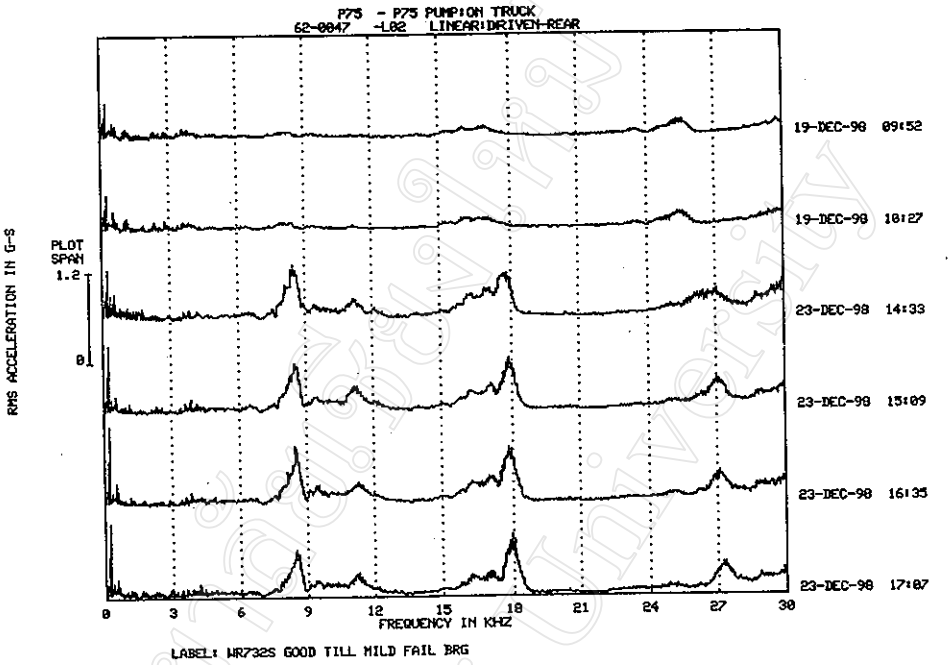
รูป ฉ-4 รถ 62-0046 จุดวัด L02M spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



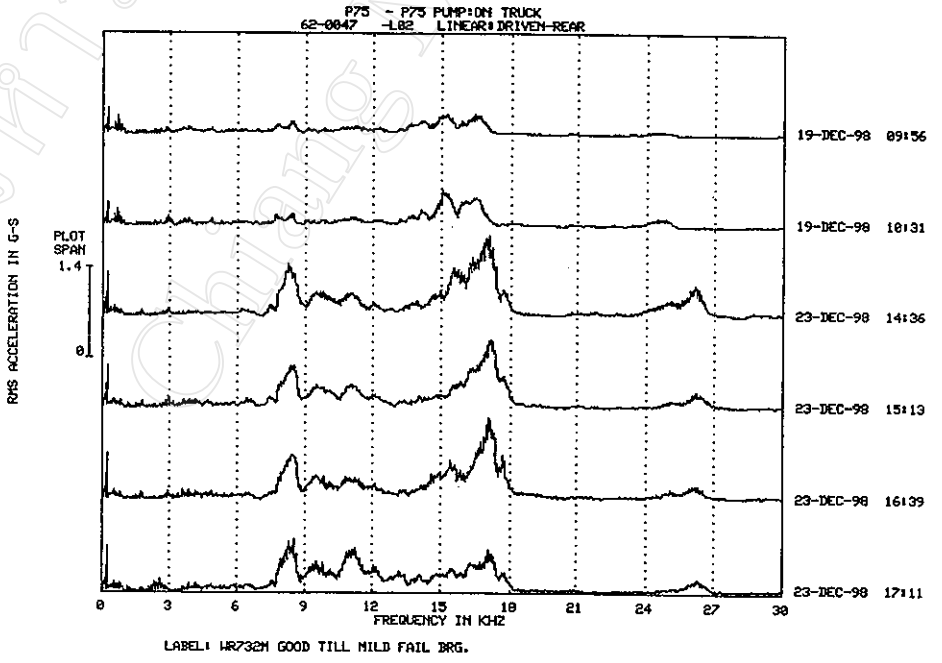
รูป ฉ-5 รถ 62-0047 จุดวัด L01S spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



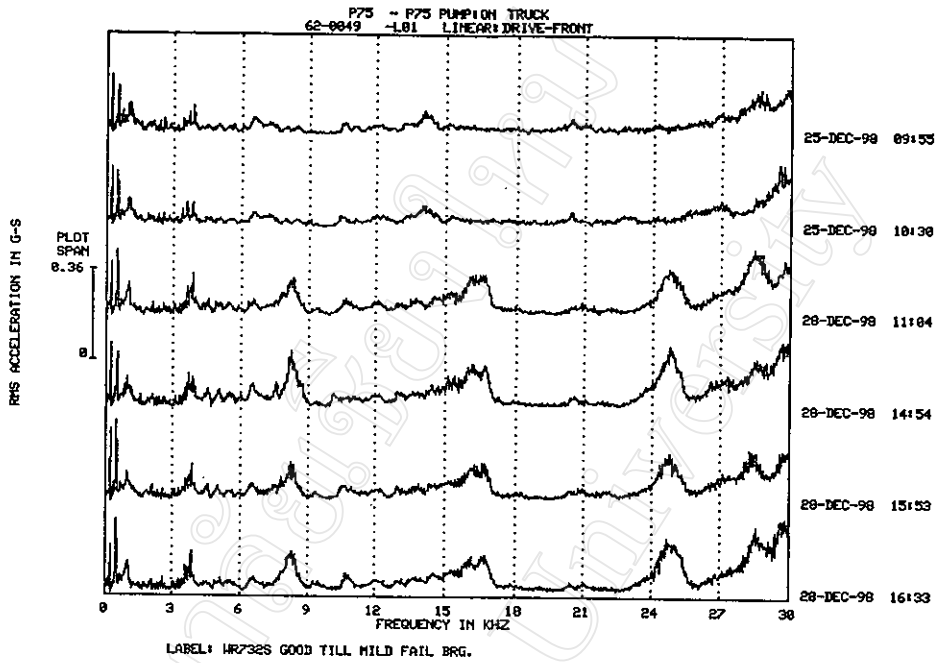
รูป ฉ-6 รถ 62-0047 จุดวัด L01M spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



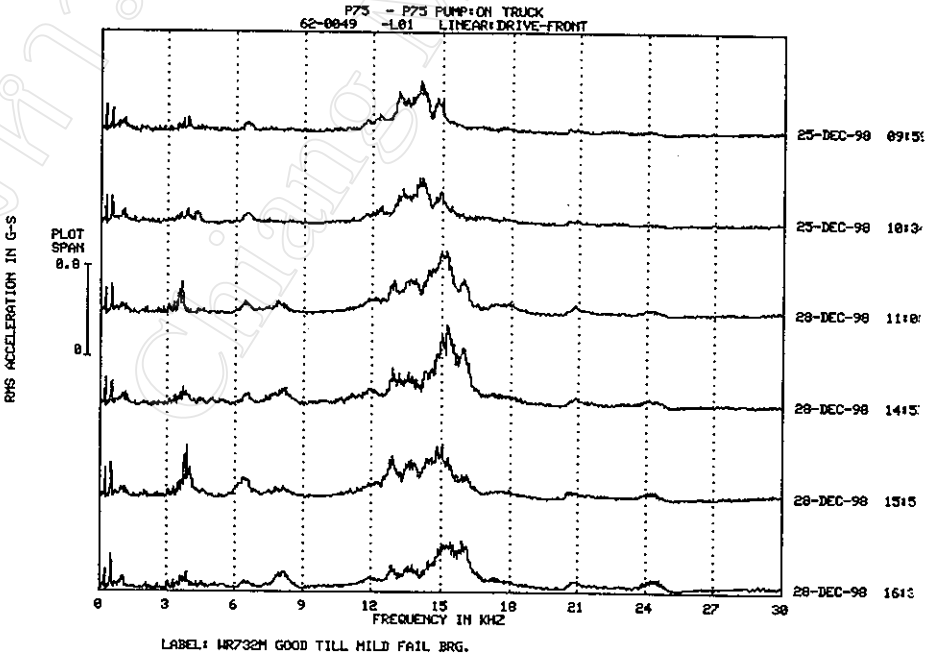
รูป ฉ-7 รถ 62-0047 จุดวัด L02S spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



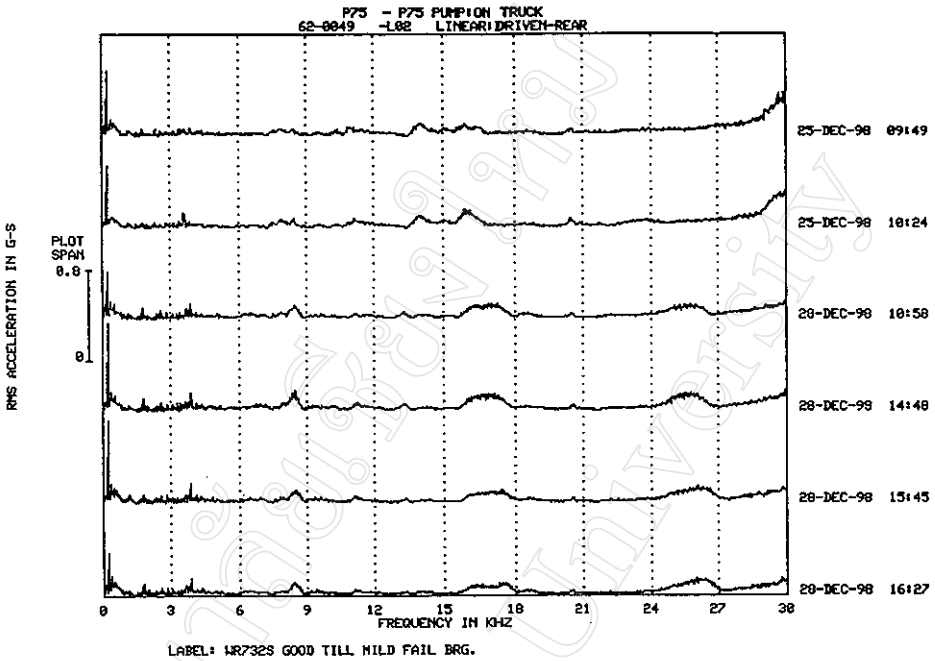
รูป ฉ-8 รถ 62-0047 จุดวัด L02M spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



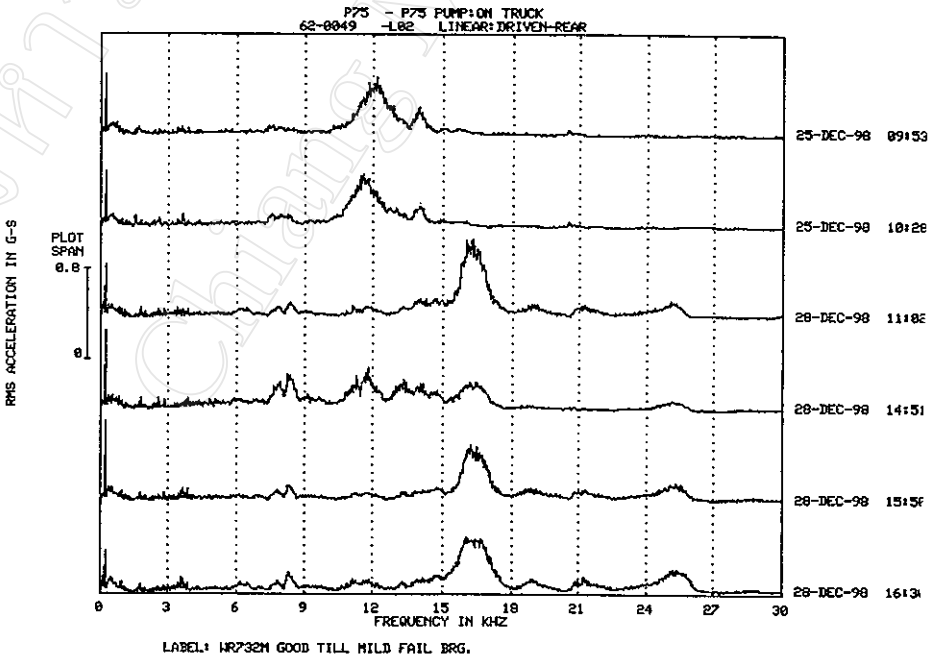
รูป ฉ-9 รถ 62-0049 จุดวัด L01S spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



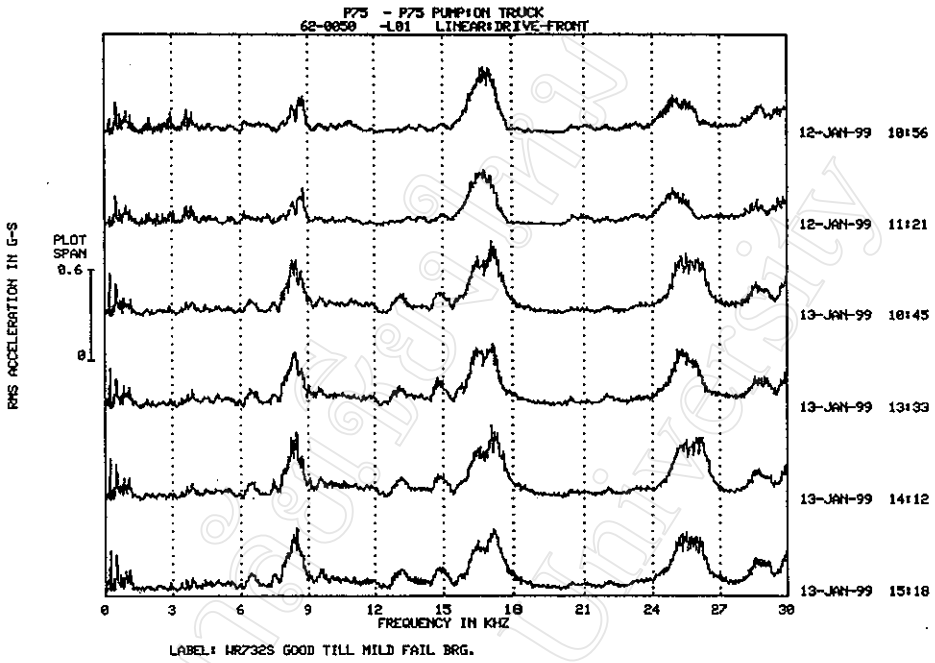
รูป ฉ-10 รถ 62-0049 จุดวัด L01M spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



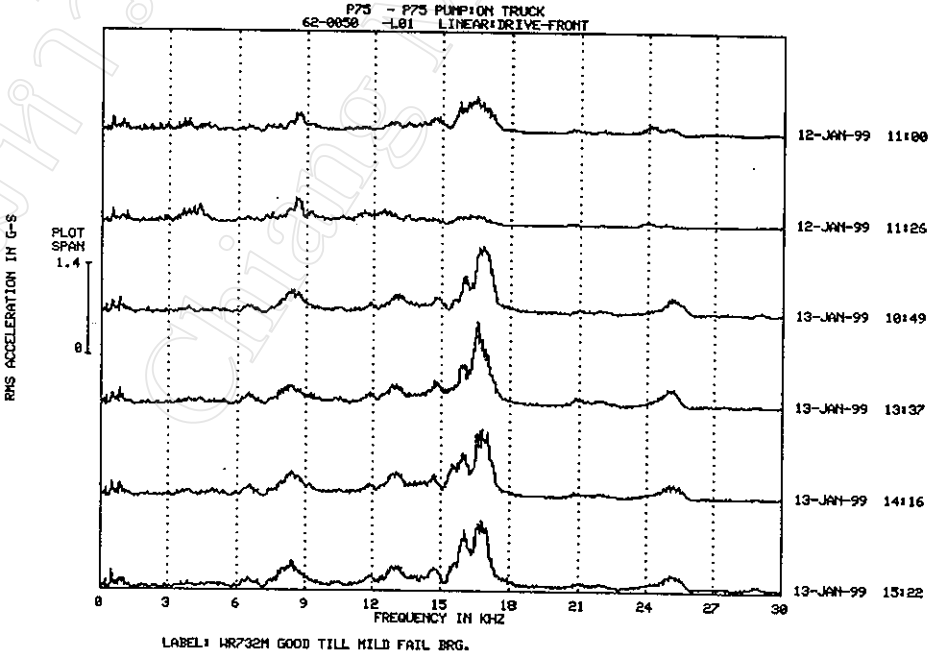
รูป ฉ-11 รถ 62-0049 จุดวัด L02S spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



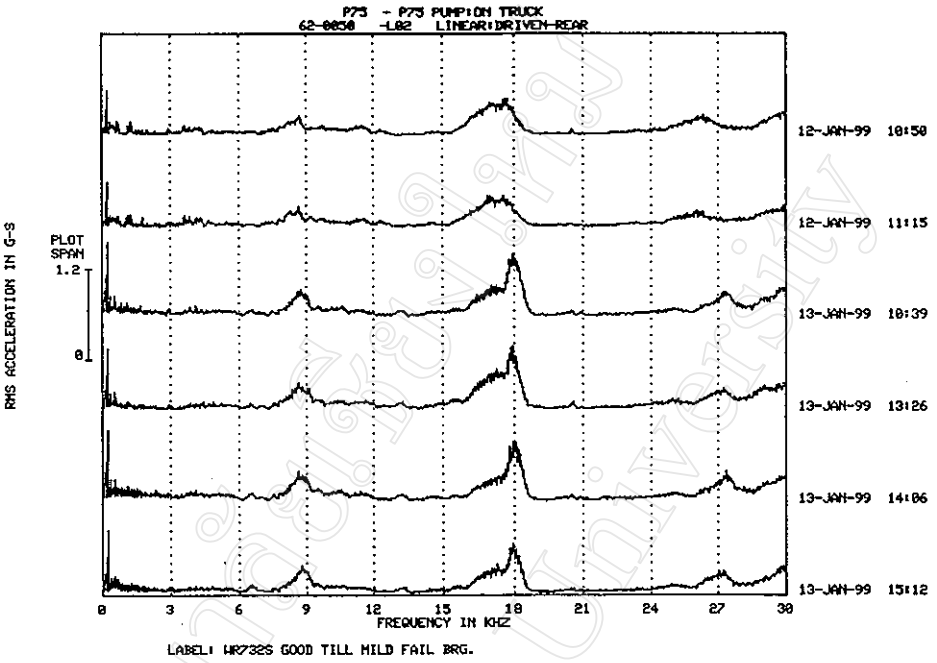
รูป ฉ-12 รถ 62-0049 จุดวัด L02M spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



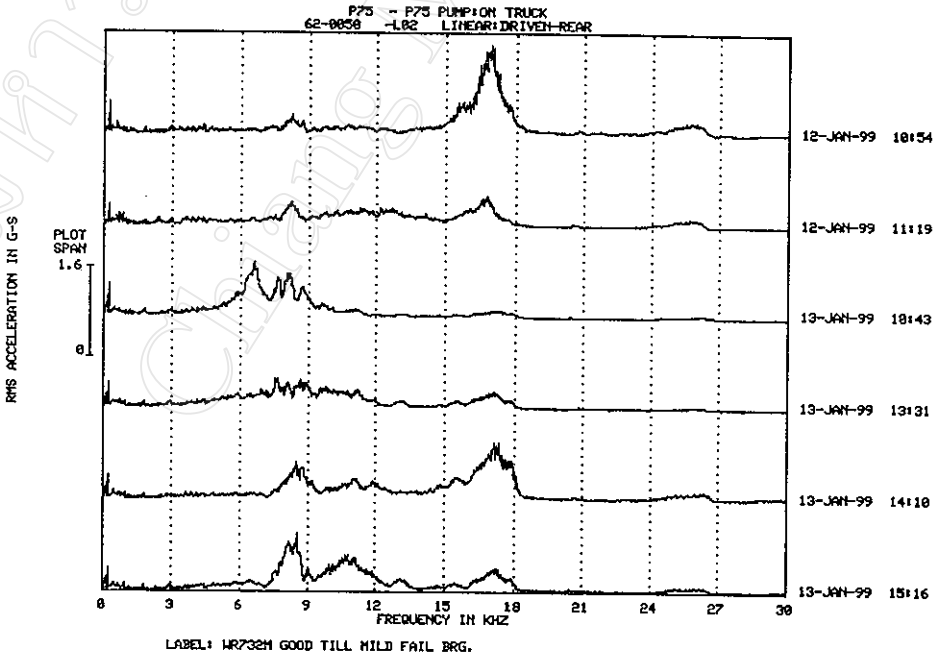
รูป ฉ-13 รถ 62-0050 จุดวัด L01S spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



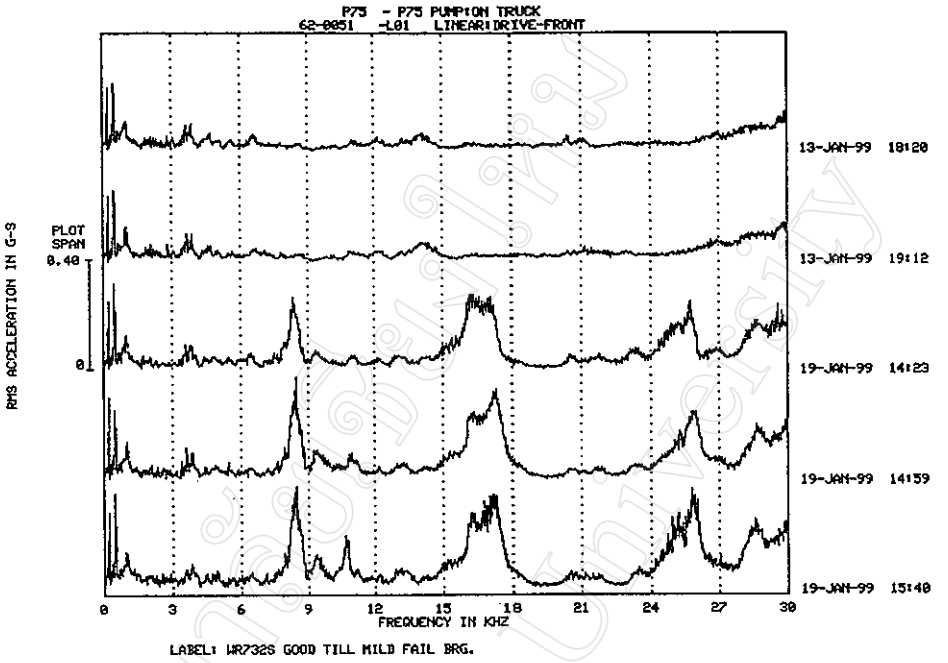
รูป ฉ-14 รถ 62-0050 จุดวัด L01M spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



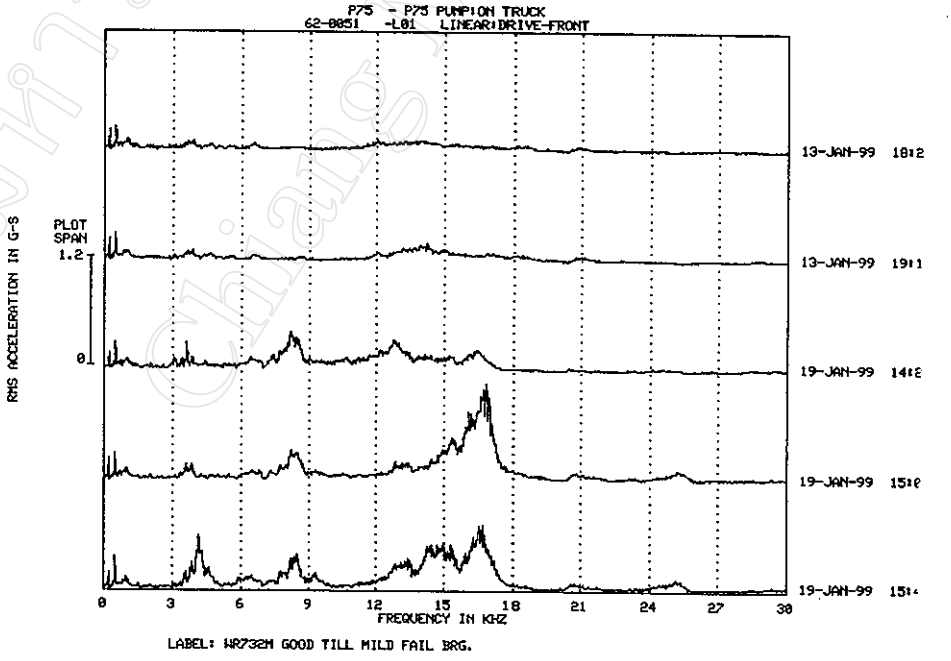
รูป ฉ-15 รถ 62-0050 จุดวัด L02S spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



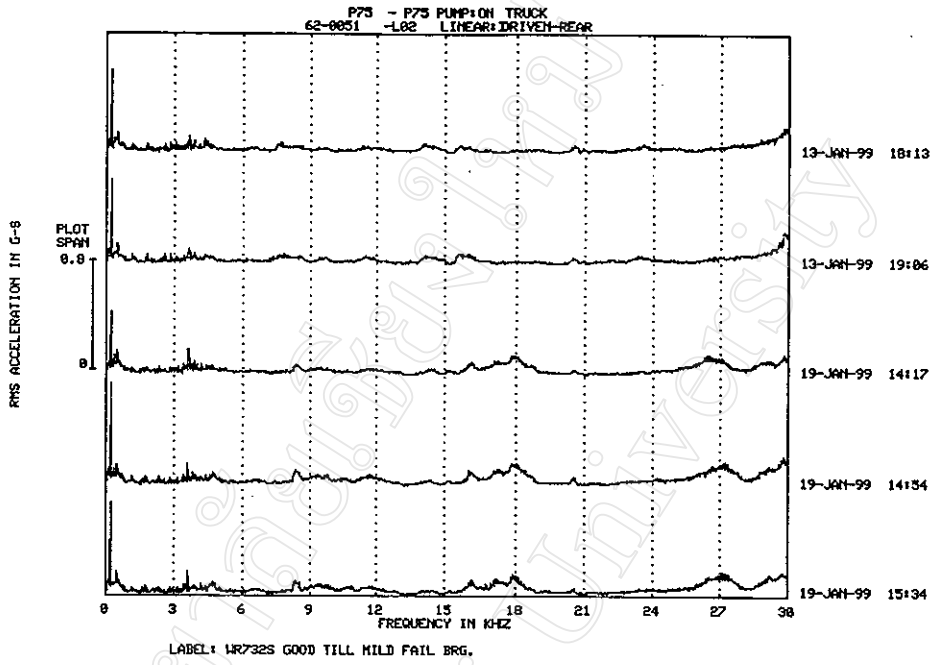
รูป ฉ-16 รถ 62-0050 จุดวัด L02M spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



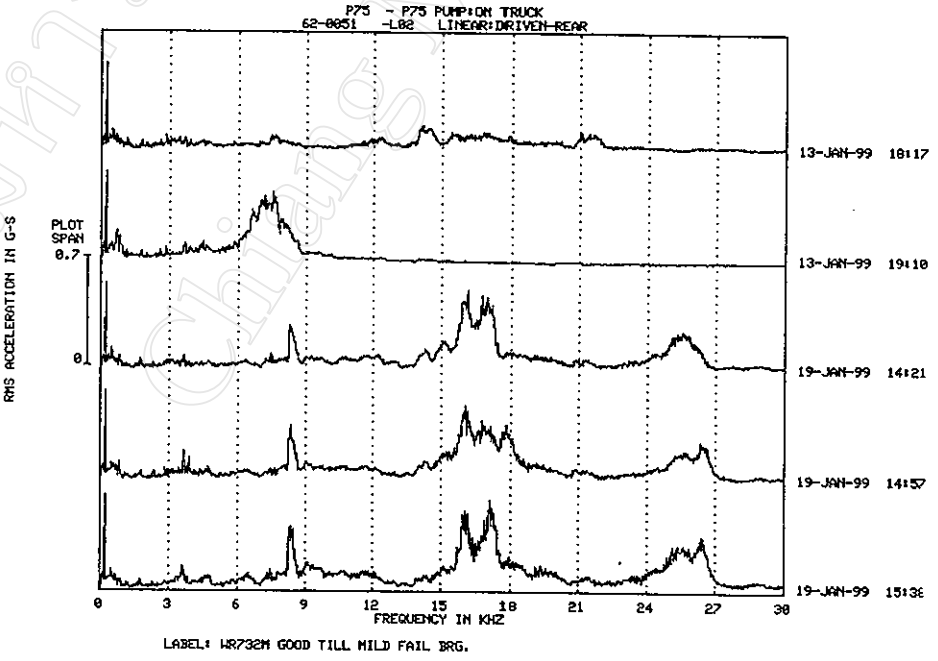
รูป ฉ-17 รถ 62-0051 จุดวัด L01S spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



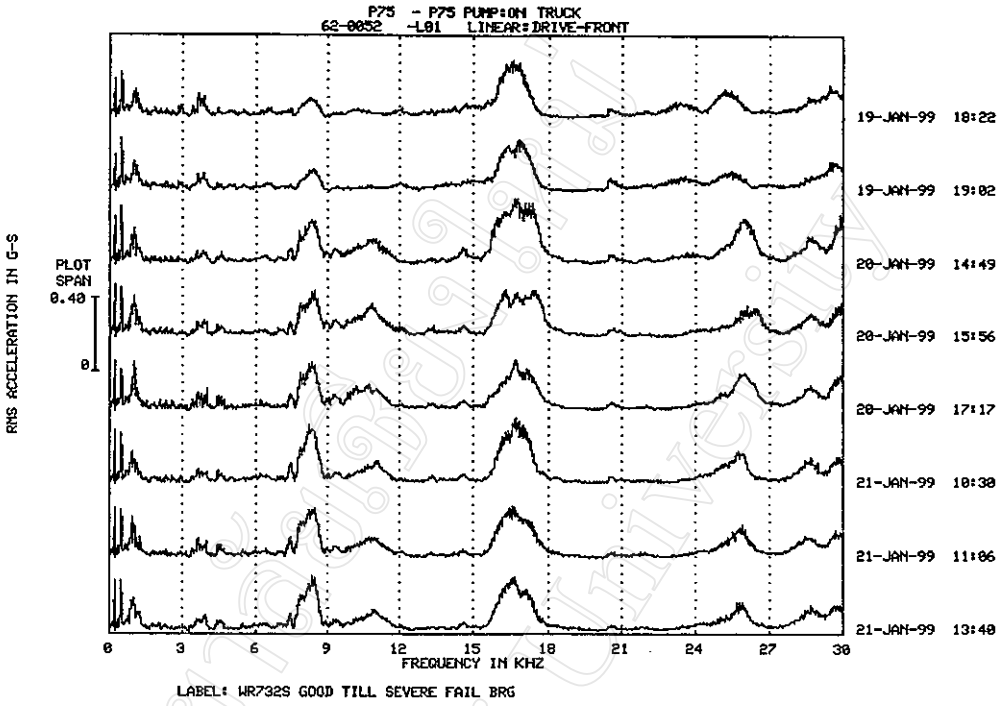
รูป ฉ-18 รถ 62-0051 จุดวัด L01M spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



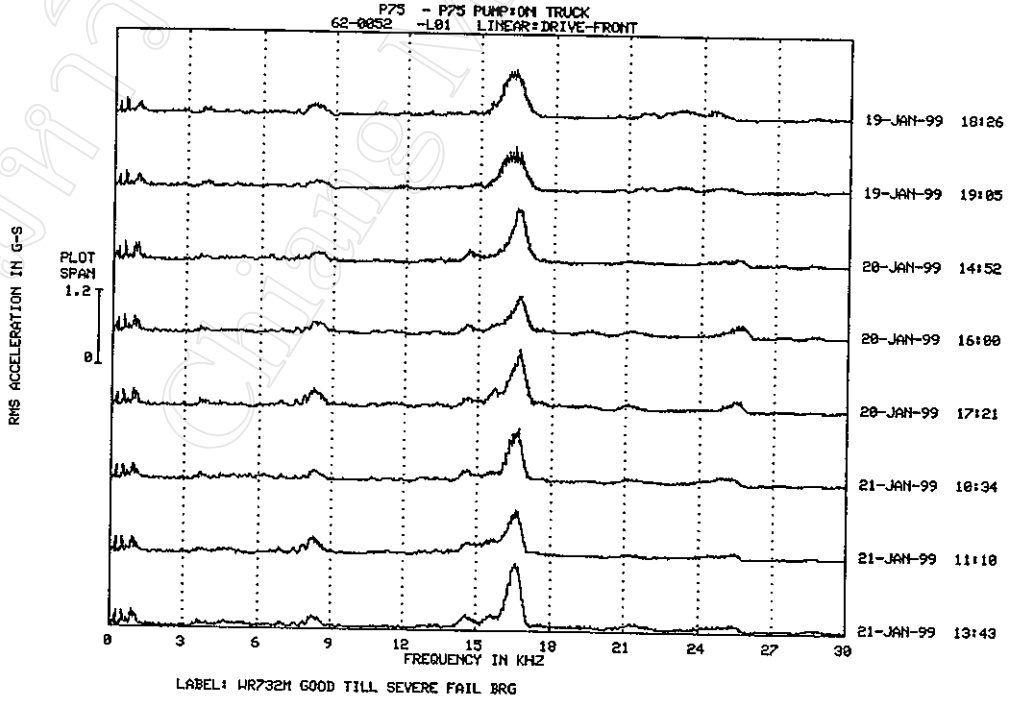
รูป ฉ-19 รถ 62-0051 จุดวัด L02S spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



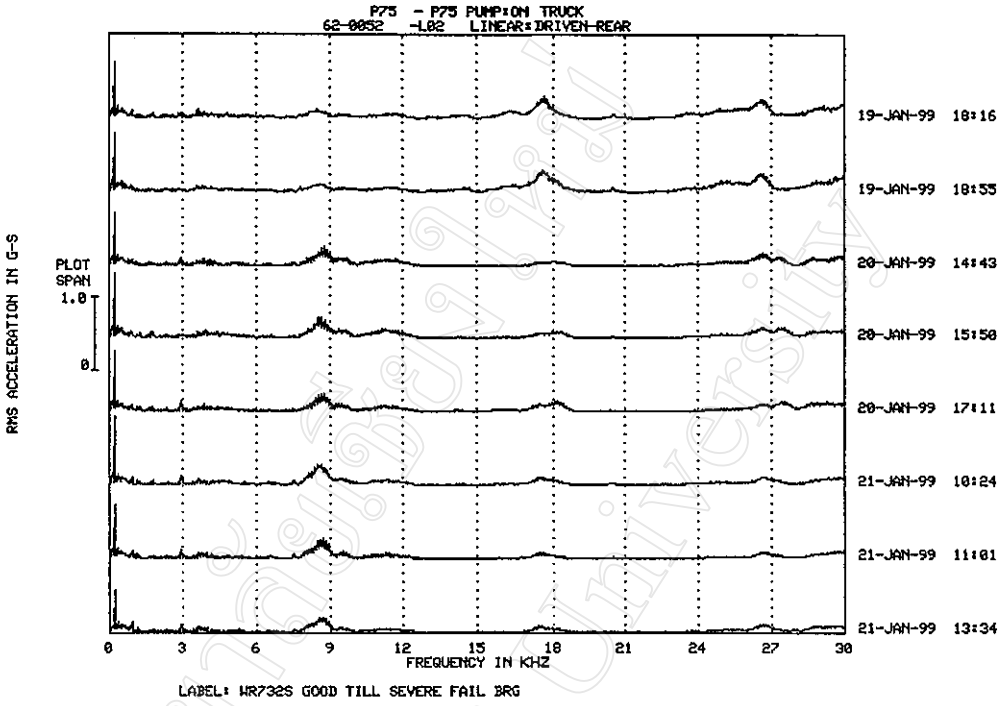
รูป ฉ-20 รถ 62-0051 จุดวัด L02M spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



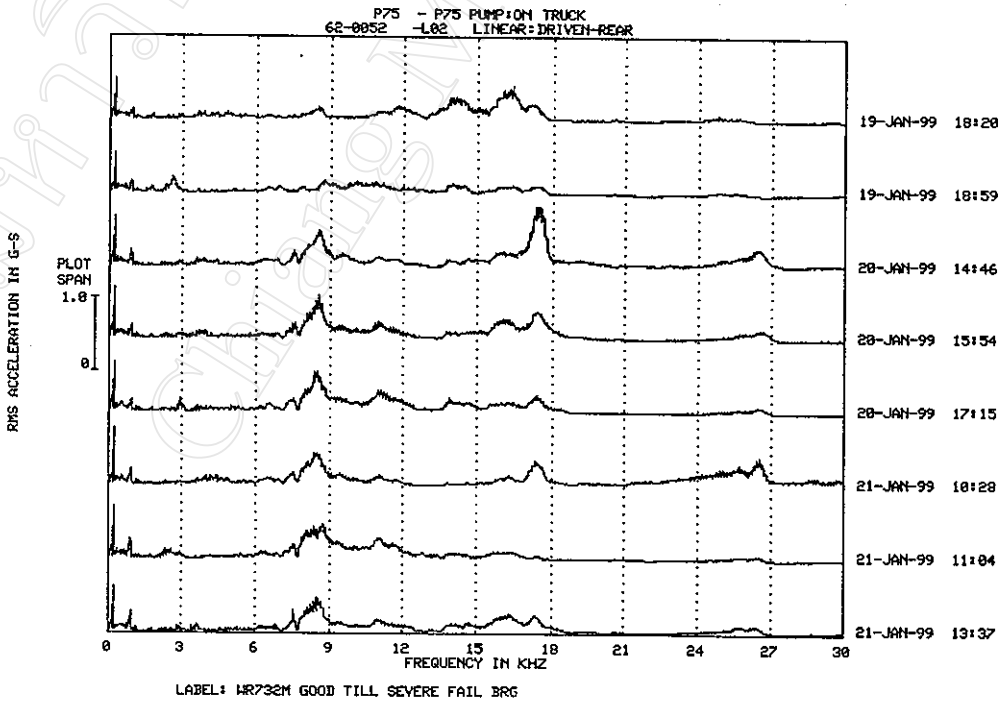
รูป ฉ-21 รถ 62-0052 จุดวัด L01S spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



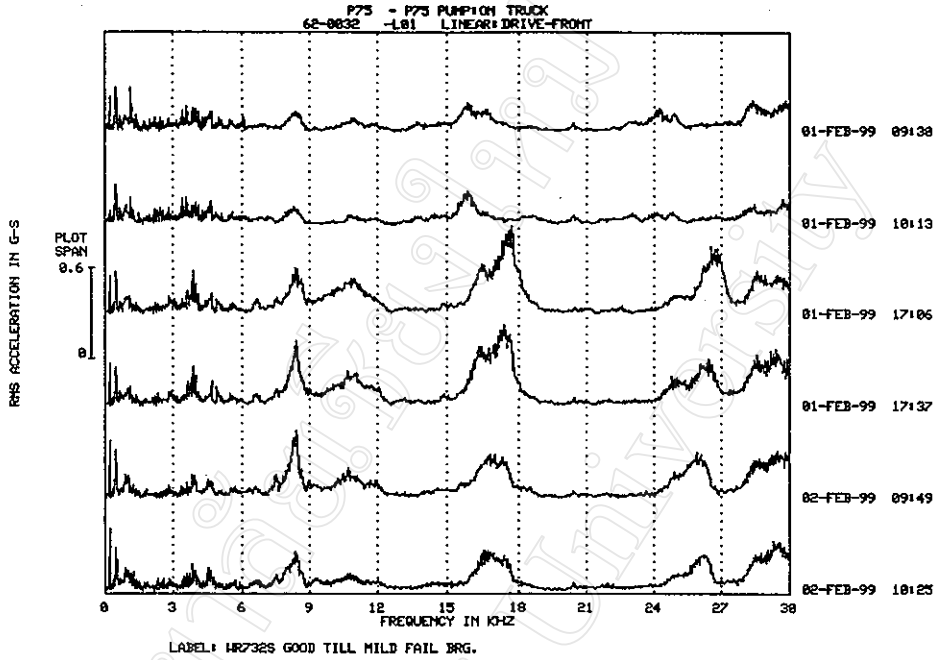
รูป ฉ-22 รถ 62-0052 จุดวัด L01M spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



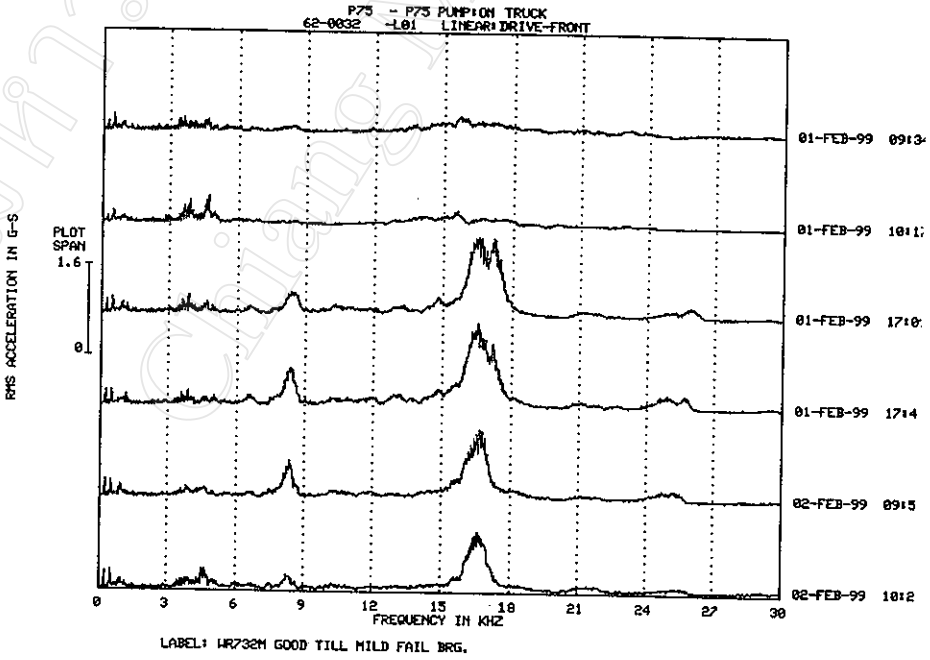
รูป ฉ-23 รถ 62-0052 จุดวัด L02S spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



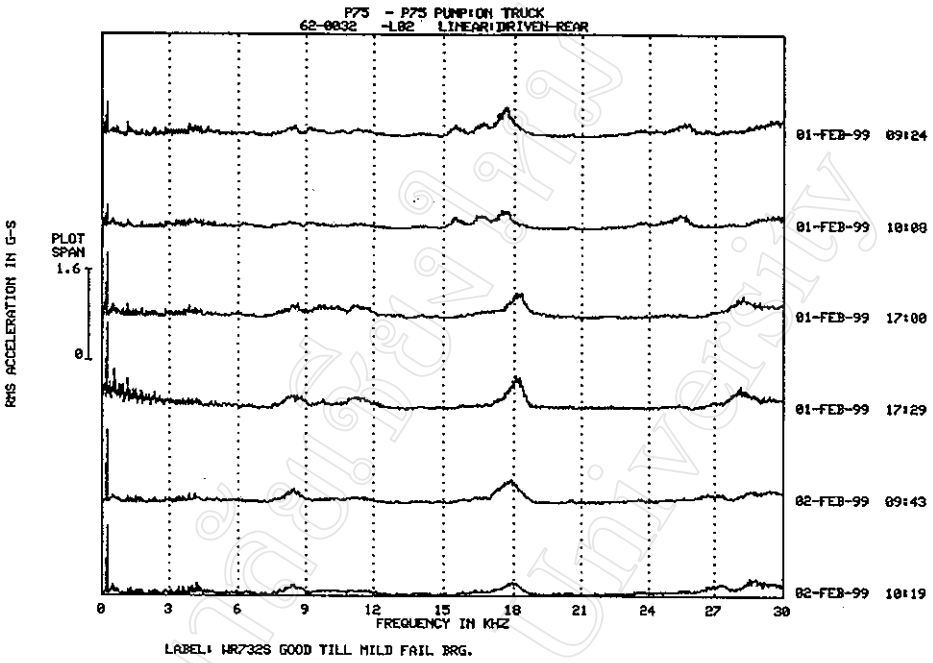
รูป ฉ-24 รถ 62-0052 จุดวัด L02M spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



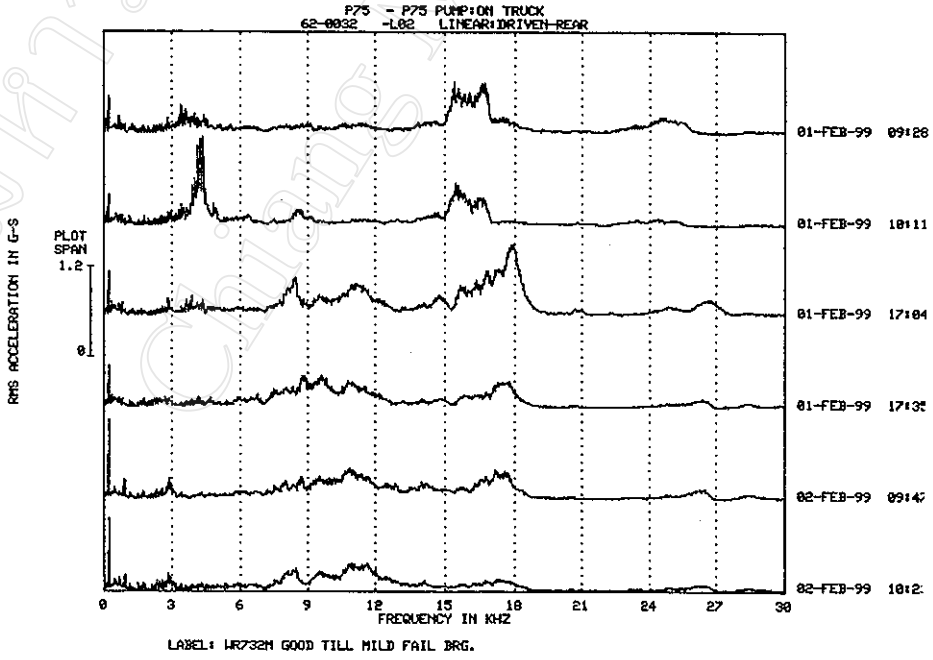
รูป ฉ-25 รถ 62-0032 จุดวัด L01S spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



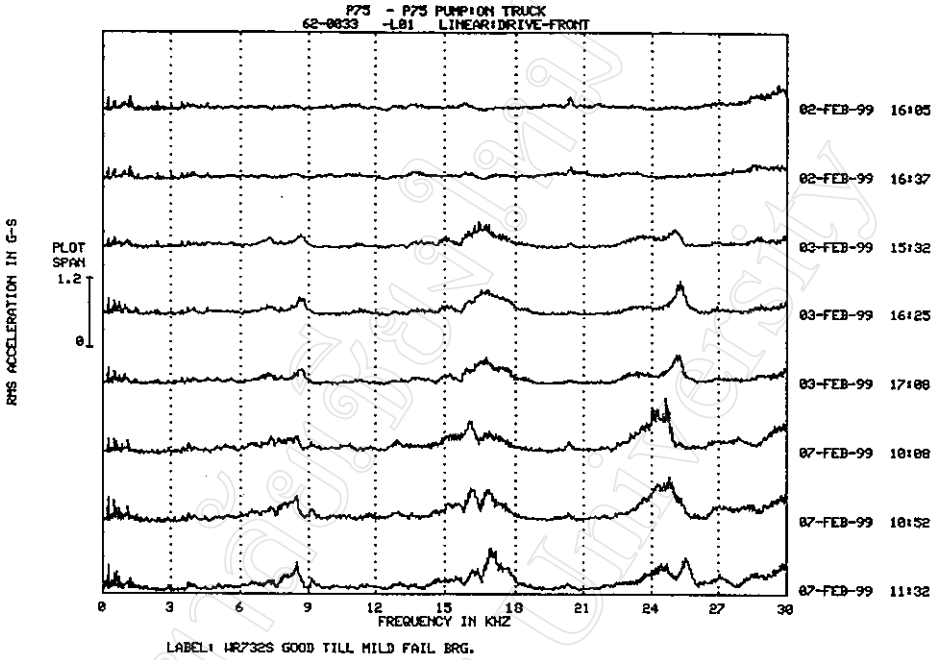
รูป ฉ-26 รถ 62-0032 จุดวัด L01M spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



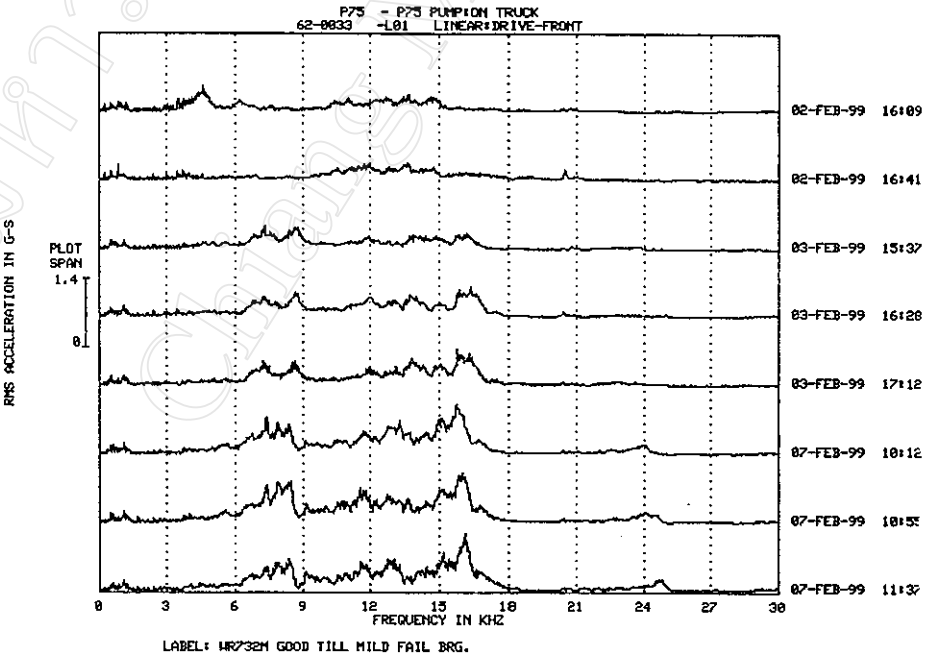
รูป ฉ-27 รถ 62-0032 จุดวัด L02S spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



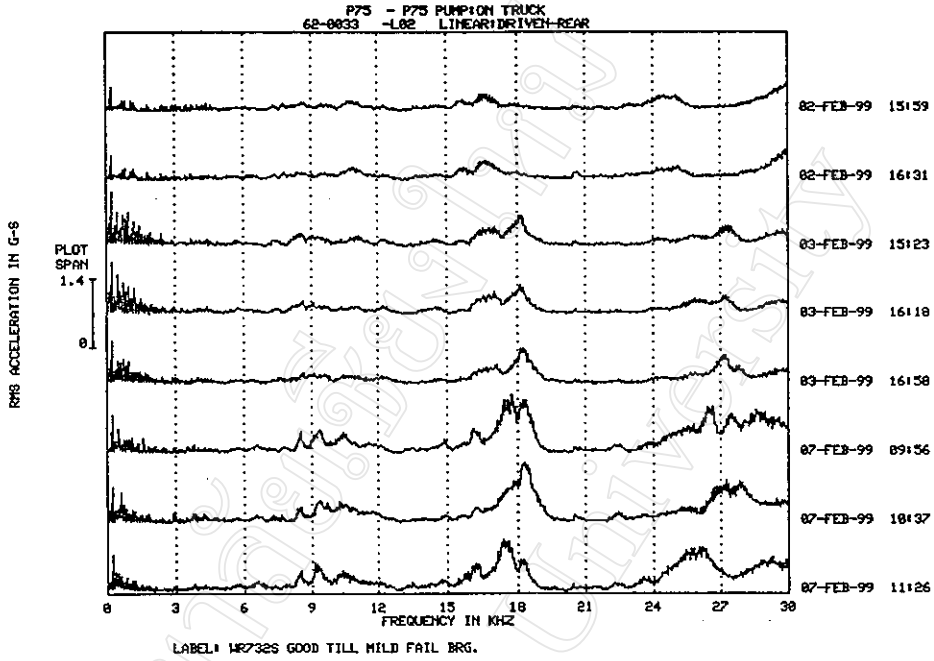
รูป ฉ-28 รถ 62-0032 จุดวัด L02M spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



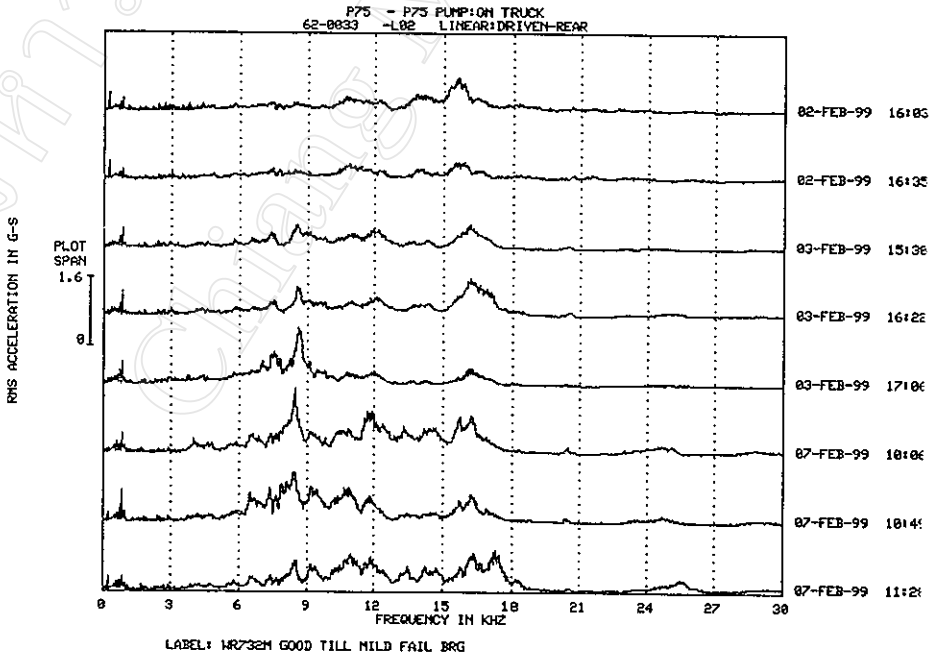
รูป ฉ-29 รถ 62-0033 จุดวัด L01S spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



รูป ฉ-30 รถ 62-0033 จุดวัด L01M spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



รูป ฉ-31 รถ 62-0033 จุดวัด L02S spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด



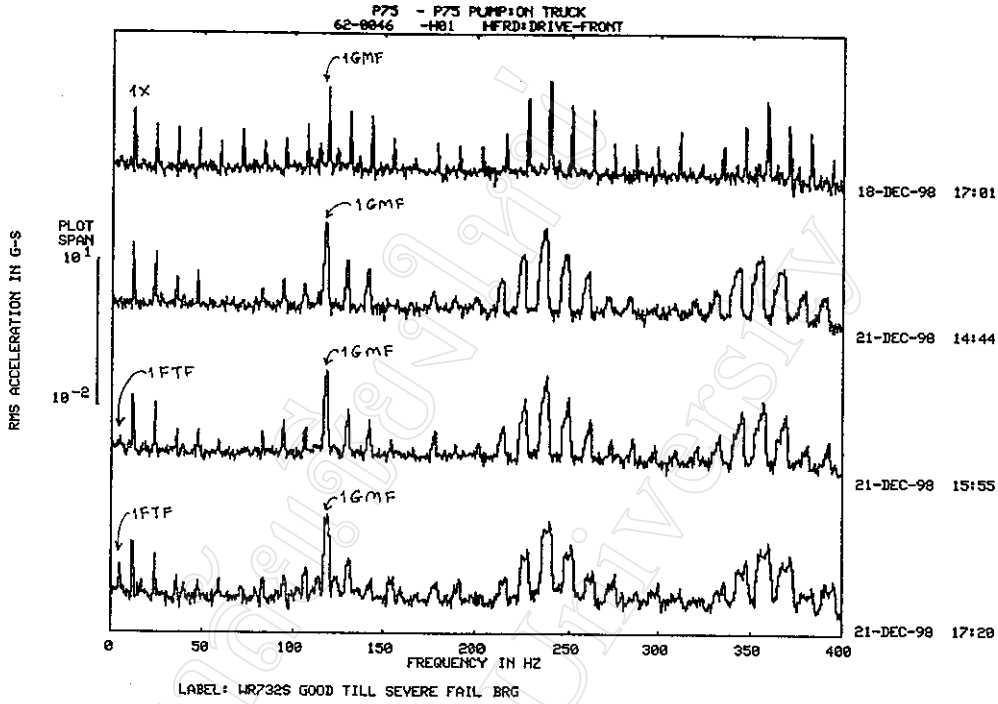
รูป ฉ-32 รถ 62-0033 จุดวัด L02M spectrum ตั้งแต่เริ่มต้น จนแบริ่งชำรุด

ภาคผนวก ช

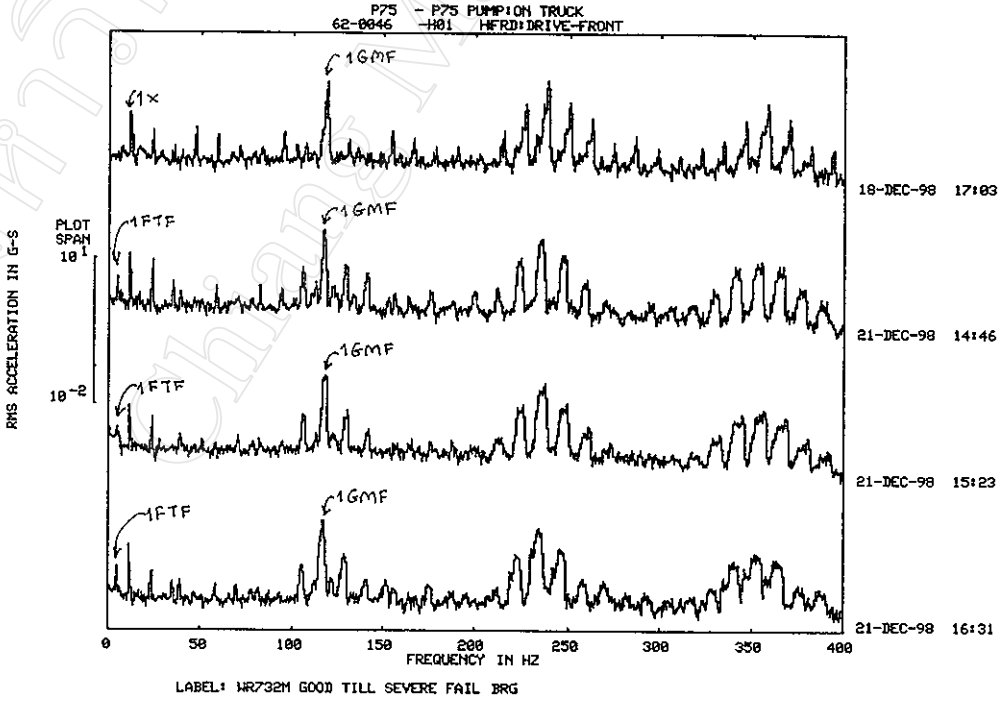
ข้อมูลการเรียงลำดับของ spectrum ที่ทำการวัดแบบปรับปรุงสัญญาณ

ในบทนี้จะนำเสนอการเรียงลำดับของ spectrum ที่ทำการวัดแบบปรับปรุงสัญญาณในช่วงความถี่ 0.5 - 400 Hz เป็นข้อมูลที่นอกเหนือไปจากที่ได้แสดงไว้ตามรูป 4.28 - 4.31 ซึ่งในที่นี้จะเน้นให้เห็นการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของ 1FTF และการปรากฏ side band ที่ 1GMF ซึ่งมีค่าความถี่ของ side band เท่ากับ $\pm$1FTF ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อเริ่มทำตำหนิที่รางนอกของแบริ่งไปจนแบริ่งเกิดการชำรุดขึ้นจริง รวมข้อมูลทั้งหมด 32 จุดวัด หรือจากจำนวนรถที่ทดสอบรวม 8 คัน

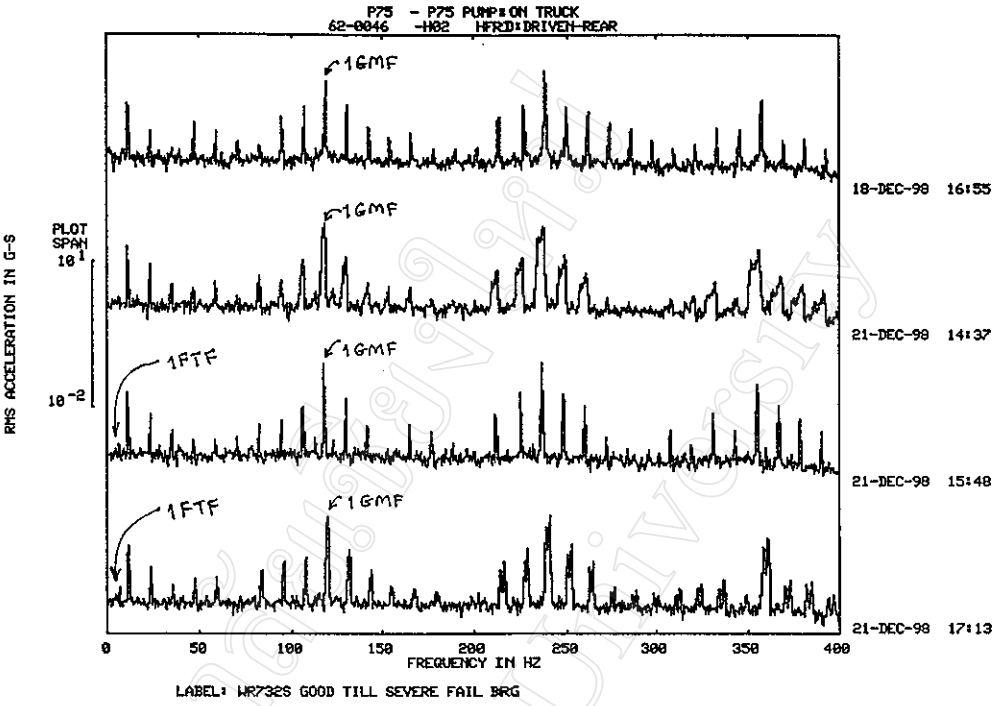
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University



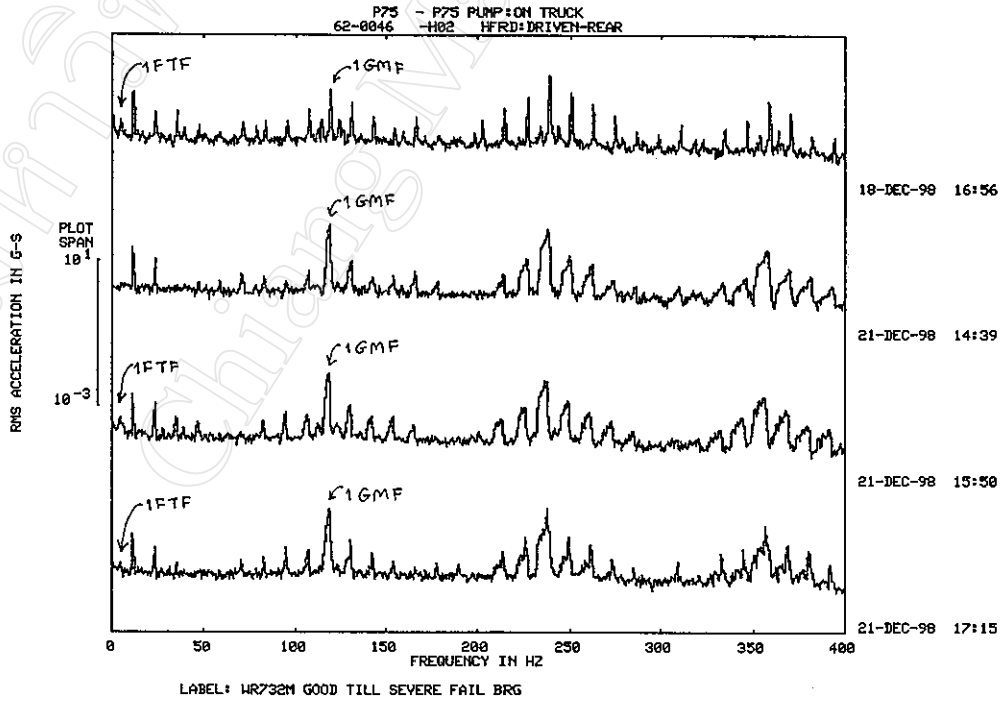
รูป ช-1 รถ 62-0046 จุดวัด H01S



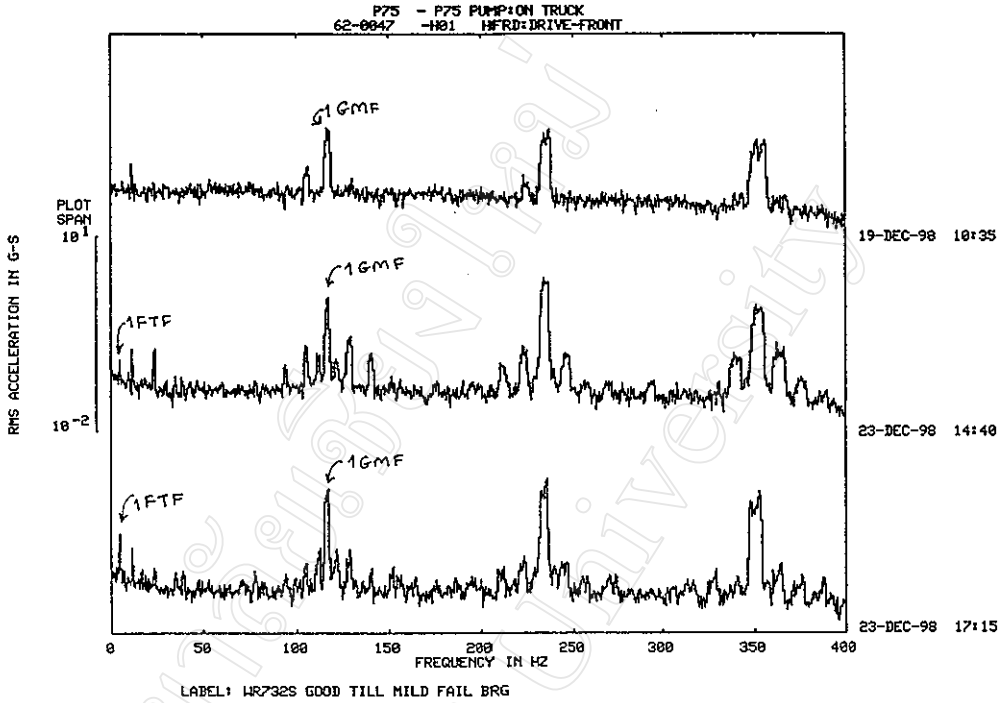
รูป ช-2 รถ 62-0046 จุดวัด H01M



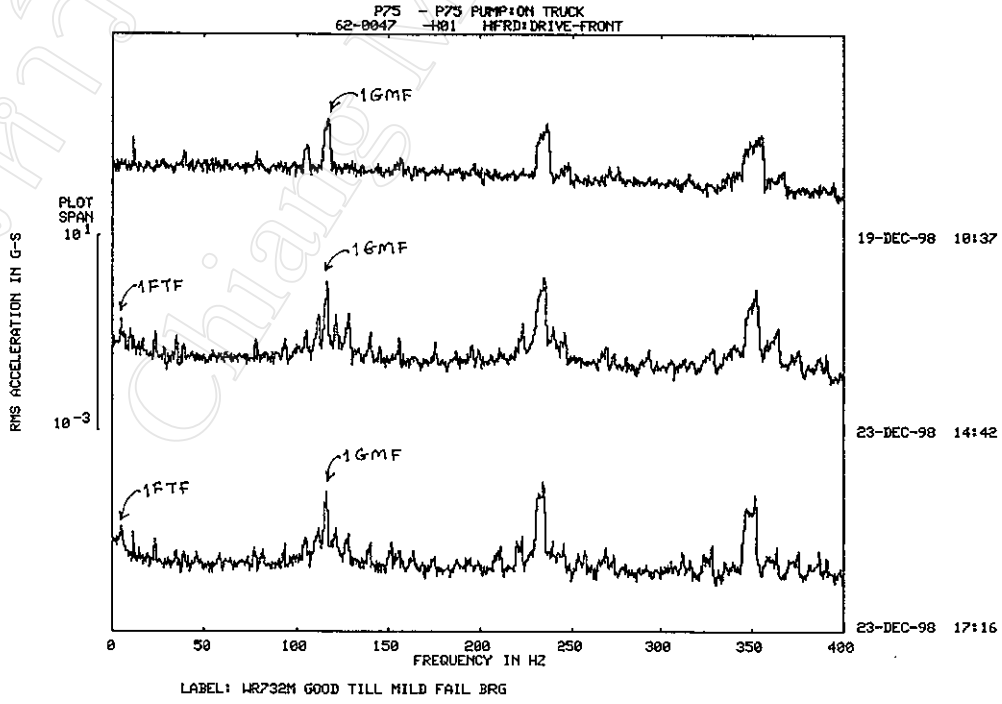
รูป ช-3 รถ 62-0046 จุดวัด H02S



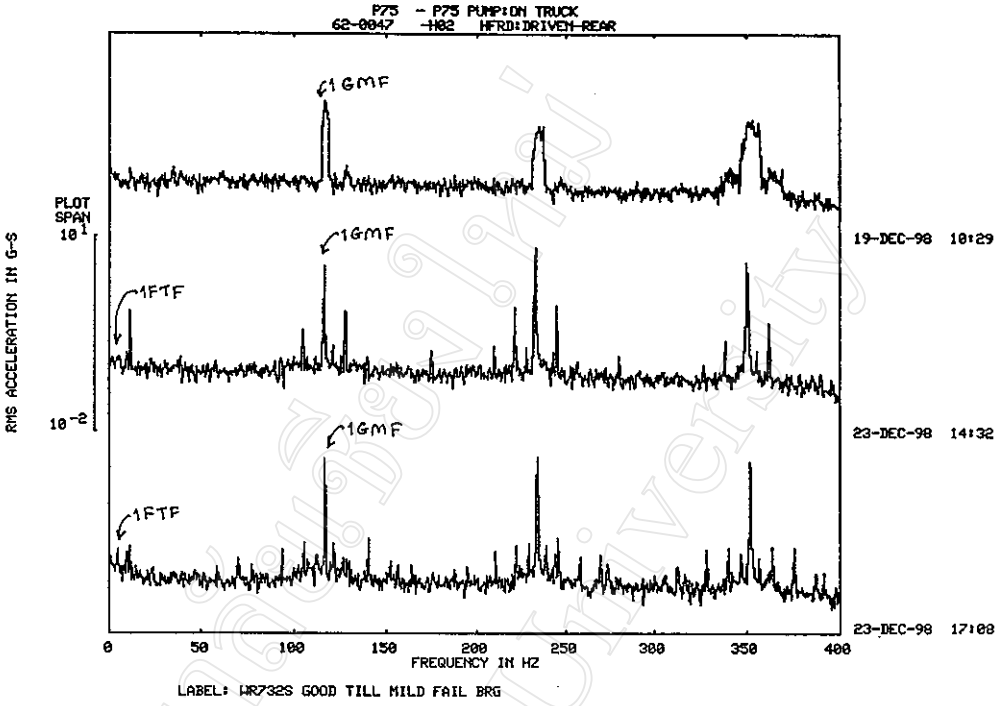
รูป ช-4 รถ 62-0046 จุดวัด H02M



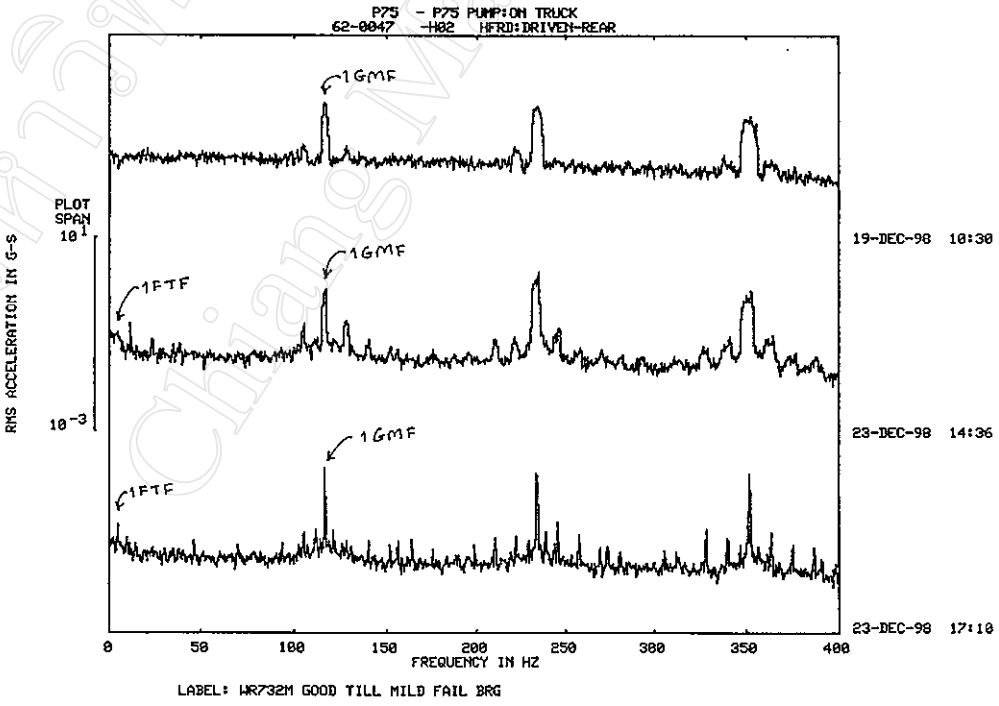
รูป ช-5 รถ 62-0047 จุดวัด H01S



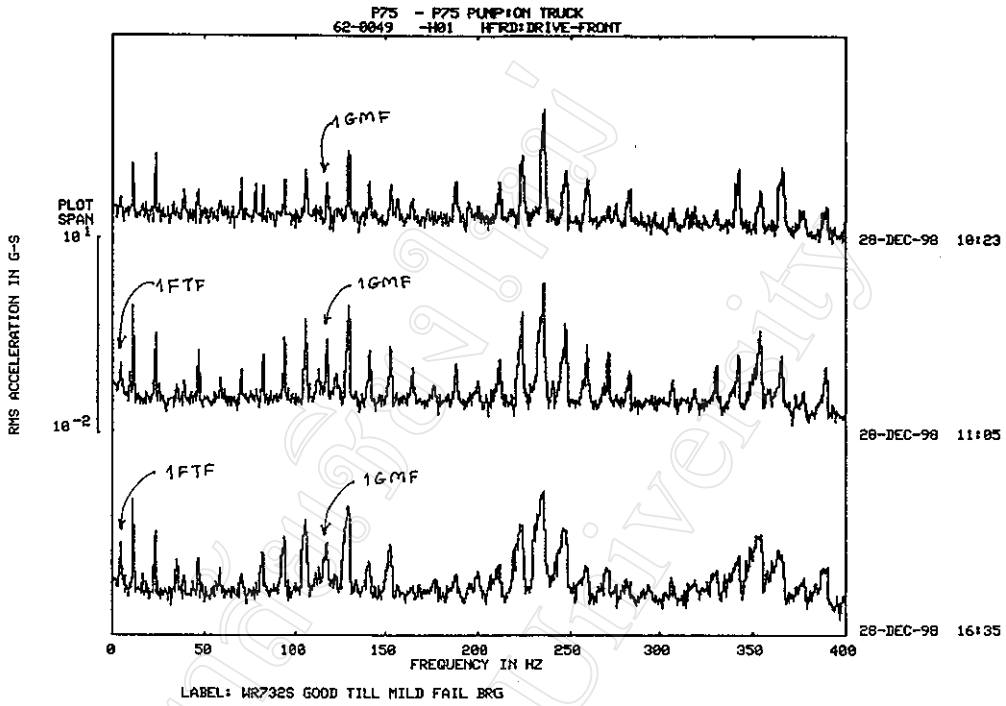
รูป ช-6 รถ 62-0047 จุดวัด H01M



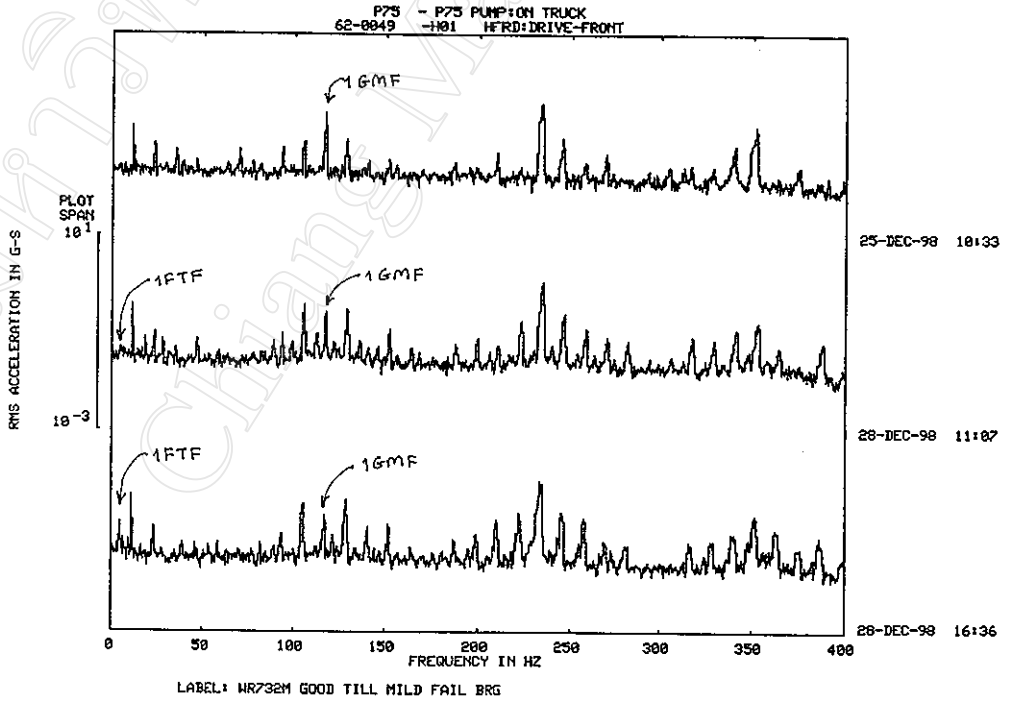
รูป ช-7 รถ 62-0047 จุดวัด H02S



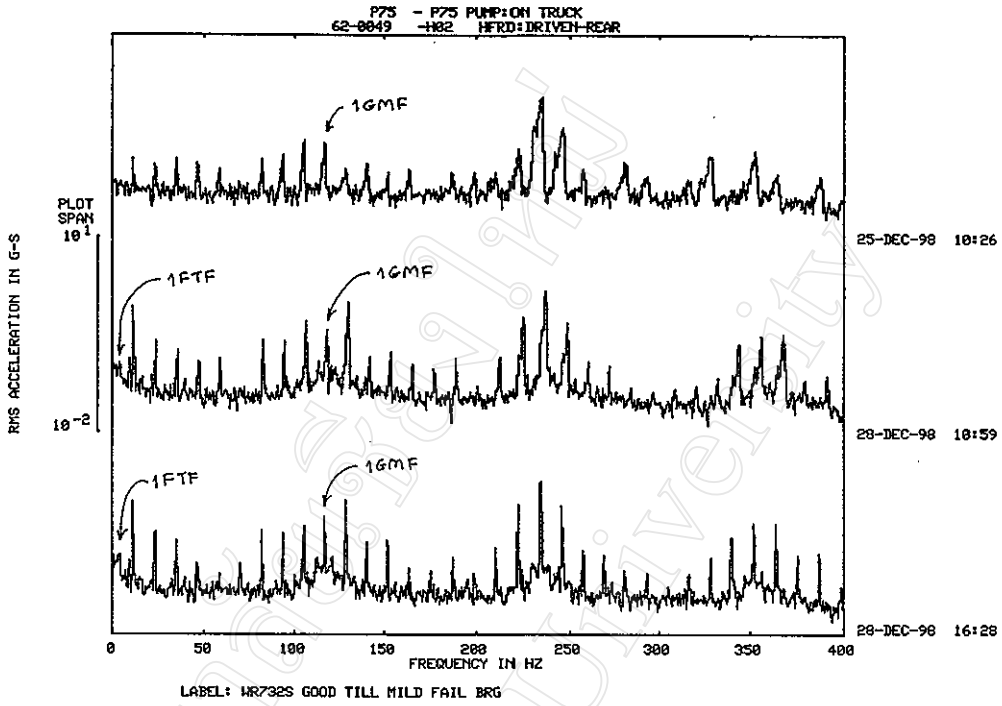
รูป ช-8 รถ 62-0047 จุดวัด H02M



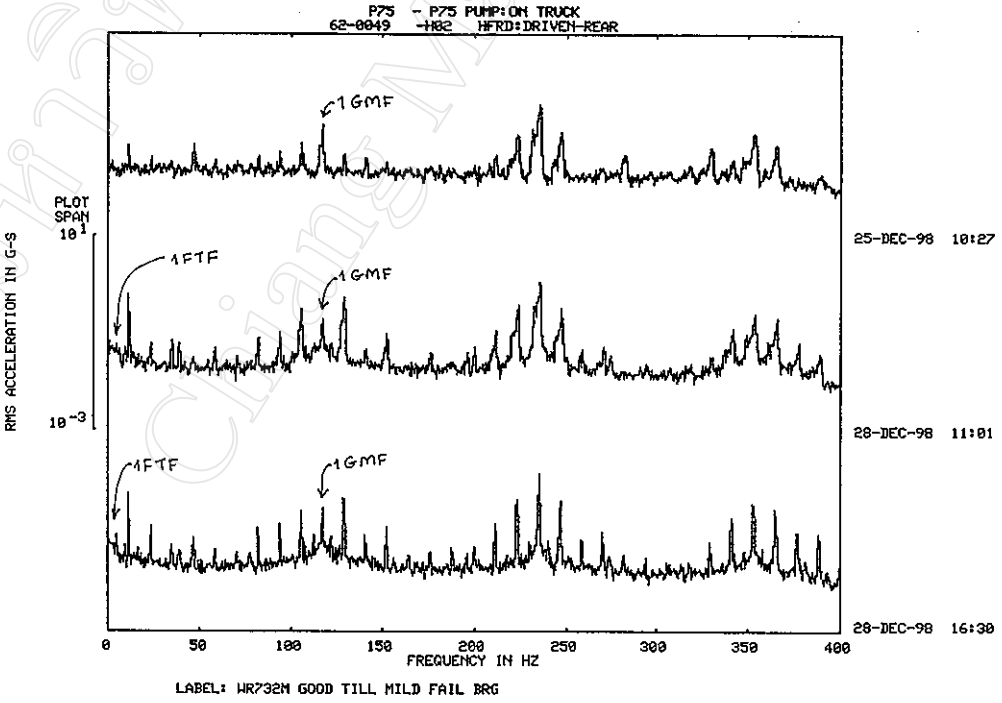
รูป ช-9 รถ 62-0049 จุดวัด H01S



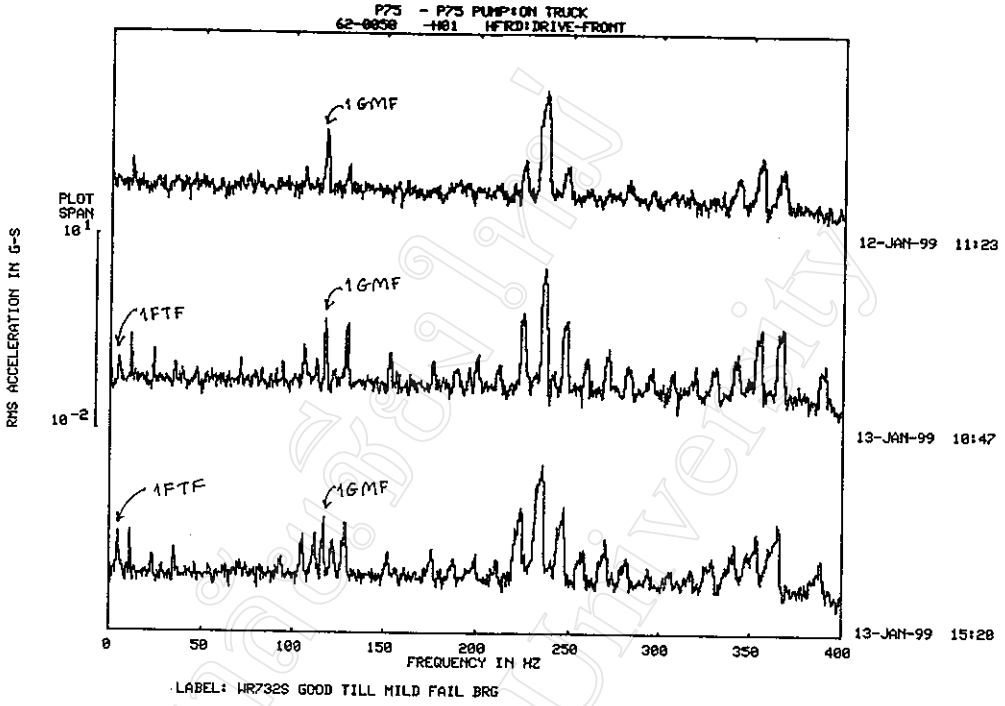
รูป ช-10 รถ 62-0049 จุดวัด H01M



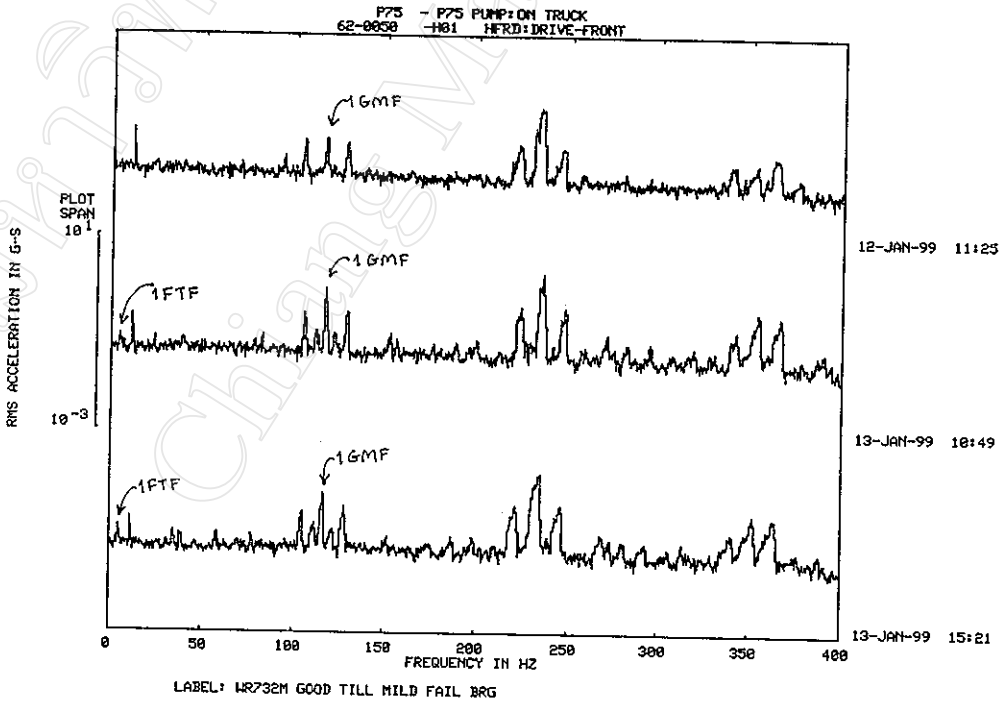
รูป ช-11 รถ 62-0049 จุดวัด H02S



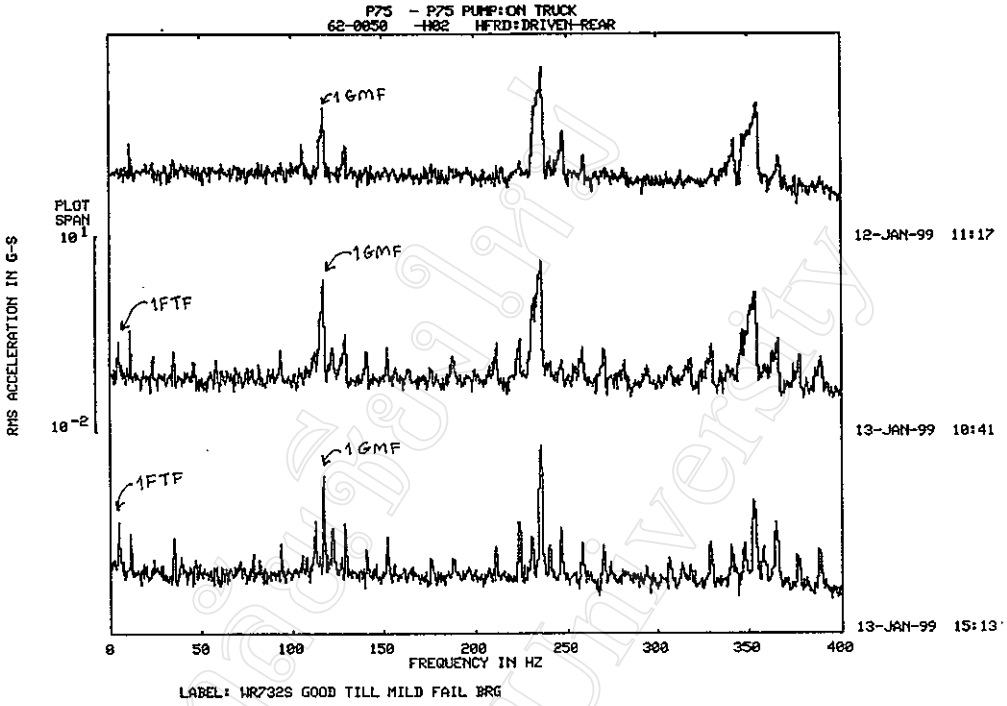
รูป ช-12 รถ 62-0049 จุดวัด H02M



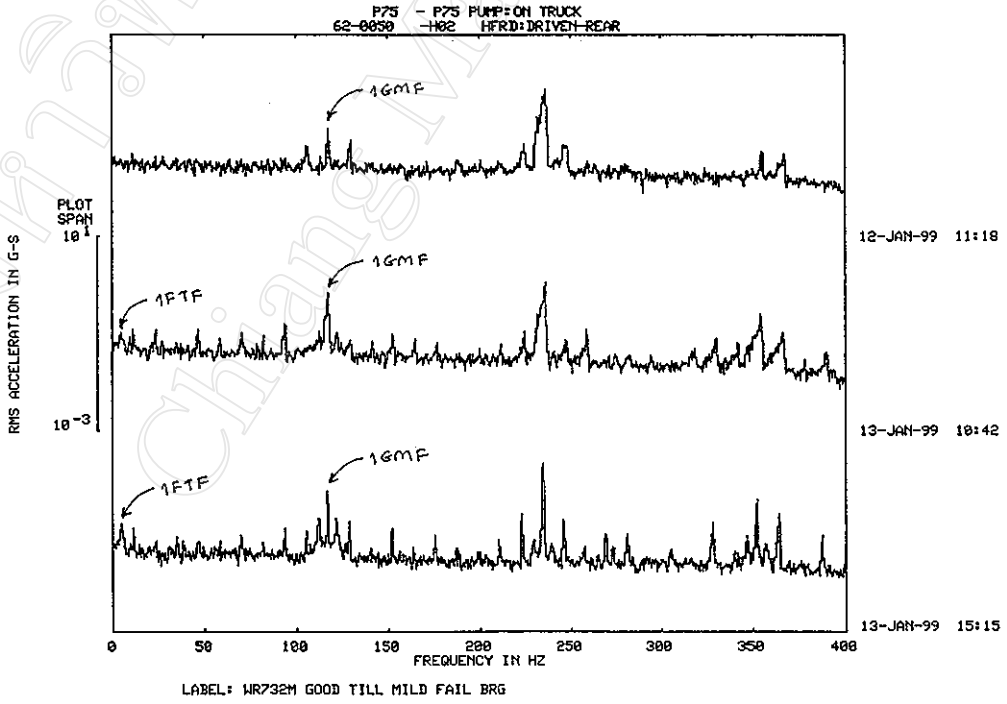
รูป ช-13 รถ 62-0050 จุดวัด H01S



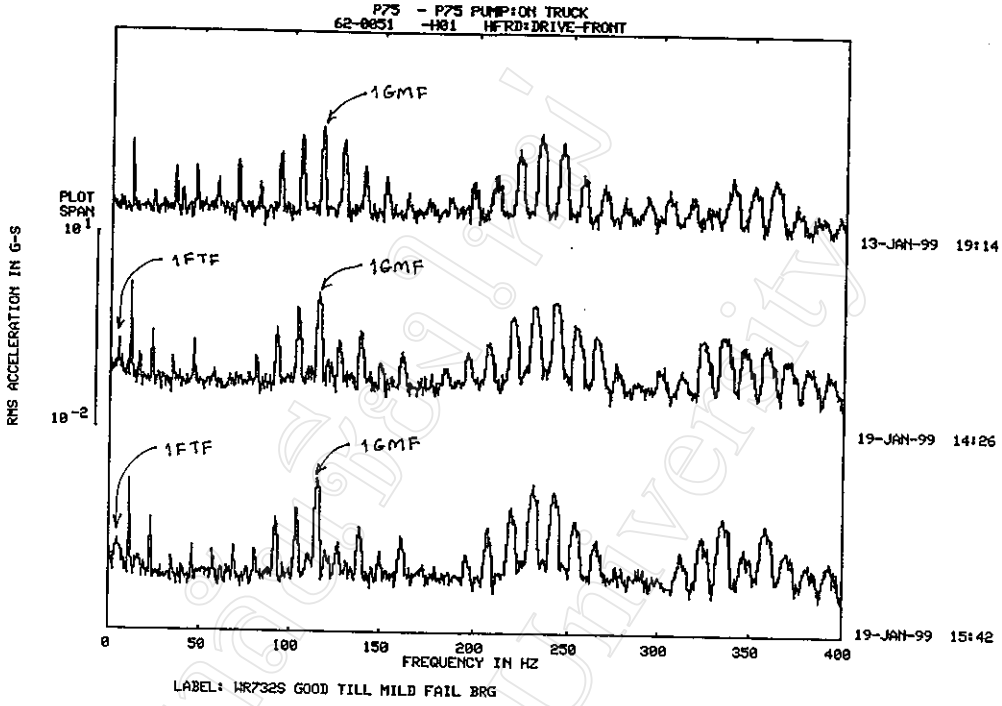
รูป ช-14 รถ 62-0050 จุดวัด H01M



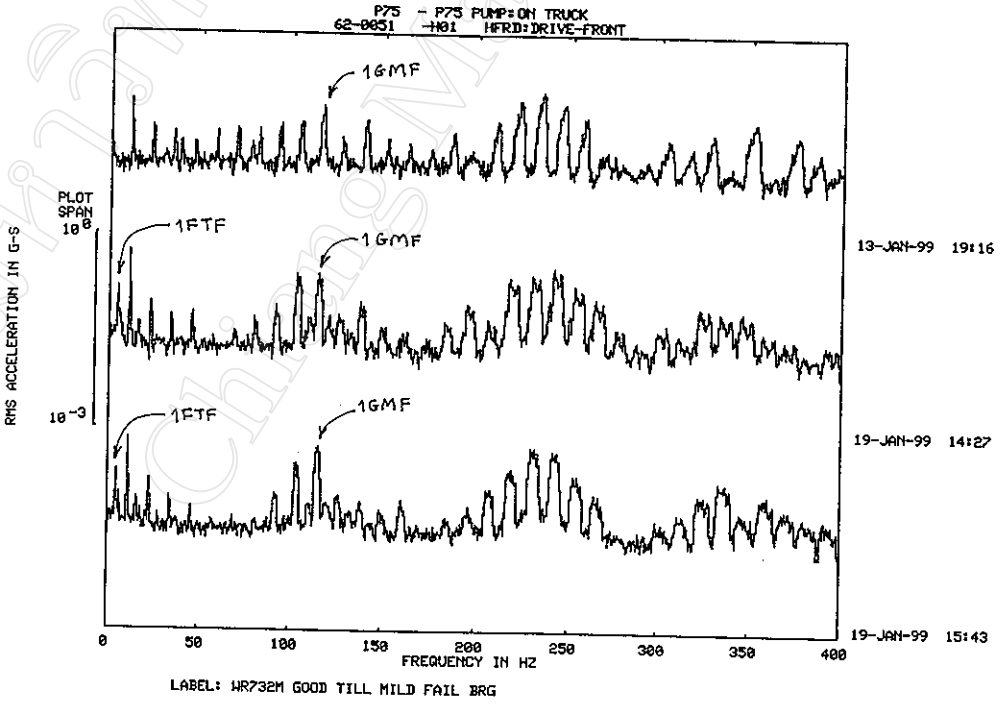
รูป ช-15 รถ 62-0050 จุดวัด H02S



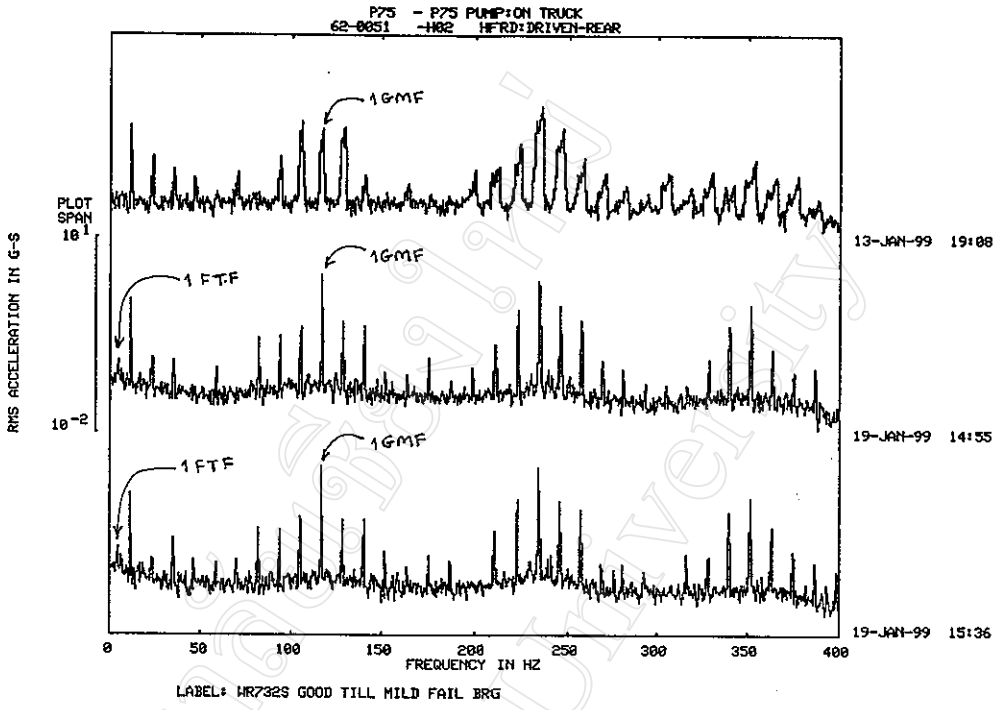
รูป ช-16 รถ 62-0050 จุดวัด H02M



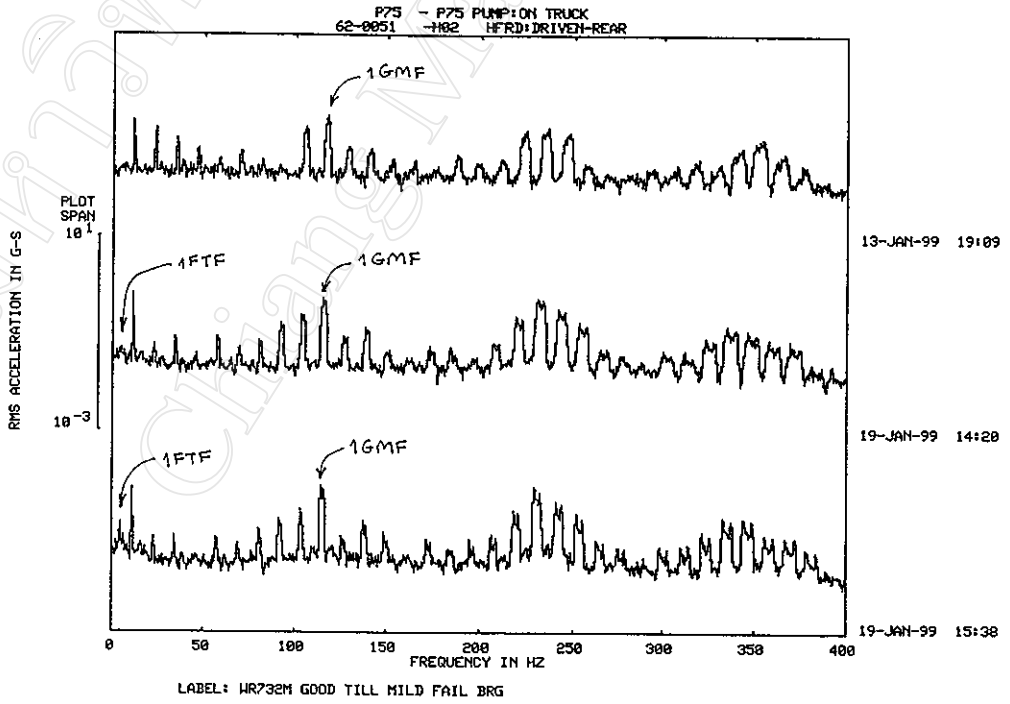
รูป ช-17 รถ 62-0051 จุดวัด H01S



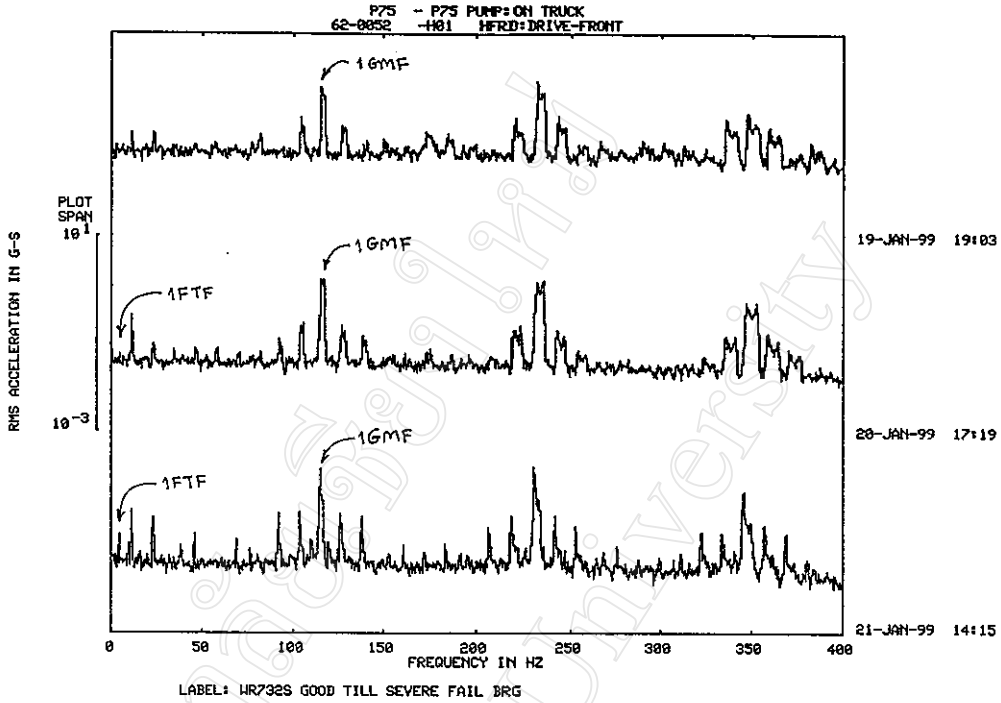
รูป ช-18 รถ 62-0051 จุดวัด H01M



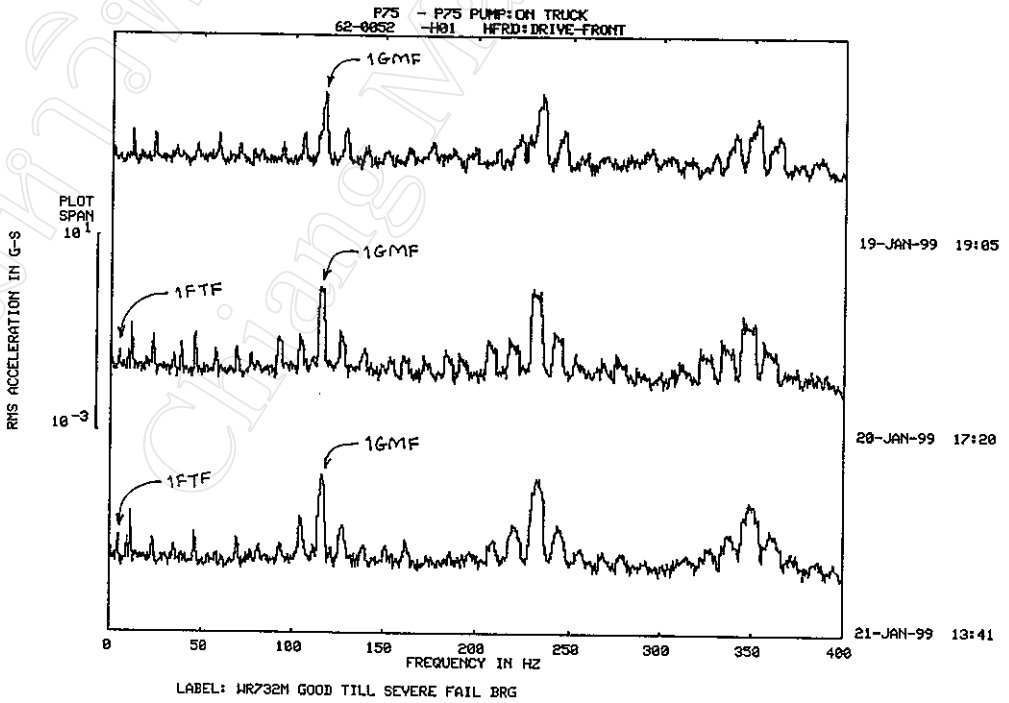
รูป ช-19 รถ 62-0051 จุดวัด H02S



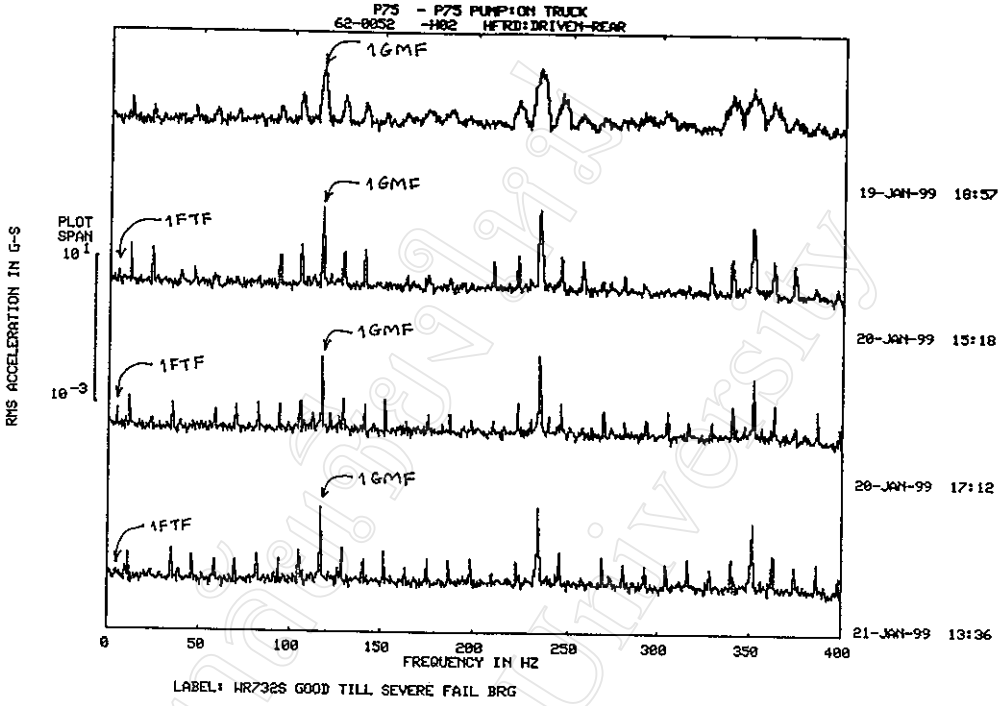
รูป ช-20 รถ 62-0051 จุดวัด H02M



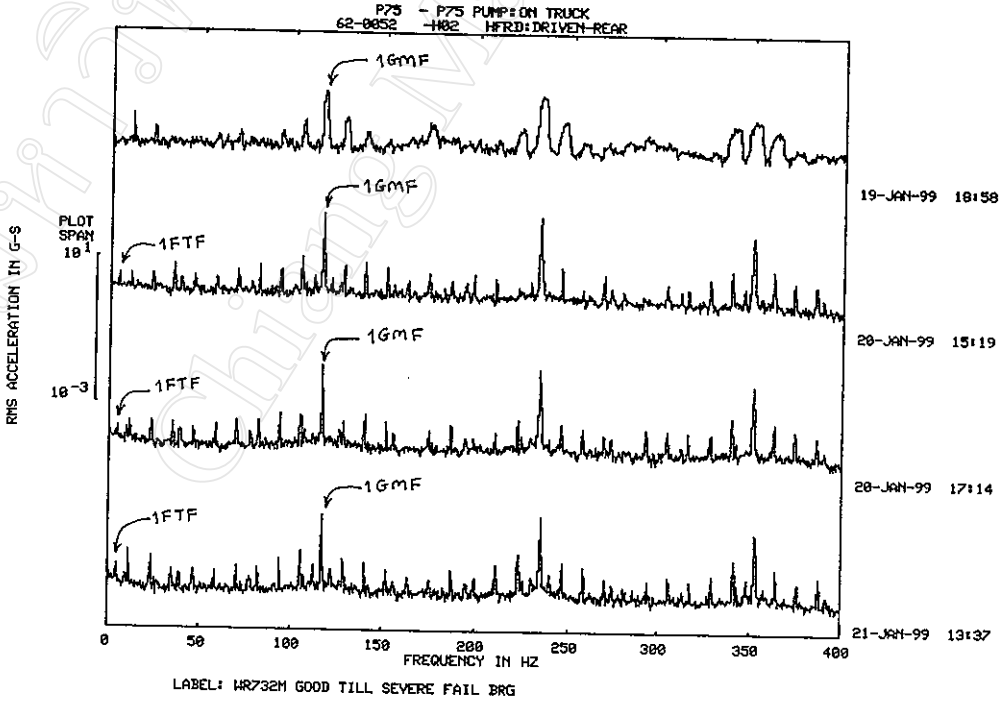
รูป ช-21 รถ 62-0052 จุดวัด H01S



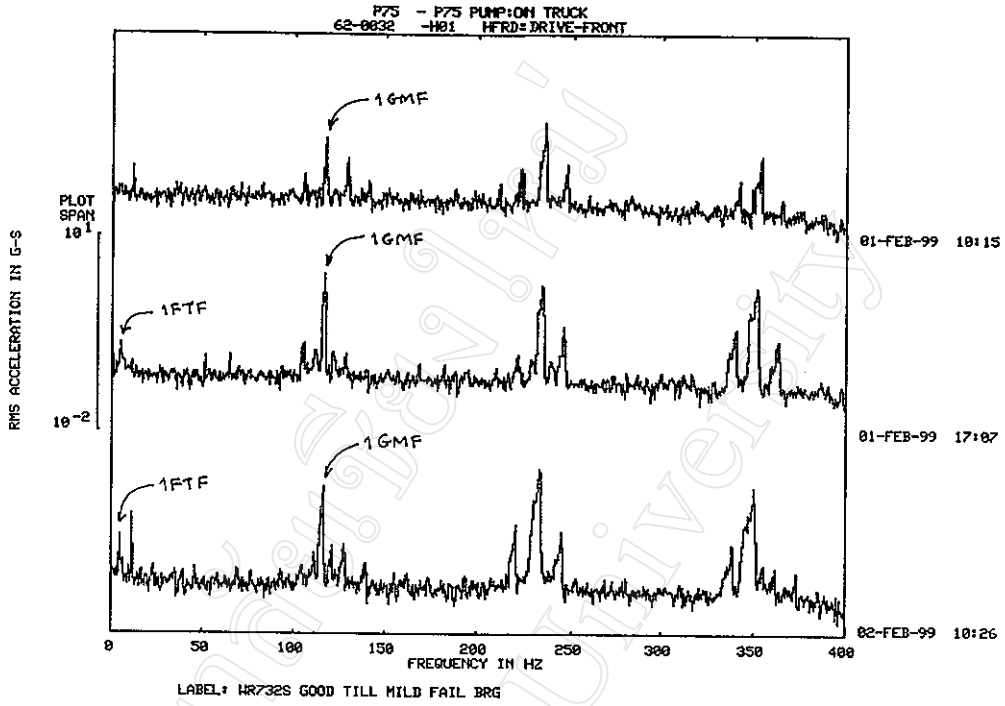
รูป ช-22 รถ 62-0052 จุดวัด H01M



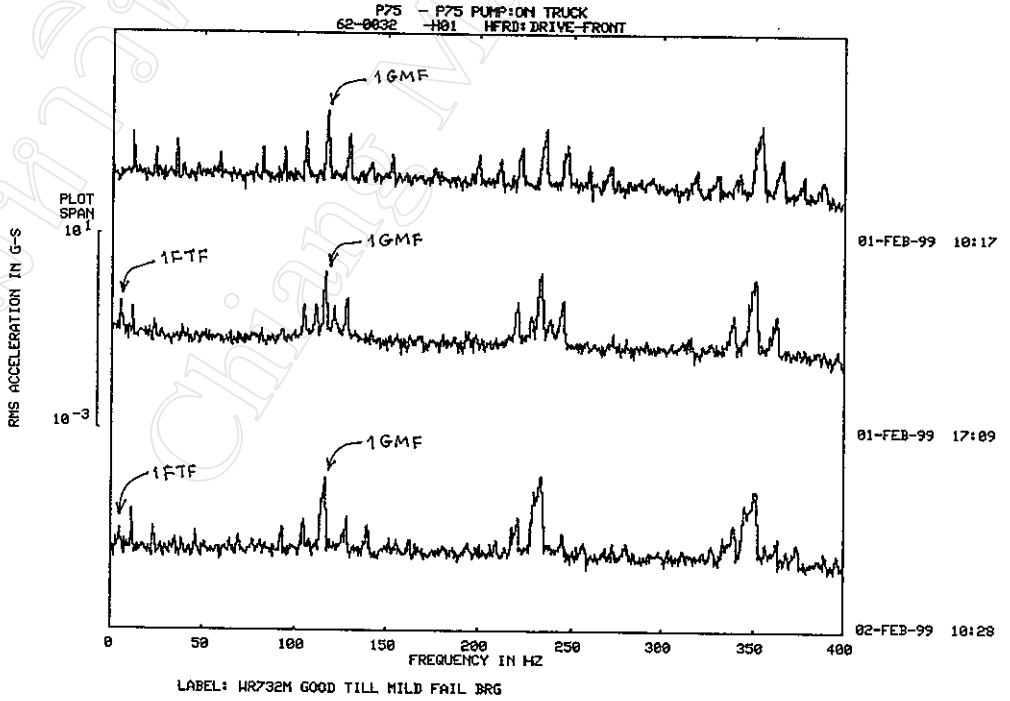
รูป ช-23 รถ 62-0052 จุดวัด H02S



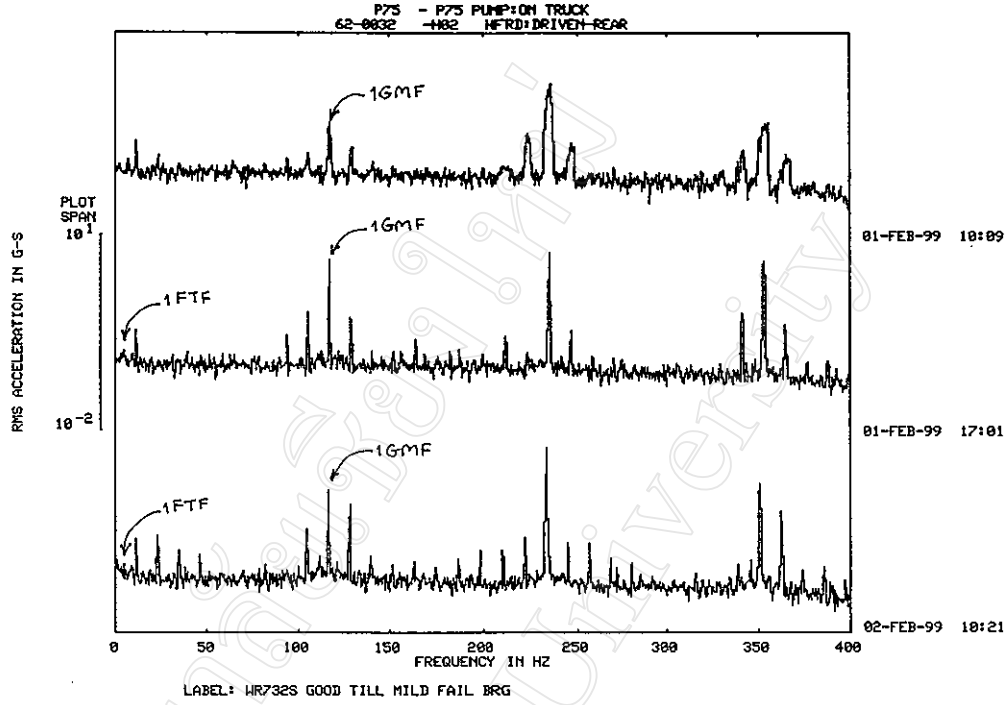
รูป ช-24 รถ 62-0052 จุดวัด H02M



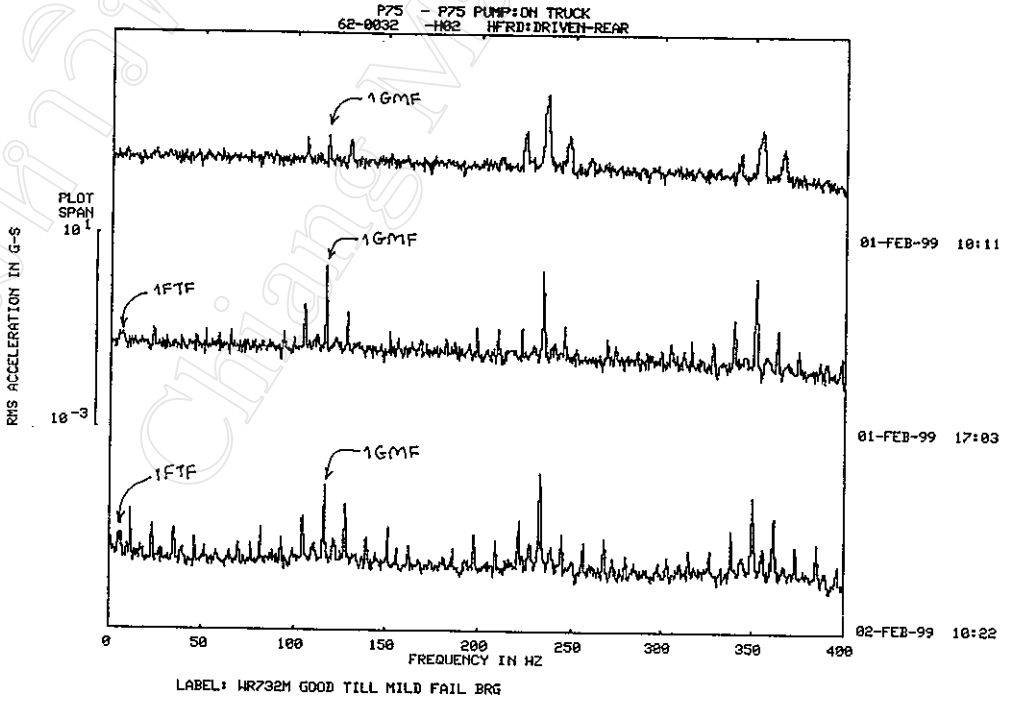
รูป ช-25 รถ 62-0032 จุดวัด H01S



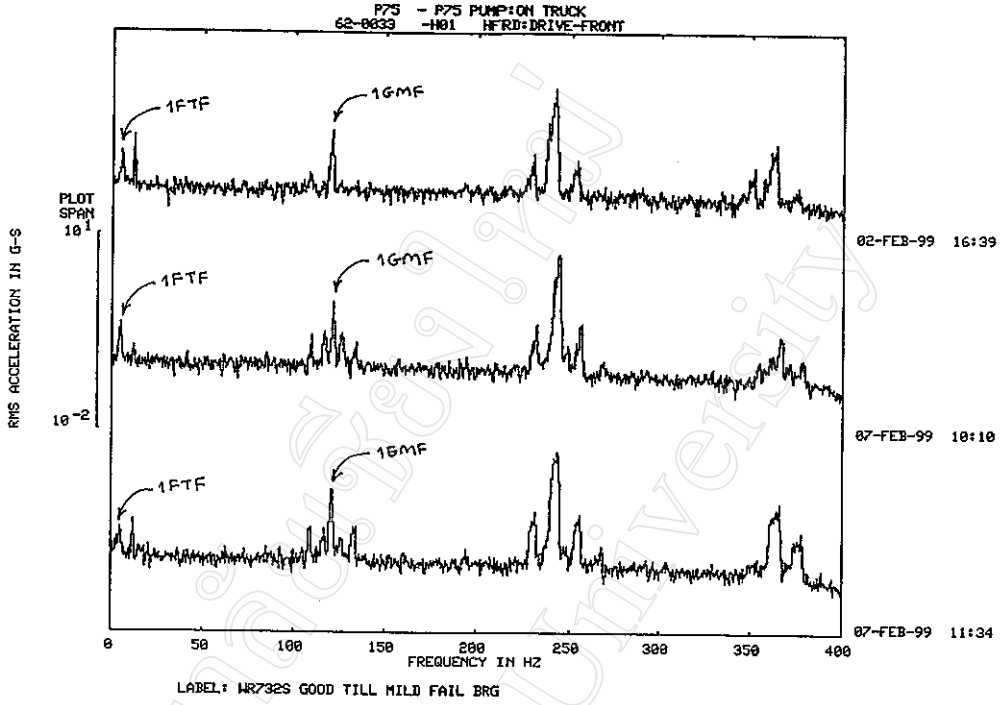
รูป ช-26 รถ 62-0032 จุดวัด H01M



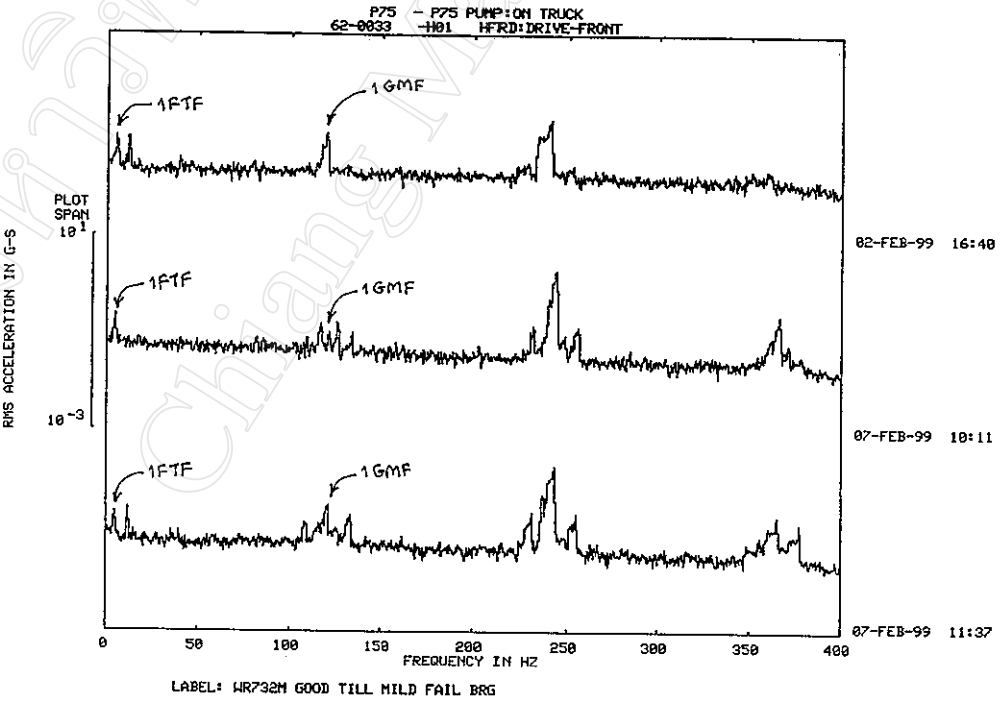
รูป ช-27 รถ 62-0032 จุดวัด H02S



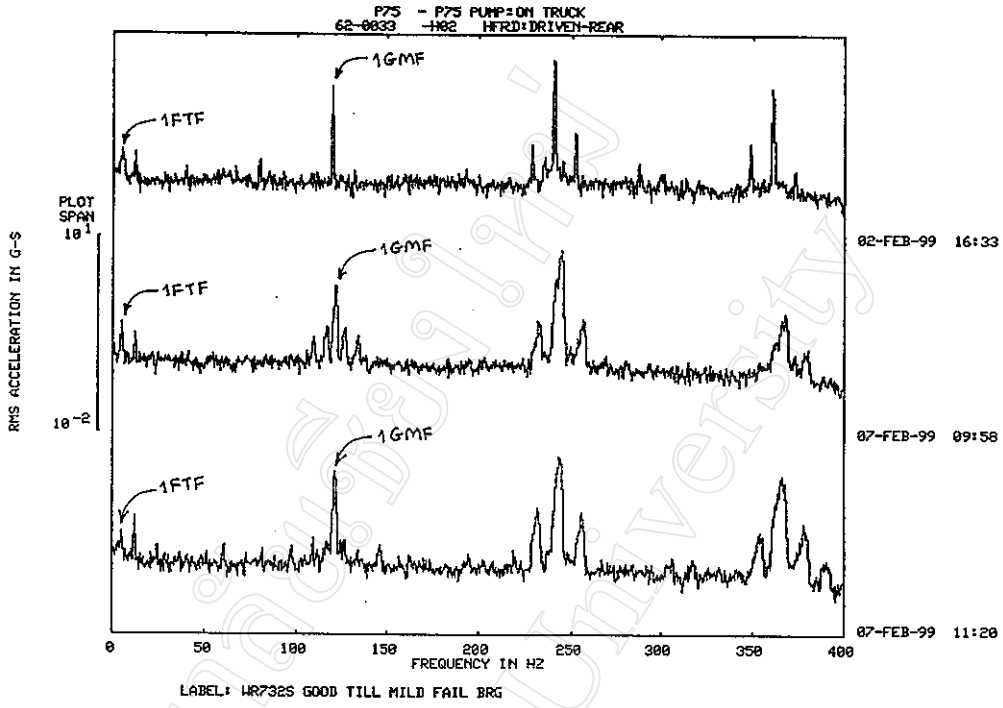
รูป ช-28 รถ 62-0032 จุดวัด H02M



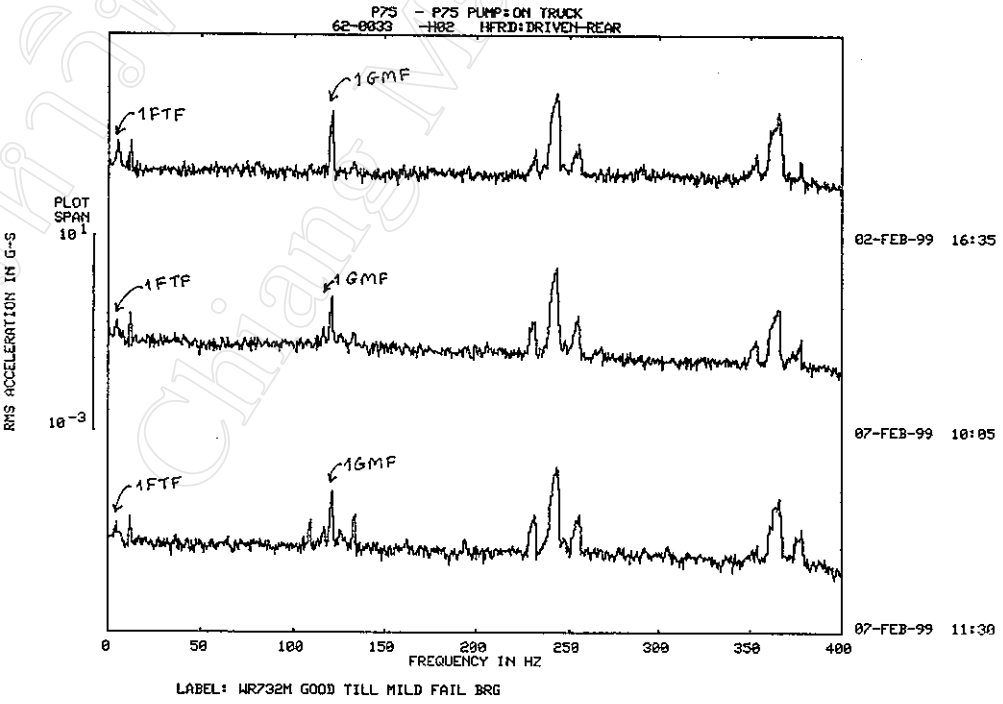
รูป ช-29 รถ 62-0033 จุดวัด H01S



รูป ช-30 รถ 62-0033 จุดวัด H01M



รูป ช-31 รถ 62-0033 จุดวัด H02S



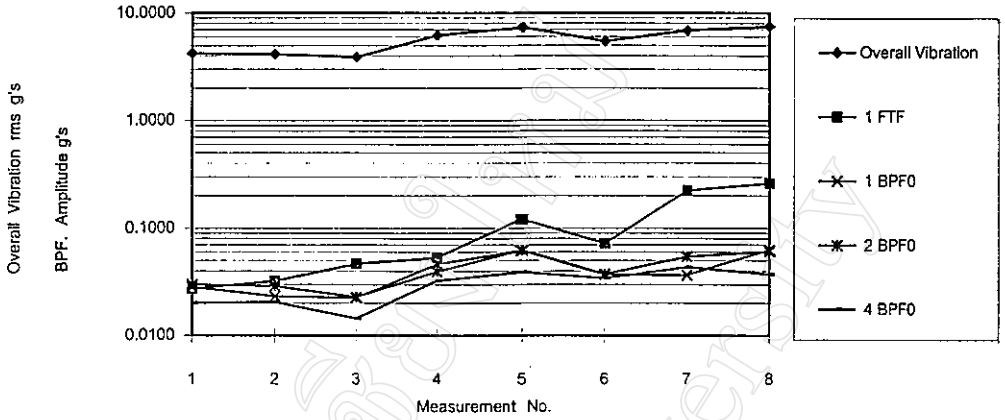
รูป ช-32 รถ 62-0033 จุดวัด H02M

ภาคผนวก ซ

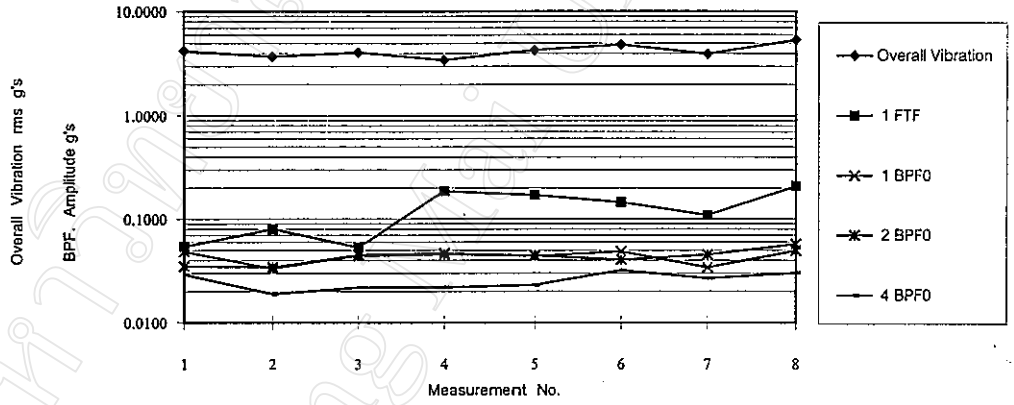
กราฟแสดงการติดตามแอมปลิจูดของ BPF และการสั่นสะเทือนโดยรวมทำการวัดแบบปรับปรุงสัญญาณ

ในบทนี้จะนำเสนอกราฟแสดงการติดตามแอมปลิจูดของ BPF และการสั่นสะเทือนโดยรวมเมื่อทำการวัดแบบปรับปรุงสัญญาณ ในช่วงความถี่ 0.5 - 400 Hz โดยเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของแอมปลิจูดของ BPF และค่าการสั่นสะเทือนโดยรวม เป็นข้อมูลที่เสนอเพิ่มเติมจากข้อ 4.3 แสดงรูปกราฟเพิ่มเติมจากรูป 4.32 - 4.35 รวมข้อมูลทั้งหมด 32 จุดวัด หรือจากจำนวนรถที่ทดสอบ 8 คัน ซึ่งโดยสรุปจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของ BPF ที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในเกณฑ์ที่สูงคือค่า 1FTF

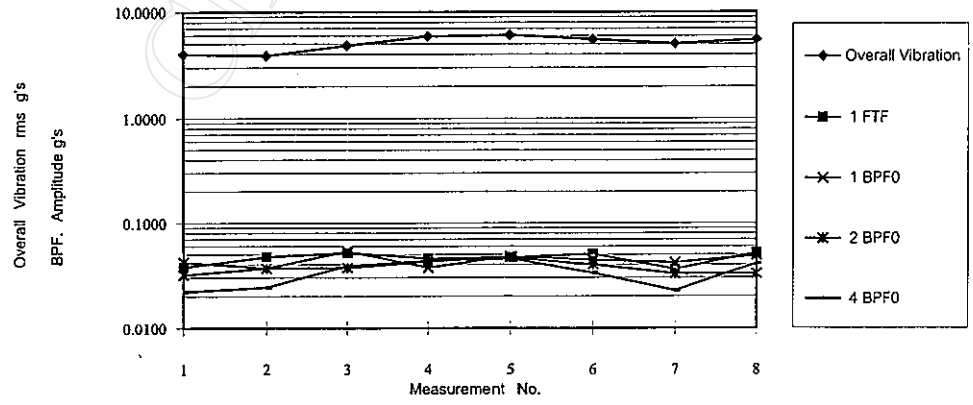
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University



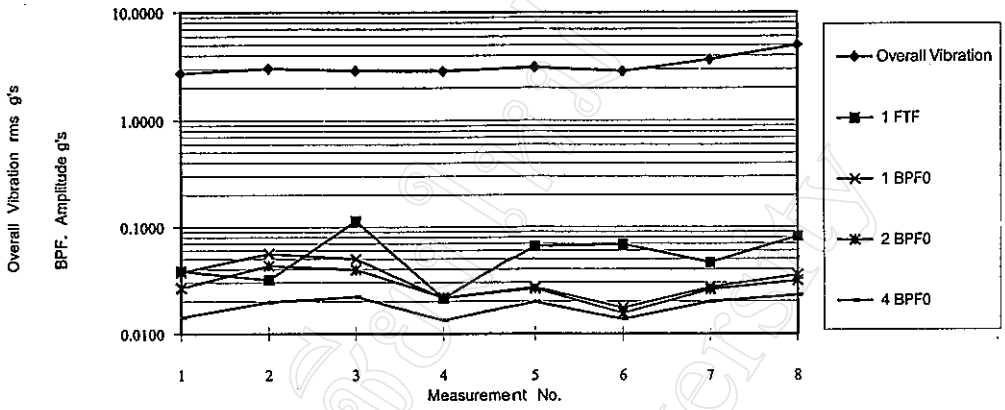
รูป ซ-1 รถ 62-0046 จุดวัด H01S



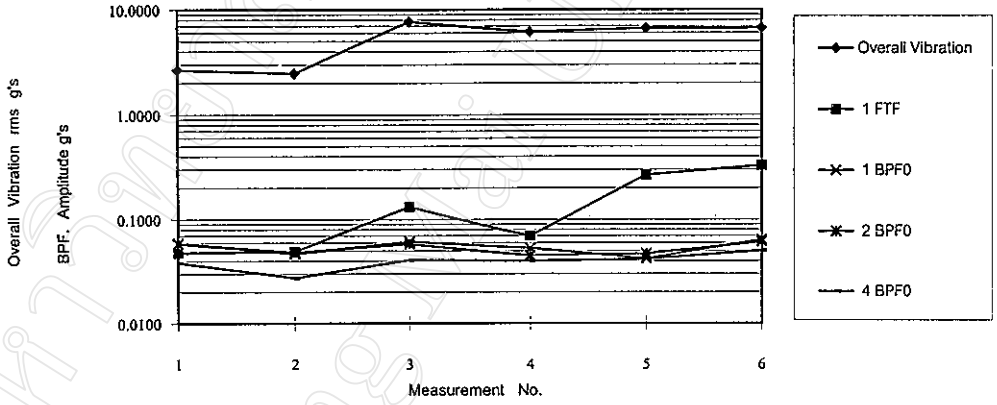
รูป ซ-2 รถ 62-0046 จุดวัด H01M



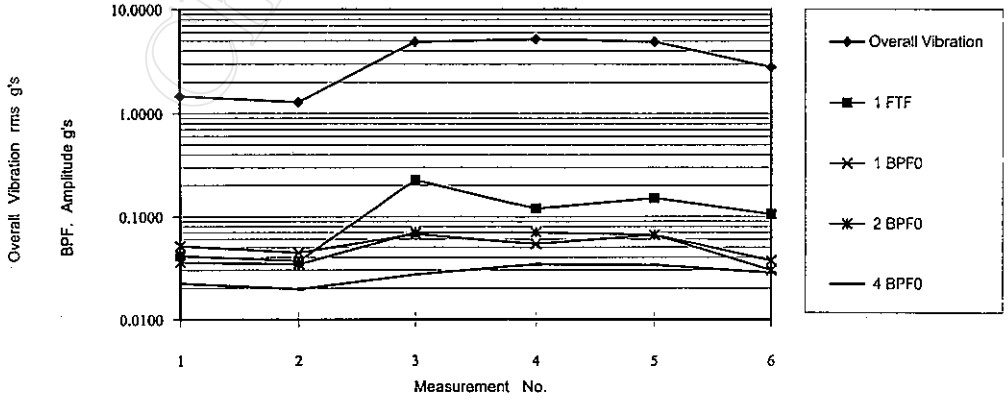
รูป ซ-3 รถ 62-0046 จุดวัด H02S



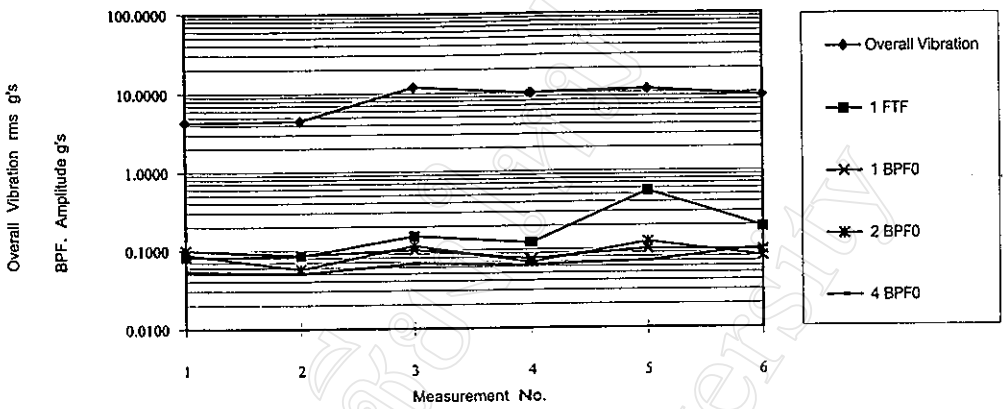
รูป ซ-4 รถ 62-0046 จุดวัด H02M



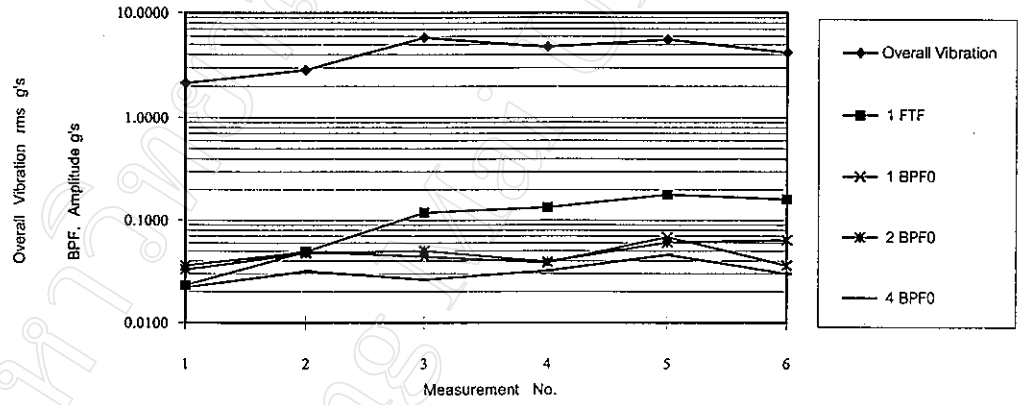
รูป ซ-5 รถ 62-0047 จุดวัด H01S



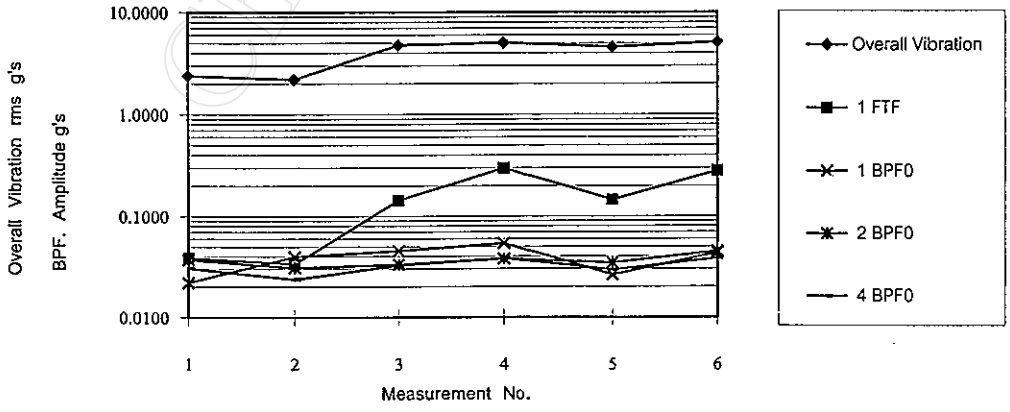
รูป ซ-6 รถ 62-0047 จุดวัด H01M



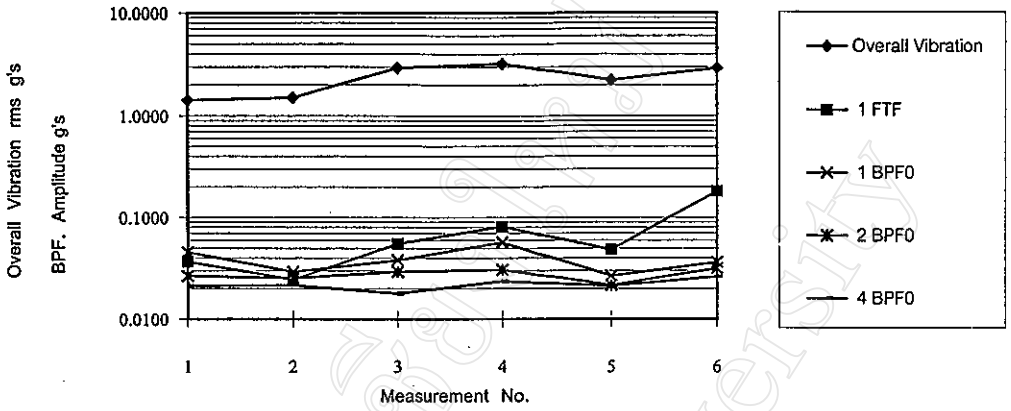
รูป ซ-7 รถ 62-0047 จุดวัด H02S



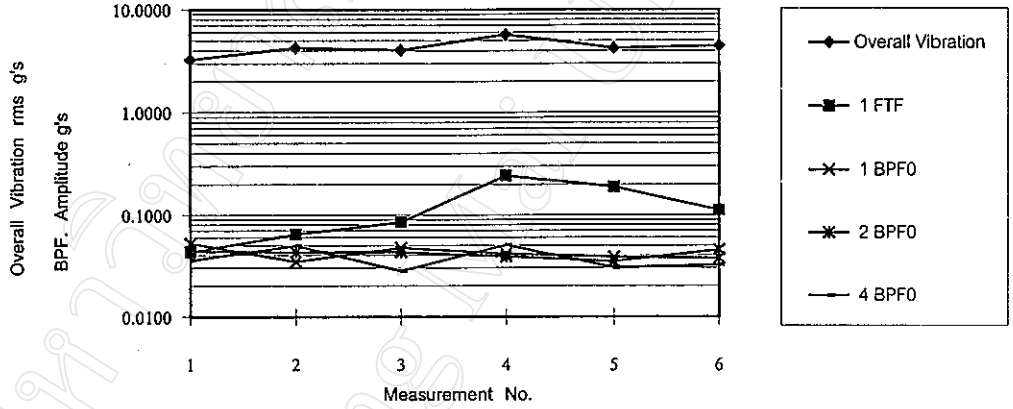
รูป ซ-8 รถ 62-0047 จุดวัด H02M



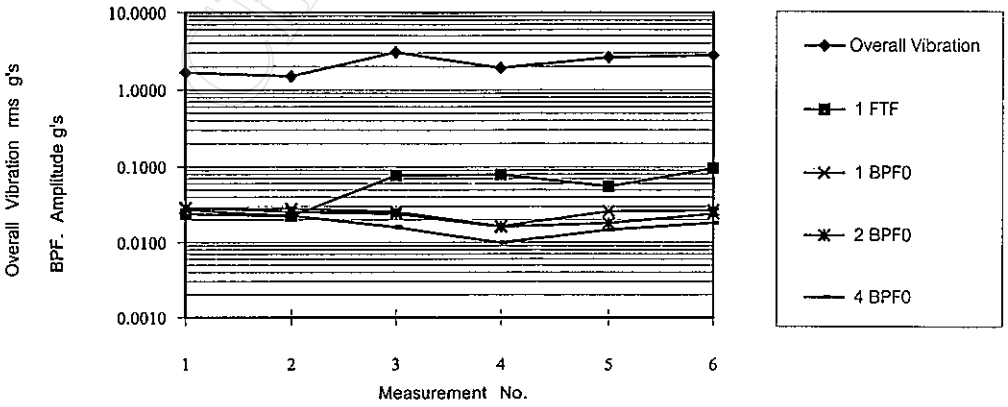
รูป ซ-9 รถ 62-0049 จุดวัด H01S



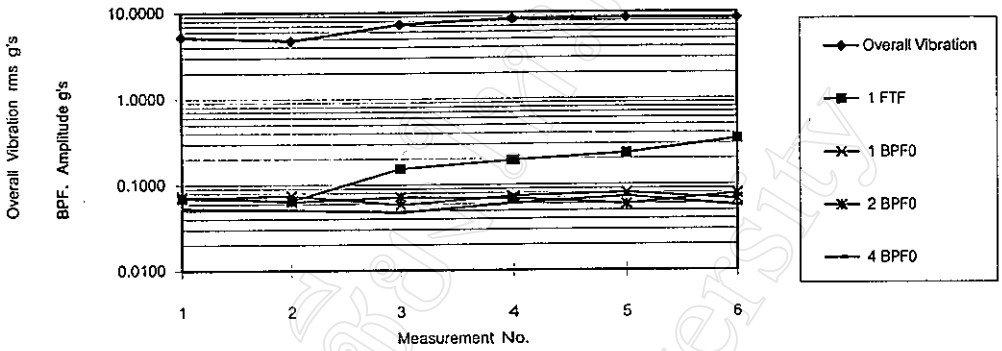
รูป ซ-10 รถ 62-0049 จุดวัด H01M



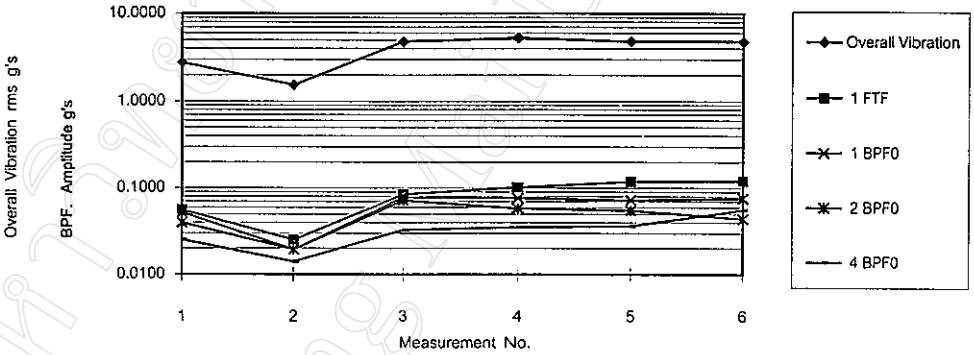
รูป ซ-11 รถ 62-0049 จุดวัด H02S



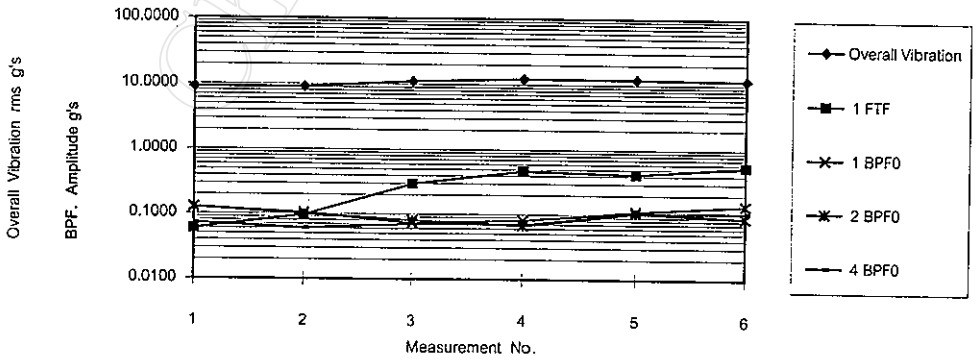
รูป ซ-12 รถ 62-0049 จุดวัด H02M



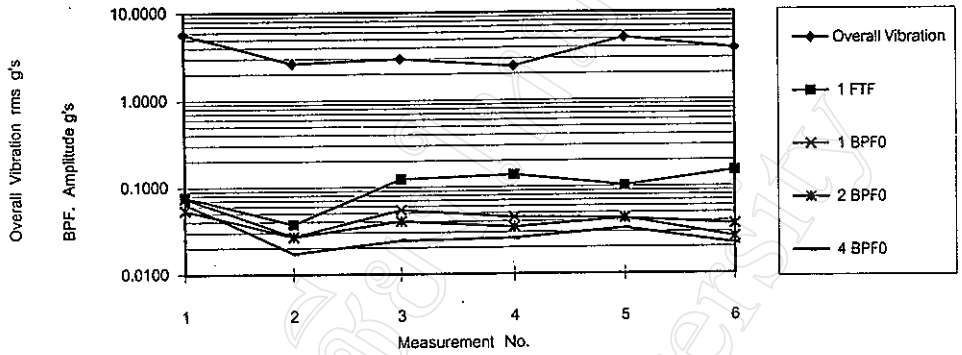
รูป ซ-13 รถ 62-0050 จุดวัด H01S



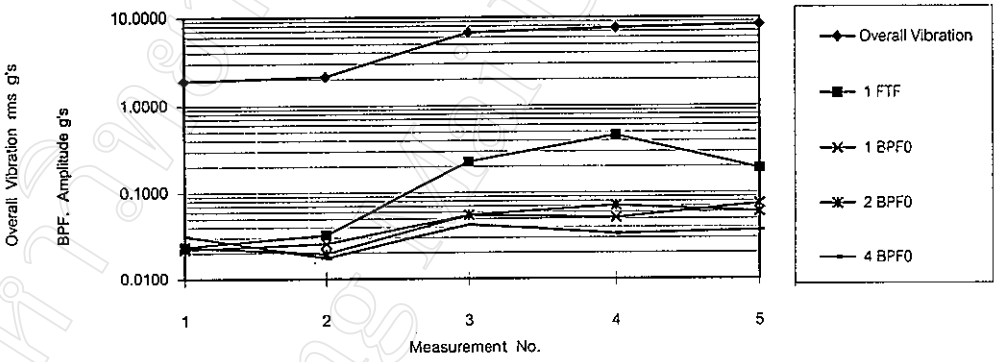
รูป ซ-14 รถ 62-0050 จุดวัด H01M



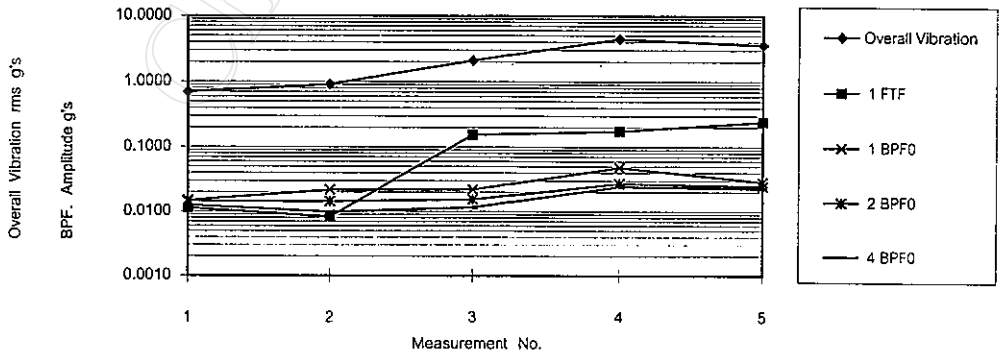
รูป ซ-15 รถ 62-0050 จุดวัด H02S



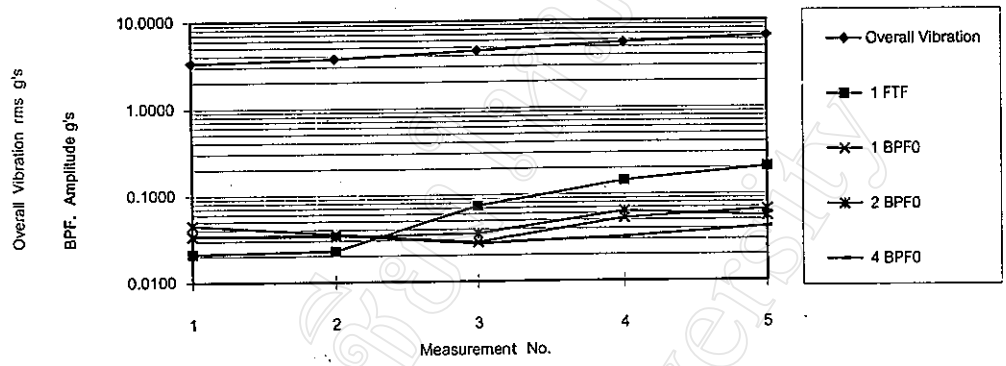
รูป ซ-16 รถ 62-0050 จุดวัด H02M



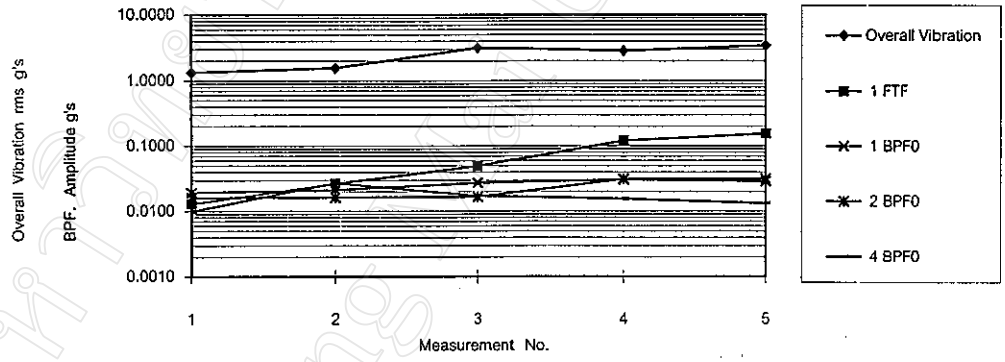
รูป ซ-17 รถ 62-0051 จุดวัด H01S



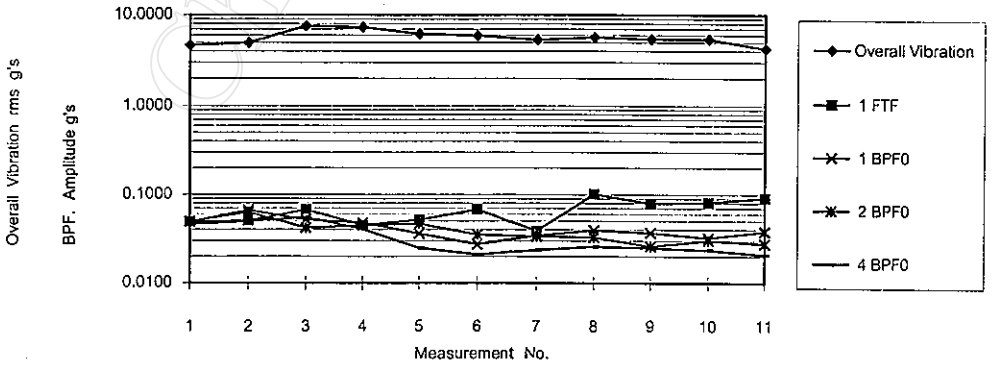
รูป ซ-18 รถ 62-0051 จุดวัด H01M



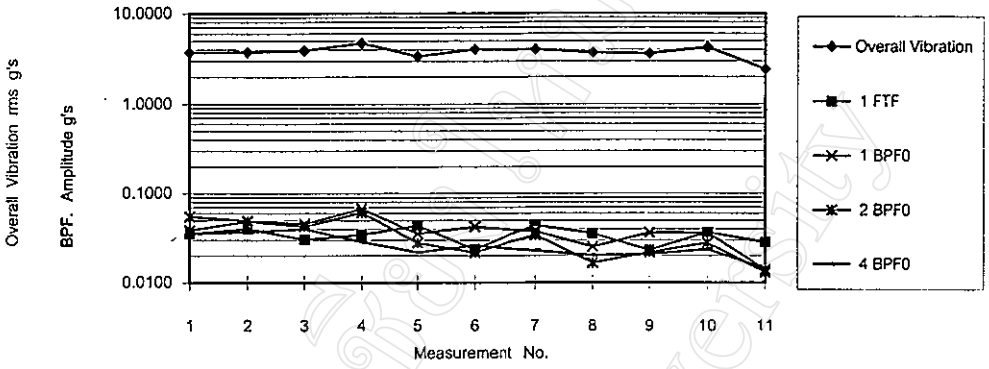
รูป ซ-19 รถ 62-0051 จุดวัด H02S



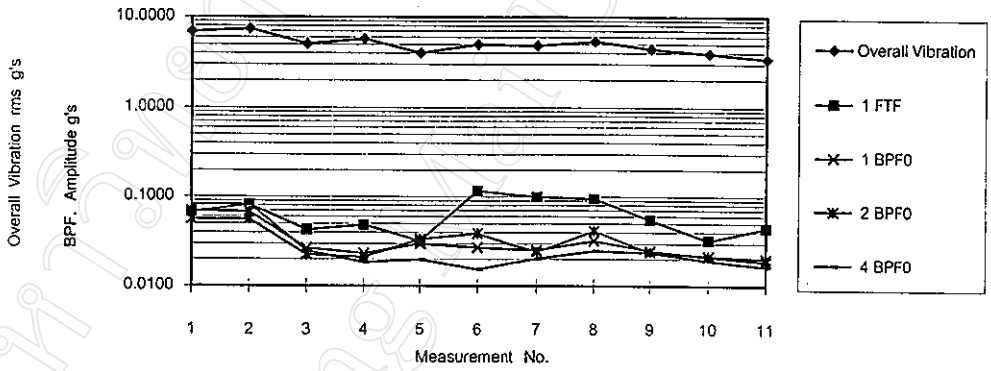
รูป ซ-20 รถ 62-0051 จุดวัด H02M



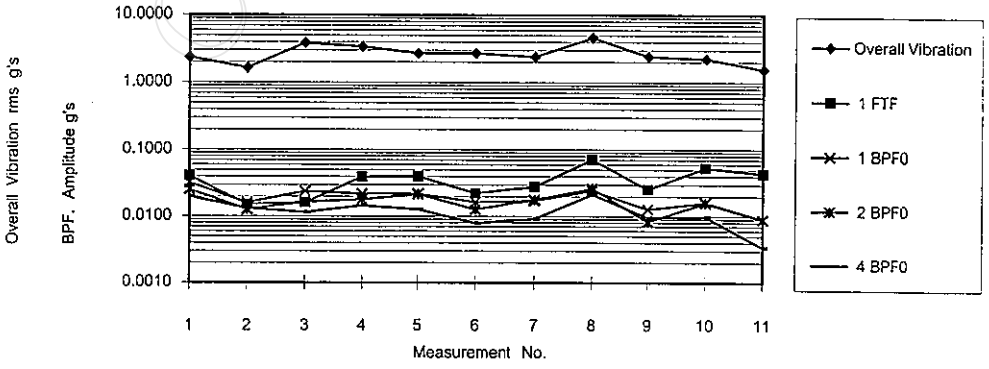
รูป ซ-21 รถ 62-0052 จุดวัด H01S



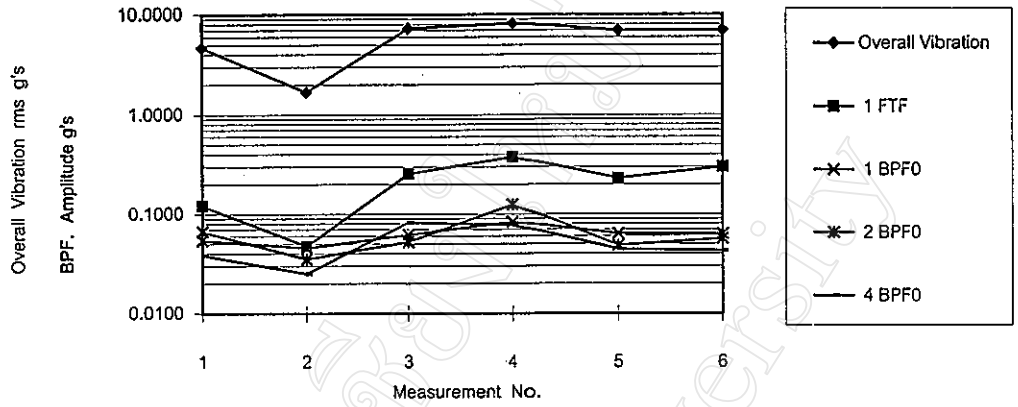
รูป ช-22 รถ 62-0052 จุดวัด H01M



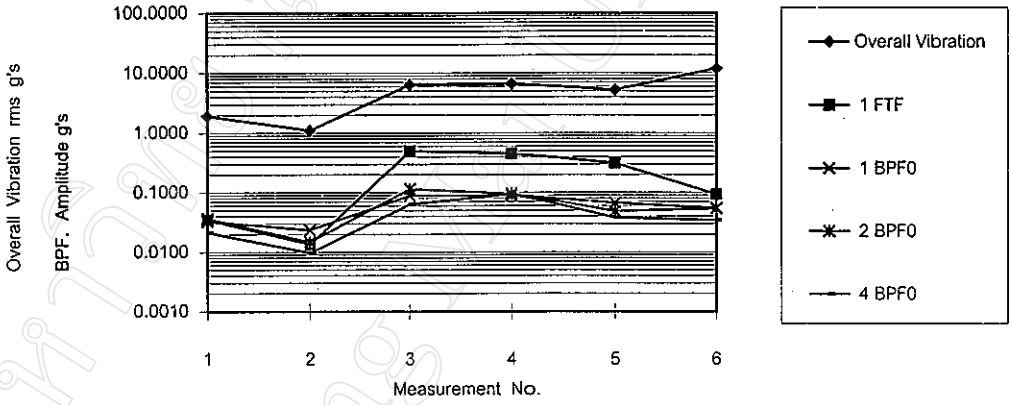
รูป ช-23 รถ 62-0052 จุดวัด H02S



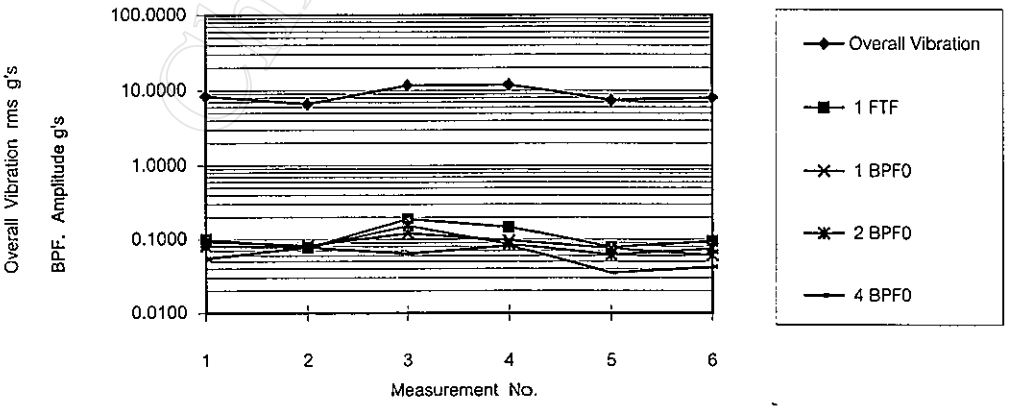
รูป ช-24 รถ 62-0052 จุดวัด H02M



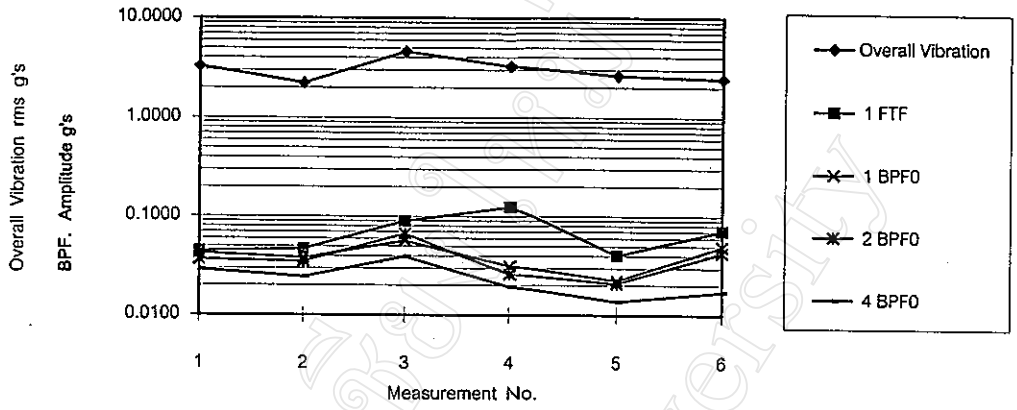
รูป ช-25 รถ 62-0032 จุดวัด H01S



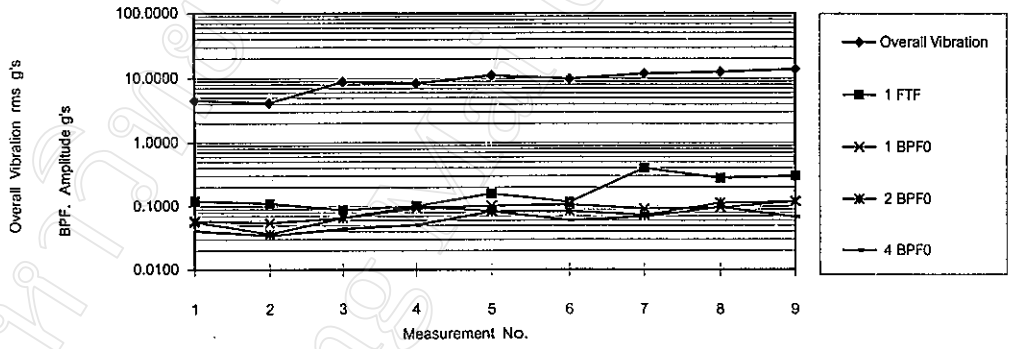
รูป ช-26 รถ 62-0032 จุดวัด H01M



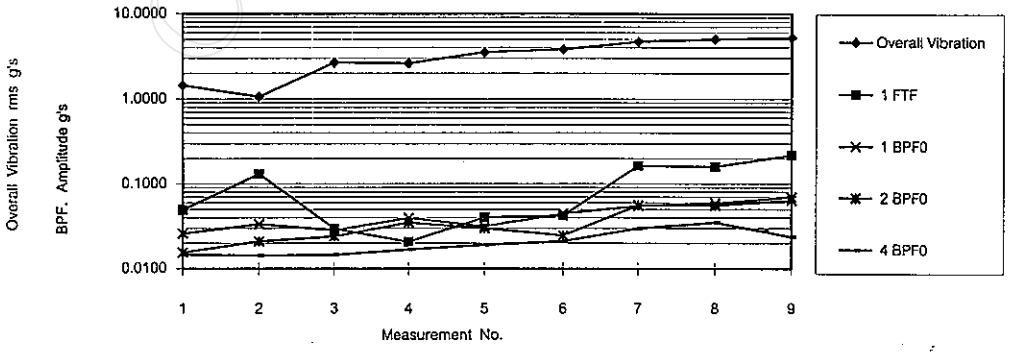
รูป ช-27 รถ 62-0032 จุดวัด H02S



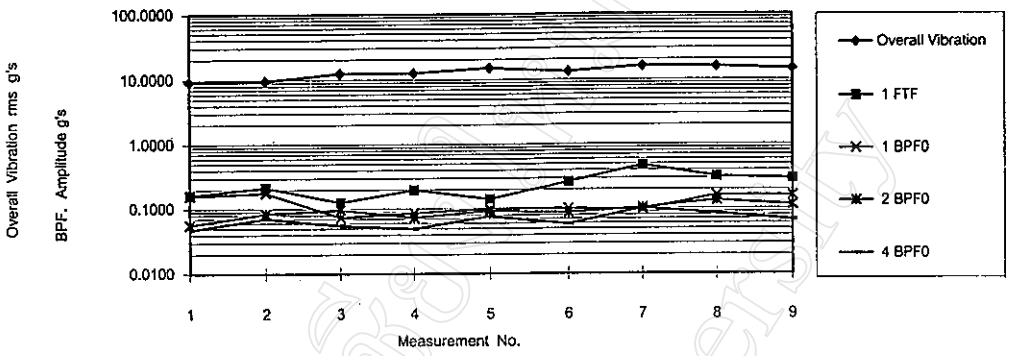
รูป ซ-28 รถ 62-0032 จุดวัด H02M



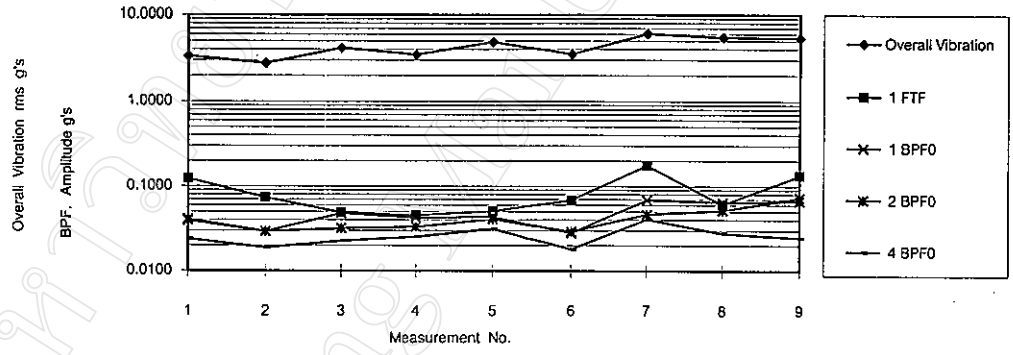
รูป ซ-29 รถ 62-0033 จุดวัด H01S



รูป ซ-30 รถ 62-0033 จุดวัด H01M



รูป ซ-31 รถ 62-0033 จุดวัด H02S



รูป ซ-32 รถ 62-0033 จุดวัด H02M

ภาคผนวก ฌ

ตารางที่ใช้บันทึกข้อมูล

ในบทนี้จะนำเสนอตัวอย่างของตารางที่สำคัญที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล ซึ่งมีอยู่ 2 ตาราง คือ ตารางแสดงค่าอัตราส่วนของแอมปลิจูด ซึ่งทำการวัดในช่วงความถี่ 20 - 30,000 Hz และตารางต่อมาคือตารางแสดงค่าแอมปลิจูดของ BPF สำหรับการวัดในช่วงความถี่ 0.5 - 400 Hz ทั้งการวัดโดยตรงและการวัดแบบปรับปรุงสัญญาณ ตัวอย่างตารางทั้งสองแสดงในตาราง ฌ-1 และ ฌ-2 ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ตาราง ฌ-1 ตัวอย่างตารางแสดงค่าอัตราส่วนของแอมปลิจูดที่ความถี่ต่าง ๆ ในช่วง 20 - 30,000 Hz และค่า RMS G'S

MACHINE NO. : 62 - 0036 MEASUREMENT POINT L01S : PRESSURE : 2,000 PSI. : TEMP 76-78° C

NO	DATE	TIME	FREQUENCY AND AMPLITUDE RATIO																RMS
			KHz	RATIO	KHz	RATIO	KHz	RATIO	KHz	RATIO	KHz	RATIO	KHz	RATIO	KHz	RATIO	KHz	RATIO	G'S
1																			
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			

ตาราง ฌ-2 ตัวอย่างตารางแสดงค่าแอมปลิจูดของ BPF และค่า RMS G's

MACHINE NO. : 62 - 0036 MEASUREMENT POINT H02 : PRESSRE : 2,000 PSI. : TEMP 66-68° C

NO	DATE	TIME	BPF AND AMPLITUED						RMS
			1FTF		1BPFO		2 BPFO	4 BPFO	G'S
			AMPL.	ORDER	AMPL.	ORDER			
1									
2									
3									

ภาคผนวก ญ

ขนาดรอยแผลแตกที่ผิวรางนอกของแบริ่งเมื่อจบการทดสอบ

ในบทนี้จะนำเสนอข้อมูล ขนาดรอยแผลแตกที่ผิวรางนอกของแบริ่งเมื่อจบการทดสอบ เพื่อใช้เป็นส่วนประกอบในการพิจารณาว่าขนาดของรอยแผลของการชำรุด มีผลทำให้ค่า spectrum ที่ทำการวัดแบบต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ตั้งแต่การเริ่มทำตำหนิที่ผิวรางนอกของแบริ่ง จนกระทั่งเกิดการชำรุดจริงที่ผิวของแบริ่ง และมีขนาดของรอยแผลของการชำรุดโตขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งโดยสรุปคือเมื่อขนาดรอยแผลของการชำรุดมีขนาดไม่เกินที่กำหนด 6 ตารางมิลลิเมตร ลักษณะของ spectrum นับตั้งแต่เริ่มทำรอยตำหนิจะมีลักษณะคล้ายกันมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ตาราง ญ-1 ขนาดรอยแผลแตกที่บริเวณผิวรางนอกของแบริ่งที่ตำแหน่งต่าง ๆ เมื่อจบการทดสอบ

หมายเลขรถ	จุดวัด	ตำแหน่งแบริ่งและขนาดรอยแผลแตกโตสุด (มม.)	ขนาดพื้นที่รอยแตก $(มม)^2$
62-0046	H01	FD ไม่แตก	0
	L01	FDN 5 x 9	30
	H02	RD 1 x 1	1
	L02	RDN 4 x 12	41
62-0047	H01	FD 3 x 3	7
	L01	FDN 3 x 2	5
	H02	RD ไม่แตก	0
	L02	RDN ไม่แตก	0
62-0049	H01	FD 2 x 2	4
	L01	FDN ไม่แตก	0
	H02	RD ไม่แตก	0
	L02	RDN ไม่แตก	0
62-0050	H01	FD ไม่แตก	0
	L01	FDN ไม่แตก	0
	H02	RD ไม่แตก	0
	L02	RDN 2 x 3	5

ตาราง ญ.1 (ต่อ) ขนาดรอยแผลแตกที่บริเวณผิวรางนอกของแบริ่งที่ตำแหน่งต่างๆ เมื่อจบการทดสอบ

หมายเลขรถ	จุดวัด	ตำแหน่งแบริ่งและขนาดรอยแผลแตกโตสุด (มม.)	ขนาดพื้นที่รอยแตก (มม)^2 .
62-0051	H01	FD ไม่แตก	0
	L01	FDN ไม่แตก	0
	H02	RD 2 x 1	2
	L02	RDN ไม่แตก	0
62-0052	H01	FD ไม่แตก	0
	L01	FDN 7 x 18	77
	H02	RD ไม่แตก	0
	L02	RDN ไม่แตก	0
62-0032	H01	FD ไม่แตก	0
	L01	FDN 2 x 2	4
	H02	RD ไม่แตก	0
	L02	RDN ไม่แตก	0
62-0033	H01	FD ไม่แตก	0
	L01	FDN 1 x 1	1
	H02	RD ไม่แตก	0
	L02	RDN ไม่แตก	0
62-0036	H01	FD ไม่แตก	0
	L01	FDN 6 x 16	70
	H02	RD ไม่แตก	0
	L02	RDN 7 x 20	115

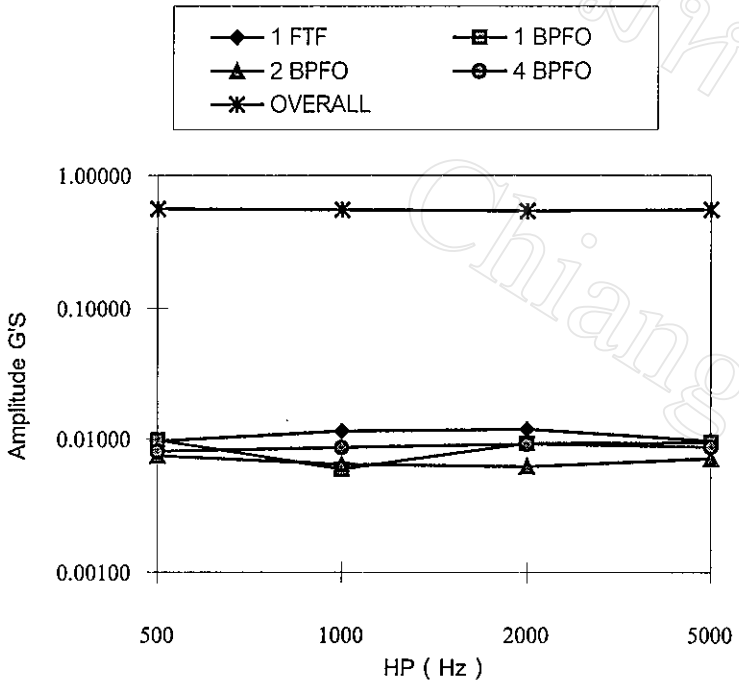
ภาคผนวก ฎ

ข้อมูลการทดลองเปลี่ยนค่า HP filter

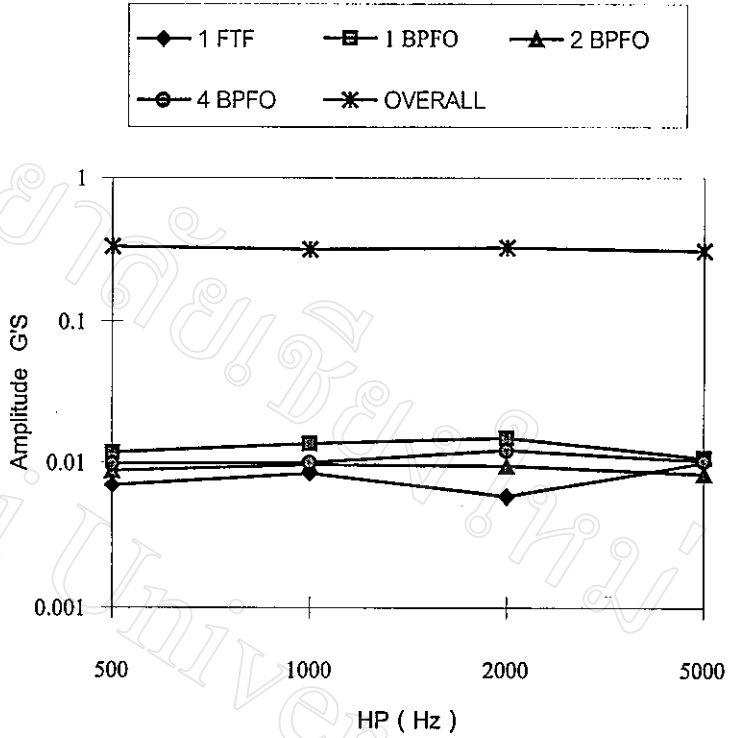
ตามที่ได้กล่าวในหัวข้อ 4.8 เรื่องความถี่ที่ควรกรองสัญญาณออก ในส่วนของการทดสอบที่ความถี่ 0.5 - 400 Hz ทำการวัดโดยการปรับปรุงสัญญาณแบบ envelope demodulation ซึ่งในขั้นตอนนี้ได้ทำการทดลองเปลี่ยนค่า HP filter คือการกรองสัญญาณที่คาดว่าไม่เกี่ยวข้องกับการชำรุดออก เพื่อให้เกิดความสะดวกในการวิเคราะห์และติดตามการชำรุดของแบริ่ง

การทดลองได้ทำการเปรียบเทียบแอมปลิจูดของ BPF และการสั่นสะเทือนโดยรวมเมื่อค่า HP เปลี่ยนไป เปลี่ยนขนาดของรอยแผลแตกและติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยสลักเกลียวและแม่เหล็ก ผลการทดลองดังแสดงตามรูป ฎ-1 ถึง ฎ-8 พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนของ BPF ส่วนค่าการสั่นสะเทือนโดยรวมมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยคือค่าลดลงเมื่อ HP filter สูงขึ้น และค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ HP filter ลดลง โดยการเปลี่ยนแปลงนี้ไม่ถือว่ามีนัยสำคัญต่อการนำมาใช้งาน

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

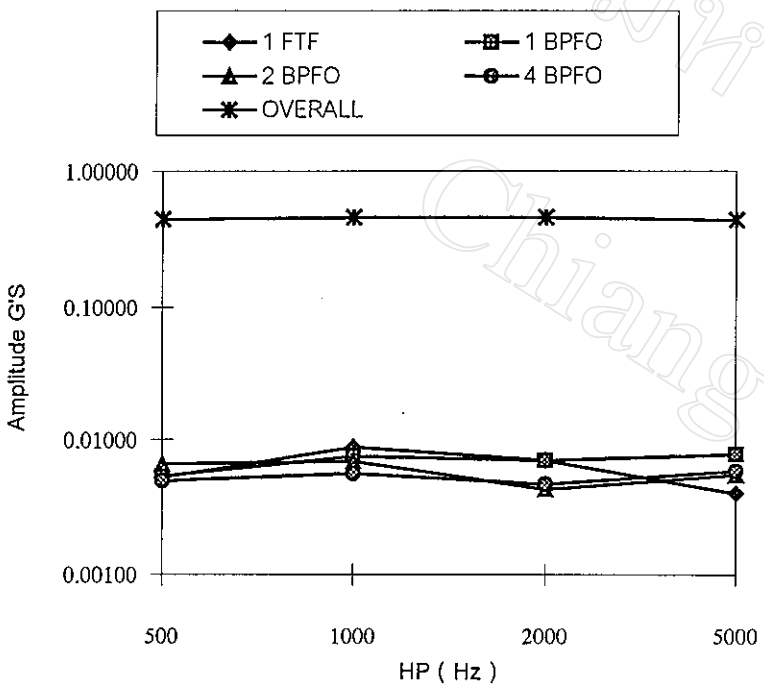


รูป ฎ-1 Overall vibration และแอมปลิจูดของ BPF เมื่อเปลี่ยนค่า HP filter, stud mounted, crack size 0.1 mm.

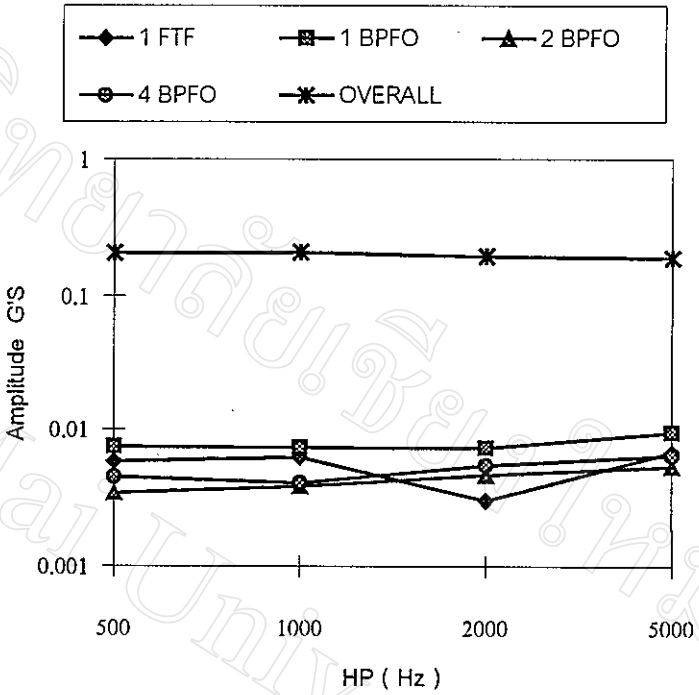


รูป ฎ-2 Overall vibration และแอมปลิจูดของ BPF เมื่อเปลี่ยนค่า HP filter, magnet mounted, crack size 0.1 mm.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

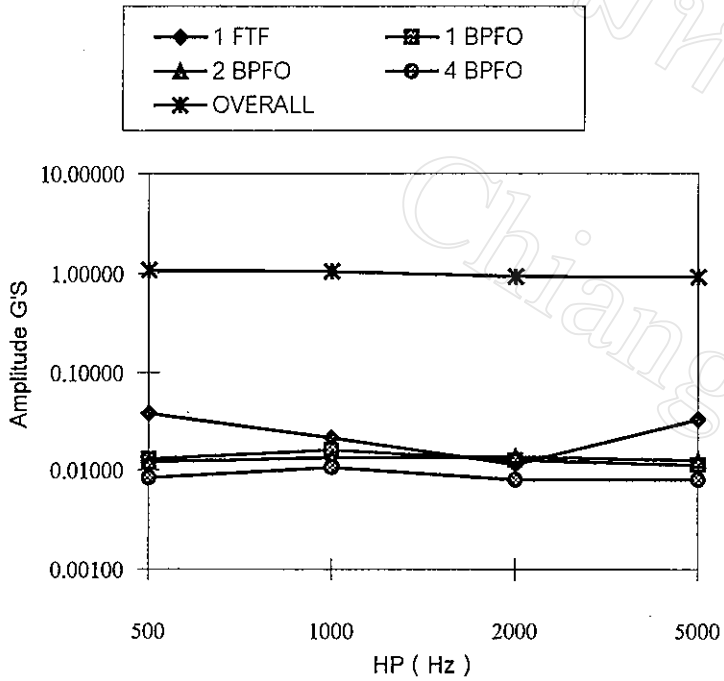


รูป ฎ-3 Overall vibration และแอมปลิจูดของ BPF เมื่อเปลี่ยนค่า HP filter, stud mounted, crack size 0.2 mm.

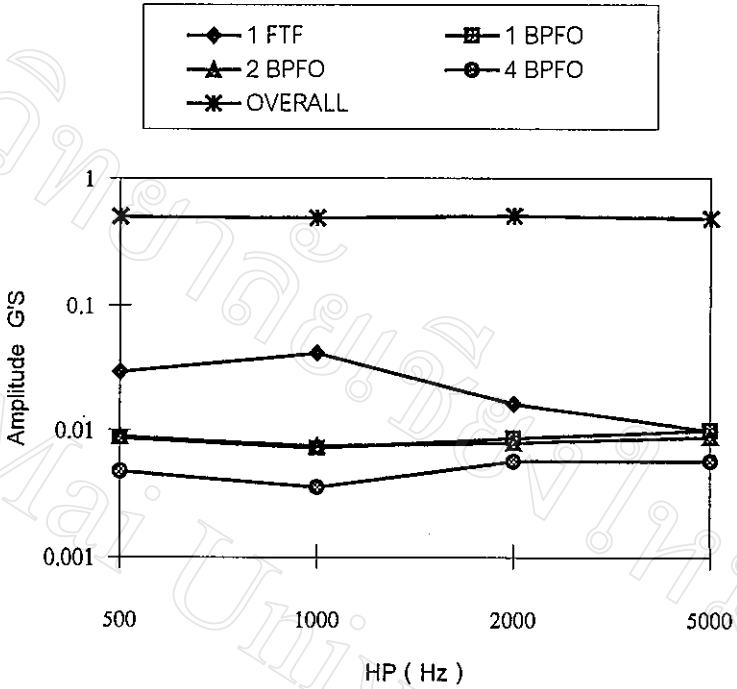


รูป ฎ-4 Overall vibration และแอมปลิจูดของ BPF เมื่อเปลี่ยนค่า HP filter, magnet mounted, crack size 0.2 mm.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

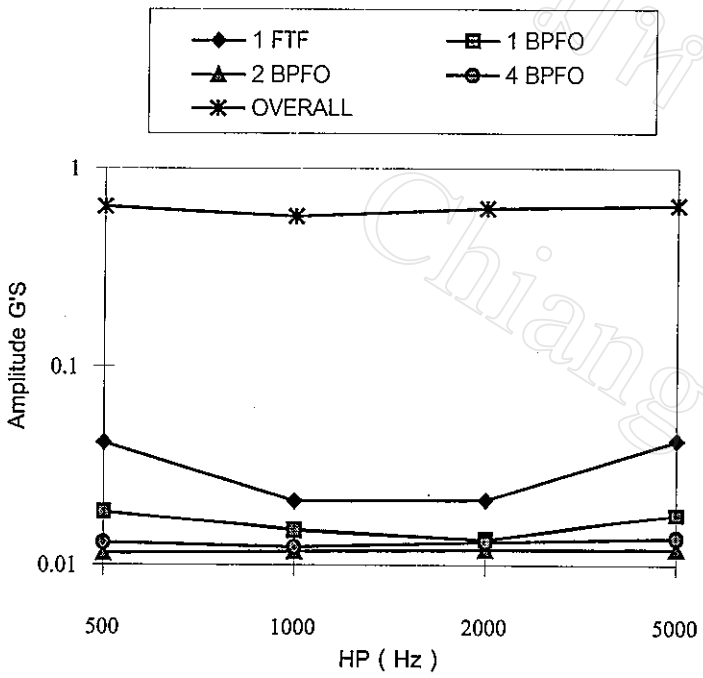


รูป ฎ-5 Overall vibration และแอมปลิจูดของ BPF เมื่อเปลี่ยนค่า HP filter, stud mounted, crack size 0.3 mm.

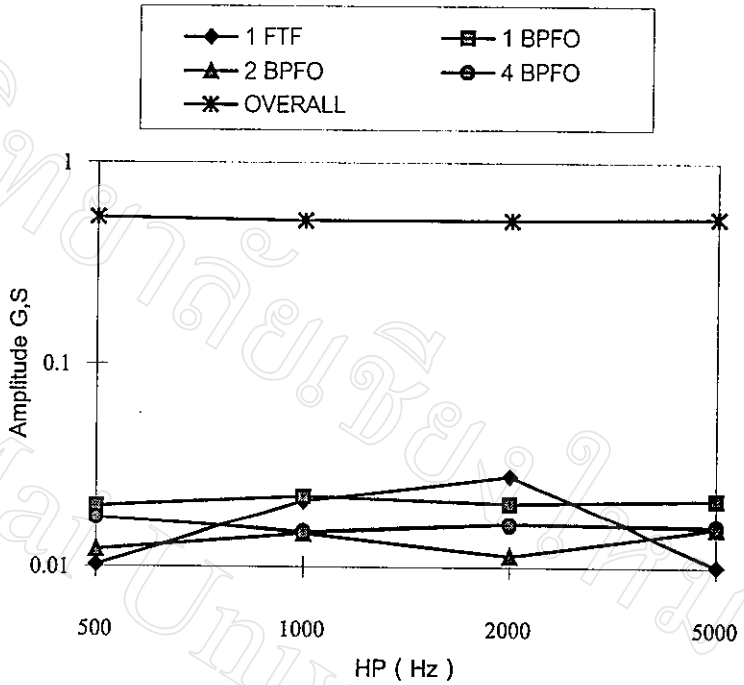


รูป ฎ-6 Overall vibration และแอมปลิจูดของ BPF เมื่อเปลี่ยนค่า HP filter, magnet mounted, crack size 0.3 mm.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University



รูป ฎ-7 Overall vibration และแอมปลิจูดของ BPF เมื่อเปลี่ยนค่า HP filter, stud mounted, crack size 1 mm.



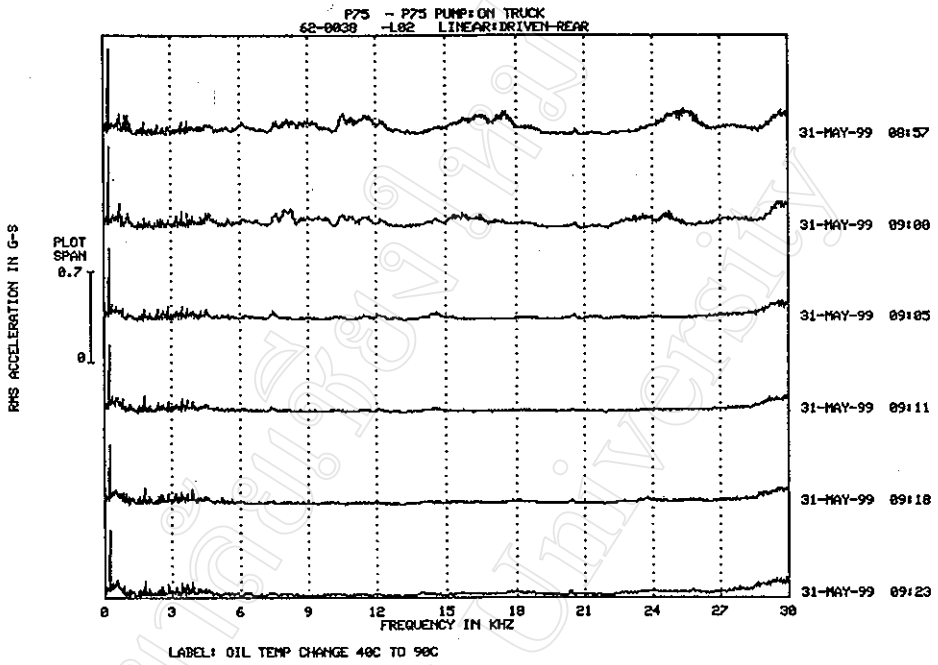
รูป ฎ-8 Overall vibraiton และแอมปลิจูดของ BPF เมื่อเปลี่ยนค่า HP filter, magnet mounted, crack size 1 mm.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

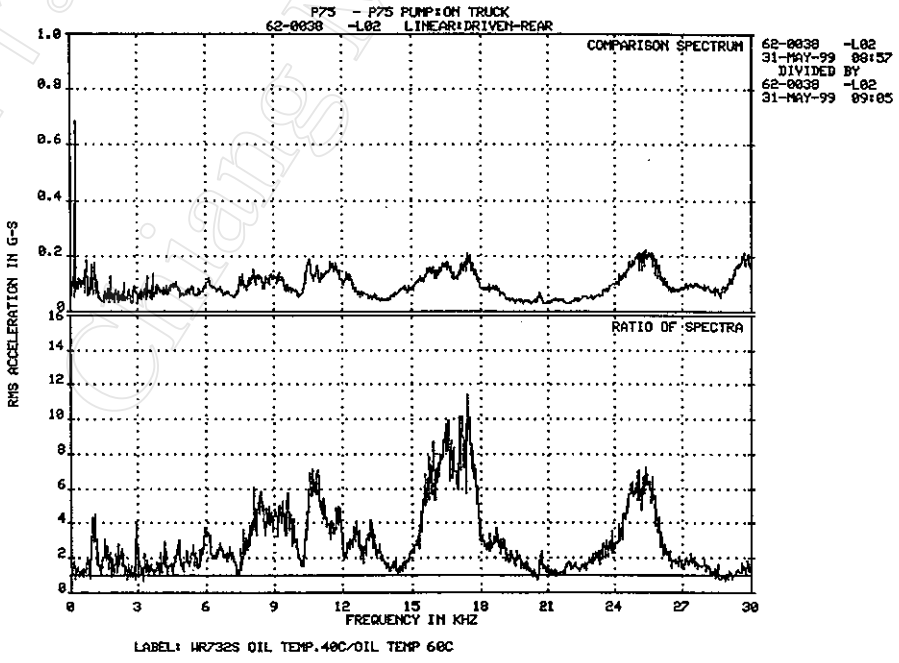
ภาคผนวก ฏ

ผลกระทบจากอุณหภูมิของน้ำมันไฮดรอลิคที่ทำการวัดในช่วงความถี่ 20 - 30,000 Hz

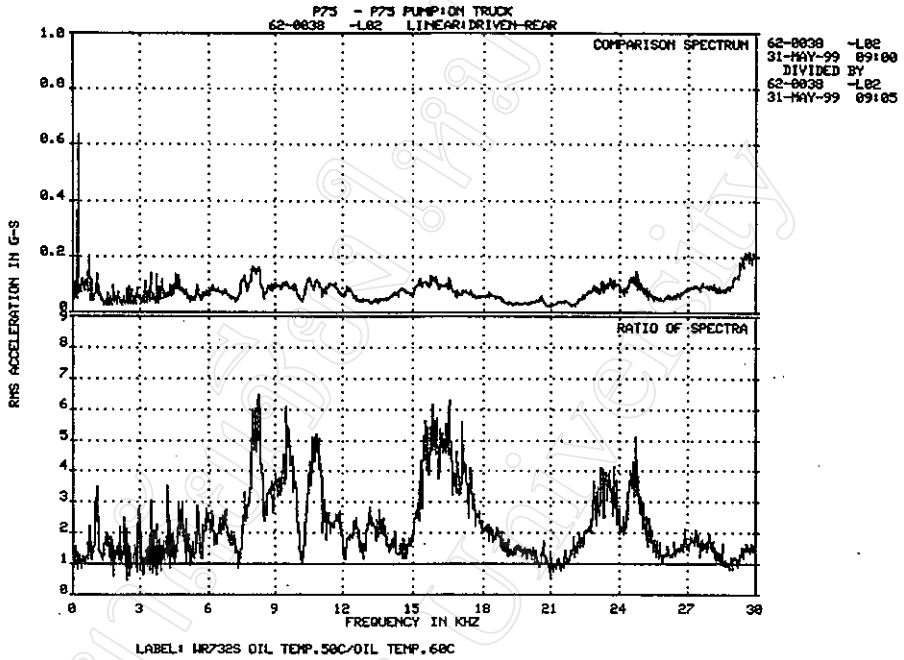
จากปัญหาและอุปสรรคที่กล่าวในข้อ 4.11 ผลกระทบที่มีต่อค่าการสั่นสะเทือน ซึ่งเกิดจากอุณหภูมิของน้ำมันไฮดรอลิคที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะเมื่ออุณหภูมิของน้ำมันไฮดรอลิคยังต่ำอยู่ ค่าการสั่นสะเทือนจะสูง จากรูป ฏ-1 แสดง spectrum ของการสั่นสะเทือน จากด้านบนลงด้านล่าง เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 40, 50, 60, 70, 80 และสิ้นสุดที่ 90 °C รูป ฏ-2 ถึง ฏ-6 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนของแอมปลิจูด โดยเอาการสั่นสะเทือนที่อุณหภูมิของน้ำมัน 60° C เป็นจุดอ้างอิง หรือตัวหาร และจากรูป ฏ-7 จะเห็นว่า ในช่วงอุณหภูมิ 40 - 60 °C ค่าการสั่นสะเทือนจะมีค่าสูงกว่าช่วง 70 - 90 °C มาก และแสดงให้เห็นค่าการสั่นสะเทือนโดยรวม เริ่มคงที่ที่อุณหภูมิประมาณ 60 °C และเป็นเหตุผลที่เริ่มทำการวัดการสั่นสะเทือนที่อุณหภูมิของน้ำมันไฮดรอลิคเท่ากับ 60 °C และการที่ไม่ได้เริ่มต้นการวัดที่อุณหภูมิ 70 หรือ 80 °C เพราะว่าหากเริ่มต้นที่อุณหภูมิดังกล่าวจะวัดได้ไม่ครบ 12 ครั้ง เพราะที่ความดัน 2,000 psi อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำมันจะสูง ทำให้อุณหภูมิของน้ำมันก็สูงมากเกินไป จนอาจเกิดผลเสียต่อหัววัดความเร่งและค่าที่วัดได้ ซึ่งจะเกิดความคลาดเคลื่อนจากอุณหภูมิที่สูงเกินค่าที่ได้กำหนดไว้



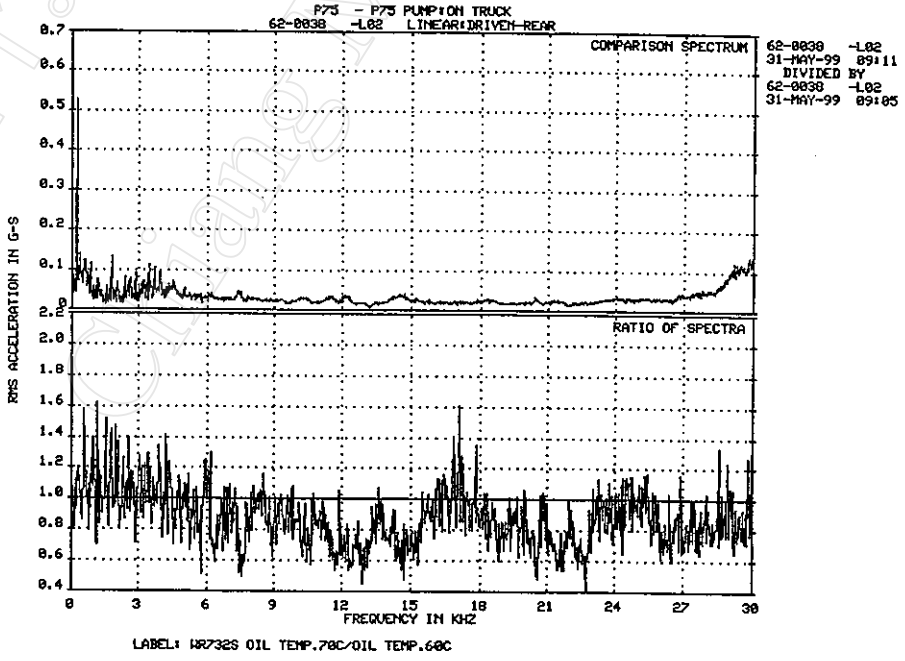
รูป ฎ-1 เปรียบเทียบการสั่นสะเทือน ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 40 ˚C ถึง 90 ˚C (จากบนลงล่าง)



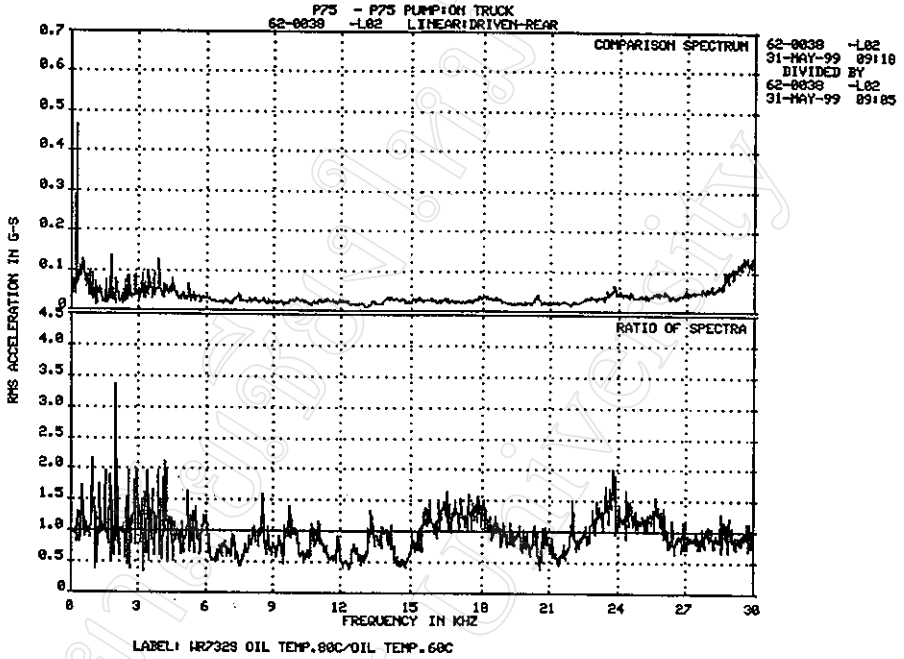
รูป ฎ-2 อัตราส่วนของแอมปลิจูด เมื่อวัดที่อุณหภูมิ 40 ˚C และ 60 ˚C



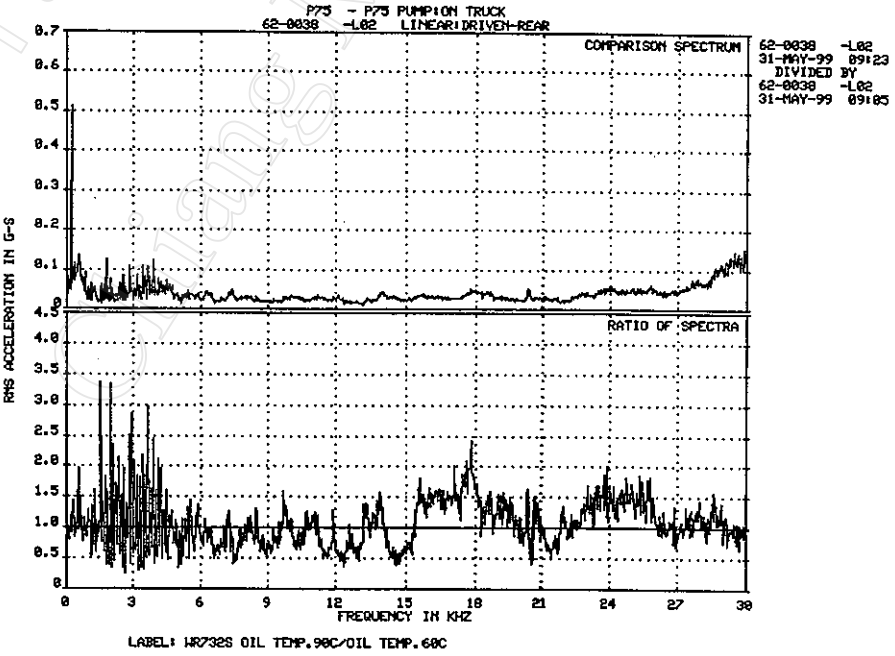
รูป ฎ-3 อัตราส่วนของแอมปลิจูด เมื่อวัดที่อุณหภูมิ 50 °C และ 60 °C



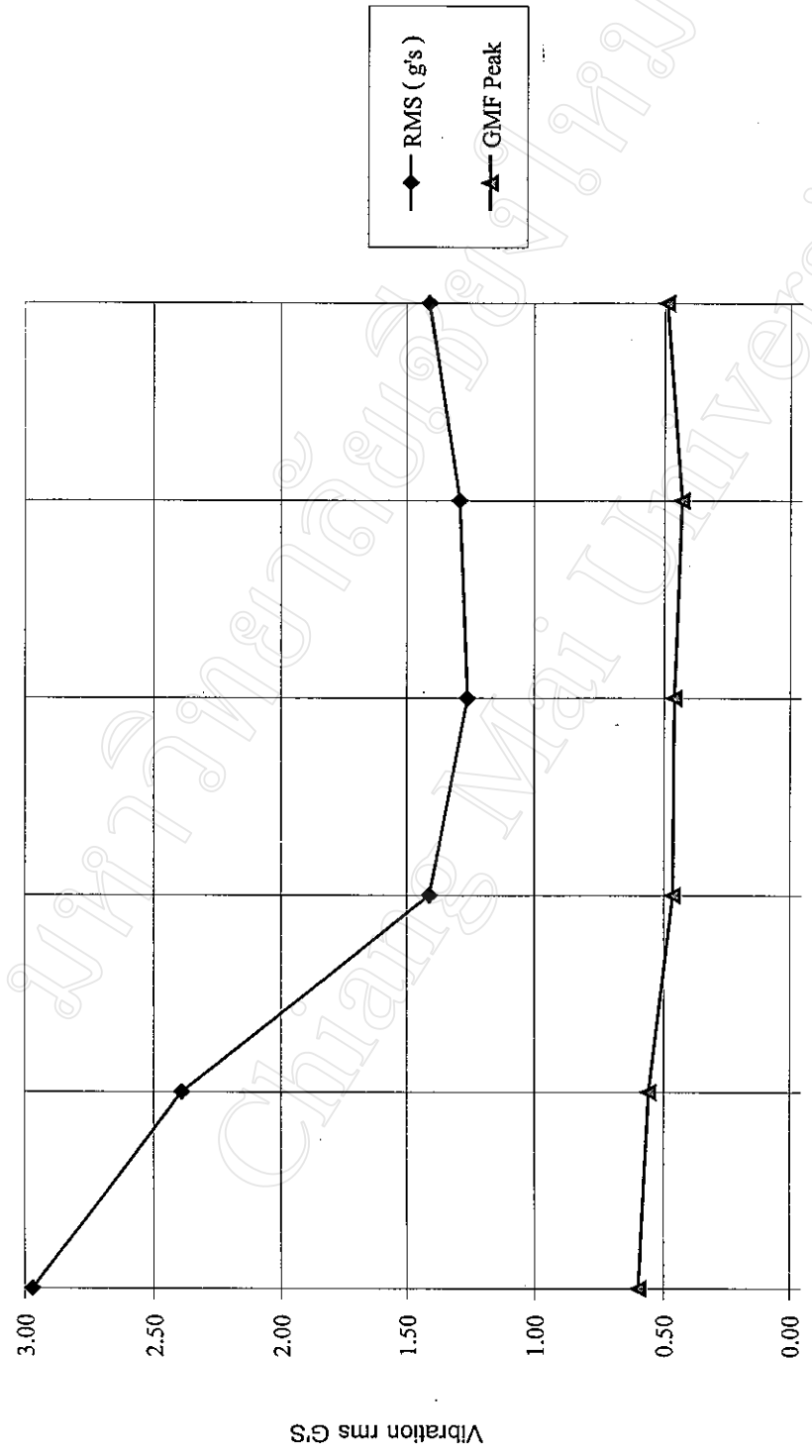
รูป ฎ-4 อัตราส่วนของแอมปลิจูด เมื่อวัดที่อุณหภูมิ 70 °C และ 60 °C



รูป ฎ-5 อัตราส่วนของแอมปลิจูด เมื่อวัดที่อุณหภูมิ 80 °C และ 60 °C



รูป ฎ-6 อัตราส่วนของแอมปลิจูด เมื่อวัดที่อุณหภูมิ 90 °C และ 60 °C



รูป ฎ-7 Overall และ GMF Vibration ในมิ้นไฮดรอลิคเมื่ออุณหภูมิน้ำมันไฮดรอลิคเปลี่ยนไป (62-0038 : L02 S)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

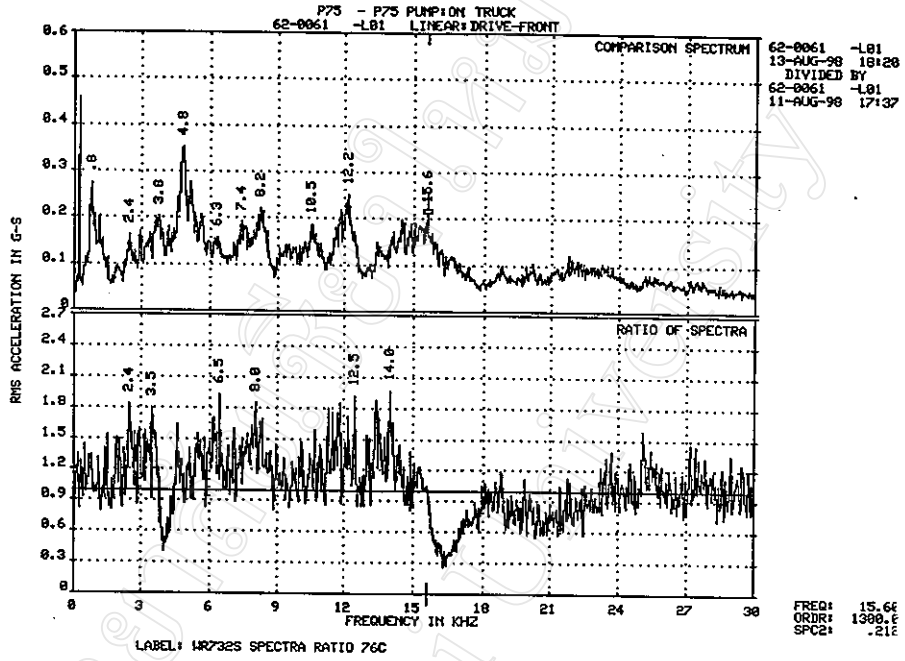
ภาคผนวก ฐ

การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนเมื่อภาระของปั๊มไฮดรอลิคมีค่าต่ำ

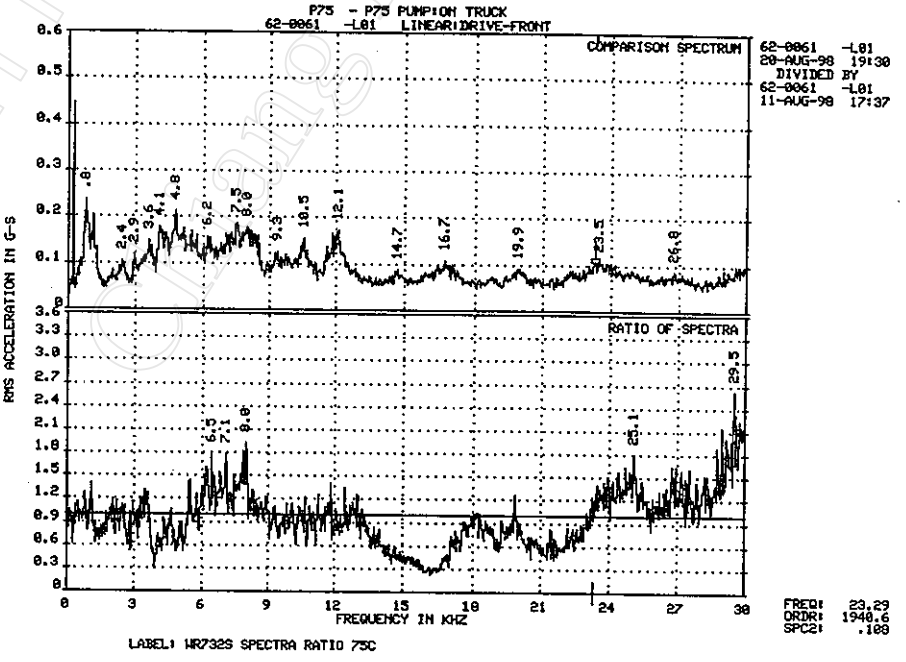
จากปัญหาและอุปสรรคที่กล่าวในข้อ 4.11 คือปัญหาการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน เมื่อภาระของปั๊มไฮดรอลิคมีค่าต่ำ เนื่องจากหากสามารถทำการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน โดยไม่ต้องดัดแปลงระบบหรือชิ้นส่วนในระบบได้ก็จะเป็นการดี เพื่อให้การนำผลวิจัยไปใช้สะดวกและประหยัดค่าใช้จ่ายด้วย ในที่นี้จะขอกล่าวถึงข้อมูลการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของแบริ่ง 2 รูปแบบคือ การวิเคราะห์ในช่วงความถี่ 20 - 30,000 Hz และการวิเคราะห์ในช่วงความถี่ 0.5 - 400 Hz วัดแบบปรับปรุงสัญญาณ โดยทดสอบที่ภาระของปั๊มต่ำกว่า 20 psi และที่ 200 psi

ฐ-1 การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนที่ภาระของปั๊มไฮดรอลิคต่ำกว่า 20 psi

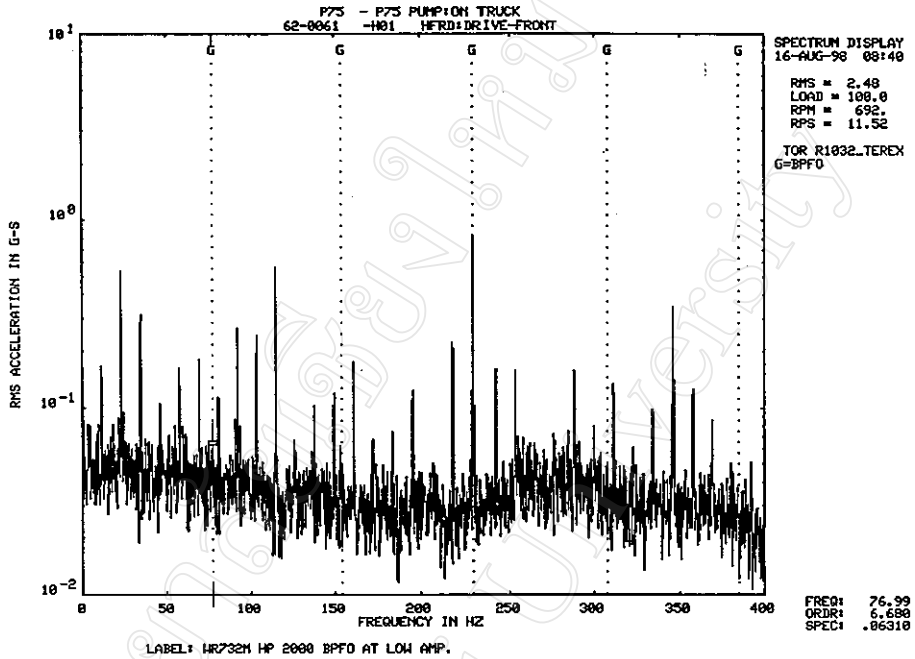
การวิเคราะห์ในข้อนี้ทำการวัดที่ภาระของปั๊มไฮดรอลิคเท่ากับ 5 psi เป็นภาระที่เกิดจากแรงต้านการไหลของไส้กรองน้ำมันไฮดรอลิคซึ่งอาจสูงถึง 20 psi ถ้าไส้กรองเริ่มตัน คันบังคับระบบไฮดรอลิคอยู่ที่ตำแหน่งว่าง (neutral) อัตราส่วนของ แอมปลิจูดในช่วงความถี่ 20 - 30,000 Hz ก่อนและหลังการชำรุดของแบริ่ง ไม่แตกต่างกันมากนัก ตามรูป ฐ-1 และรูป ฐ-2 ที่แสดง สำหรับการวัดที่ช่วงความถี่ 0.5 - 400 Hz ค่าแอมปลิจูดของ BPFO ใกล้เคียงกันมาก จนยากที่จะเห็นการเปลี่ยนแปลง ตามรูป ฐ-3 และ ฐ-4 ที่แสดง



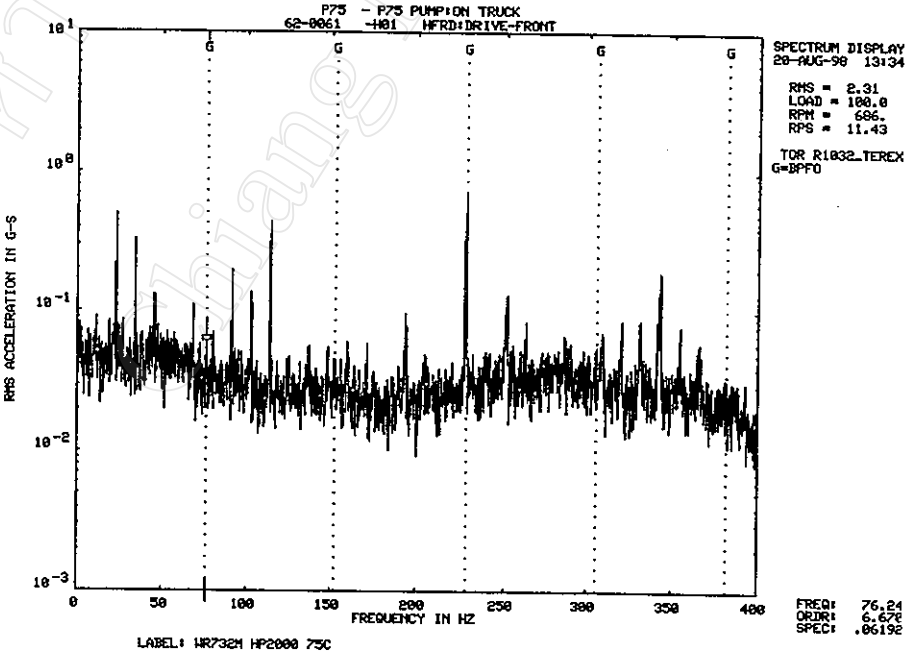
รูป ฐ-1 อัตราส่วนของแอมปลิจูด ก่อนแบริ่งชำรุด วัดที่ภาระของปั๊ม 5 psi



รูป ฐ-2 อัตราส่วนของแอมปลิจูด หลังการชำรุดของแบริ่ง วัดที่ภาระของปั๊ม 5 psi



รูป ฐ-3 spectrum แสดงค่า BPFO ก่อนแบริ่งชำรุด

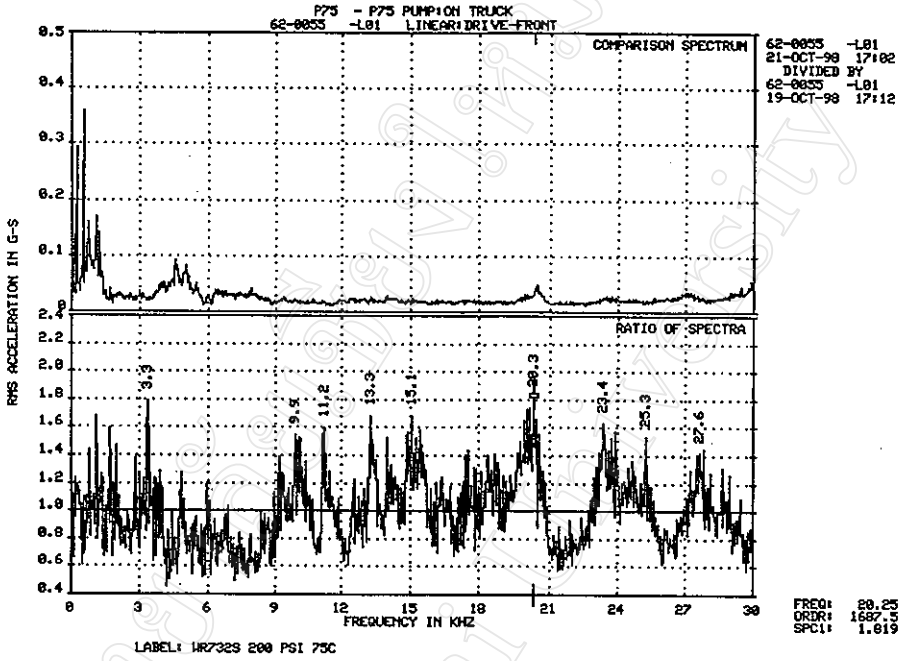


รูป ฐ-4 spectrum แสดงค่า BPFO เมื่อแบริ่งชำรุดรุนแรงมากขึ้น

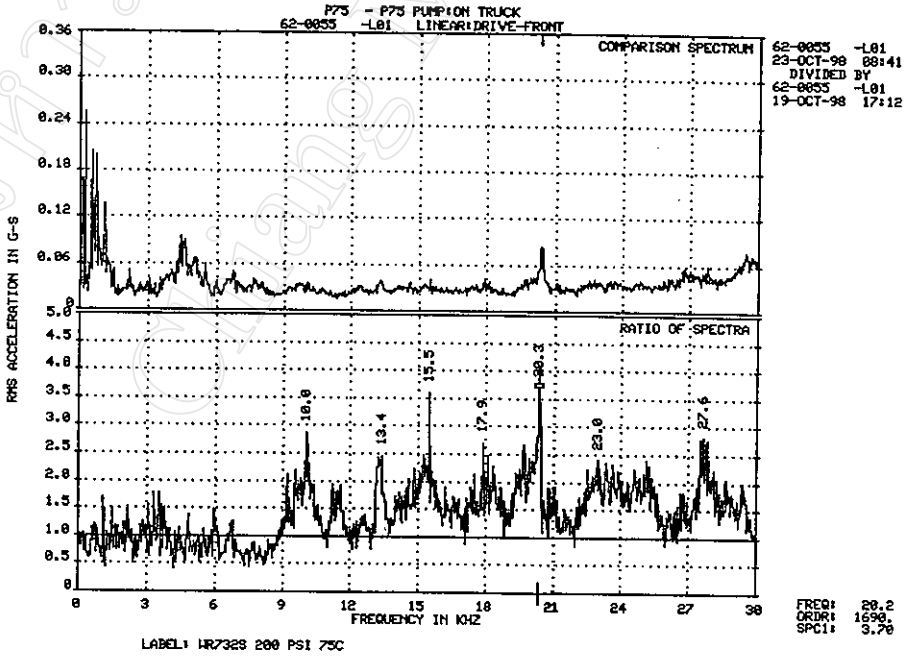
ฐ-2 การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนที่ภาระของปั๊มไฮดรอลิค 200 psi

การวิเคราะห์ในข้อนี้ ทำการวัดที่ภาระของปั๊มไฮดรอลิคเท่ากับ 200 psi หรือคิดเป็น 10 % ของภาระการใช้งานจริง การทดสอบนี้ได้ทำการดัดแปลงวงจรของระบบไฮดรอลิค โดยการติดตั้งวาล์วเพื่อควบคุมความดันให้ได้ 200 psi เมื่อจะทำการวัดค่าสั่นสะเทือน ผลการวัดได้ค่าอัตราส่วนของแอมปลิจูดในช่วงความถี่ 20 - 30,000 Hz เมื่อแบริ่งเริ่มชำรุดสูงกว่าอัตราส่วนของแอมปลิจูดที่ภาระของปั๊ม 5 psi และยังอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ ตามรูป ฐ-5 และอัตราส่วนของแอมปลิจูดสูงขึ้นอีกประมาณเท่าตัว เมื่อแบริ่งเกิดการชำรุดรุนแรง ตามรูป ฐ-6 ที่แสดง ทั้งนี้ในตอนที่แบริ่งเริ่มเกิดการชำรุด อัตราส่วนของแอมปลิจูดค่อนข้างต่ำ จึงไม่เหมาะในการนำมาใช้งาน ส่วนการวัดที่ช่วงความถี่ 0.5 - 400 Hz ค่าแอมปลิจูดของ BPF มีค่าไม่ชัดเจน โดยเฉพาะค่า 1FTF และ 1GMF $\pm$1 FTF ตามที่แสดงในรูป ฐ-7 และรูป ฐ-8 ซึ่งนำไปใช้ในการบำรุงรักษาแบบ PDM ไม่ได้

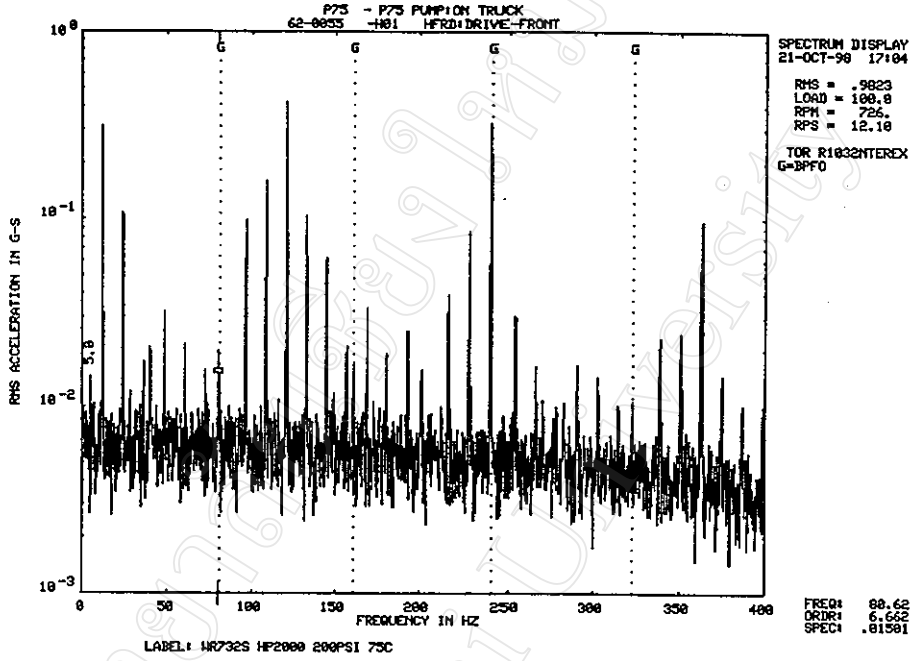
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University



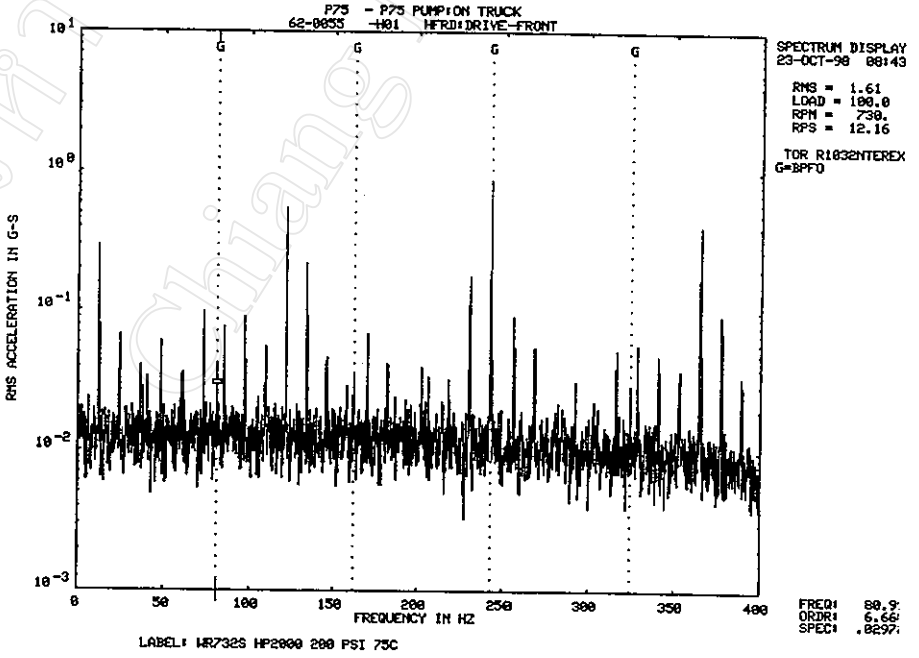
รูป ฐ-5 อัตราส่วนของแอมปลิจูด เมื่อแบริ่งเริ่มชำรุด ทดสอบที่ภาระของปั๊ม 200 psi



รูป ฐ-6 อัตราส่วนของแอมปลิจูดที่สูงขึ้น (จากรูป ฐ-5) เมื่อแบริ่งชำรุดรุนแรง



รูป ฐ-7 spectrum แสดงค่า BPFO ก่อนการชำรุดของแบริ่ง ที่ภาระของปั๊ม 200 psi



รูป ฐ-8 spectrum แสดงค่า BPFO ที่เพิ่มขึ้นจากเดิมเกือบ 2 เท่า เมื่อแบริ่งชำรุด ภาระของปั๊ม 200 psi

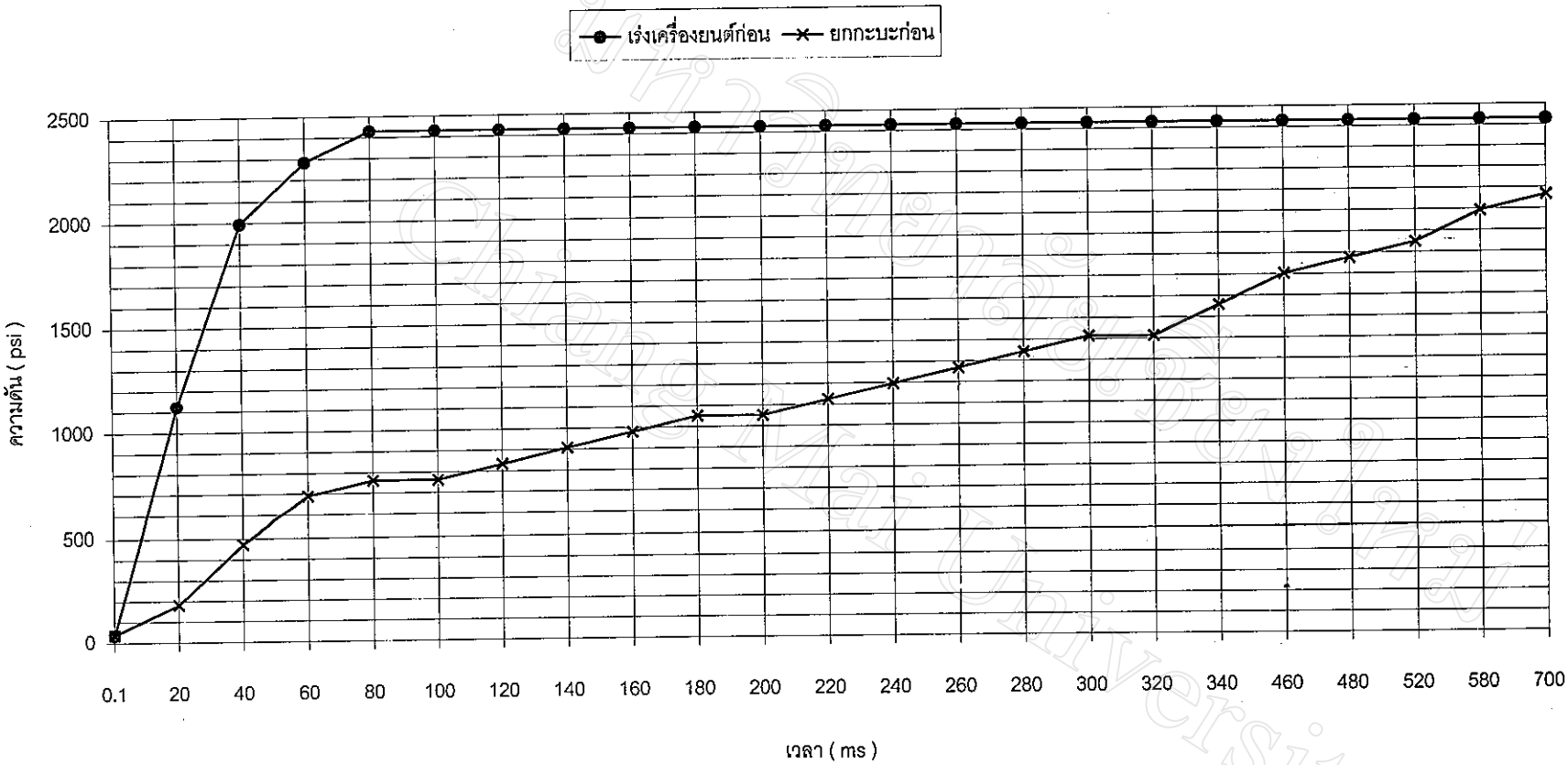
ภาคผนวก ฑ

กราฟแสดงอัตราการเพิ่มขึ้นของความดันในระบบไฮดรอลิค

จากข้อ 4.11 ปัญหาการชำรุดของแบริ่งเกิดขึ้นช้า ในช่วงที่ทำตำหนิที่รางนอกของแบริ่ง เพื่อให้เกิดการชำรุดลุกลามออกไป การใส่ภาระให้กับแบริ่งในปั๊มไฮดรอลิค โดยให้ปั๊มไฮดรอลิคหมุนที่รอบสูงสุดของเครื่องยนต์ (2,100 rpm) ที่ภาระความดันคงที่และต่อเนื่องที่ประมาณ 2,500 psi หากเทียบกับกับวิธีการใส่ภาระให้กับแบริ่งในปั๊มไฮดรอลิค โดยการเพิ่มภาระแบบทันทีทันใดหรือแบบ shock load จะทำให้เกิด stress ที่ผิวของแบริ่งสูงกว่า เนื่องจากรูปแบบของฟิล์มหล่อลื่นจะต่างกัน (12) และทำให้เกิดการชำรุดเร็วขึ้น

รูป ฑ-1 เป็นตัวอย่างของอัตราการเพิ่มของความดันในระบบไฮดรอลิคที่ทำการทดสอบ เมื่อดำเนินการโยกคันบังคับเพื่อยกกะบะที่เงื่อนไข ต่างกันคือ การโยกคันบังคับก่อนและหลังการเร่งรอบเครื่องยนต์ จะพบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของความดันจะต่างกันมาก สะท้อนลักษณะของภาระแบบต่อเนื่องและ shock load ซึ่งมีผลต่ออายุการใช้งานของแบริ่งเป็นอย่างมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University



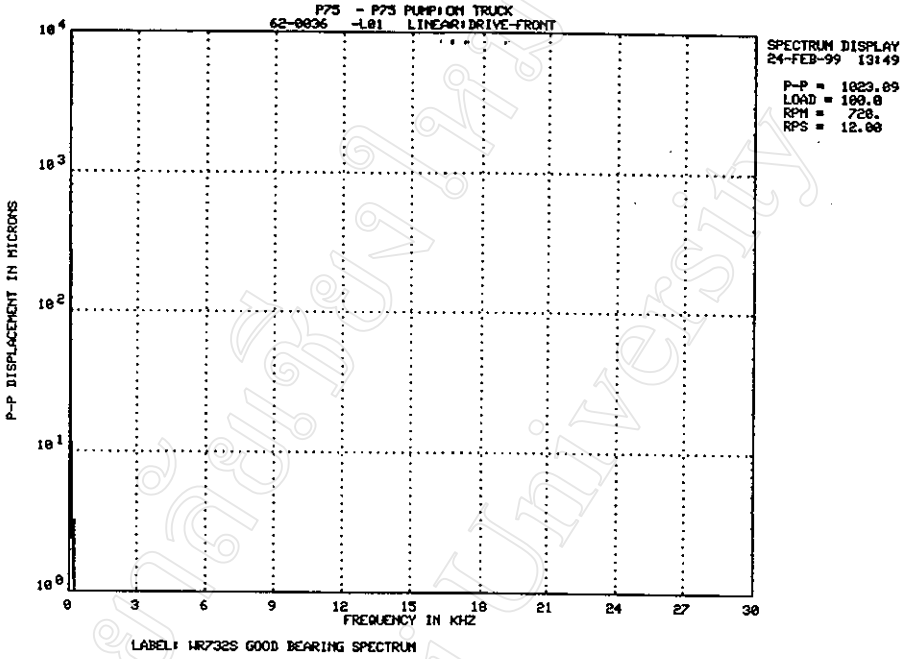
รูป ฑ-1 อัตราการเพิ่มของความดันในระบบไฮดรอลิค เมื่อโยกคันบังคับก่อนและหลังการเร่งเครื่องยนต์

ภาคผนวก ฒ

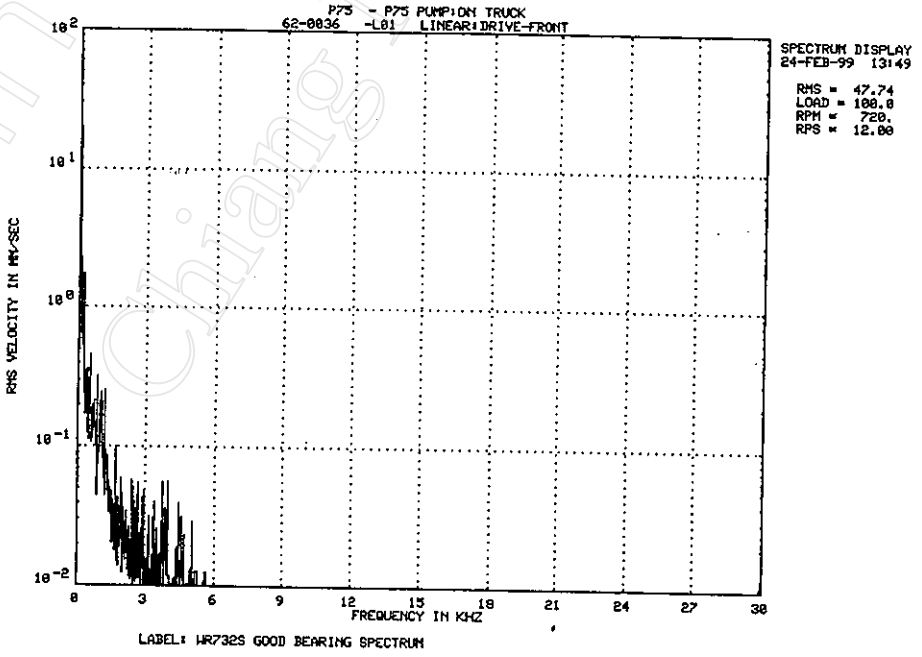
Frequency Response ของหน่วยวัดจากการวัดจริง

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอข้อมูลการเปรียบเทียบ frequency response เมื่อทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนในหน่วยวัด ระยะขจัด ความเร็วและความเร่ง ในช่วงความถี่ 20 - 30,000 Hz ตามรูป ฒ-1 ถึง ฒ-3 ที่แสดง ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลในภาคทฤษฎีดังแสดงตามรูป 2.21 ในหัวข้อ 2.7

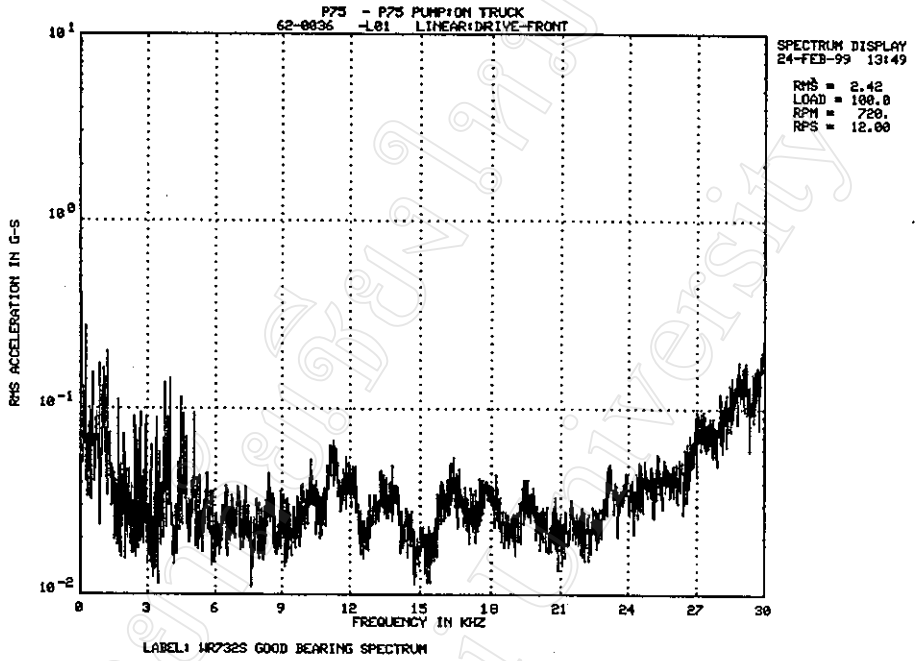
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University



รูป ฒ-1 แสดง spectrum ในหน่วยวัดของระยะขจัด



รูป ฒ-2 แสดง spectrum ในหน่วยวัดของความเร็ว



รูป ฒ-3 แสดง spectrum ในหน่วยวัดของความเร่ง

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ภาคผนวก ณ

ภาพแสดงการวัดและการติดตั้งจริง

รูป ณ-1 การติดตั้งหัววัดความเร่งเข้ากับปั๊มไฮดรอลิค ซึ่งติดตั้งอยู่บนเครื่องจักรจริง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

รูป ณ-2 การวัดการสั่นสะเทือน บริเวณใต้ตัวเครื่องจักรจริงที่ทำการวิจัย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ภาคผนวก ด

การทดสอบเครื่องมือวัดที่ใช้ในงานวิจัย

ก่อนการทดลองได้ทำการทดสอบเครื่องมือที่สำคัญ 2 ส่วน คือ การทดสอบหัววัดความเร่ง และ Vibration Analyzer รุ่น CSI 2115DX โดยใช้เครื่องมือทดสอบของ Bruel & Kjaer ซึ่งมีส่วนประกอบของเครื่องมือที่ใช้ทดสอบดังนี้

1. Exciter Control Type 1047
2. Conditioning Preamplifier Type 2626
3. Power Amplifier Type 2712
4. Vibration Exciter Type 4808

วิธีการทดสอบดำเนินการโดยป้อนสัญญาณการสั่นสะเทือนจากเครื่องมือ ซึ่งสามารถให้กำเนิดการสั่นสะเทือนในระดับแอมปลิจูดและความถี่ต่าง ๆ กัน และอ่านค่าเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณที่ป้อนเข้าเครื่องมือวัดกับค่าที่อ่านได้จริงจากเครื่องมือวัด

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ภาคผนวก ต

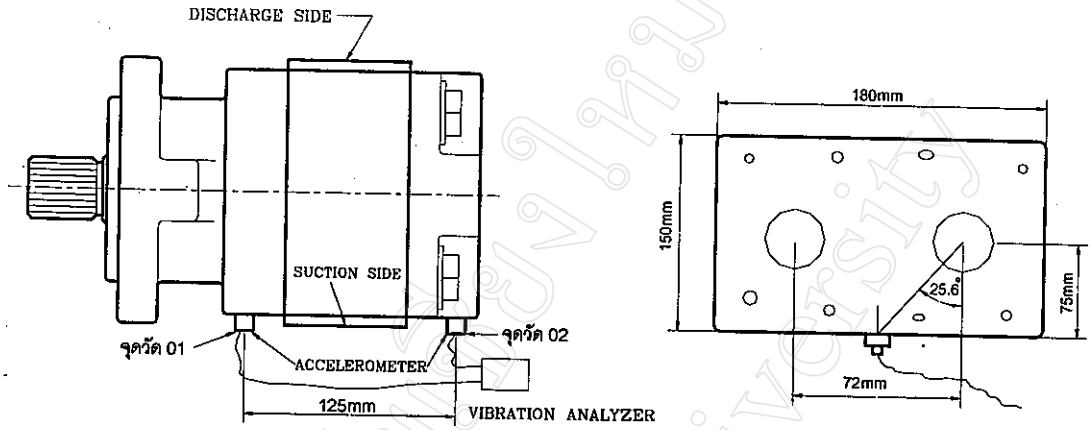
คู่มือปฏิบัติการวัดการสั่นสะเทือนในปั๊มไฮดรอลิค

คู่มือปฏิบัติการวัดการสั่นสะเทือนในปั๊มไฮดรอลิค เพื่อตรวจสอบการชำรุดของรางนอกของแบริ่งในปั๊มไฮดรอลิค ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักของการทำวิจัยนี้ เป็นการรวบรวมและสรุปจากการดำเนินงานทั้งหมดทุกขั้นตอนที่ใช้ในการวิจัย เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานในระดับปฏิบัติการด้านการวัด และด้านการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนได้นำไปใช้ในการปฏิบัติงาน ให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการซ่อมบำรุงเครื่องจักรกลแบบ Predictive maintenance (PDM)

คู่มือนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนตั้งแต่การซ่อมปั๊มไฮดรอลิค การเตรียมผิว การติดตั้งหัววัดความเร่ง การเดินสายนำสัญญาณ การกำหนดองค์ประกอบที่สำคัญในเครื่องมือวัด เงื่อนไขการทำงานของเครื่องจักร การกำหนดค่าการสั่นสะเทือนเพื่อเป็นเกณฑ์ในการติดตาม การตัดสินใจ และการเปรียบเทียบการชำรุดสึกหรอกับค่าการสั่นสะเทือนที่วัดได้ การตรวจสอบหัววัดความเร่งและเครื่องวัดการสั่นสะเทือน

ต-1 การเตรียมผิวเพื่อติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยแม่เหล็ก

การเตรียมผิวเพื่อติดตั้งหัววัดความเร่งจะดำเนินการในขั้นตอนที่มีการซ่อมปั๊มไฮดรอลิค ขอให้ดูรูป ต-1 ประกอบ แสดงโครงสร้างของปั๊มไฮดรอลิค ซึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนหลักภายนอก 3 ส่วน คือ ฝาครอบด้านหน้า ตัวเสื้อปั๊ม (ตำแหน่งกลาง) และฝาครอบด้านหลัง ให้นำฝาครอบด้านหน้าและด้านหลังบริเวณด้านดูดของปั๊มไปปาดให้เรียบ โดยใช้เครื่องไสหน้า (grinding machine) ทำการจับชิ้นงานให้พื้นที่ผิวของรอยปาดอยู่ในระนาบเดียวกับระนาบของแบริ่งทั้งสองตัว ขณะทำการปาดให้ระบายความร้อนบริเวณที่ปาดด้วยสารหล่อเย็น (coolant) ความเร็วรอบของหินขัดประมาณ 1400 rpm. อัตราการป้อนช้า โดยปาดให้ผิวขรุขระเดิมออกจนหมด โดยมีขนาดของพื้นที่ประมาณ 1.25 x 1.25 นิ้ว ให้มีความละเอียดของผิวที่ปาด ขนาดความละเอียดของหินขัดขนาดเม็ดเกรน (grain size) เบอร์ 90 เป็นอย่างต่ำ และขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 120 เป็นอย่างต่ำ เนื่องจากสภาพผิวที่ละเอียดจะให้การตอบสนองที่ความถี่สูงขึ้น ซึ่งจะเป็นผลดีต่อการวัด



ต-1 ตำแหน่งติดตั้งหัววัด ความเร่ง คือตำแหน่งที่ต้องเตรียมผิว

ต-2 หัววัดความเร่ง การติดตั้ง และการเดินสายตัวนำสัญญาณ

หัววัดความเร่งที่ใช้ในการวัดการสั่นสะเทือน เป็นแบบ Piezoelectric ซึ่งควรมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ (หัววัดที่แนะนำ WR732A, WR732AT, PCB353B02 และ PCB353B04)

1. Mounted resonance	40-50	kHz
2. Max. amplitude range	500	g.peak
3. Frequency response		
± 3dB	0.5 Hz to >25 kHz	
4. Temperature range	0 to 120	^{o}C
5. Cabling	10-32 coaxial connector	

ก่อนทำการติดตั้งหัววัดความเร่งเข้ากับแป้นแม่เหล็ก (ซึ่งจะยึดติดกันด้วยสลักเกลียวตัวผู้ที่อยู่บนแป้นแม่เหล็ก และรูสลักเกลียวซึ่งอยู่ในตัวหัววัดความเร่ง) ให้ทาผิวของหัววัดความเร่งบริเวณที่สัมผัสกับแป้นแม่เหล็กด้วยจารบีบาง ๆ (silicone grease หรือ lithium soaps grease แบบเอนกประสงค์) และให้ทาผิวด้านล่างของแป้นแม่เหล็กซึ่งจะนำไปติดกับปั๊ม นำปลอกหัวสายนำสัญญาณขันเข้ากับข้อต่อของหัววัดความเร่ง โดยให้แกนของสายนำสัญญาณสอดเข้าไปในช่องกลางของหัววัดความเร่งก่อน แล้วจึงทำการขันเกลียวของปลอกหัวสายให้แน่นด้วยมือ

จัดสายนำสัญญาณตั้งแต่หัววัดความเร่ง มาเข้าสู่เครื่องวัดการสั่นสะเทือนให้เป็นระเบียบ ไม่วางอยู่บนชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหว หรือมีการสั่นสะเทือน เพื่อป้องกันการเกิดสัญญาณรบกวนจากการเสียดสีกันภายในของสายนำสัญญาณ หรือเหตุการณ์แบบ Triboelectric หรืออาจปล่อยสายให้ห้อยลงไปทางด้านล่างอยู่ระหว่างหัววัดความเร่งกับเครื่องวัดการสั่นสะเทือนก็ได้

ต-3 การกำหนดองค์ประกอบที่สำคัญในเครื่องมือวัด

การกำหนดองค์ประกอบที่สำคัญในเครื่องมือวัด เป็นการกำหนดเพื่อให้การวัดการสั่นสะเทือนครอบคลุมและเพียงพอต่อการที่จะนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ให้เกิดประโยชน์ โดยไม่ทำให้ข้อมูลบางส่วนขาดหายไป และข้อมูลบางส่วนมีมากจนเกินความจำเป็นในการนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่องานได้ การกำหนดองค์ประกอบที่สำคัญในการวัด กำหนดเป็นสองรูปแบบของการวัด คือการวัดที่ความถี่สูงแบบวัดโดยตรง ซึ่งได้ลดช่วงความถี่ที่ทำการ วัดเป็น 5,000 – 30,000 Hz และการวัดที่ความถี่ต่ำ 0.5 – 400 Hz โดยวิธีการปรับปรุงสัญญาณแบบ demodulate โดยทำการวัดที่ความถี่สูงเป็นการวัดหลัก ส่วนการวัดแบบปรับปรุงสัญญาณเป็นการวัดแบบสนับสนุน เพื่อยืนยันหรือเพื่อการตัดสินใจ ทั้งนี้ให้กำหนดองค์ประกอบไว้ในโปรแกรมของคอมพิวเตอร์เพื่อความรวดเร็วในการวัด

ต-3.1 การวัดโดยตรงที่ความถี่ 5,000 – 30,000 Hz

FFT Analysis		
Upper frequency	:	30,000 Hz
Lower frequency	:	5,000 Hz
Number of lines	:	3,200 lines
Number of averages	:	12
Window type	:	Hanning

ต-3.2 การวัดโดยการปรับปรุงสัญญาณ

FFT Analysis		
Upper frequency	:	400 Hz
Lower frequency	:	0.5 Hz
Number of lines	:	1,600 lines
Number of averages	:	6
Window type	:	Hanning
Use analog pre-processor	:	yes
Filter setting	:	HP 5,000
Envelope demodulator	:	on

ต-4 เงื่อนไขการทำงานของเครื่องจักร

การกำหนดเงื่อนไขการทำงานของเครื่องจักรมีความสำคัญและมีความจำเป็นในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนเพื่อตรวจสอบการชำรุดของรางนอกของแบริ่ง ซึ่งเงื่อนไขที่มีความสำคัญมากคืออุณหภูมิของน้ำมันไฮดรอลิค และภาระของปั๊มไฮดรอลิคขณะทำการวัด ซึ่งผู้ทำการวัดต้องให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก ซึ่งเงื่อนไขที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

1. รอบการหมุนของปั๊มเท่ากับรอบเดินเบาของเครื่องยนต์ 700 – 720 rpm.

2. ภาระของปั๊มขณะทำการวัด ประมาณ 2,200 – 2,400 psi ยกกะบะขึ้นสูงสุดและโยกคันบังคับกะบะไปอยู่ในตำแหน่ง "RAISE" และปล่อยคันบังคับไปอยู่ตำแหน่ง "HOLD" เมื่อทำการวัดแล้วเสร็จ ทั้งจุดวัดด้านหน้าและจุดวัดด้านหลัง เมื่อวัดเสร็จจึงทำการโยกคันบังคับไปที่ "LOWER " เพื่อให้กะบะลงสู่ตำแหน่งปกติ

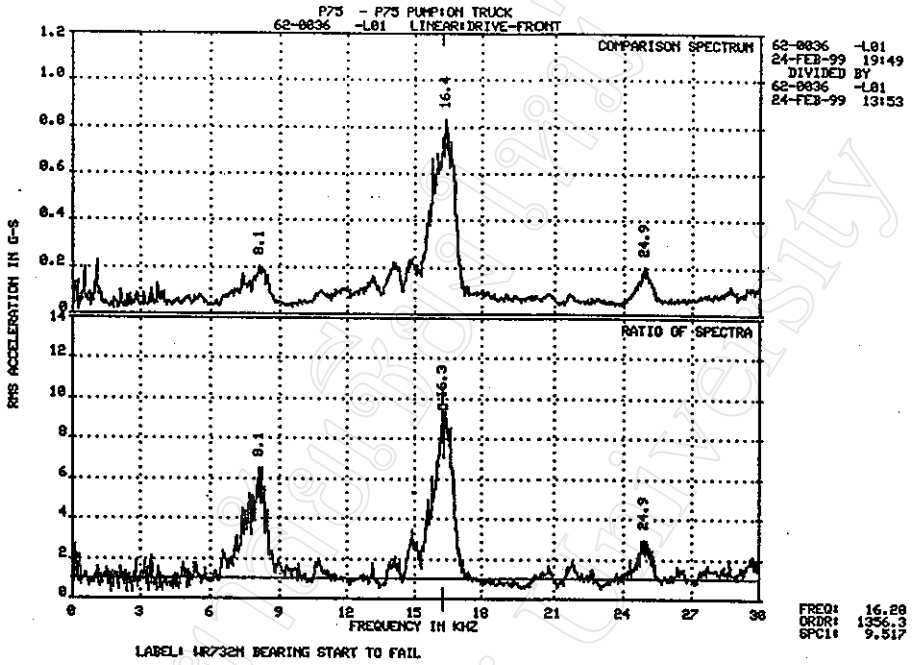
3. อุณหภูมิของน้ำมันไฮดรอลิคขาเข้าปั๊มด้านดูด 70-72 °C สำหรับการวัดที่ฝาครอบด้านหลัง และ 72 – 74 °C สำหรับการวัดที่ฝาครอบด้านหน้า ทำการวัดอุณหภูมิโดยใช้เครื่องมือวัดแบบอินฟราเรด

ต-5 การกำหนดค่าการสั่นสะเทือนเพื่อเป็นเกณฑ์ในการติดตามและตัดสินใจ

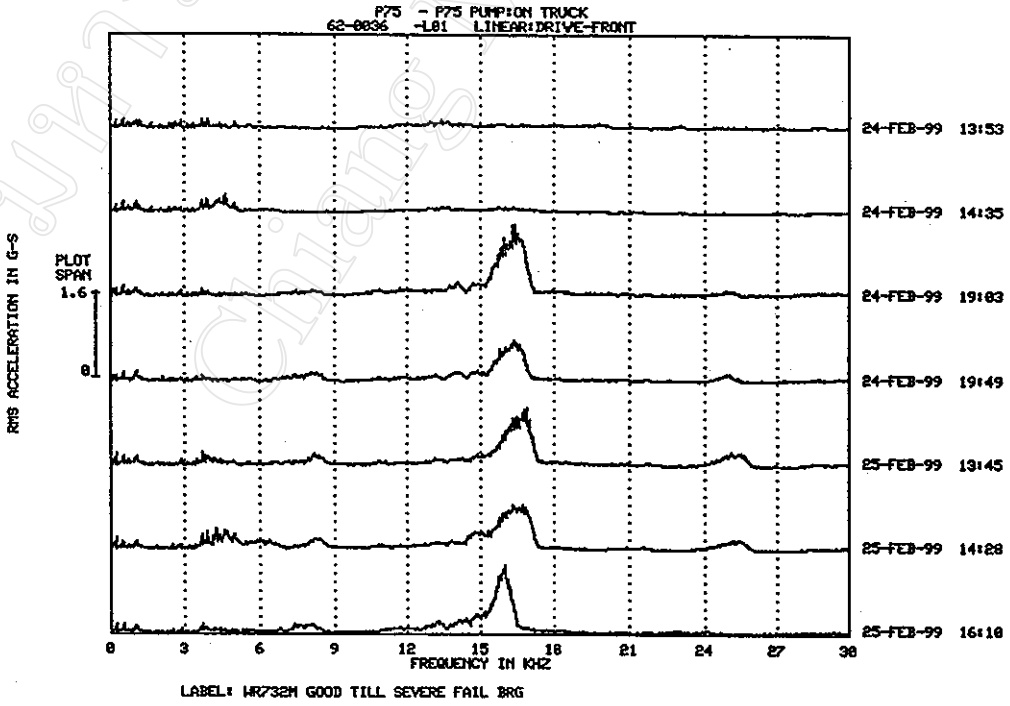
การบำรุงรักษาแบบ PDM เป็นการติดตามและบริหารแนวโน้มของค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการติดตามสภาพของเครื่องจักร ในการวัดการสั่นสะเทือนก็เช่นเดียวกัน ในการติดตามค่าของการสั่นสะเทือนของปั๊มไฮดรอลิค เพื่อติดตามสภาพของการชำรุดของรางนอกของแบริ่งในปั๊มดังกล่าว จำเป็นต้องกำหนดเกณฑ์ของค่าการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น ซึ่งตามที่ได้กล่าวแล้วข้างต้นว่าการวัดการสั่นสะเทือนทั้งสองรูปแบบคือ การวัดในช่วงความถี่สูง 5,000 – 30,000 Hz และการวัดในช่วงความถี่ต่ำ 0.5 - 400 Hz แบบปรับปรุงสัญญาณแบบ demodulate โดยการวัดในช่วงความถี่สูง มีความถี่ที่ต้องให้ความสนใจ 3 ช่วงความถี่ คือ 7 - 9, 15 – 18 และ 24 – 27 kHz ซึ่งจะมีค่าการสั่นสะเทือนสูงขึ้น เมื่อแบริ่งเริ่มมีการชำรุด และยังคงสูงอยู่ในเกณฑ์ที่คงที่ไประยะหนึ่ง และเริ่มลดลงเมื่อรอยแผลแตกที่ผิวของรางนอกแบริ่งมีขนาดโตขึ้น หากเทียบเป็นอัตราส่วนของแอมปลิจูดที่เพิ่มขึ้น ตั้งแต่เริ่มการใช้งานกล่าวคือ หากมีการเพิ่มขึ้นตั้งแต่สามเท่าขึ้นไป ผู้ทำการวิเคราะห์ต้องเริ่มทำการติดตามอย่างใกล้ชิด โดยให้ลดช่วงห่างของเวลาที่ทำการวัดลงประมาณ 5 เท่าของระยะเวลาการวัดตามปกติ และควรทำการวัดโดยวิธีปรับปรุงสัญญาณด้วย เพื่อตรวจสอบการปรากฏของ 1FTF และการเกิด side band รอบค่าความถี่ 1GMF โดยความถี่ของ side band มีค่าเท่ากับ $\pm$1FTF ซึ่งหากเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวขึ้นด้วย แสดงว่าเกิดการชำรุดขึ้นที่รางนอกของแบริ่งจริง ดูรูป ต-2 ถึง ต-5 ประกอบ และหากมีเหตุจำเป็นที่เครื่องจักรจะต้องถูกใช้งานต่อไปเป็นการชั่วคราว ก็สามารถใช้งานต่อไปได้ ทั้งนี้ไม่ควรเกิน 130 ชั่วโมง เพราะจะเกิดการชำรุดลุกลามจากแบริ่งตามมา

ในระบบการทำงานจริง ต้องมีการรายงานข้อมูลที่แสดงว่าแบริ่งเกิดการชำรุดตามตาราง ต-1 ซึ่งเป็นตารางใช้งานเมื่อเริ่มทำการติดตามเครื่องจักรที่มีใช้งานอยู่ในหน่วยงาน ซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลได้ทั้งการวัดที่ความถี่สูง และการวัดที่ความถี่ต่ำ วัดแบบปรับปรุงสัญญาณ ทั้งนี้หน่วยงานที่ทำการวัดและวิเคราะห์จะได้ให้ข้อเสนอแนะแก่หน่วยงานผู้ทำการซ่อมบำรุง เพื่อดำเนินการวางแผนงานซ่อมและแจ้งหยุดเครื่องจักรต่อไป

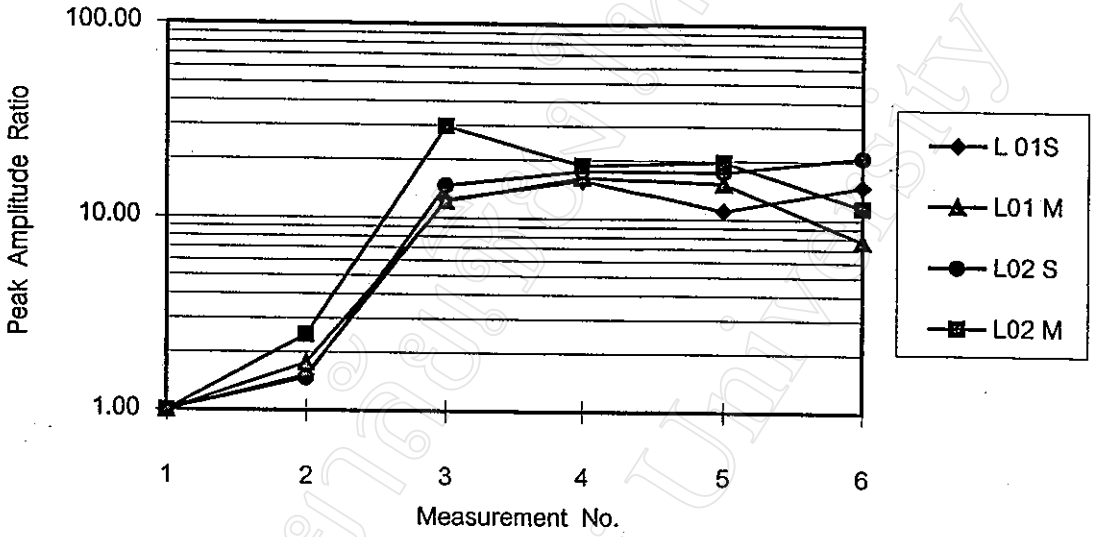
เมื่อหน่วยงานซ่อมดำเนินการซ่อม ก็จะทำการตรวจสภาพการชำรุดและสึกหรอภายในตัวปั๊ม และรายงานผลย้อนกลับมายังหน่วยงานผู้ทำการวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนเพื่อประเมินผล และนำข้อมูลไปใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาต่อไป



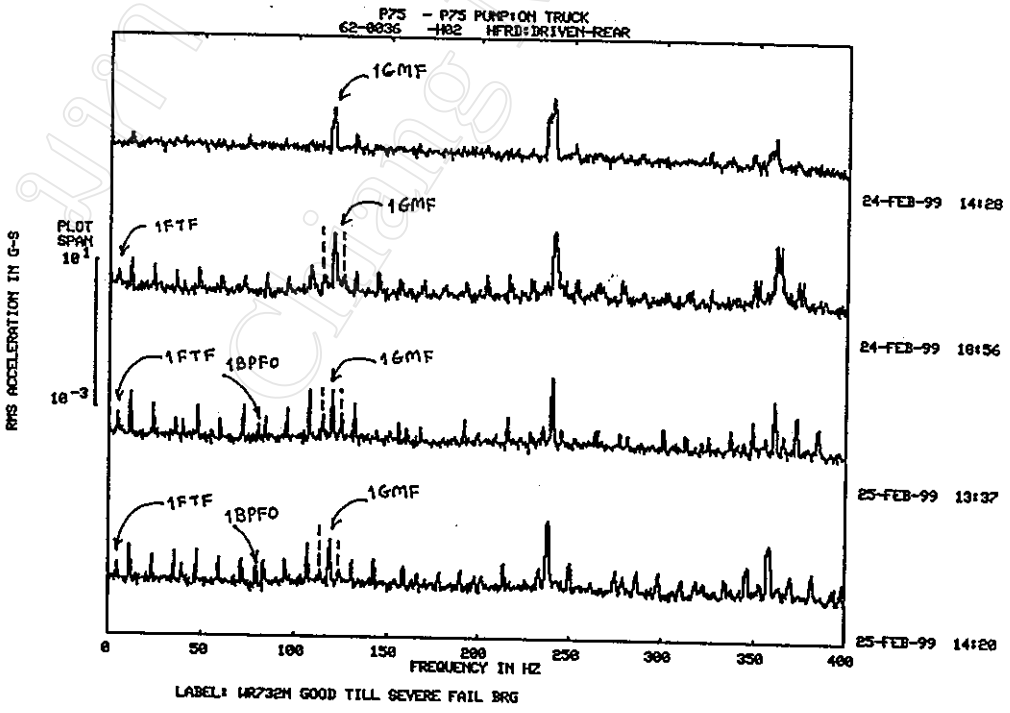
รูป ต-2 รูปแบบอัตราส่วนของแอมปลิจูดที่เพิ่มขึ้นเมื่อแบริ่งชำรุด (30 kHz)



รูป ต-3 รูปแบบของ Spectra ตั้งแต่แบริ่งยังไม่ชำรุดจนถึงจุดที่ชำรุดรุนแรง (30 kHz)



รูป ต-4 รูปแบบการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนของแอมปลิจูดใน 3 ช่วงความถี่ (30 kHz)



รูป ต-5 รูปแบบของ spectra เมื่อแบริ่งชำรุด มี FTF และ GMF $\pm$ 1FTF (400 Hz)

ตาราง ต-1 ค่าการสั่นสะเทือนของปั๊มไฮดรอลิคในรูปของอัตราส่วนของแอมปลิจูด แอมปลิจูดของ BPF และการติดตามผล

เครื่องจักรหมายเลข : 62-00XX จุดวัด : L / H / 01 / 02

ที่	วันที่	เวลา	เลขชั่วโมง	ความถี่ (kHz) และอัตราส่วนของแอมปลิจูด				แอมปลิจูดของ BPF			
				7-9	15-18	24-27	RMS G'S	FTF	1BPFO	1 GMF ±1FTF (Y)(N)	RMS G"S
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											

ข้อเสนอแนะ..... ....ช่างผู้วิเคราะห์	....วิศวกรผู้ควบคุม
สภาพการชำรุดสึกหรอเมื่อถอดรื้อ..... ....ช่างผู้ตรวจสภาพ	....วิศวกรผู้ควบคุม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ต-6 การกำหนดช่วงเวลาที่ทำการวัดการสั่นสะเทือน

หลักในการกำหนดช่วงเวลาของการวัดคือ การวัดที่คำนึงถึงหลักความปลอดภัยของผู้วัด ความเหมาะสม ความสะดวก ความรวดเร็ว และเสียค่าใช้จ่ายน้อย กรณีของปั๊มไฮดรอลิคนี้กำหนดรอบชั่วโมงที่ทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนดังนี้

1. ที่ศูนย์ชั่วโมง หรือเมื่อทำการเปลี่ยนปั๊มใหม่ ทำการวัดบริเวณโรงซ่อม เครื่องจักรให้ทำการวัดทั้งสองรูปแบบ
2. ที่ 400 ชั่วโมง ครบรอบเปลี่ยนน้ำมันเครื่องยนต์ ทำการวัดบริเวณโรงซ่อมเครื่องจักร
3. ที่ 800 ชั่วโมง ครบรอบเปลี่ยนน้ำมันเครื่องยนต์ ทำการวัดบริเวณโรงซ่อมเครื่องจักร
4. ที่ 1,000 ชั่วโมง ลงไปทำการวัดบริเวณหน้างาน ในบ่อเหมือง
5. ที่ 1,130 ชั่วโมง ลงไปทำการวัดบริเวณหน้างาน ในบ่อเหมือง

การวัดหลังครั้งที่ 5 ให้ทำการวัดทุก ๆ 130 ชั่วโมง ซึ่งเป็นครึ่งอายุของแบริ่งหลังจากที่แบริ่งเริ่มเกิดการชำรุด การเริ่มวัดถี่ขึ้นหลังจาก 1,000 ชั่วโมง เพราะใกล้ครบอายุการใช้งานของแบริ่งที่ 1,200 ชั่วโมง

ต-7 การตรวจสอบหัววัดความเร่งและเครื่องวัดการสั่นสะเทือน

หัววัดความเร่งและเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือน เป็นเครื่องมือที่มีการเสื่อมสภาพได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกับความถี่ในการใช้งาน สภาพแวดล้อมขณะทำการวัด โดยส่วนใหญ่แล้วเครื่องมือวัดที่มีส่วนประกอบของชิ้นส่วนด้านอิเล็คโทรนิคมักจะปรับสู่สภาพเดิมไม่ได้ เช่น กรณีของหัววัดความเร่งซึ่งมีวงจรอิเล็คโทรนิคอยู่ภายในด้วย เมื่อเกิดการเสื่อมสภาพจะทำให้ค่าที่วัดได้เกิดความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงมาก ก็จะเกิดผลเสียหายตามมากรณีทำการวิเคราะห์ผิดพลาด หัววัดความเร่งที่มีการใช้งานทุกวัน ควรมีการตรวจสอบอย่างน้อยปีละ 2 ครั้งหรือทุก ๆ 6 เดือน วิธีที่สะดวกและเสียค่าใช้จ่ายน้อยคือ วิธีการทดสอบทั้งระบบ คือการนำหัววัดความเร่งไปวัดแหล่งกำเนิดที่ทราบค่าแอมปลิจูดและความถี่ของการสั่นสะเทือน และอ่านค่าที่วัดได้แล้วนำมาเปรียบเทียบผลที่ได้ว่าผิดพลาดพอที่จะยอมรับได้หรือไม่

เครื่องวัดการสั่นสะเทือนสมัยใหม่จะเป็นแบบตัวเลขและมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์อยู่ภายในตัว ส่วนใหญ่แล้วผู้ผลิตมักจะกำหนดให้มีการตรวจสอบและทำการปรับอย่างน้อยปีละครั้ง สำหรับงานสนามซึ่งอยู่ไกลผู้ผลิตมักจะไม่ค่อยสะดวกในการส่งผู้ผลิตเพื่อทำการตรวจสอบและมักจะใช้เวลานาน ก็อาจทำการทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบหัววัดความเร่ง วิธีดำเนินการคือ เมื่อมีการซื้อหัววัดความเร่งตัวใหม่มาใช้งาน ซึ่งผู้ผลิตหัววัดความเร่งจะส่งมอบใบกำกับการทดสอบหัววัดความเร่งมาด้วย ซึ่งจะทดสอบตามวิธีการและเงื่อนไขที่กำหนดโดย NIST (National Institute of Standards and Technology) เมื่อทำการทดสอบทำนองเดียวกัน ก็จะทราบค่าความผิดพลาดที่เกิดจากตัวเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนได้ อย่างไรก็แล้วแต่เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนควรได้รับการตรวจสอบจากผู้ผลิต เมื่อใช้งานเกินสองปี หรือเมื่อเริ่มตรวจสอบเบื้องต้นตามที่ได้กล่าวแล้ว และเริ่มพบค่าความคลาดเคลื่อนใกล้ถึงจุดที่จะยอมรับได้ โดยเฉพาะในงานที่ต้องการวัดค่าจริงหรือค่าสัมบูรณ์ของการสั่นสะเทือน สำหรับค่าที่ใช้ในงาน PDM มักจะยอมรับค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงขึ้นได้อีกเล็กน้อย เนื่องจากเป็นค่าที่จะนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อดูค่าแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นหรือลดลง

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายประศาสน์ สุบรรพวงศ์

วัน เดือน ปี สถานที่เกิด 23 สิงหาคม พ.ศ.2503 จังหวัดสงขลา

ประวัติการศึกษา

สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนมหาวชิราวุธ จังหวัดสงขลา ปีการศึกษา 2521

สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีการศึกษา 2525

ประสบการณ์

พ.ศ.2526 - 2527	วิศวกรโรงงานทอผ้าลักกี้เท็ค สมุทรปราการ
พ.ศ.2527 - ปัจจุบัน	เหมืองแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย รายละเอียดดังนี้
พ.ศ.2527 - 2532	วิศวกรประจำแผนกซ่อมเครื่องจักรล้อยาง
พ.ศ.2532-2533	ผู้ช่วยหัวหน้าแผนกซ่อมเครื่องยนต์และชิ้นส่วน
พ.ศ.2534 - ปัจจุบัน	ผู้จัดการแผนกซ่อมเครื่องยนต์และชิ้นส่วน
	โทรศัพท์ 054-254456, E-mail : mmppss@egat.or.th
	Fax 054-254484

ผลงานวิจัย/กิจกรรม

พ.ศ.2539 - ปัจจุบัน	สมาชิก STLE (THE SOCIETY OF TRIBOLOGISTS AND LUBRICATION ENGINEERS)
พ.ศ.2540	งานวิจัย "MULTIVARIATE MONITORING CHART FOR USED OIL ANALYSIS RESULTS' ASSESSMENT" ร่วมกับ ดร.สุรพล ราษฎร์นุ้ย (สจพ)
พ.ศ.2541	จัดตั้งศูนย์วิเคราะห์การชำรุดขนาดเล็ก "ANTI-FRICTION BEARING FAILURE ANALYSIS CENTER" ที่เหมืองแม่เมาะ
พ.ศ.2537-ปัจจุบัน	หัวหน้าคณะทำงานวิเคราะห์การชำรุดเครื่องจักรกล เหมืองแม่เมาะ

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

พ.ศ.2537-ปัจจุบัน	หัวหน้าคณะทำงานพัฒนางาน VIBRATION ANALYSIS เหมืองแม่เมาะ	
พ.ศ.2537-ปัจจุบัน	คณะทำงานพัฒนางานไฮดรอลิคและระบบหล่อลื่น เหมืองแม่เมาะ	

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University