

## บทที่ 3

### การทดลอง

วิทยานิพนธ์นี้ทำการทดลองเพื่อวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนจากชุดทดลองที่ตำแหน่งบน แบร์ริงเฟืองขับที่ระดับลึกหรือของเฟืองขับต่างๆ กัน โดยการสั่นหรือของซีฟันเป็นการสั่นหรือที่เกิดขึ้นจริงที่สภาวะทดลองนั้นๆ ซึ่งการสั่นหรือจะแปรตามระดับของภาระและความเร็วรอบเฟืองขับ จากการทดลองจะได้รูปแบบของการสั่นหรือของเฟืองที่สภาวะต่างๆ และแนวโน้มของสัญญาณในรูปแบบ และวิธีการวัดสัญญาณต่างๆ ตามระดับลึกหรือที่เพิ่มขึ้น

### รูปแบบการทดลอง

ในการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟือง สัญญาณที่ได้มักรวมข้อบกพร่องหลายๆ ชนิดจากทุกๆ ส่วนมาผสมกัน ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณการสั่นสะเทือนกับระดับลึกหรือของฟันเฟืองจึงต้องควบคุมให้ชุดทดลองมีความผิดพลาดน้อยที่สุด โดยตั้งศูนย์เพลลาให้ได้แนวแกนและเพลลาทั้งสองเส้นต้องขนานกัน ปรับระยะห่างระหว่างเพลลาให้ได้ระยะตรงตามผลรวมของรัศมีพิตซ์เฟืองขับและเฟืองตามตรวจสอบจุดเชื่อมต่อทุกจุดในชุดทดลองไม่ให้เกิดความหลุดหลวมทุกครั้งก่อนการทดลอง ในส่วนของเฟืองการสั่นหรือจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองโดยจะมีการเก็บสัญญาณในทุกๆ 120 นาที จนกระทั่งมีการสั่นหรือเฉลี่ยที่ปลายฟันตามกำหนด ซึ่งประมาณโดยภาพถ่ายของฟันเฟืองจำนวน 5 ฟัน และเพื่อลดความซับซ้อนของสัญญาณที่ใช้ตรวจวัดจึงเลือกใช้เฟืองขับและเฟืองตามเป็นทองเหลืองและเหล็กตามลำดับ เพื่อให้การสั่นหรือเกิดเฉพาะที่เฟืองขับ

### สภาวะการทดลอง

- ภาระ (Load) : 200 และ 340 วัตต์ ปรับภาระโดยการเปลี่ยนความต่างศักย์  
ที่จ่ายให้ชุดลดสนามของเครื่องปั่นไฟรถยนต์ (Alternator)
- ความเร็วรอบเฟืองขับ : 500 และ 800 รอบต่อนาที
- เฟืองขับ : ทำจากทองเหลือง  $\phi$  พิตซ์ 104 มม. โมดูล 4 มม. 26 ซี่
- เฟืองตาม : ทำจากเหล็ก  $\phi$  พิตซ์ 148 มม. โมดูล 4 มม. 37 ซี่
- เพื่อให้เกิดการสั่นหรืออย่างรวดเร็วการทดลองนี้จึงไม่มีการใช้สารหล่อลื่น

จากสภาวะการทดลองจึงมีทั้งหมด 4 ชุดการทดลองดังนี้

1. ภาระ 200 วัตต์ ความเร็วของเฟืองขับ 500 รอบต่อนาที
2. ภาระ 200 วัตต์ ความเร็วของเฟืองขับ 800 รอบต่อนาที
3. ภาระ 340 วัตต์ ความเร็วของเฟืองขับ 500 รอบต่อนาที
4. ภาระ 340 วัตต์ ความเร็วของเฟืองขับ 800 รอบต่อนาที

โดยที่ในแต่ละสภาวะทำการเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเก็บ 3 วิธี คือ

1. การเฉลี่ยบนโดเมนความถี่ (Spectrum Averaging)
2. กระบวนการขยายความละเอียดของสเปกตรัม (Zoom Processing)
3. การเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะ (Synchronous Time Averaging)

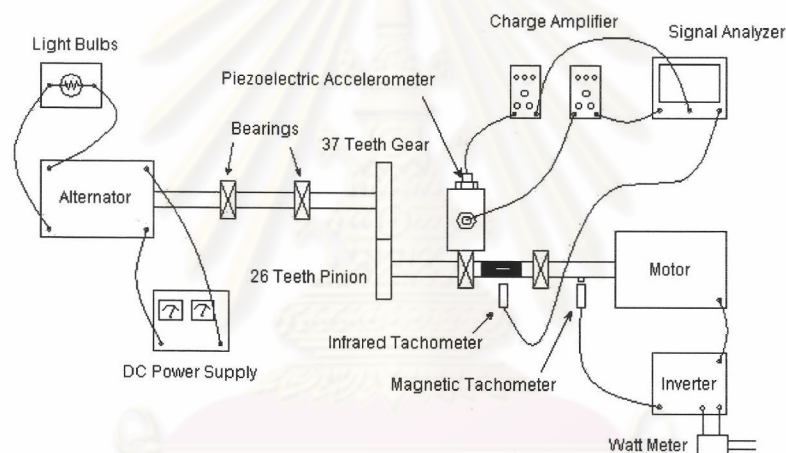
โดยแต่ละชุดการทดลองทำการวัดสัญญาณที่ตำแหน่งแบริงเฟืองขับในแนวรัศมี (Radial Axis) สองทิศทางคือ แนวตั้ง (Vertical Axis) และแนวนอน (Horizontal Axis) วัดสัญญาณในทุกๆ 120 นาที จนมีการสึกหรอที่ปลายของเฟืองขับประมาณ 83 เปอร์เซ็นต์

#### อุปกรณ์การทดลอง

1. ชุดเฟืองตรงมีฟันเป็นโค้งอินโวลูท
2. ชุดทดลองการสั่นสะเทือนของชุดเฟือง (Diagnostic Test Bed) ซึ่งประกอบด้วย
  - 2.1 มอเตอร์ 3 เฟส ขนาด 0.5 แรงม้า
  - 2.2 อินเวอร์เตอร์สำหรับแปลงเป็นกระแสไฟฟ้า 3 เฟส
  - 2.3 แทกโคมิเตอร์แบบแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Tachometer) สำหรับวัดความเร็วรอบ
  - 2.4 เพลา  $\phi$  20 มม.
  - 2.5 บอลล์แบริง และแฮสซิ่ง 4 ชุด
  - 2.6 แท่นชุดทดลอง
  - 2.7 ชุดล้อย้ายพานและสายพาน
  - 2.8 เครื่องปั่นไฟรถยนต์ขนาด 12 โวลต์ จ่ายกระแสสูงสุด 30 แอมแปร์
  - 2.9 ภาระทางไฟฟ้า (ชุดหลอดไฟ)
  - 2.10 เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าได้ (DC Power Supply)
  - 2.11 พัดลม สำหรับช่วยระบายความร้อนของมอเตอร์ และ เครื่องปั่นไฟรถยนต์
3. ตัวตรวจรู้ชนิดวัดความเร่งแบบพิโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Accelerometer)
4. เครื่องขยายประจุ (Charge Amplifier)
5. เครื่องวิเคราะห์สัญญาณ (Signal Analyzer)

- |  |                 |               |
|--|-----------------|---------------|
| 6. ชุดแทกโคมิเตอร์แบบอินฟราเรด (Infrared Tachometer) |                 |               |
| 7. วัตต์มิเตอร์ (Watt Meter)                         | ยี่ห้อ HIOKI    | รุ่น 3286     |
| 8. เครื่องวัดระดับเสียง                              | ยี่ห้อ DIGICON  | รุ่น DS-40    |
| 9. เครื่องขยายไฟร์ไฟล์                               | ยี่ห้อ MITUTOYO | รุ่น PJ-300   |
| 10. กล้องถ่ายภาพแบบดิจิทัล                           | ยี่ห้อ SONY     | รุ่น MVC-FD71 |

รูปที่ 3-1 แสดงลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ชุดอุปกรณ์วิเคราะห์สัญญาณทั้งหมดเป็นของบริษัท Brüel & Kjaer ประกอบด้วยเครื่องวิเคราะห์สัญญาณ รุ่น 2035 เครื่องขยายประจุ รุ่น 2635 และตัวตรวจรู้ชนิดวัดสัญญาณความเร่ง รุ่น 4371 และ รุ่น 4444 ส่วนแทกโคมิเตอร์แบบอินฟราเรดเป็นชุดวงจรสำเร็จรูปที่ประยุกต์ติดตั้งเพิ่มเข้ามาเพื่อสร้างสัญญาณ ทริกเกอร์สำหรับการเก็บสัญญาณ ด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะ



รูปที่ 3-1 ชุดอุปกรณ์ทดลองการสั่นสะเทือนของชุดเฟือง [12]

### ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ใส่ชุดเฟืองทดสอบเข้ากับเพลลาขับ
2. สอบเทียบ (Calibrate) เครื่องวิเคราะห์สัญญาณ
3. ตรวจสอบความแน่นของจุดเชื่อมต่อต่างๆ
4. เริ่มเดินเครื่อง
5. ปรับความเร็วรอบโดยการปรับอินเวอร์เตอร์และความต่างศักย์ที่จ่ายให้กับขดลวดสนามในเครื่องปั่นไฟถยนต์

6. เริ่มเก็บข้อมูลจริงเมื่อความเร็วและภาระที่วัดได้เริ่มคงที่ โดยเก็บสัญญาณ 5 ครั้งในแต่ละวิธีการเก็บสัญญาณของแต่ละสภาวะการทดลอง
7. เก็บข้อมูลและหยุดเดินเครื่องในทุกๆ 120 นาที ถ่ายรูปพื้นเพ็อง เพื่อประมาณระดับสึกหรอที่ปลายพื้น
8. เมื่อการสึกหรอที่ประมาณได้มีค่าใกล้เคียงกับที่ต้องการแล้ว ทำการถอดเพ็องออกจากชุดทดลองเพื่อทำการวัดโพไฟล์อย่างละเอียดด้วยเครื่องขยายโพไฟล์
9. ใส่ชุดเพ็องทดสอบเข้ากับเพลลาซ์อีกครั้งเพื่อทำการทดลองต่อไป

### รายละเอียดการวัดสัญญาณการสั่นสะเทือน

#### การเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่

การเก็บสัญญาณแต่ละครั้งใช้สัญญาณเฉลี่ย 20 ชุดสัญญาณ การเฉลี่ยเป็นแบบเหลื่อมกัน 75 % ใช้ฟังก์ชันแฮนนิ่ง (Hanning) เป็นฟังก์ชันถ่วงน้ำหนัก ใช้ตัวกรองความถี่ต่ำที่ 0.7 Hz ส่วนตัวกรองความถี่สูงใช้ตามพิสัยของโดเมนความถี่คือ 800 Hz สำหรับความเร็ว 500 รอบต่อนาที และ 1.6 kHz สำหรับความเร็ว 800 รอบต่อนาที รายละเอียดของโดเมนต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 3-1 และ 3-2 สัญญาณบนโดเมนเวลาแสดงผลเฉพาะชุดสัญญาณสุดท้ายเท่านั้น

ตารางที่ 3-1 รายละเอียดของสัญญาณชนิดต่าง ๆ ที่เก็บด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่สำหรับความเร็ว 500 รอบต่อนาที

ชนิดของสัญญาณที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์สัญญาณ	พิสัยของโดเมน	ความละเอียด (Resolution)	จำนวนจุดข้อมูล (Data Points)
สัญญาณบนโดเมนเวลา	1sec	488 $\mu$ sec	2048 lines
สเปกตรัม (Spectrum)	800 Hz	1 Hz	800 lines
เซปส์ตรัม (Cepstrum)	500 msec	488 $\mu$ sec	1024 lines

ตารางที่ 3-2 รายละเอียดของสัญญาณชนิดต่าง ๆ ที่เก็บด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมน  
ความถี่สำหรับความเร็ว 800 รอบต่อนาที

ชนิดของสัญญาณที่ได้จาก เครื่องวิเคราะห์สัญญาณ	พิสัยของโดเมน	ความละเอียด (Resolution)	จำนวนจุดข้อมูล (Data Points)
สัญญาณบนโดเมนเวลา	500 msec	244 $\mu$ sec	2048 lines
สเปกตรัม (Spectrum)	1.6 kHz	2 Hz	800 lines
เซปส์ตรัม (Cepstrum)	250 msec	244 $\mu$ sec	1024 lines

กระบวนการขยายความละเอียดของโดเมนความถี่

กระบวนการขยายความละเอียดของโดเมนความถี่ คือการเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่ซึ่งสามารถกำหนดให้เก็บสัญญาณเฉพาะช่วงความถี่ที่สนใจโดยไม่ต้องเริ่มตั้งแต่ 0 Hz ทำให้ความละเอียดของสัญญาณสเปกตรัมมีมากขึ้น แต่เนื่องจากข้อมูลสัญญาณบนโดเมนเวลาที่เก็บไว้ในหน่วยความจำคือข้อมูลที่สุ่มตัวอย่างจากทุกๆ N ข้อมูลของข้อมูลดิบ เมื่อ N คือจำนวนเท่าที่ต้องการเพิ่มความละเอียด ทำให้สัญญาณบนโดเมนเวลาไม่ใช่สัญญาณการสั่นสะเทือนจริงของชุดเฟือง ดังนั้นจึงไม่นำมาวิเคราะห์

การเก็บสัญญาณแต่ละครั้งใช้สัญญาณเฉลี่ย 10 ชุดสัญญาณ เหตุผลที่เลือกใช้จำนวนชุดสัญญาณน้อยกว่าวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่ เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการเก็บสัญญาณแต่ละชุดนานขึ้นและการเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบมีผลต่อคุณภาพสัญญาณ การเฉลี่ยเป็นแบบเหลื่อมกัน 75 % ใช้ฟังก์ชันแฮนนิ่ง (Hanning) เป็นฟังก์ชันถ่วงน้ำหนัก ใช้ตัวกรองความถี่ต่ำและตัวกรองความถี่สูงขึ้นอยู่กับช่วงความถี่ที่เลือกใช้ โดยที่กรณีความเร็ว 500 รอบต่อนาที เลือกใช้ความถี่กึ่งกลางที่ 200 Hz ช่วงพิสัยของโดเมนความถี่ 200 Hz ส่วนกรณีความเร็ว 800 รอบต่อนาที เลือกใช้ความถี่กึ่งกลางที่ 320 Hz ช่วงพิสัยของโดเมนความถี่ 400 Hz เหตุที่เลือกให้ความถี่กึ่งกลางไม่ตรงกับความเร็ว GMF เพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาดทางแอมพลิจูดของยอดสเปกตรัมที่ความเร็ว GMF รายละเอียดของโดเมนต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 3-3 และ 3-4

ตารางที่ 3-3 รายละเอียดของสัญญาณชนิดต่าง ๆ ที่เก็บด้วยกระบวนการขยายความละเอียดของโดเมนความถี่สำหรับความเร็ว 500 รอบต่อนาที

ชนิดของสัญญาณที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์สัญญาณ	พิสัยของโดเมน	ความละเอียด (Resolution)	จำนวนจุดข้อมูล (Data Points)
สเปกตรัม (Spectrum)	200 Hz	0.25 Hz	800 lines
เซปส์ตรัม (Cepstrum)	2 sec	1.95 msec	1024 lines

ตารางที่ 3-4 รายละเอียดของสัญญาณชนิดต่าง ๆ ที่เก็บด้วยกระบวนการขยายความละเอียดของโดเมนความถี่สำหรับความเร็ว 800 รอบต่อนาที

ชนิดของสัญญาณที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์สัญญาณ	พิสัยของโดเมน	ความละเอียด (Resolution)	จำนวนจุดข้อมูล (Data Points)
สเปกตรัม (Spectrum)	400 Hz	0.50 Hz	800 lines
เซปส์ตรัม (Cepstrum)	1 sec	977 $\mu$ sec	1024 lines

#### การเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะ

การเก็บสัญญาณด้วยวิธีการนี้ต้องอาศัยสัญญาณทริกเกอร์จากภายนอก โดยสัญญาณ ทริกเกอร์ดังกล่าวรับมาจากแทกโคมิเตอร์แบบอินฟราเรด ผ่านทางช่อง External Trigger Input ของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณ ซึ่งจะเป็นตัวสั่งการให้เครื่องเริ่มเก็บสัญญาณแต่ละชุดสัญญาณ การเก็บสัญญาณแต่ละครั้งใช้สัญญาณเฉลี่ย 100 ชุดสัญญาณ ใช้ตัวกรองความถี่ต่ำและตัวกรองความถี่สูง เช่นเดียวกับการเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่ การเก็บสัญญาณด้วยวิธีนี้ไม่ต้องใช้ฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักเนื่องจากการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะมีลักษณะความเป็นตัวกรองความถี่ เหมือนกับการกรองแบบหวี (Comb Filtering) รายละเอียดของโดเมนต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 3-5 และ 3-6

ตารางที่ 3-5 รายละเอียดของสัญญาณชนิดต่าง ๆ ที่เก็บด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนเวลา  
เข้าจังหวะสำหรับความเร็ว 500 รอบต่อนาที

ชนิดของสัญญาณที่ได้จาก เครื่องวิเคราะห์สัญญาณ	พิสัยของโดเมน	ความละเอียด (Resolution)	จำนวนจุดข้อมูล (Data Points)
สัญญาณบนโดเมนเวลา	1sec	488 $\mu$ sec	2048 lines
สเปกตรัม (Spectrum)	800 Hz	1 Hz	800 lines
เซปส์ตรัม (Cepstrum)	1 sec	488 $\mu$ sec	2048 lines

ตารางที่ 3-6 รายละเอียดของสัญญาณชนิดต่าง ๆ ที่เก็บด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนเวลา  
เข้าจังหวะสำหรับความเร็ว 800 รอบต่อนาที

ชนิดของสัญญาณที่ได้จาก เครื่องวิเคราะห์สัญญาณ	พิสัยของโดเมน	ความละเอียด (Resolution)	จำนวนจุดข้อมูล (Data Points)
สัญญาณบนโดเมนเวลา	500 msec	244 $\mu$ sec	2048 lines
สเปกตรัม (Spectrum)	1.6 kHz	2 Hz	800 lines
เซปส์ตรัม (Cepstrum)	500 msec	244 $\mu$ sec	2048 lines

พารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ใช้วิเคราะห์มีดังนี้

1) สัญญาณบนโดเมนเวลา

- RMS คือ ค่าแอมพลิจูดอาร์เอ็มเอส
- Peak คือ แอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณในช่วงระยะเวลาที่เก็บสัญญาณ
- Crest Factor คือ อัตราส่วนระหว่างค่า Peak ต่อค่า RMS
- Kurtosis คือ ค่าทางสถิติโมเมนต์อันดับที่ 4 สำหรับวัดขนาดการแผ่กว้างของการกระจายตัวของแอมพลิจูดการสั่นสะเทือน

## 2) สัญญาณสเปกตรัม

- แอมพลิจูดของ 1xGMF 2xGMF และ 3xGMF คือ แอมพลิจูดของยอดสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่การขบกันของชุดเฟือง ฮาร์โมนิกที่ 2 และ 3 ของความถี่การขบกันของชุดเฟืองตามลำดับ
- แอมพลิจูดของ 1xSBP 2xSBP และ 3xSBP คือ แอมพลิจูดของยอดสัญญาณสเปกตรัมที่เป็นชุดแถบความถี่ข้างรอบๆ 1xGMF โดยห่างจาก 1xGMF ออกไปทั้ง 2 ด้านเท่ากับความถี่ของเฟืองขับ ฮาร์โมนิกที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งคำนวณได้ในลักษณะเดียวกัน เนื่องจากแถบความถี่ข้างจะมียอดที่เด่นชัดที่ด้านซ้ายของ 1xGMF มากกว่าทางด้านขวา ในฮาร์โมนิกที่ 3 จึงพิจารณาเฉพาะแถบความถี่ในด้านซ้ายเท่านั้น
- แอมพลิจูดของ 1xSBW 2xSBW และ 3xSBW คือ แอมพลิจูดของยอดสัญญาณสเปกตรัมที่เป็นชุดแถบความถี่ข้างรอบ ๆ 1xGMF โดยห่างจาก 1xGMF ออกไปทั้ง 2 ด้านเท่ากับความถี่ของเฟืองตาม ฮาร์โมนิกที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งคำนวณได้ในลักษณะเดียวกันเนื่องจากแถบความถี่ข้างจะมียอดที่เด่นชัดที่ด้านซ้ายของ 1xGMF มากกว่าทางด้านขวา ในฮาร์โมนิกที่ 3 จึงพิจารณาเฉพาะแถบความถี่ในด้านซ้ายเท่านั้น

## 3) สัญญาณเซปส์ตี้ม

- แกมมนิจูดของ 1/P 2/P และ 3/P คือ ค่าแกมมนิจูดของยอดสัญญาณเซปส์ตี้มที่ควิเฟรนซี เท่ากับ 1/(ความถี่เฟืองขับ) ฮาร์โมนิกที่ 2 และ 3 ตามลำดับ
- แกมมนิจูดของ 1/W คือ ค่าแกมมนิจูดของยอดสัญญาณเซปส์ตี้มที่ควิเฟรนซีเท่ากับ 1/(ความถี่เฟืองตาม)

ข้อมูลความถี่ต่างๆรวมทั้งควิเฟรนซีที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์สัญญาณแสดงไว้ในตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-7 ความถี่และควิเฟรนซีที่ใช้วิเคราะห์สัญญาณ

Speed (rpm)	Frequency (Hz)					Quefreny (ms)			
	Pinion	Wheel	1xGMF	2xGMF	3xGMF	1/P	2/P	3/P	1/W
500	8.33	5.86	216.67	433.33	650	120	240	360	170.77
800	13.33	9.37	346.67	693.33	1040	75	150	225	106.73



## รูปแบบของการสึกหรอ

จากการทดลองของ [13] ซึ่งเป็นการทดลองวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ระดับของการสึกหรอของเฟืองขับที่ระดับต่างๆ ซึ่งมีสมมติฐานว่าการสึกหรอจะมีรูปแบบเดียวกันในทุกๆระดับของการสึกหรอ โดยรูปแบบของการสึกหรอได้จำลองมาจากการทดลองของ [14] ซึ่งเป็นการสึกหรอที่เกิดขึ้นจริงจากการทดลองในรูปแบบเดียวกันที่หนึ่งสถานะ แต่ภายหลังจากการทดลองของ [13] ซึ่งได้ดำเนินการทดลองหลายๆ สถานะของความเร็วยรอบและภาระจะมีการสึกหรอของเฟืองเพิ่มขึ้นเล็กน้อยพบว่ารูปแบบของการสึกหรอนั้นไม่ได้คงรูปแบบเดิมในระดับการสึกหรออื่นๆ ที่นอกเหนือจากระดับการสึกหรอของการทดลองของ [14] ซึ่งมีรูปแบบของการสึกหรอเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด

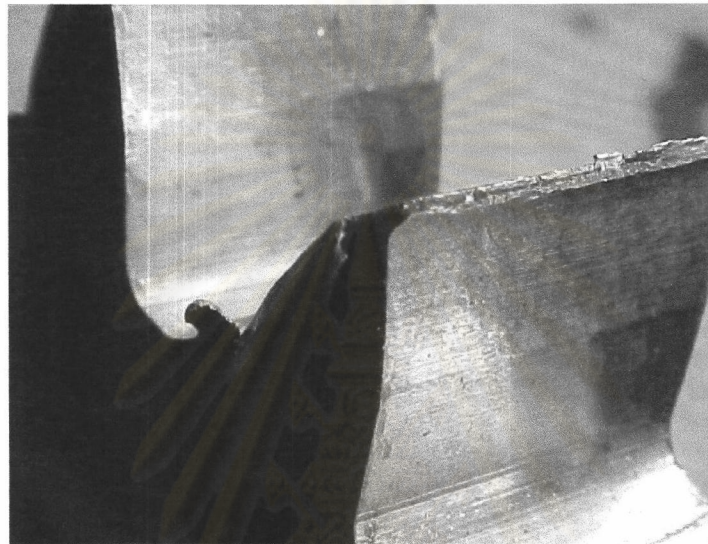
จากรูปแบบของการสึกหรอของงานวิจัยที่ผ่านมาที่เปลี่ยนไปตามสถานะการทดลอง งานวิจัยนี้จึงทำการวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนชุดทดลองที่มีลักษณะของการสึกหรอของเฟืองที่เกิดขึ้นจริง ณ สถานะการทดลองต่างๆ โดยทำการเดินเครื่องชุดทดลองและระหว่างการทดลองวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนและหยุดเดินเครื่องชุดทดลองเพื่อทำการสุ่มถ่ายรูปของฟันเฟืองจำนวน 5 ฟันทุกๆ 120 นาทีเพื่อสังเกตการสึกหรอ และเมื่อระดับสึกหรอเพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่ต้องการโดยประมาณแล้วจะทำการถอดเฟืองดังกล่าวออกมาเพื่อวัดโพไฟล์อย่างละเอียดของฟันเฟืองโดยเครื่องขยายโพไฟล์ 20 เท่า ต่อไป

การวัดการสึกหรอขั้นต้นใช้ขนาดการสึกหรอที่ปลายฟันซึ่งประมาณจากภาพถ่ายเฉลี่ยกันจำนวน 5 ฟันเป็นเกณฑ์ ถ้าการสึกหรอมีค่าประมาณค่าที่กำหนดไว้จึงจะทำการวัดรูปแบบการสึกหรออย่างละเอียดโดยเครื่องขยายโพไฟล์ 6 ระดับ โดยอ้างอิงจาก [14] คือ ระดับ 0-5 มีการสึกหรอดังนี้

ระดับสึกหรอที่ 0	มีการสึกหรอที่ปลายฟันประมาณ	0.0 %
ระดับสึกหรอที่ 1	มีการสึกหรอที่ปลายฟันประมาณ	16.6 %
ระดับสึกหรอที่ 2	มีการสึกหรอที่ปลายฟันประมาณ	33.2 %
ระดับสึกหรอที่ 3	มีการสึกหรอที่ปลายฟันประมาณ	49.8 %
ระดับสึกหรอที่ 4	มีการสึกหรอที่ปลายฟันประมาณ	66.4 %
ระดับสึกหรอที่ 5	มีการสึกหรอที่ปลายฟันประมาณ	83.0 %

การทดลองจะเริ่มเดินเครื่องชุดทดลองตั้งแต่ฟันของเฟืองขับยังไม่มีมีการสึกหรอไปจนพบการสึกหรอที่ปลายของฟันเฟืองขับประมาณ 83 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งประมาณจากภาพถ่ายฟันเฟืองจำนวน 5 ฟัน หรือทดลองไปจนพบว่ามีฟันของเฟืองขับฟันใดฟันหนึ่งมีการสึกหรอที่ปลายถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากการทดลองในแต่ละสถานะจะพบการสึกหรอที่ฟันใดฟันหนึ่งถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ก่อนที่การ

สึกหรอโดยประมาณที่ปลายฟันเฉลี่ยจาก 5 ฟันมีการสึกหรอถึง 83 เปอร์เซ็นต์ โดยในการทดลองที่ความเร็วรอบ 500 RPM จะพบการสึกหรอที่ปลายฟันใดฟันหนึ่งถึง 100 เปอร์เซ็นต์ อยู่ประมาณระหว่างระดับสึกหรอที่ 4 กับระดับสึกหรอที่ 5 แต่การทดลองที่ 800 RPM จะพบการสึกหรอที่ปลายฟันใดฟันหนึ่งถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ประมาณระดับสึกหรอที่ 4 ดังนั้นการทดลองที่ 800 RPM จึงทำการทดลองถึงแต่ระดับสึกหรอที่ 4 เท่านั้น โดยลักษณะของฟันเฟืองที่มีการสึกหรอที่ปลาย 100 เปอร์เซ็นต์ ดังกล่าวจะพบการบิดเบี้ยวที่ปลายของฟันเฟืองแสดงดังรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-2 ภาพถ่ายการบิดเบี้ยวของปลายฟันเฟืองเมื่อฟันเฟืองมีการสึกหรอที่ปลาย 100 เปอร์เซ็นต์

ตัวอย่างการกระจายตัวของการสึกหรอของแต่ละฟันแสดงดังรูปที่ 3-3 โดยกลุ่มของเส้นสีน้ำเงินแสดงการกระจายโพรไฟล์ของฟันเฟืองที่สมบูรณ์ของเฟืองขับทั้ง 26 ฟัน ส่วนกลุ่มของเส้นสีแดงแสดงการกระจายตัวของการสึกหรอของฟันเฟืองในระดับที่ 1 ของเฟืองขับทั้ง 26 ฟัน จากรูปเห็นการสึกหรอที่ปลายฟันมากกว่าส่วนอื่น สำหรับความคลาดเคลื่อนบนขึ้นมารอบโคนฟันน่าจะเกิดมาจากความผิดพลาดในการวัดโพรไฟล์จากเครื่องขยายโพรไฟล์ โดยเมื่อฟันเฟืองมีการสึกหรอเกิดขึ้นเนื้อของทองเหลืองจะไหลออกมาของรวมกันอยู่ที่บริเวณขอบของฟันจนเกิดมีลักษณะเป็นครีบบนผิวของฟันเฟืองเมื่อทำการวัดโพรไฟล์โดยเครื่องขยายโพรไฟล์ ครีبدังกล่าวจะมาบังทางเดินของแสงทำให้เกิดเป็นเงาที่ยื่นออกมาบังเงาของโพรไฟล์ที่แท้จริง ครีبدังกล่าวจะไม่ปรากฏที่ปลายฟันเนื่องจากที่บริเวณปลายฟันมีการกลิ้งลบเหลี่ยมทำให้หน้าสัมผัสที่ปลายของเฟืองขับน้อยกว่าหน้าสัมผัสของเฟืองตามดังนั้นครีبدังกล่าวจึงไม่สามารถก่อตัวขึ้น และในทางกลับกันที่บริเวณโคนฟันของเฟืองขับก็จะมีหน้าสัมผัสที่มากกว่าที่บริเวณปลายฟันของเฟืองตาม ทำให้ที่บริเวณโคนฟันของเฟืองขับมีการก่อตัวของครีบบนผิวของฟันเฟือง

มากเป็นพิเศษจนเกิดลักษณะที่นูนขึ้นมามากกว่าโพรไฟล์เพื่องก่อนการทดลอง  
สังเกตได้จากรูปที่ 3-4(ข)

ครีบริดงกล่าวจะ



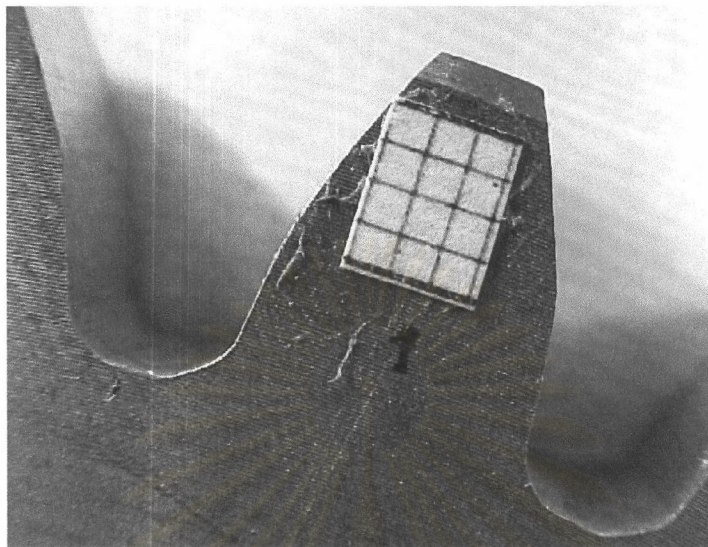
รูปที่ 3-3 การกระจายโพรไฟล์ของระดับสีกรหที่ 1

เวลาที่ใช้ไปในการทดลองเพื่อให้เฟืองสีกรหจนถึงค่าที่กำหนดที่ระดับสีกรหต่างๆ ของทั้ง 4  
สภาวะทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 3-8

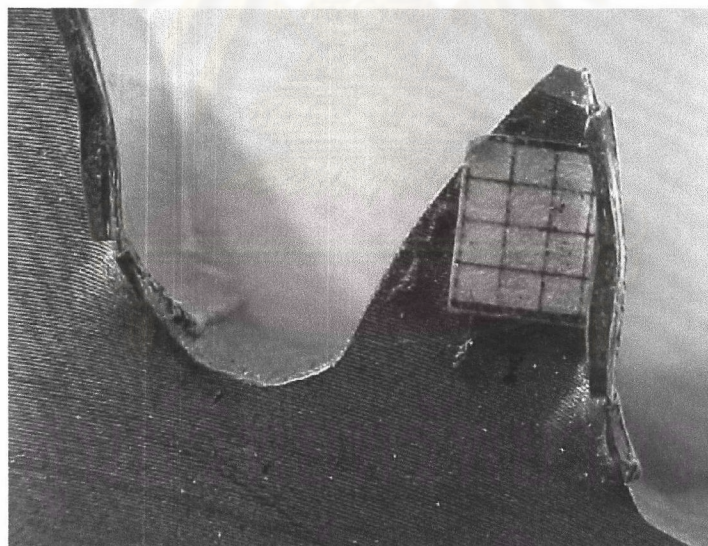
ตารางที่ 3-8 เวลาที่ใช้ในการทดลองจนเฟืองมีการสีกรหถึงระดับที่ต้องการที่สภาวะต่างๆ

สภาวะทดลอง	เวลาที่ใช้ในการทดลองจนเฟืองมีการสีกรหถึงระดับต่างๆ (นาที)				
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3	ระดับที่ 4	ระดับที่ 5
1. 500 RPM 200 W	7,320	11,640	12,480	14,520	14,760
2. 500 RPM 340 W	720	1,680	2,880	3,840	3,960
3. 800 RPM 200 W	1,080	2,280	3,360	4,800	-
4. 800 RPM 340 W	600	1,320	2,040	2,640	-

รูปที่ 3-4 แสดงภาพถ่ายของฟันเฟืองก่อนและหลังการทดลอง โดยในรูป 3-4(ข) เป็นภาพถ่ายของฟันเฟืองภายหลังการทดลองที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที ระดับของภาวะ 340 วัตต์ เวลาที่ใช้ประมาณ 3,960 นาที โดยมีการสีกรหที่ปลายฟันประมาณ 63.5 เปอร์เซ็นต์



(ก) ฟันเฟืองขับก่อนการทดลอง



(ข) ฟันเฟืองขับหลังจากทำการทดลองไปประมาณ 3,960 นาที

รูปที่ 3-4 ภาพถ่ายฟันเฟืองก่อนและหลังการทดลองที่สภาวะ 500 RPM ภาระ 340 W

## สัญญาณการสั่นสะเทือนจากการทดลอง

สัญญาณการสั่นสะเทือนจากทั้ง 3 วิธีการเก็บสัญญาณได้แก่ วิธีเฉลี่ยกันบนโดเมนความถี่ (Spectrum Averaging) วิธีเฉลี่ยกันบนโดเมนเวลาแบบเข้าจังหวะ (Synchronous Time Averaging) และวิธีการขยายความละเอียดบนโดเมนความถี่ (Zoom Processing) สัญญาณมีความแตกต่างกันทั้งขนาดแอมพลิจูดโดยรวม และความละเอียดในสัญญาณบนโดเมนเวลา สเปกตรัม และเซปส์ตรัม แต่ละวิธีการเก็บสัญญาณก็มีจุดเด่นที่แตกต่างกันออกไป การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสัญญาณการสั่นสะเทือนกับระดับการสึกหรอของฟันเฟืองในวิทยานิพนธ์นี้จะนำจุดเด่นของแต่ละวิธีการเก็บสัญญาณมารวมกันช่วยวิเคราะห์ เพื่อให้แนวโน้มที่ได้มีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือมากที่สุด

สัญญาณการสั่นสะเทือนจากการเก็บสัญญาณโดยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่ การขยายความละเอียดบนโดเมนความถี่ และการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะ เกิดจากการเฉลี่ยกันของสัญญาณจำนวน 20, 10 และ 100 ชุดสัญญาณตามลำดับต่อเนื่องกัน การเก็บสัญญาณแต่ละวิธีจะเก็บสัญญาณ 5 ครั้งนำมาเฉลี่ยกัน ใช้เวลาในการเก็บสัญญาณแต่ละสภาวะทดลองเฉลี่ยประมาณ 40 นาที ซึ่งถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับระยะเวลาในการทดลองทั้งหมด ดังนั้นจึงอาจประมาณได้ว่าไม่มีการสึกหรอเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บสัญญาณ

เลือกแสดงผลของสัญญาณการสั่นสะเทือนเฉพาะภาวะ 340 วัตต์ ซึ่งเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนกว่าที่ภาวะ 200 วัตต์ เนื่องจากการส่งผ่านแรงระหว่างเฟืองมีค่าสูงกว่า โดยแสดงผลสัญญาณเรียงลำดับตั้งแต่เริ่มทดลองไปจนถึงที่ระดับสึกหรอสูงสุด สัญญาณที่นำมาแสดงมีอยู่ 3 ลักษณะ คือสัญญาณบนโดเมนเวลา สัญญาณบนโดเมนความถี่ และสัญญาณเซปส์ตรัม และในแต่ละลักษณะจะเก็บสัญญาณ 3 วิธี คือ การเก็บสัญญาณโดยวิธีเฉลี่ยกันบนโดเมนความถี่ วิธีเฉลี่ยกันบนโดเมนเวลาแบบเข้าจังหวะ และวิธีการขยายความละเอียดบนโดเมนความถี่ แต่กรณีของสัญญาณบนโดเมนเวลาจะไม่แสดงสัญญาณที่เก็บโดยวิธีขยายความละเอียดบนโดเมนความถี่

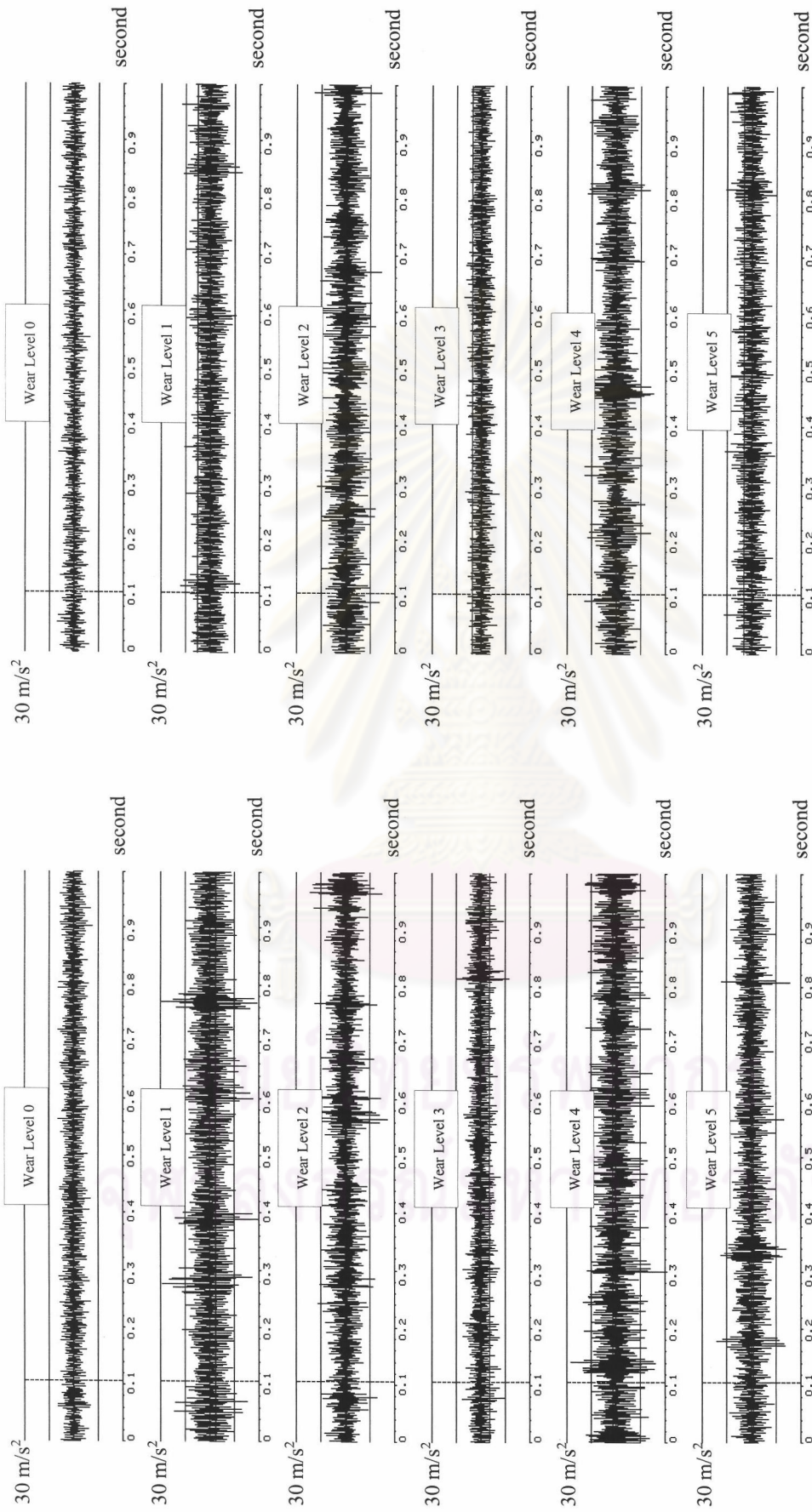
ศูนย์ถ่ายทอดทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ภาพสัญญาณบนโดเมนเวลา

แสดงเฉพาะสัญญาณที่เก็บด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่และโดเมนเวลาเข้าจังหวะพิสัยของโดเมนเวลา กรณีการวัดสัญญาณที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาทีคือ 0 – 1,000 มิลลิวินาที ในขณะที่การวัดสัญญาณที่ความเร็ว 800 รอบต่อนาทีคือ 0 - 500 มิลลิวินาที ค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่แสดงในแต่ละภาพสัญญาณเลือกแสดงตามความเหมาะสม รูปสัญญาณเรียงตามลำดับสภาวะการทดลองดังต่อไปนี้

- 1) สัญญาณที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที
  - รูปที่ 3-5 : ภาวะ 340 วัดต์ เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging
  - รูปที่ 3-6 : ภาวะ 340 วัดต์ เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging
  
- 2) สัญญาณที่ความเร็ว 800 รอบต่อนาที
  - รูปที่ 3-7 : ภาวะ 340 วัดต์ เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging
  - รูปที่ 3-8 : ภาวะ 340 วัดต์ เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

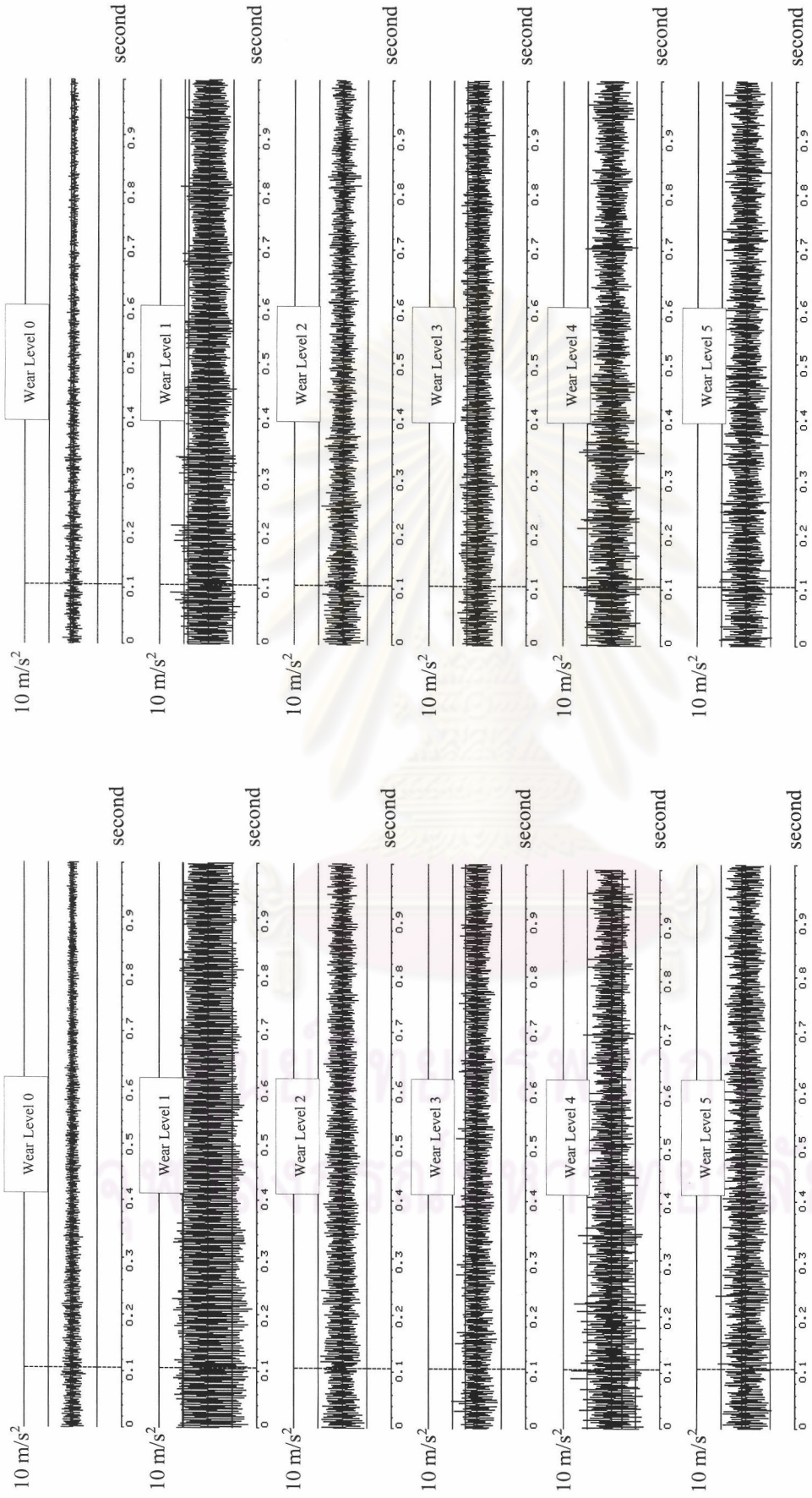
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



เก็บสัญญาณในแนวระดับ

เก็บสัญญาณในแนวตั้ง

รูปที่ 3-5 สัญญาณบนโดเมนเวลา ที่สภาวะ 500 RPM ภาระ 340 W เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

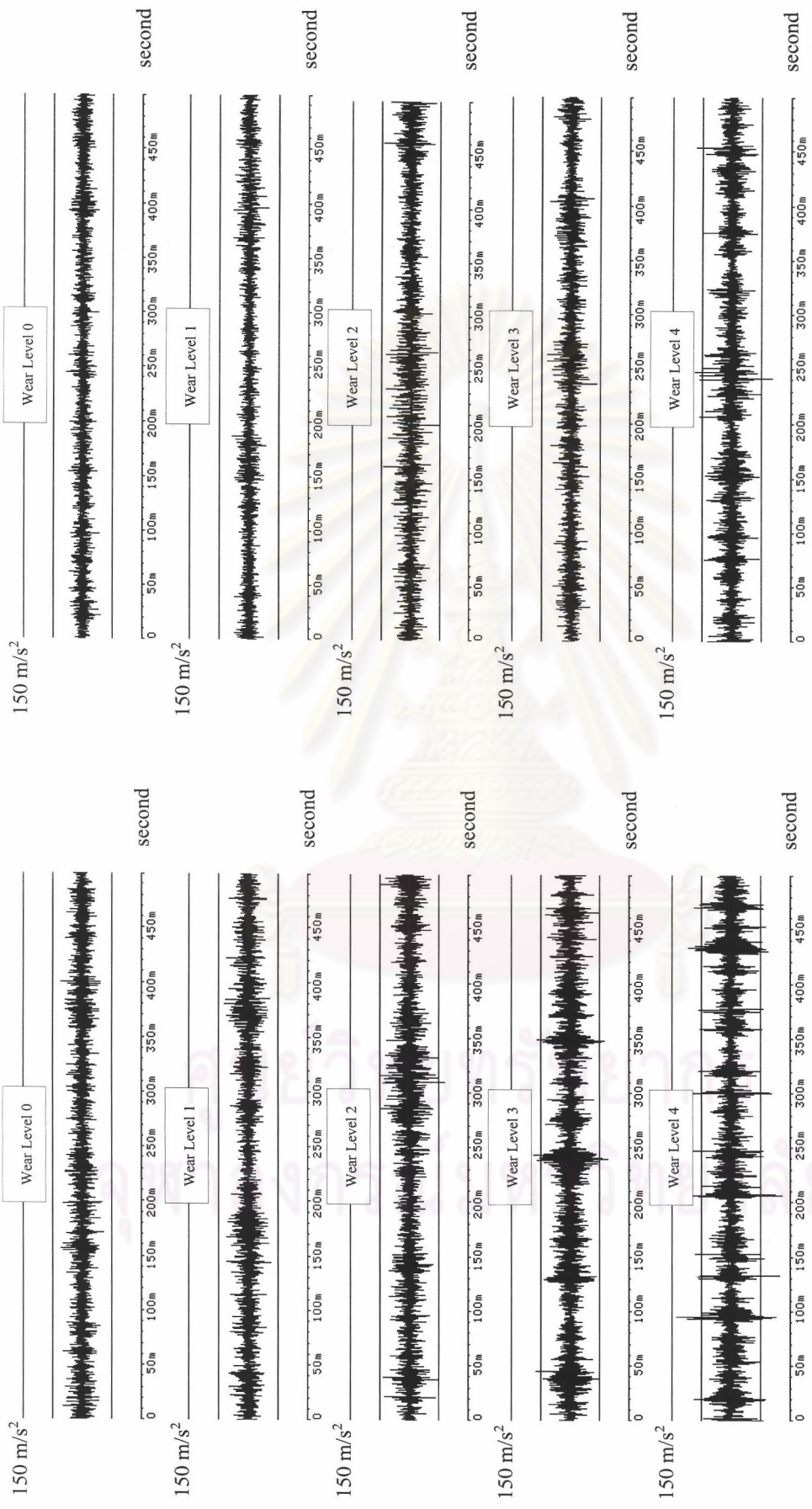


เก็บสัญญาณในแนวดิ่ง

เก็บสัญญาณในแนวระดับ

รูปที่ 3-6 สัญญาณบนโมเดลเวลาที่ 500 RPM ภาระ 340 W เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

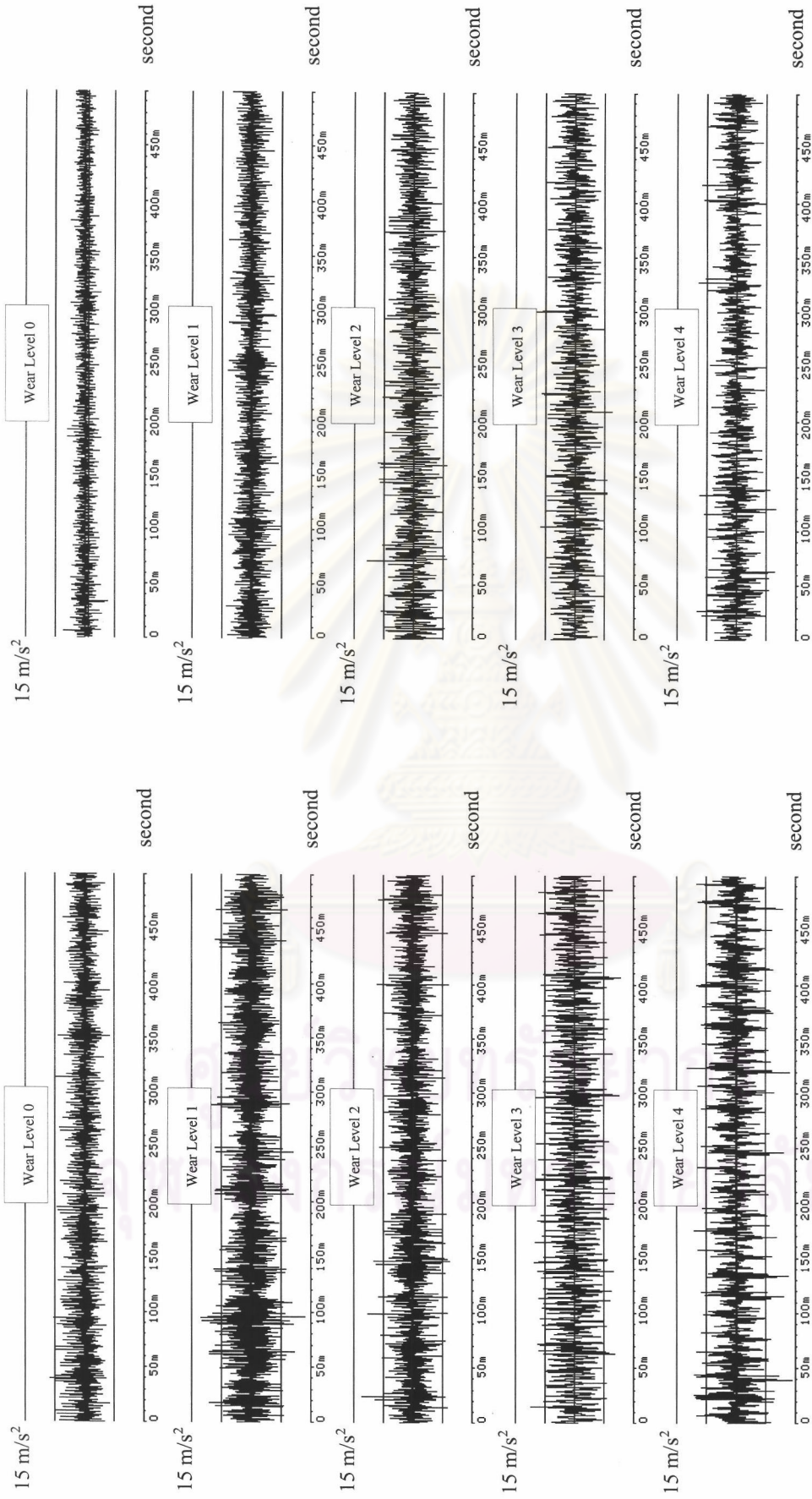




เก็บสัญญาณในแนวระดับ

เก็บสัญญาณในแนวตั้ง

รูปที่ 3-7 สัญญาณบนโต๊ะหมุนเวลา ที่สภาวะ 800 RPM ภาพ 340 W เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



เก็บสัญญาณในแนวดิ่ง

เก็บสัญญาณในแนวระดับ

รูปที่ 3-8 สัญญาณบนโดเมนเวลา ที่สภาวะ 800 RPM ภาระ 340 W เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

### อภิปรายผลของสัญญาณบนโดเมนเวลา

จากรูปที่ 3-5 ถึง 3-8 โดยรวมจะพบว่าสัญญาณบนโดเมนเวลาในแนวดิ่งมีแอมพลิจูดโดยรวมที่สูงกว่าสัญญาณในแนวระดับในทุกวิธีการเก็บสัญญาณและทุกความเร็วรอบที่ทดลอง การเก็บสัญญาณโดยวิธี Spectrum Averaging ให้ค่าแอมพลิจูดที่สูงกว่าการเก็บสัญญาณโดยวิธี Synchronous Time Averaging เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากการเก็บสัญญาณโดยวิธี Synchronous Time Averaging เป็นตัวแทนของสัญญาณที่ได้จากการเฉลี่ยกันของสัญญาณบนโดเมนเวลาจำนวน 100 ชุด ซึ่งสามารถลดสัญญาณรบกวนได้เป็นอันมาก ในขณะที่สัญญาณที่ได้จากการเก็บสัญญาณโดยวิธี Spectrum Averaging คือสัญญาณบนโดเมนเวลาเพียงชุดเดียว ดังนั้นสัญญาณที่ได้จากการเก็บสัญญาณโดยวิธี Synchronous Time Averaging จึงสามารถสังเกตเห็นการมอดูเลตของสัญญาณได้ง่ายกว่า โดยจากรูปสัญญาณความถี่ต่ำที่มีมอดูเลตมีคาบประมาณเท่ากับคาบของความถี่รอบหมุนของเฟืองขับ ซึ่งการทดลองที่ความเร็วรอบ 500 RPM สามารถเห็นการมอดูเลตได้ชัดเจนกว่าการทดลองที่ 800 RPM สัญญาณที่เก็บโดยวิธี Spectrum Averaging จะปรากฏลักษณะของพัลส์ชั่วขณะในสัญญาณโดยมากจะพบในสัญญาณที่เก็บในแนวดิ่งมากกว่าสัญญาณที่เก็บในแนวระดับ และพัลส์ดังกล่าวจะพบในการทดลองที่ความเร็วรอบ 800 RPM มากกว่าการทดลองที่ความเร็วรอบ 500 RPM ขนาดแอมพลิจูดโดยรวมของสัญญาณบนโดเมนเวลาเพิ่มขึ้นตามระดับของการสึกหรอ ซึ่งพบลักษณะของพัลส์ชั่วขณะ และรูปแบบของการมอดูเลตที่เพิ่มขึ้นตามระดับของการสึกหรอด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ภาพสัญญาณสเปกตรัม

พิสัยของโดเมนความถี่สำหรับการเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่และการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะ กรณีการวัดสัญญาณที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาทีคือ 800 Hz และการวัดสัญญาณที่ความเร็ว 800 รอบต่อนาทีคือ 1,600 Hz เมื่อใช้กระบวนการขยายความละเอียดของโดเมนความถี่จะมีพิสัยแคบลง 4 เท่า ส่วนค่าสูงสุดของแอมพลิจูดในแต่ละภาพสัญญาณจะเลือกตามความเหมาะสม รูปสัญญาณเรียงตามลำดับสภาวะการทดลองดังต่อไปนี้

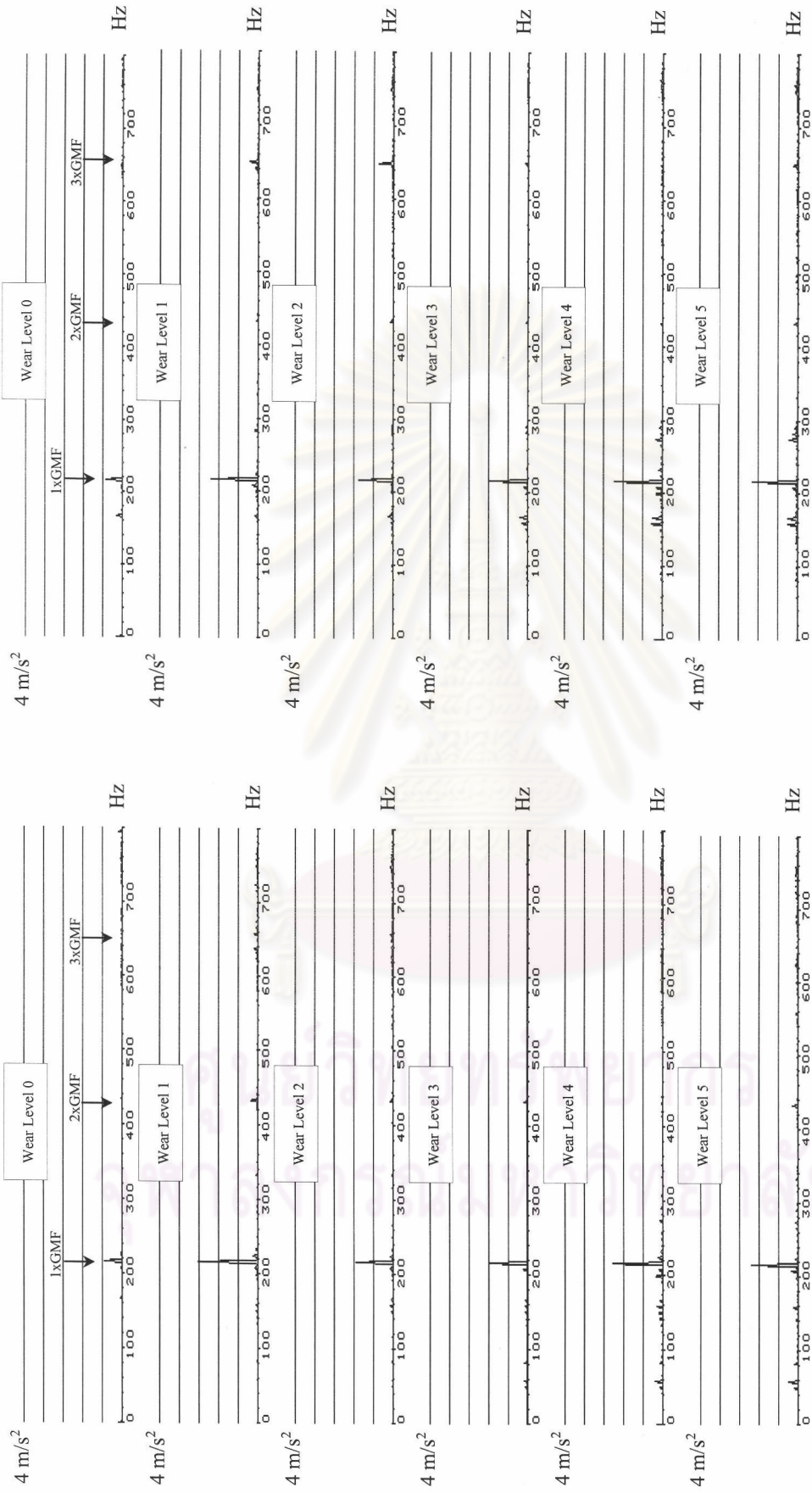
- 1) สัญญาณที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที
  - รูปที่ 3-9 : ภาวะ 340 วัตต์ เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging
  - รูปที่ 3-10 : ภาวะ 340 วัตต์ เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging
  - รูปที่ 3-11 : ภาวะ 340 วัตต์ เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing
  
- 2) สัญญาณที่ความเร็ว 800 รอบต่อนาที
  - รูปที่ 3-12 : ภาวะ 340 วัตต์ เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging
  - รูปที่ 3-13 : ภาวะ 340 วัตต์ เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging
  - รูปที่ 3-14 : ภาวะ 340 วัตต์ เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing



เก็บสัญญาณในแนวตั้ง

เก็บสัญญาณในแนวระดับ

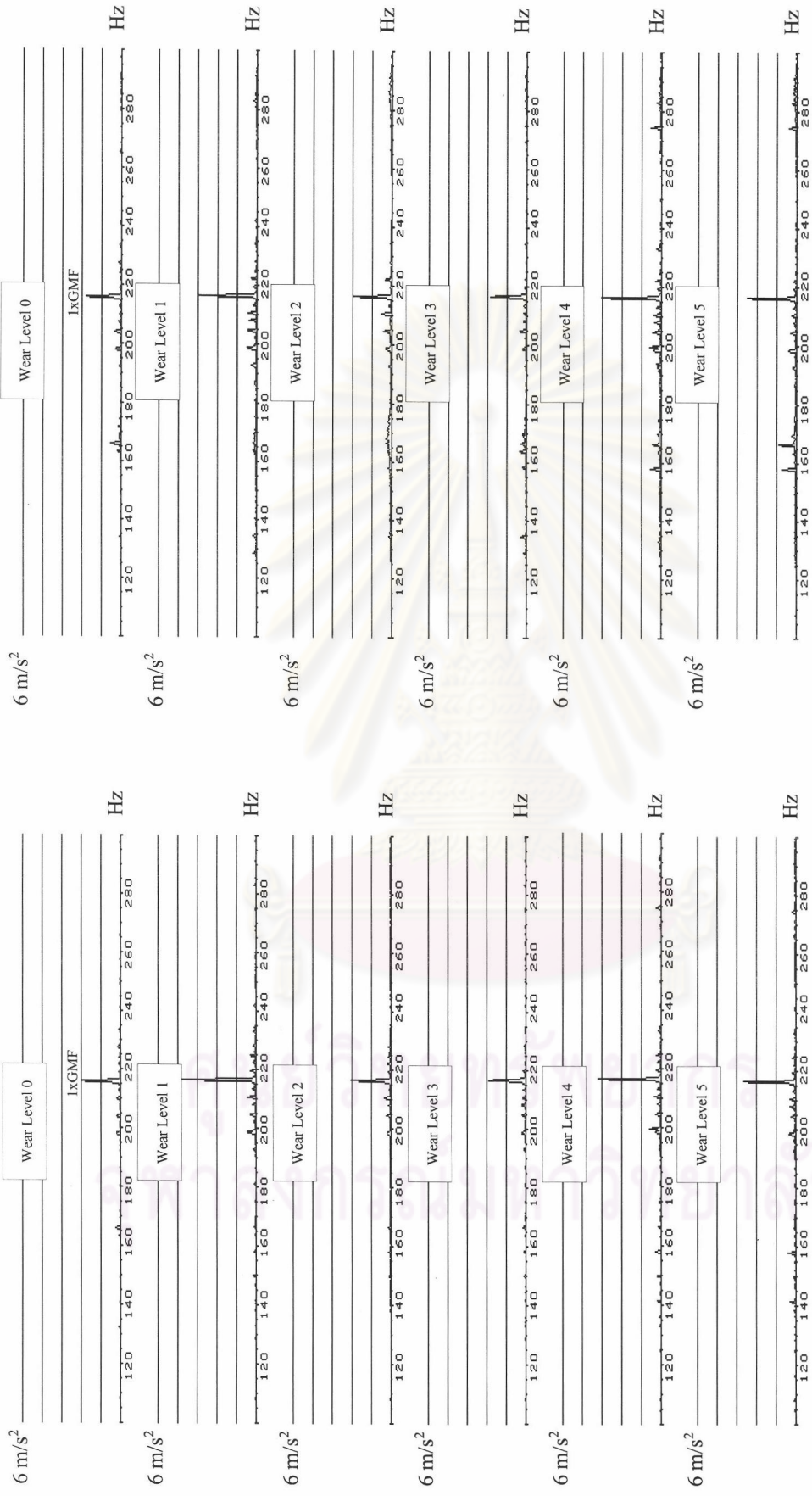
รูปที่ 3-9 สัญญาณสเปกตรัม ที่สภาวะ 500 RPM ภาระ 340 W เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



เก็บสัญญาณในแนวตั้ง

เก็บสัญญาณในแนวระดับ

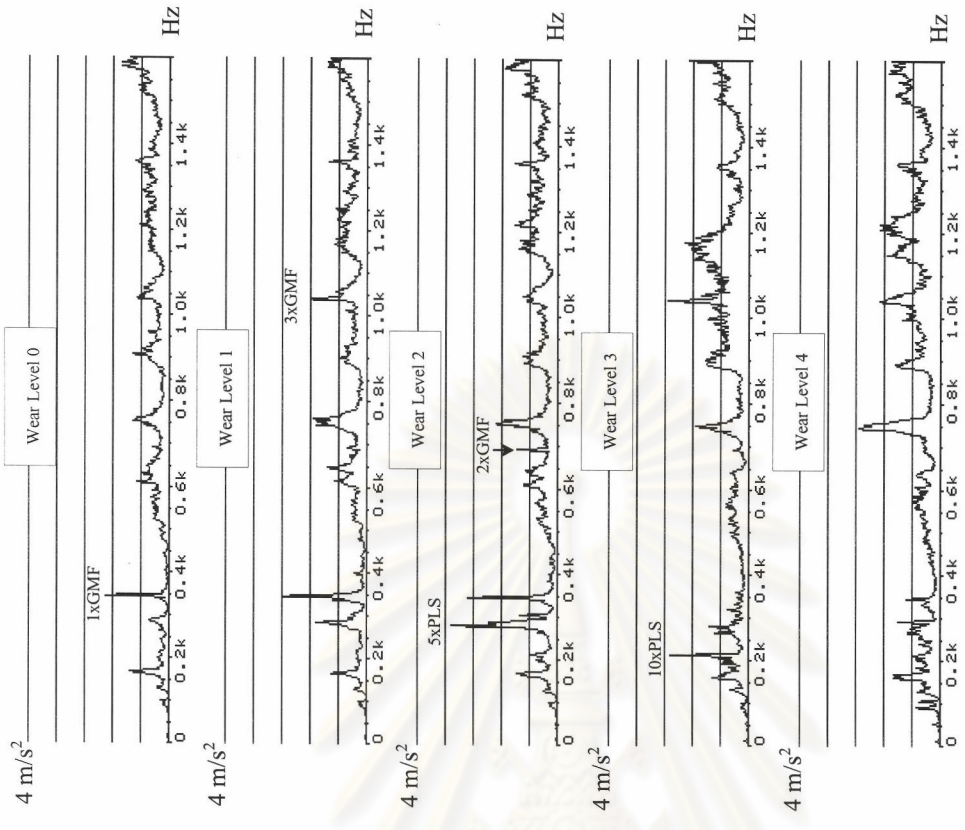
รูปที่ 3-10 สัญญาณสเปกตรัม ที่สภาวะ 500 RPM ภาระ 340 W เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



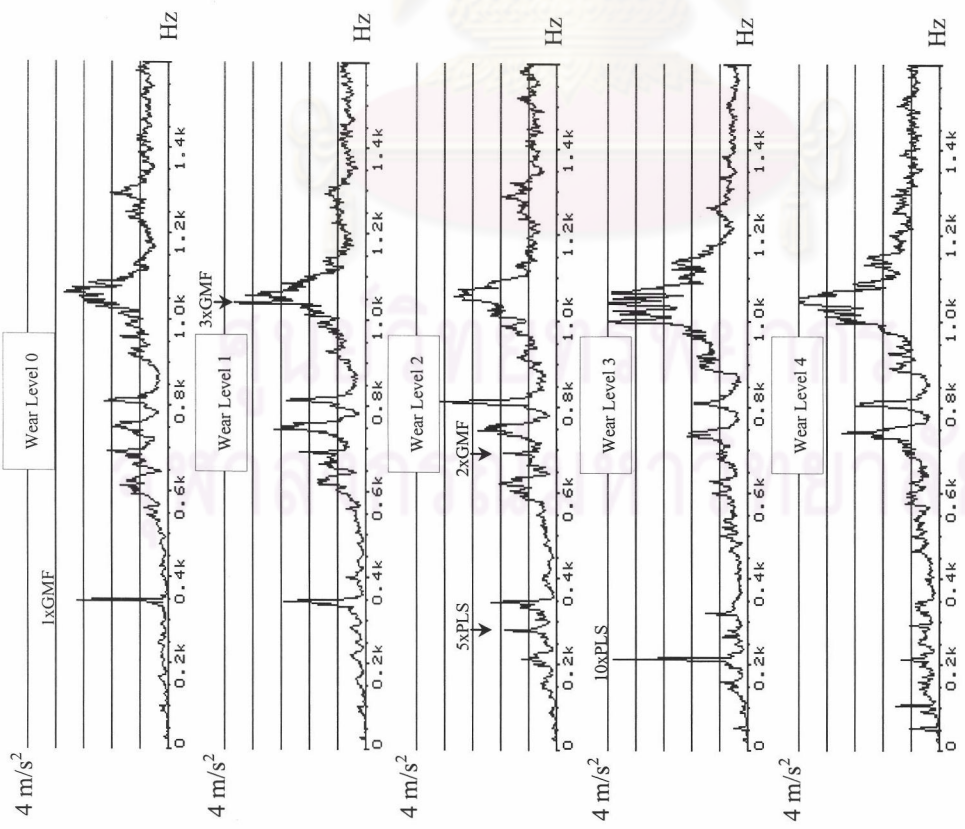
เก็บสัญญาณในแนวตั้ง

เก็บสัญญาณในแนวระดับ

รูปที่ 3-11 สัญญาณสเปกตรัม ที่สภาวะ 500 RPM ภาพ 340 W เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing



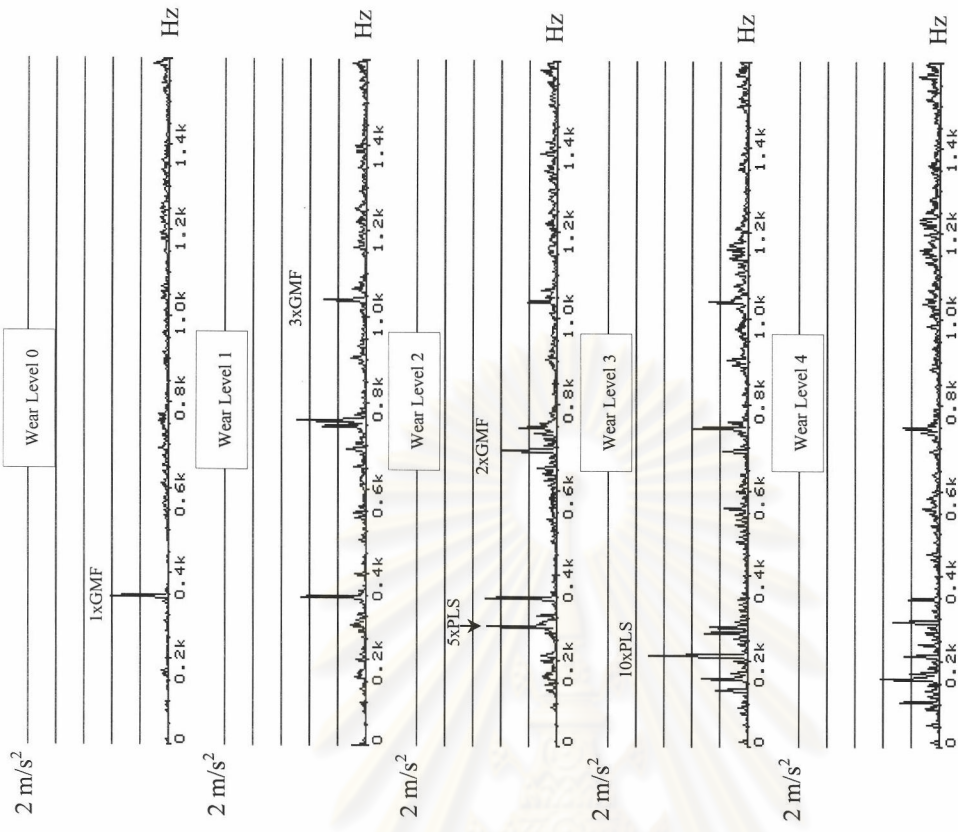
เก็บสัญญาณในแนวระดับ



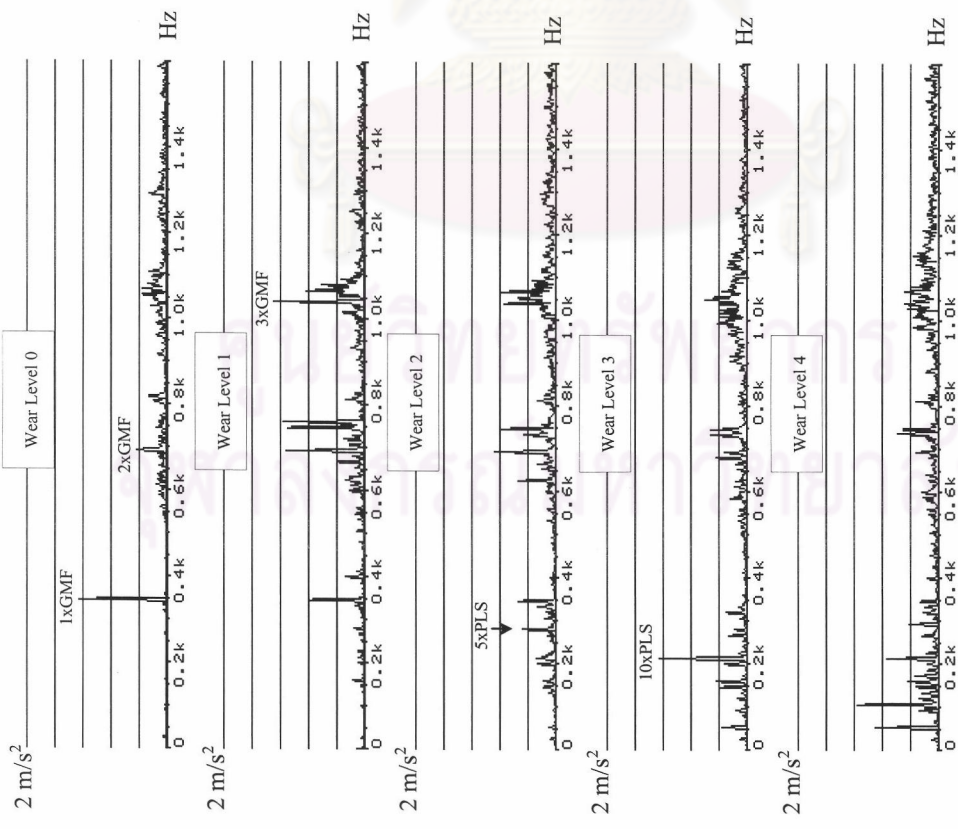
เก็บสัญญาณในแนวตั้ง

รูปที่ 3-12 สัญญาณสเปกตรัม ที่สภาวะ 800 RPM ภาระ 340 W เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



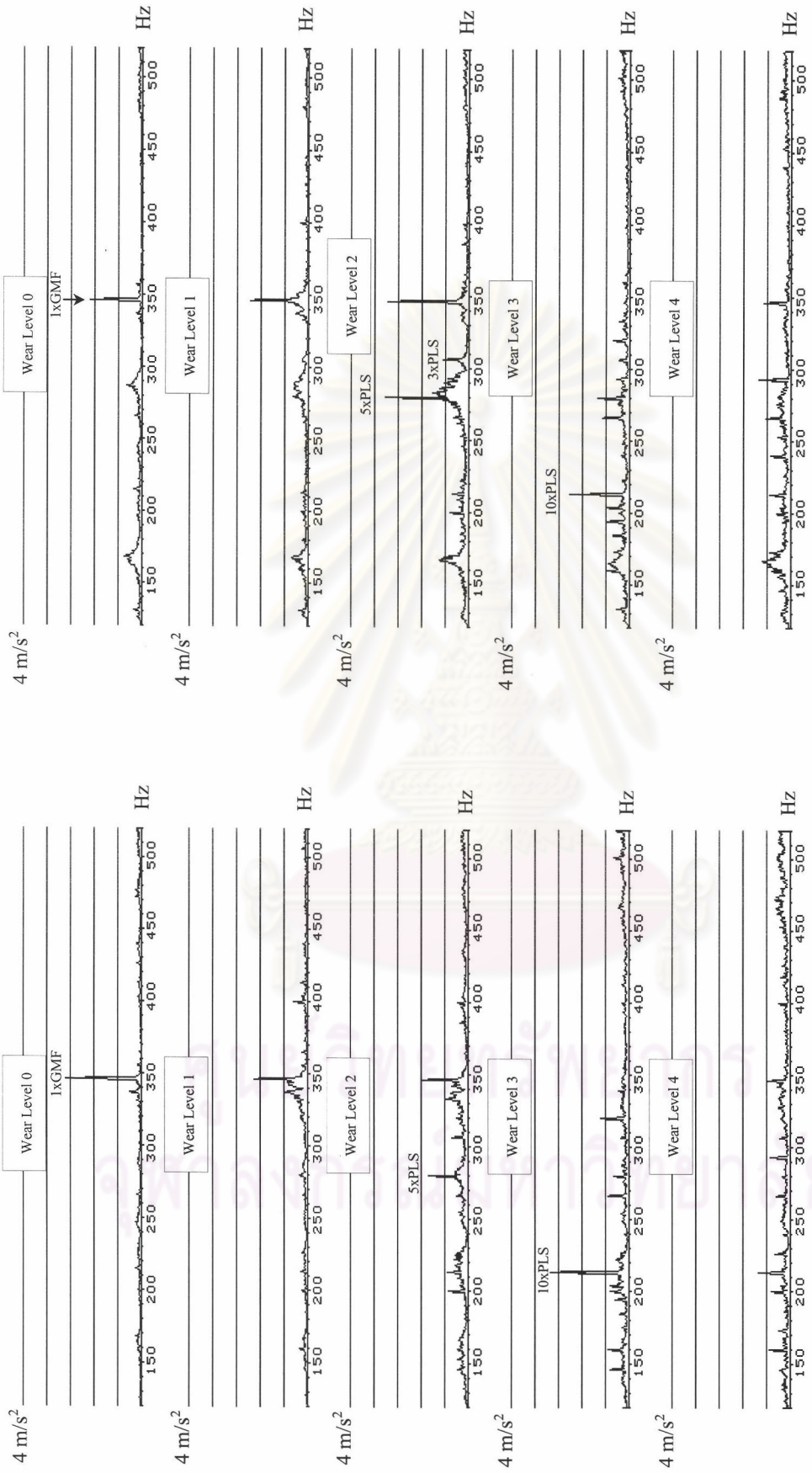


เก็บสัญญาณในแนวระดับ



เก็บสัญญาณในแนวตั้ง

รูปที่ 3-13 สัญญาณสเปกตรัม ที่สภาวะ 800 RPM ภาวะ 340 W เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



เก็บสัญญาณในแนวตั้ง

เก็บสัญญาณในแนวระดับ

รูปที่ 3-14 สัญญาณสเปกตรัม ที่สภาวะ 800 RPM ภาระ 340 W เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

### อภิปรายผลของสัญญาณสเปกตรัม

จากรูปที่ 3-9 ถึง 3-14 โดยรวมจะพบว่าสัญญาณสเปกตรัมส่วนใหญ่จะให้ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณที่เก็บในแนวตั้งมากกว่าสัญญาณที่เก็บในแนวระดับ และสัญญาณที่เก็บโดยวิธี Synchronous Time Averaging จะให้แอมพลิจูดที่ต่ำกว่าสัญญาณที่เก็บโดยวิธี Spectrum Averaging และ Zoom Processing ซึ่งสัญญาณที่เก็บโดยวิธี Spectrum Averaging และ Zoom Processing มีแอมพลิจูดที่ใกล้เคียงกัน สัญญาณที่ได้จากการเก็บสัญญาณแบบ Spectrum Averaging มีสัญญาณรบกวนมาก ซึ่งเห็นได้ชัดในการทดลองที่ 800 RPM โดยสัญญาณรบกวนดังกล่าวจะปรากฏในสัญญาณที่เก็บในแนวตั้งมากกว่าสัญญาณที่เก็บในแนวระดับ สัญญาณสเปกตรัมโดยรวมจะปรากฏยอดสเปกตรัมที่เด่นชัดที่ความถี่  $1 \times \text{GMF}$  แต่การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของ  $1 \times \text{GMF}$  ไม่ชัดเจนตามระดับการสึกหรอ

การทดลองที่สภาวะ 500 RPM 340 W แทบจะไม่พบยอดสเปกตรัมของแถบความถี่ข้างที่เด่นชัด โดยจะพบยอดของ  $6 \times \text{SBPL}$  ในสัญญาณที่เก็บโดยวิธี Spectrum Averaging ในแนวระดับที่ระดับสึกหรอที่ 0 และระดับสึกหรอที่ 5 และพบยอดสเปกตรัมของแถบความถี่ข้างของเฟืองขับฮาร์โมนิกที่ 6 และฮาร์โมนิกที่ 7 ทางด้านซ้ายของ  $1 \times \text{GMF}$  ในสัญญาณที่เก็บโดยวิธี Synchronous Time Averaging ในแนวระดับตั้งแต่ระดับสึกหรอที่ 3 จนถึงระดับสึกหรอที่ 5

การทดลองที่สภาวะ 800 RPM 340 W จะพบแถบความถี่ข้างมากกว่าในการทดลองที่สภาวะ 500 RPM 340 W โดยจะพบแถบความถี่ข้างที่ความถี่  $5 \times \text{SBPL}$  และ  $10 \times \text{SBPL}$  เด่นชัดในระดับสึกหรอที่ 2 และ ระดับสึกหรอที่ 3 ตามลำดับ ซึ่งพบในทั้ง 3 วิธีการเก็บสัญญาณและทั้งสัญญาณที่เก็บในแนวตั้งและสัญญาณที่เก็บในแนวระดับ ในการเก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging พบยอดสเปกตรัมที่ความถี่  $3 \times \text{GMF}$  ที่เด่นในระดับสึกหรอที่ 1 และค่อยๆ ลดลงเมื่อระดับสึกหรอเพิ่มขึ้นจนถึงระดับสึกหรอที่ 4 และในสัญญาณจากวิธีการเก็บสัญญาณแบบ Zoom Processing โดยสัญญาณที่เก็บในแนวตั้งจะพบยอด  $1 \times \text{GMF}$  ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงสลับกัน ตั้งแต่เริ่มทดลองจนถึงระดับสึกหรอที่ 3 และในทุกวิธีการเก็บสัญญาณทั้งแนวตั้งและแนวระดับจะไม่พบยอดสเปกตรัมที่ความถี่  $1 \times \text{GMF}$  ในระดับสึกหรอที่ 3

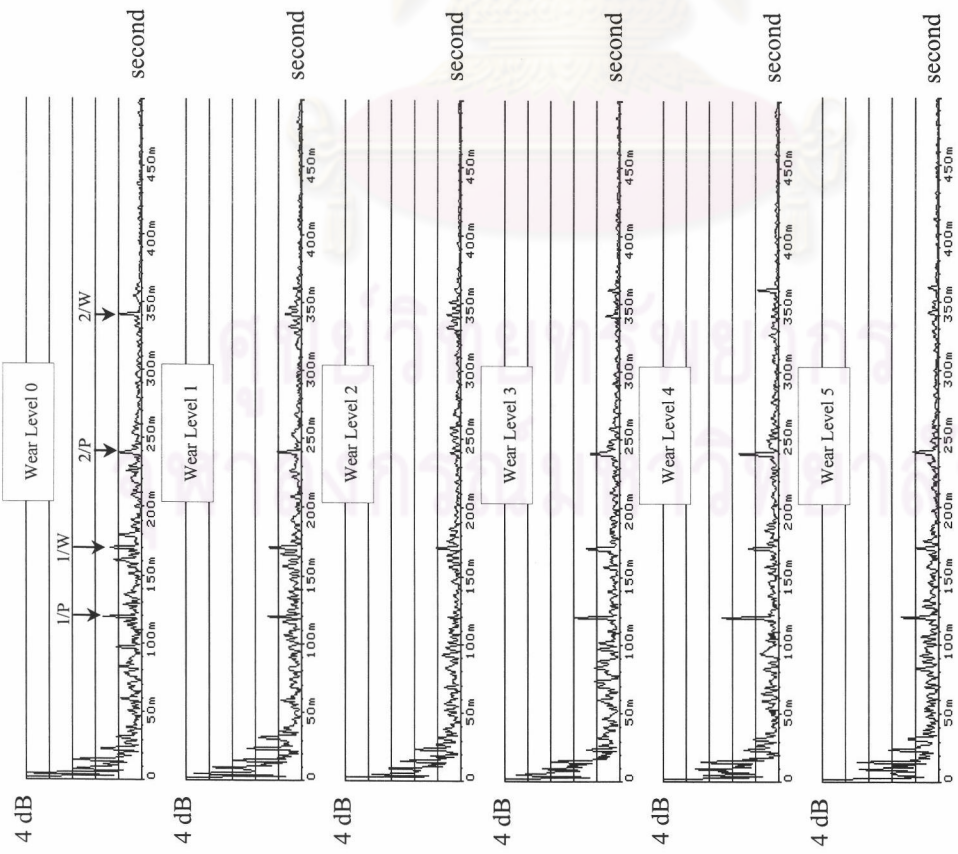
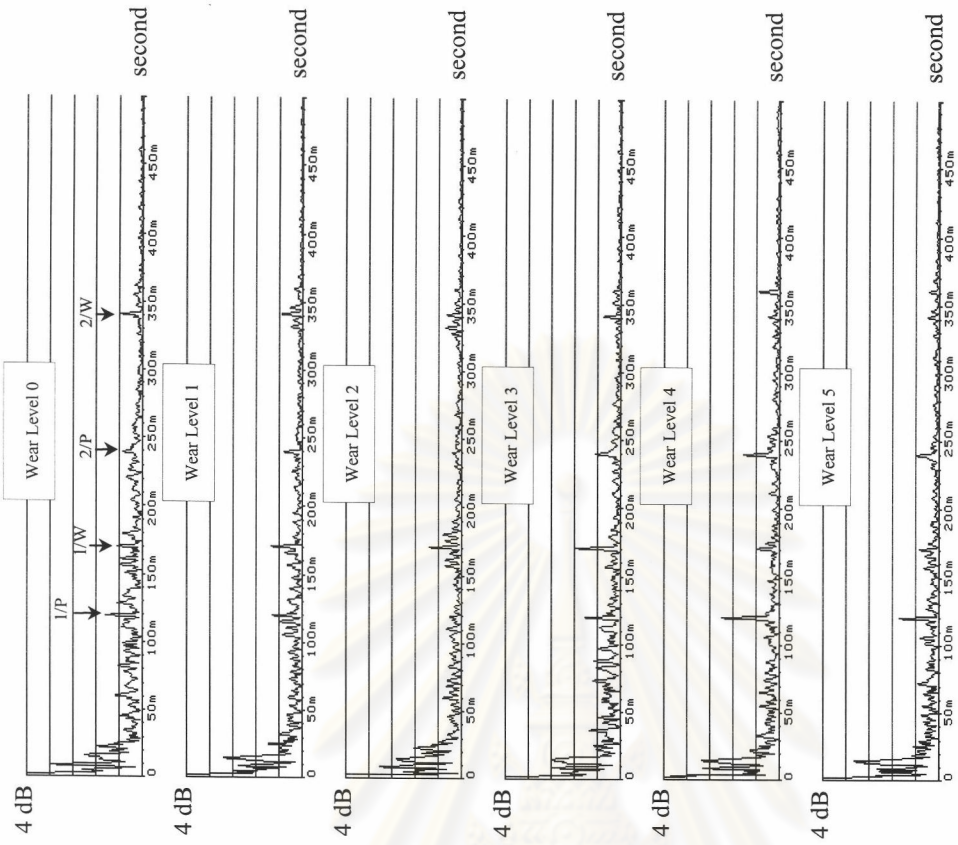
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ภาพสัญญาณเซปส์ตรัม

พิสัยของโดเมนคิวเฟรนซีสำหรับการเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่และการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะ กรณีการวัดสัญญาณที่ความเร็ว 500 รอบต่ออนาทีคือ 500 มิลลิวินาที และที่การวัดสัญญาณที่ความเร็ว 800 รอบต่ออนาทีคือ 250 มิลลิวินาที เมื่อใช้กระบวนการขยายความละเอียดของโดเมนความถี่จะมีพิสัยกว้างขึ้น 4 เท่า ส่วนค่าสูงสุดของเกมินิจจะเลือกตามความเหมาะสมในแต่ละกรณี รูปสัญญาณเรียงตามลำดับสภาวะการทดลองดังต่อไปนี้

- 1) สัญญาณที่ความเร็ว 500 รอบต่ออนาที
  - รูปที่ 3-15 : ภาวะ 340 วัตต์ เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging
  - รูปที่ 3-16 : ภาวะ 340 วัตต์ เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging
  - รูปที่ 3-17 : ภาวะ 340 วัตต์ เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing
  
- 2) สัญญาณที่ความเร็ว 800 รอบต่ออนาที
  - รูปที่ 3-18 : ภาวะ 340 วัตต์ เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging
  - รูปที่ 3-19 : ภาวะ 340 วัตต์ เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging
  - รูปที่ 3-20 : ภาวะ 340 วัตต์ เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

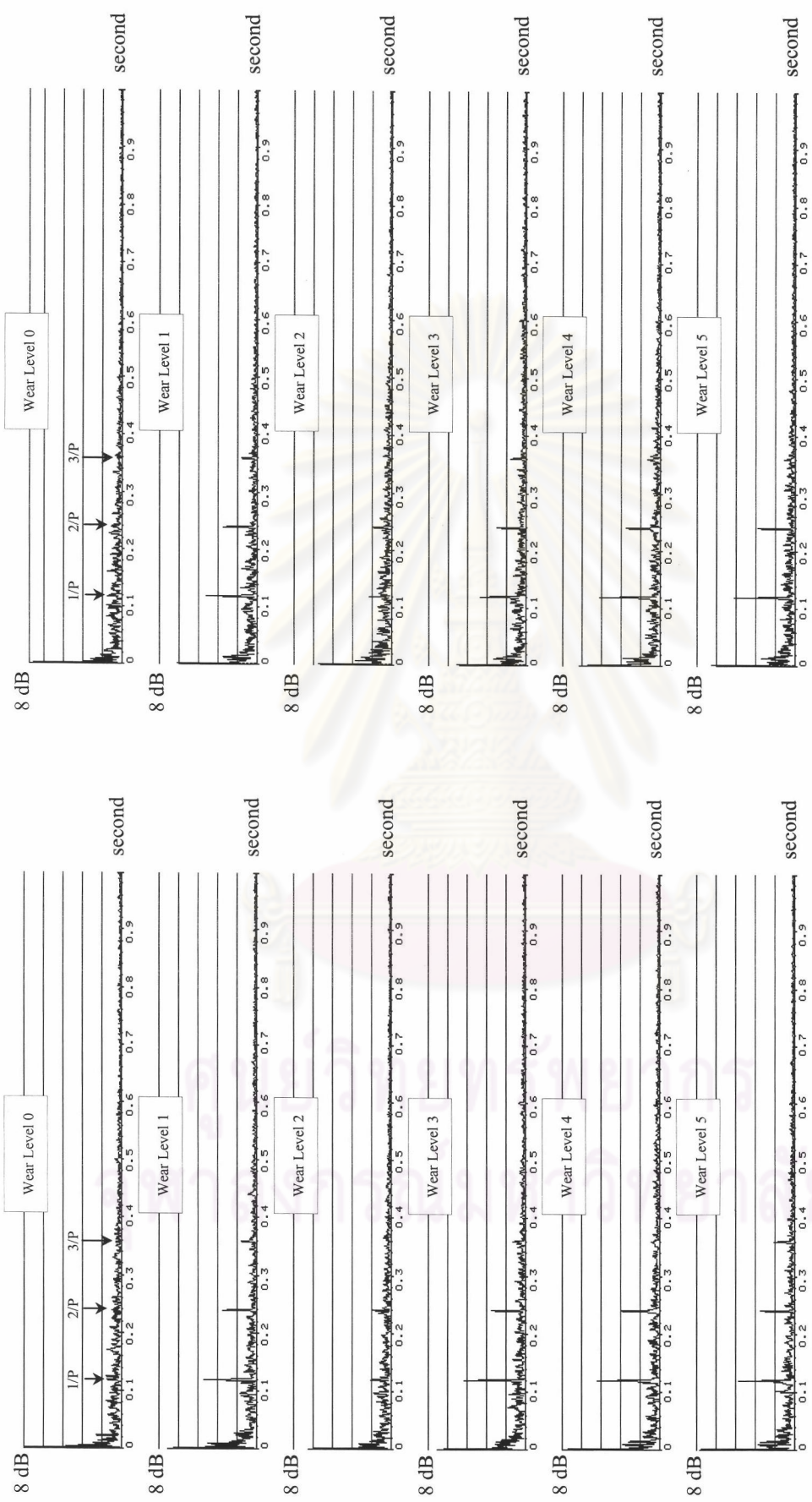
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



เก็บสัญญาณในแนวระดับ

เก็บสัญญาณในแนวตั้ง

รูปที่ 3-15 สัญญาณเซนเซอร์ที่ 340 W เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



เก็บสัญญาณในแนวดิ่ง

เก็บสัญญาณในแนวระดับ

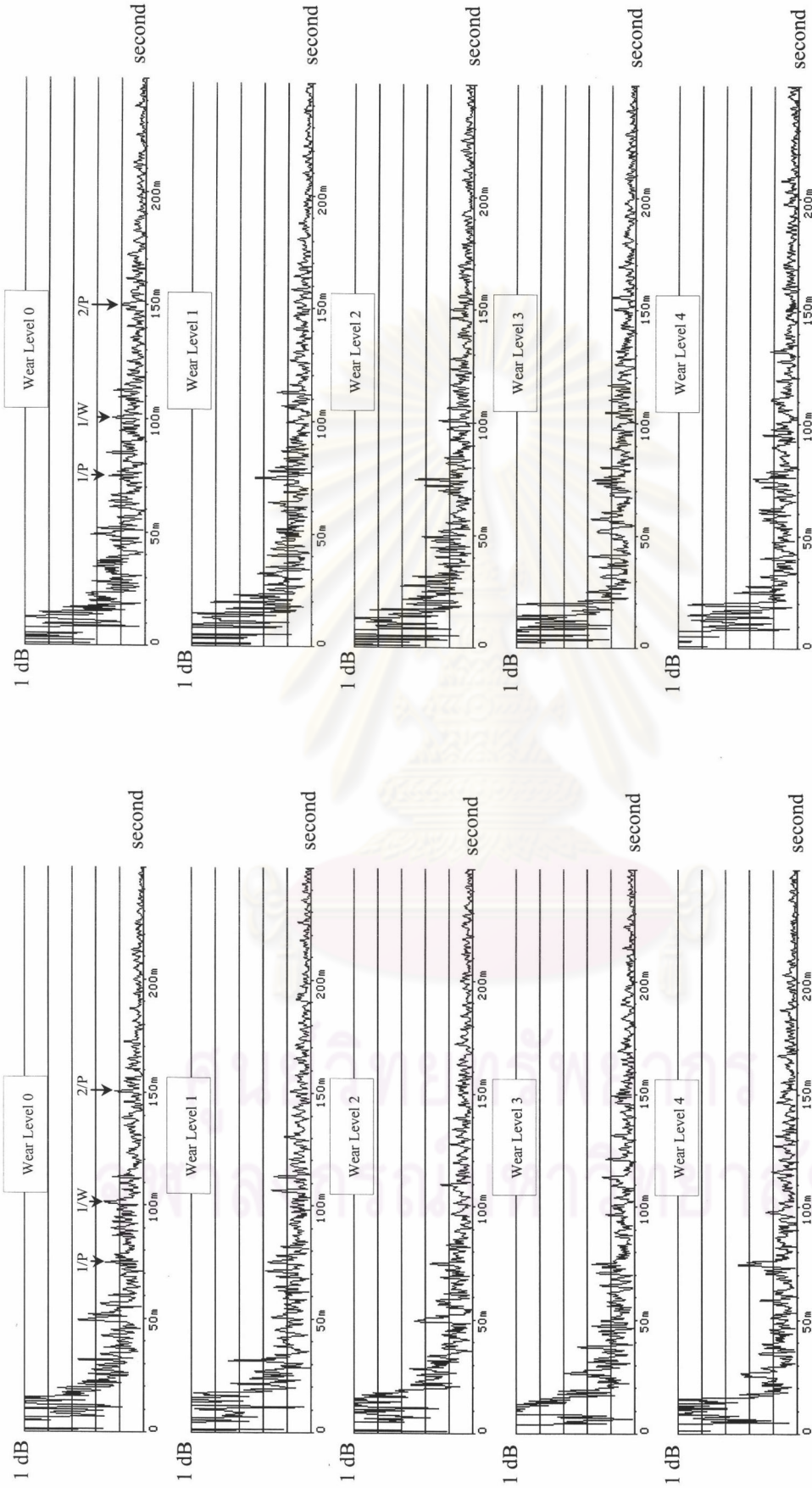
รูปที่ 3-16 สัญญาณเซปัสตรัม ที่สภาวะ 500 RPM ภาระ 340 W เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



เก็บสัญญาณในแนวตั้ง

เก็บสัญญาณในแนวระนาบ

รูปที่ 3-17 สัญญาณเทปสตรีม ที่สภาวะ 500 RPM ภาระ 340 W เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

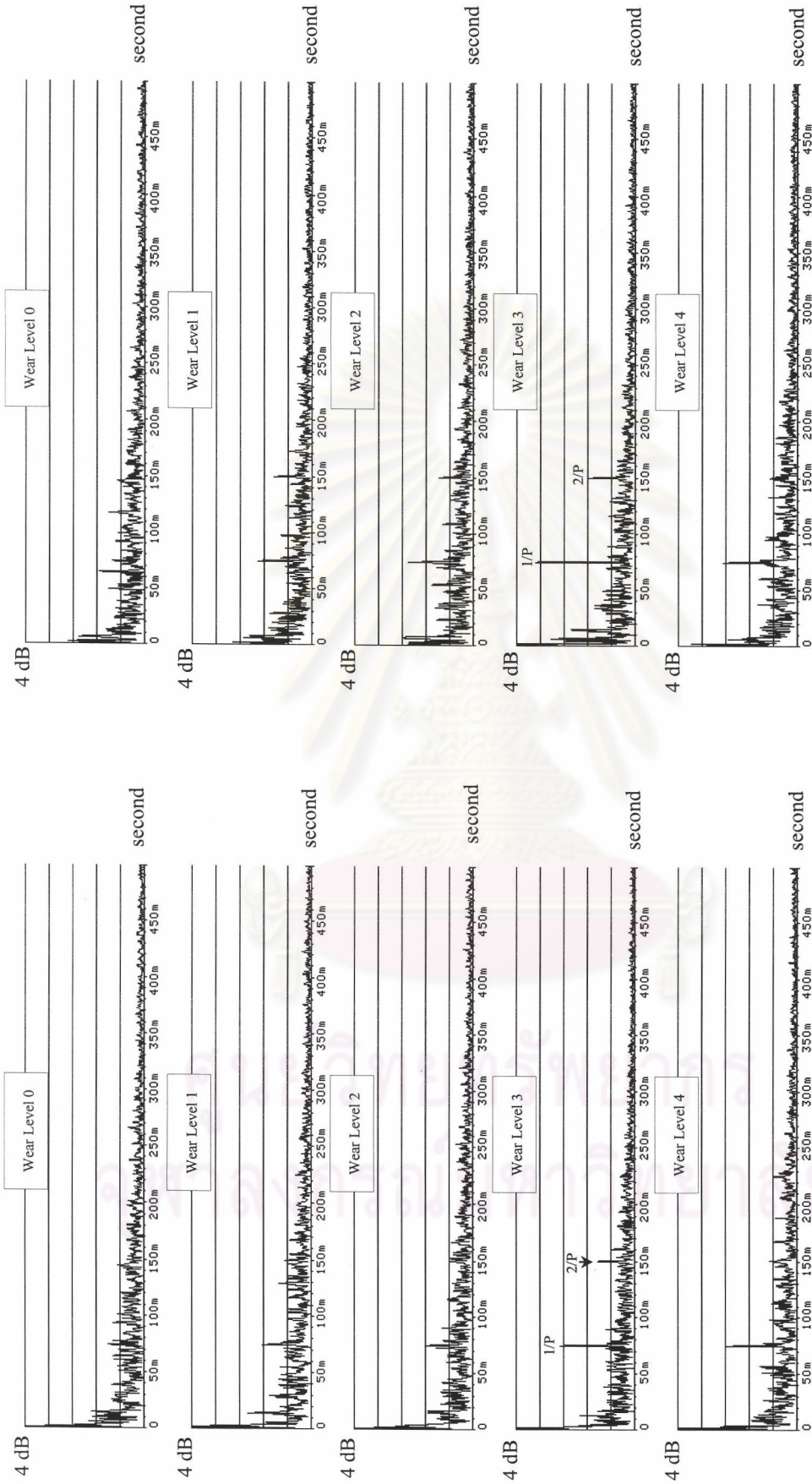


เก็บสัญญาณในแนวตั้ง

เก็บสัญญาณในแนวระดับ

รูปที่ 3-18 สัญญาณเขปสตรัม ที่สภาวะ 800 RPM ภาวะ 340 W เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

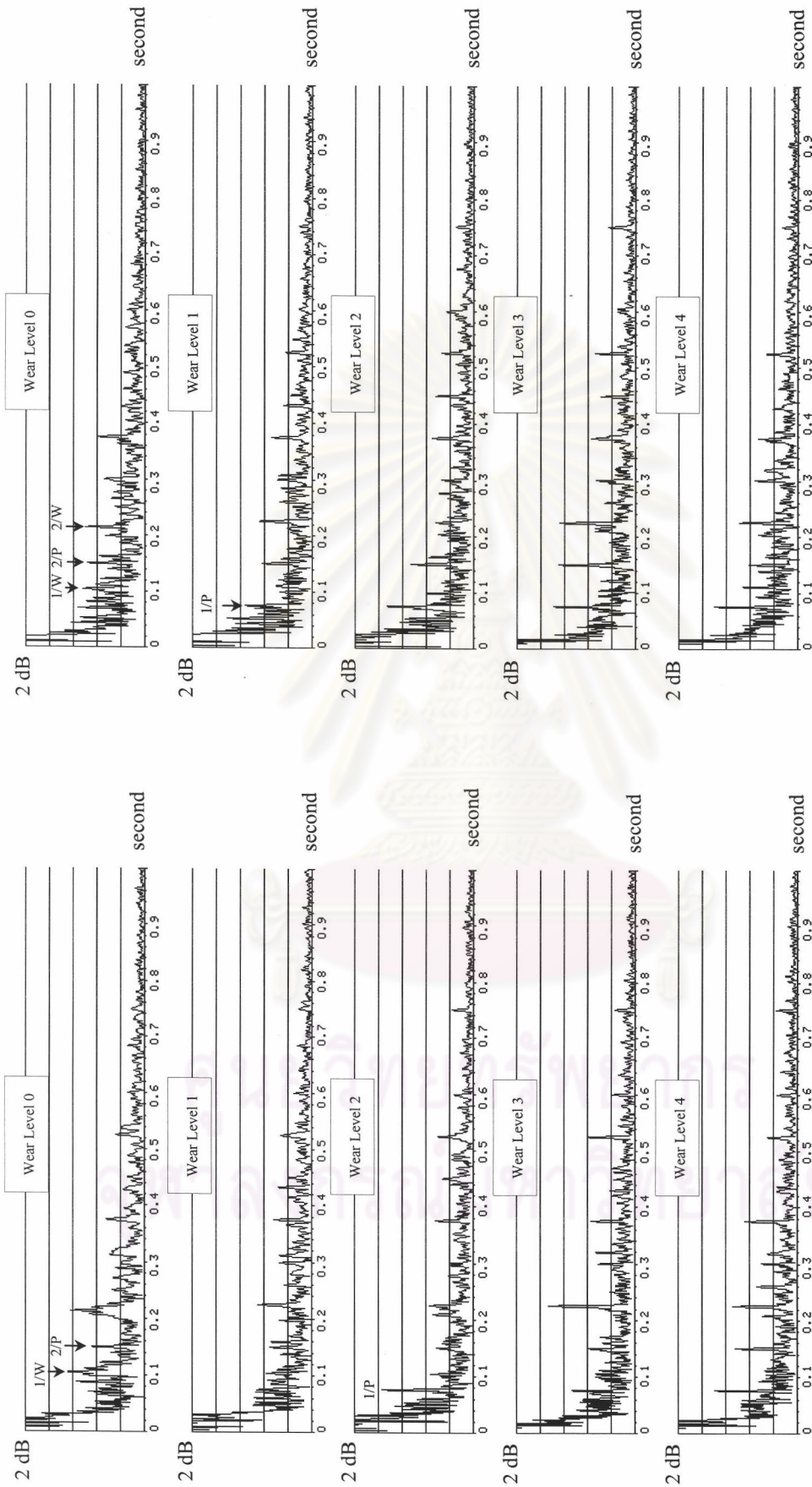




เก็บสัญญาณในแนวตั้ง

เก็บสัญญาณในแนวระดับ

รูปที่ 3-19 สัญญาณเซปัสตรัม ที่สภาวะ 800 RPM ภาระ 340 W เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



เก็บสัญญาณในแนวตั้ง

เก็บสัญญาณในแนวระดับ

รูปที่ 3-20 สัญญาณเซปัสตรัม ที่สภาวะ 800 RPM ภาวะ 340 W เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

### อภิปรายผลของสัญญาณเซปส์ตรัม

จากรูปที่ 3-15 ถึง 3-20 พบว่าสัญญาณที่เก็บโดยวิธีการเก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging มียอดเซปส์ตรัมที่เด่นชัดกว่าสัญญาณที่เก็บโดยวิธี Spectrum Averaging และ Zoom Processing และแกมมิจูดของเซปส์ตรัมที่ควิเฟรนซ์ต่างๆ มิได้เปลี่ยนแปลงตามระดับสีกหรือ การทดลองที่สภาวะ 500 RPM 340 W สัญญาณที่ได้จากวิธีการเก็บสัญญาณแบบ Spectrum Averaging จะพบยอดของเซปส์ตรัมที่ควิเฟรนซ์  $1/P$ ,  $1/W$ ,  $2/P$  และ  $2/W$  ในทุกระดับสีกหรือ ยกเว้นที่ระดับสีกหรือที่ 2 และแกมมิจูดของเซปส์ตรัมที่ควิเฟรนซ์ดังกล่าวมิได้เปลี่ยนแปลงตามระดับสีกหรือ โดยจะพบทั้งสัญญาณที่เก็บในแนวตั้งและสัญญาณที่เก็บในแนวระดับ สัญญาณที่ได้จากวิธีการเก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging จะพบยอดของเซปส์ตรัมเฉพาะที่ควิเฟรนซ์ของเฟืองขับคือที่  $1/P$ ,  $2/P$  และ  $3/P$  ทั้งสัญญาณที่เก็บในแนวตั้งและสัญญาณที่เก็บในแนวระดับ โดย  $1/P$  และ  $2/P$  จากสัญญาณที่เก็บในแนวระดับมีแนวโน้มที่โตขึ้นตามการสีกหรือตั้งแต่ระดับสีกหรือที่ 3 จนถึงระดับสีกหรือที่ 5 ในขณะที่  $3/P$  มีแนวโน้มที่ลดลงหรือตั้งแต่ระดับสีกหรือที่ 3 จนถึงระดับสีกหรือที่ 5 ทั้งสัญญาณที่เก็บในแนวตั้งและแนวระดับ สัญญาณที่เก็บโดยวิธี Zoom Processing จากสัญญาณที่เก็บในแนวตั้งและแนวระดับ พบยอดเซปส์ตรัมที่ควิเฟรนซ์  $1/P$ ,  $1/W$ ,  $2/P$ ,  $2/W$ , และ  $3/W$  โดยยอดเซปส์ตรัมที่แกมมิจูด  $2/P$  เด่นชัดที่สุดในขณะที่ไม่พบยอดที่แกมมิจูดที่  $3/P$  ในทุกระดับสีกหรือยกเว้นระดับสีกหรือที่ 0 กับระดับสีกหรือที่ 4 ทั้งนี้เนื่องจากมาจากยอดของเซปส์ตรัมที่ควิเฟรนซ์ทั้งสองอยู่ใกล้กันมากจึงอาจเกิดการซ้อนทับกันของยอดที่ควิเฟรนซ์ทั้งสอง

การทดลองที่สภาวะ 800 RPM 340 W ยอดของเซปส์ตรัมที่ควิเฟรนซ์ต่างๆ ที่สภาวะนี้ไม่เด่นชัดเท่ากับที่สภาวะ 500 RPM 340 W โดยสัญญาณที่ได้จากการเก็บสัญญาณโดยวิธี Spectrum Averaging จะสังเกตเห็นยอดของเซปส์ตรัมที่เด่นชัดที่ควิเฟรนซ์  $1/P$  เพียงยอดเดียว และไม่เปลี่ยนแปลงตามระดับสีกหรือทั้งสัญญาณที่เก็บในแนวตั้งและแนวระดับ ส่วนการเก็บสัญญาณโดยวิธี Synchronous Time Averaging พบยอดเซปส์ตรัมที่เด่นชัดกว่าสัญญาณที่เก็บโดยวิธี Spectrum Averaging โดยพบยอดเซปส์ตรัมที่ควิเฟรนซ์  $1/P$  และ  $2/P$  ซึ่งจะเด่นชัดมากในสัญญาณที่เก็บในแนวระดับที่ระดับสีกหรือที่ 3 ส่วนสัญญาณที่ได้จากการเก็บสัญญาณโดยวิธี Zoom Processing จะพบยอดของเซปส์ตรัมที่ควิเฟรนซ์  $1/P$ ,  $1/W$ ,  $2/P$ ,  $2/W$  และ  $3/P$  โดยยอดเซปส์ตรัมที่  $1/P$ ,  $2/P$  และ  $3/P$  จะมีความเด่นชัดมากในระดับสีกหรือที่ 3 ของสัญญาณที่เก็บในแนวระดับ และระดับสีกหรือที่ 4 ของสัญญาณที่เก็บในแนวตั้ง

การเก็บสัญญาณด้วยกระบวนการขยายความละเอียดบนโดเมนความถี่ พิสัยของควิเฟรนซ์จะกว้างขึ้น ความละเอียดจึงลดลงทำให้ยอดเซปส์ตรัมปรากฏที่ควิเฟรนซ์ซึ่งไม่ตรงกับคาบการหมุนของทั้งเฟืองขับและเฟืองตาม