

## บทที่ 4

### การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน

การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนเพื่อระบุว่าการสั่นหรือของพื้นเพียยังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้หรือไม่ กระทำโดยการแสดงค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญและมีส่วนเกี่ยวข้องกับการสั่นสะเทือนของชุดเพียที่มีระดับของการสั่นหรือต่างๆ กัน เพื่อสังเกตดูแนวโน้มความเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ตามความรุนแรงของปัญหาการสั่นหรือรวมทั้งผลของระดับภาระ ความเร็วรอบหมุน และทิศทางการวัดสัญญาณที่มีต่อค่าพารามิเตอร์ที่เลือกใช้ การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์เปรียบเทียบกับสัญญาณที่ใช้วิธีเก็บสัญญาณแตกต่างกัน 3 วิธีคือ การเฉลี่ยบนโดเมนความถี่ กระบวนการขยายความละเอียดของโดเมนความถี่ และการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะ

#### สัญญาณบนโดเมนเวลา

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ

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

ค่าพารามิเตอร์ใช้ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์แต่ละตัวที่ได้จากการเก็บสัญญาณ 5 ครั้ง ในแต่ละจุดทุกๆ 120 นาที การเพิ่มขึ้นของเวลาใช้แทนการสั่นหรือที่เพิ่มขึ้น รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ทั้ง 4 ชนิดและการสั่นหรือแสดงด้วยการลากเส้นเชื่อมต่อแต่ละจุด เส้นกราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่มีต่อการสั่นหรือของพื้นเพียที่เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป

กราฟที่แสดงแกนตั้งแสดงขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณบนโดเมนเวลาส่วนแกนนอนแสดงเวลาที่ใช้ไปในการทดลอง ซึ่งระดับการสั่นหรือจะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ไปในการทดลอง เส้นที่ลากตั้งฉากกับแกนนอนแสดงระดับการสั่นหรือต่างๆ ของเพีย โดยในการทดลองที่ความเร็วรอบเพีย 500 RPM มีระดับการสั่นหรือทั้งหมด 6 ระดับ ในขณะที่การทดลองที่ความเร็วรอบเพีย 800 RPM มีระดับการสั่นหรือ

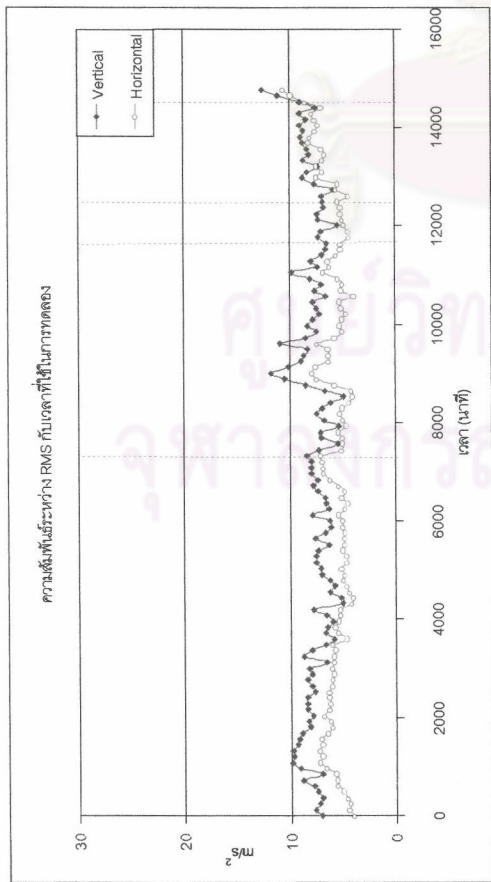
ทั้งหมดเพียง 5 ระดับ ในกราฟหนึ่งๆแสดงแอมพลิจูดเปรียบเทียบกับระหว่างสัญญาณที่เก็บในแนวดิ่งและสัญญาณที่เก็บในแนวระดับ

#### ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณบนโดเมนเวลาและเวลาที่ใช้ในการทดลอง

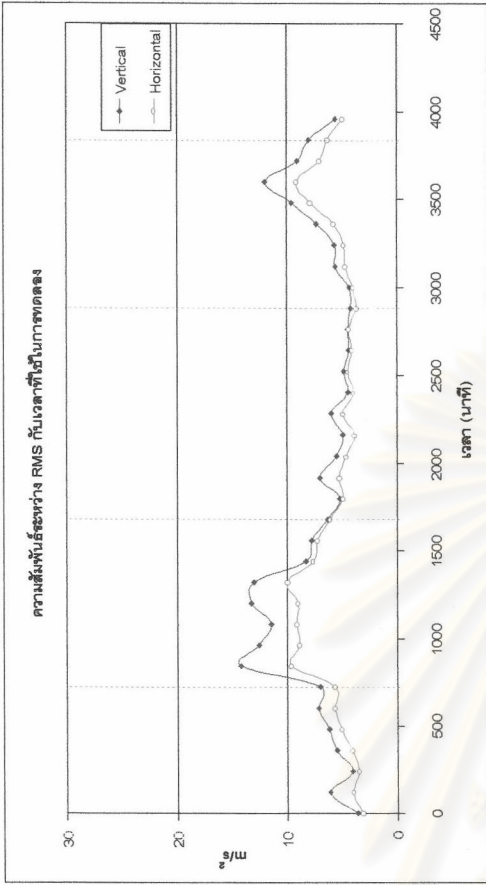
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสัญญาณบนโดเมนเวลาและเวลาที่ใช้ในการทดลองในแต่ละรูปประกอบด้วย 4 รูปย่อยตามระดับภาระและวิธีการเก็บสัญญาณ ในแต่ละรูปย่อยแสดงการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณที่วัดในแนวระดับ (Horizontal) และแนวดิ่ง (Vertical) ตามลำดับดังต่อไปนี้

- 1) ความสัมพันธ์ระหว่างค่า RMS และเวลาที่ใช้ในการทดลอง
  - รูปที่ 4-1 : ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที
  - รูปที่ 4-2 : ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที
- 2) ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Peak และเวลาที่ใช้ในการทดลอง
  - รูปที่ 4-3 : ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที
  - รูปที่ 4-4 : ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที
- 3) ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Crest Factor และเวลาที่ใช้ในการทดลอง
  - รูปที่ 4-5 : ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที
  - รูปที่ 4-6 : ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที
- 4) ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Kurtosis และเวลาที่ใช้ในการทดลอง
  - รูปที่ 4-7 : ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที
  - รูปที่ 4-8 : ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



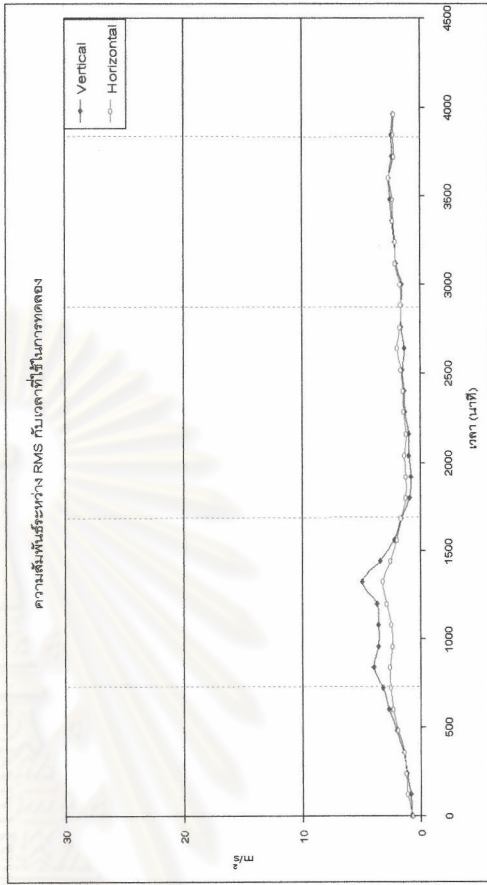
เก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ที่ภาวะ 200 วัตต์



เก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ที่ภาวะ 340 วัตต์

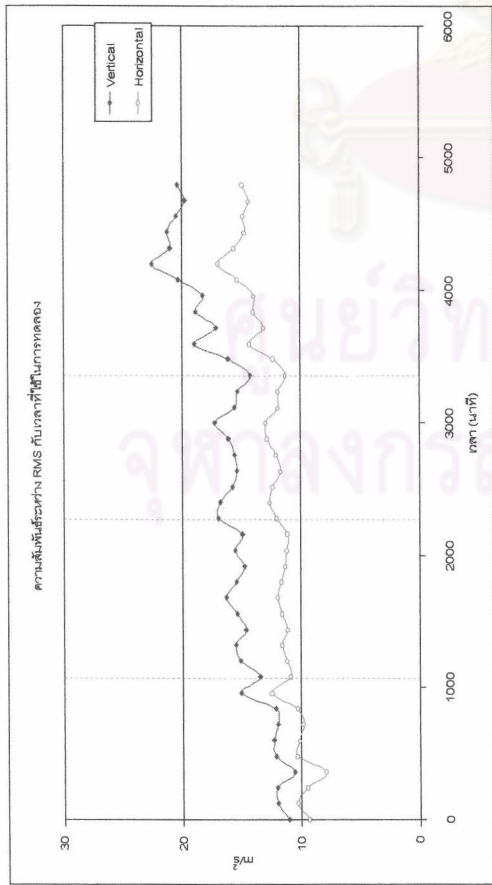


เก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ที่ภาวะ 200 วัตต์

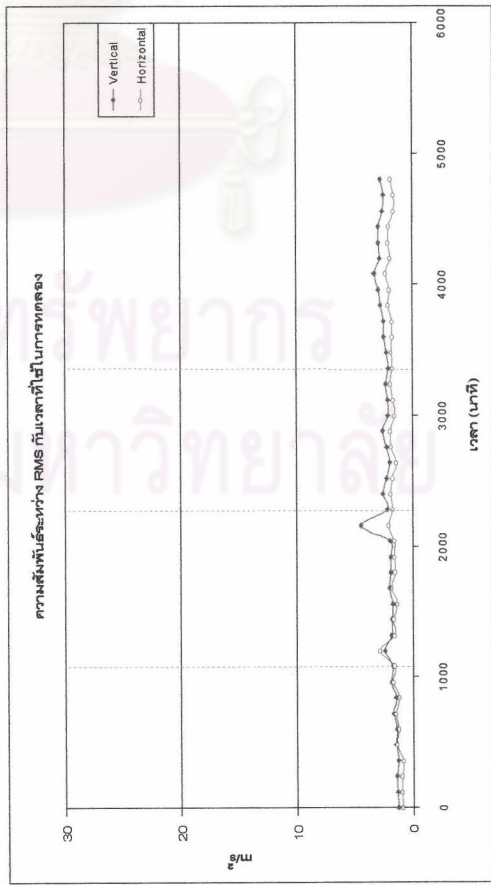


เก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ที่ภาวะ 340 วัตต์

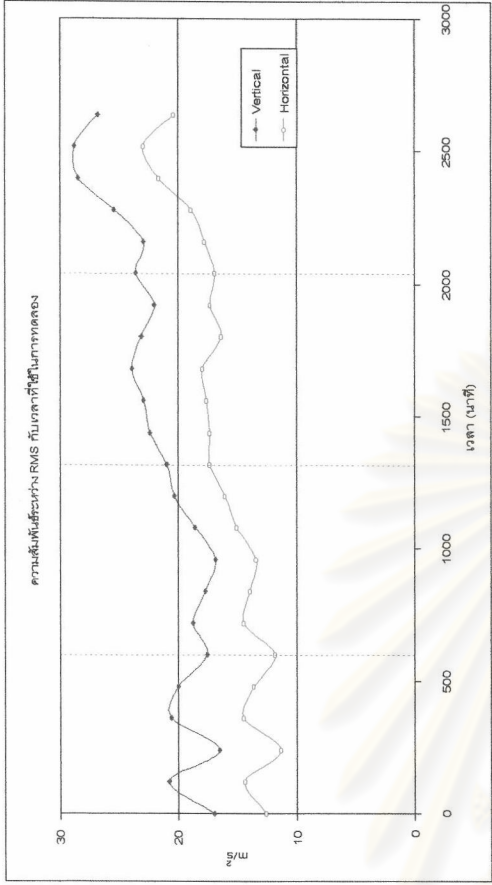
รูปที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า RMS กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่ความเร็วรอบ 500 RPM



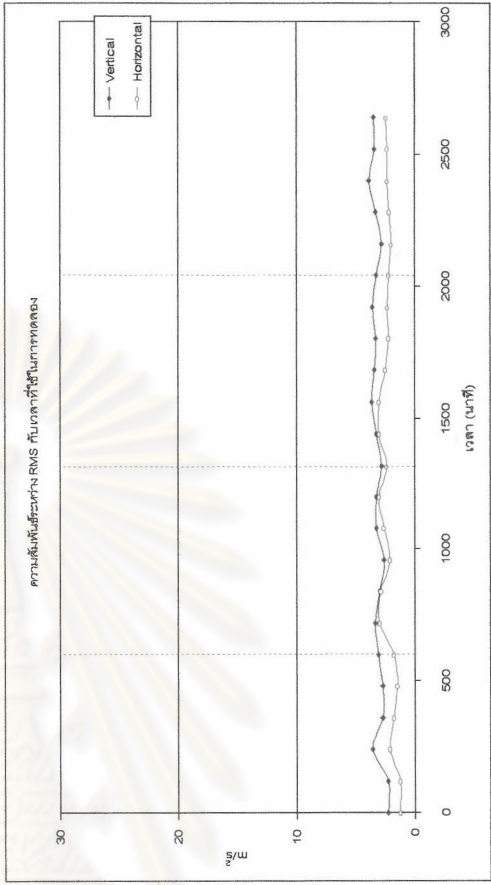
เก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ที่ภาวะ 200 วัตต์



เก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ที่ภาวะ 200 วัตต์

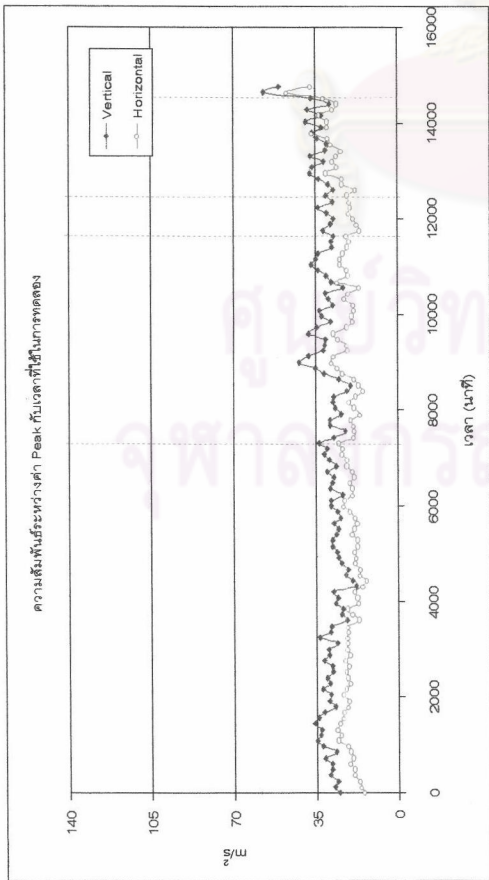


เก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ที่ภาวะ 340 วัตต์

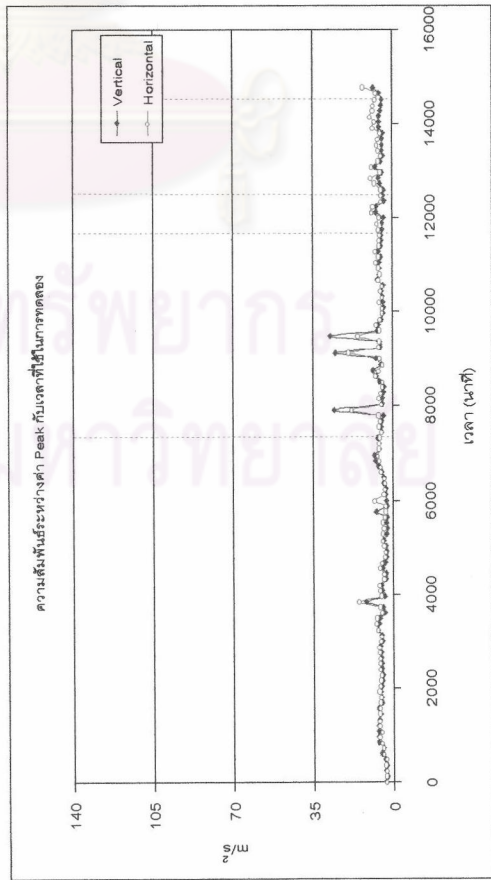


เก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ที่ภาวะ 340 วัตต์

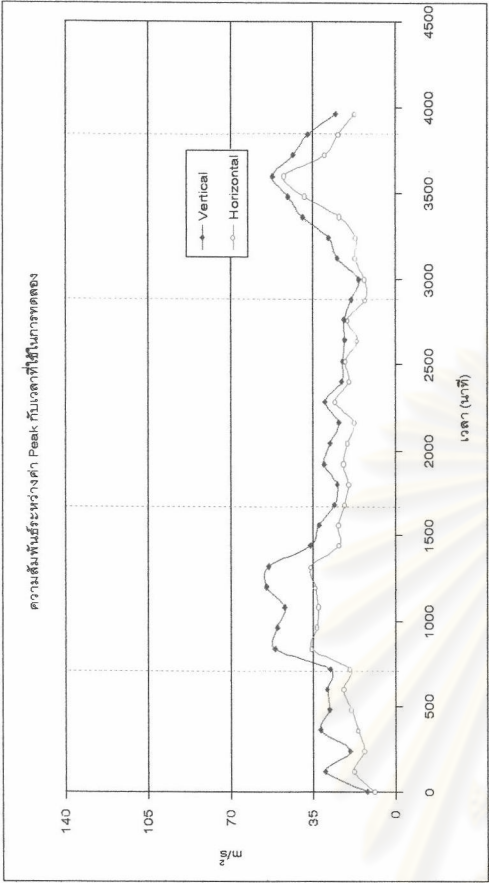
รูปที่ 4-2 ความสั่นพ้องระหว่างค่า RMS กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่ความเร็วรอบ 800 RPM



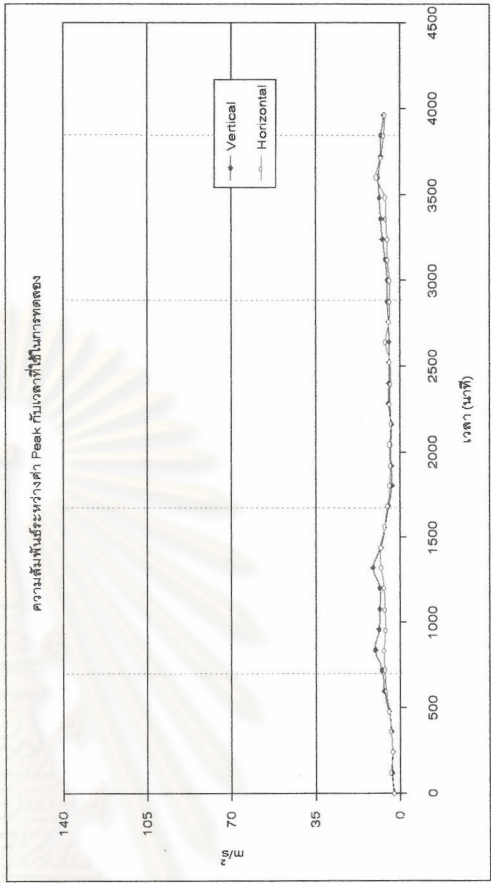
เก็บสัญญาณแบบ Spectrum Averaging ที่ภาวะ 200 วัตต์



เก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ที่ภาวะ 200 วัตต์

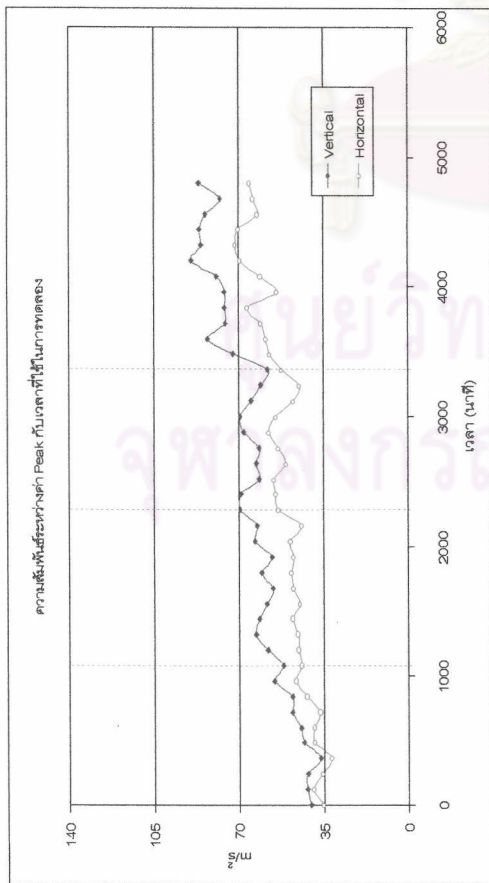


เก็บสัญญาณแบบ Spectrum Averaging ที่ภาวะ 340 วัตต์

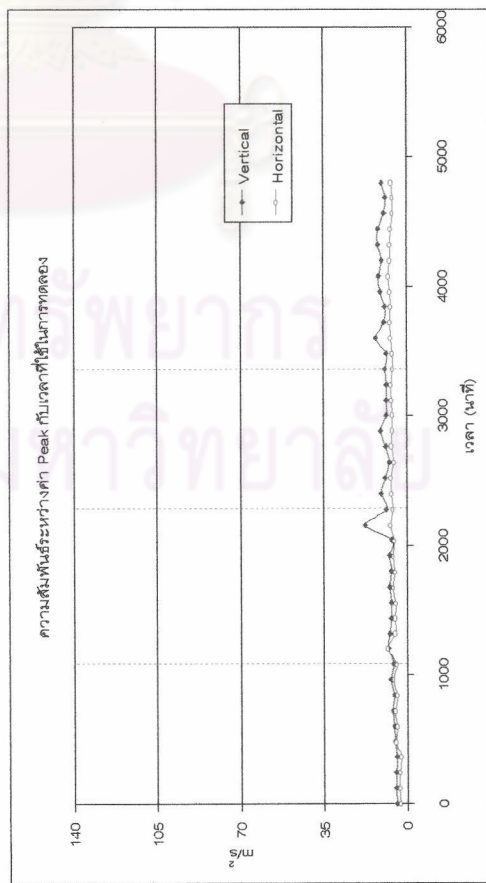


เก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ที่ภาวะ 340 วัตต์

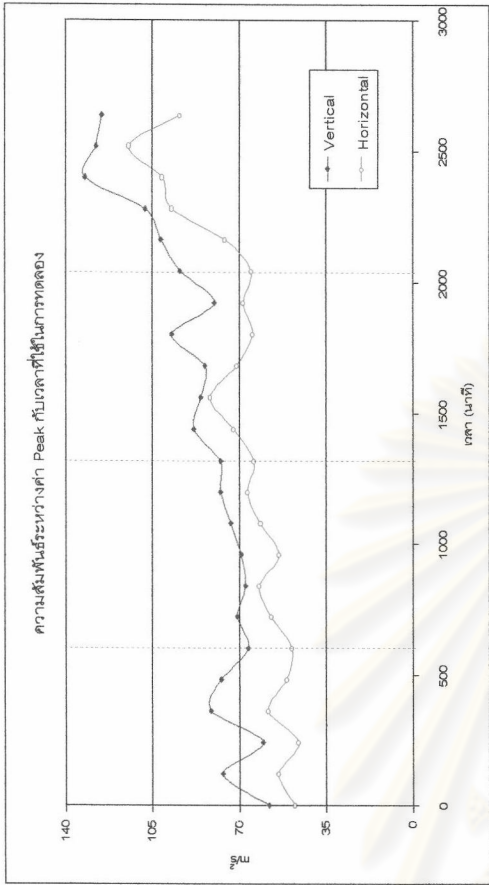
รูปที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Peak กับเวลาที่ใช้ในการทดสอบที่ความเร็วรอบ 500 RPM



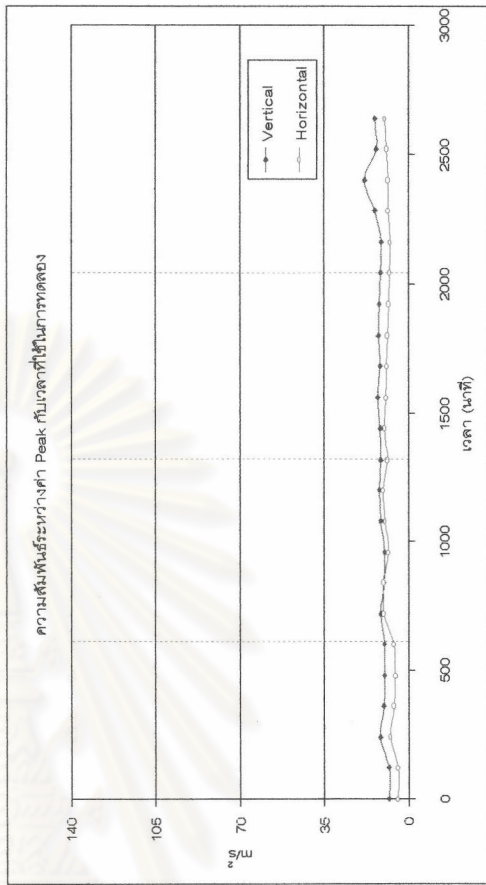
เก็บสัญญาณแบบ Spectrum Averaging ที่ภาระ 200 วัตต์



เก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ที่ภาระ 200 วัตต์

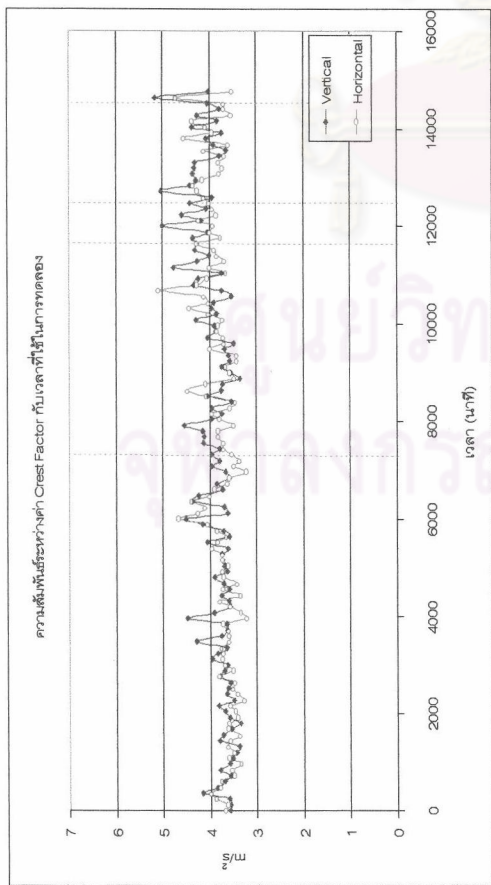


เก็บสัญญาณแบบ Spectrum Averaging ที่ภาระ 340 วัตต์

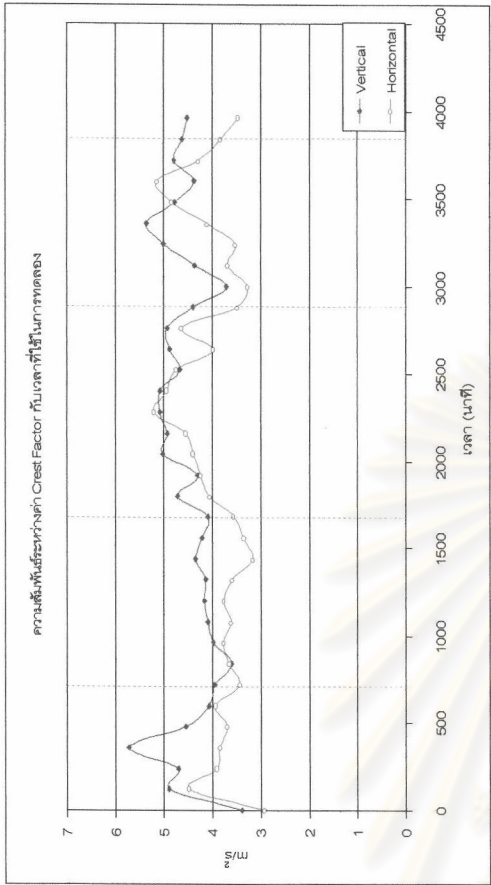


เก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ที่ภาระ 340 วัตต์

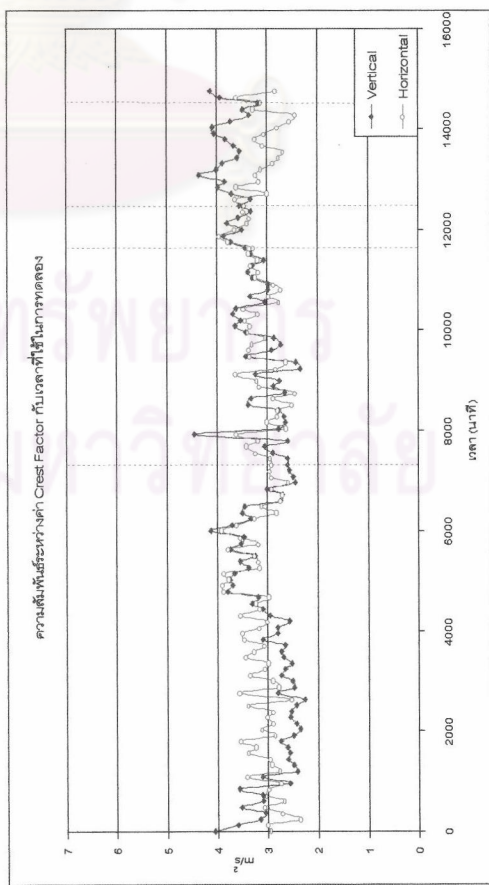
รูปที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Peak กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่ความเร็วรอบ 800 RPM



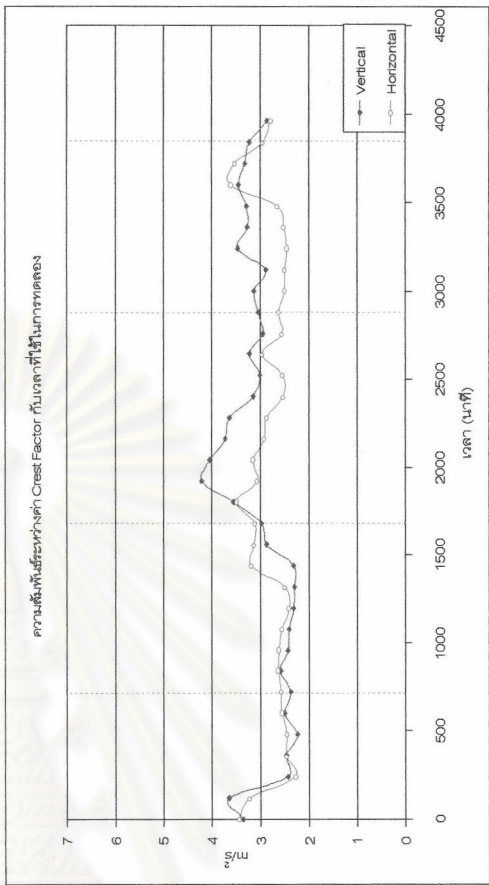
เก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ที่ภาวะ 200 วัตต์



เก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ที่ภาวะ 340 วัตต์

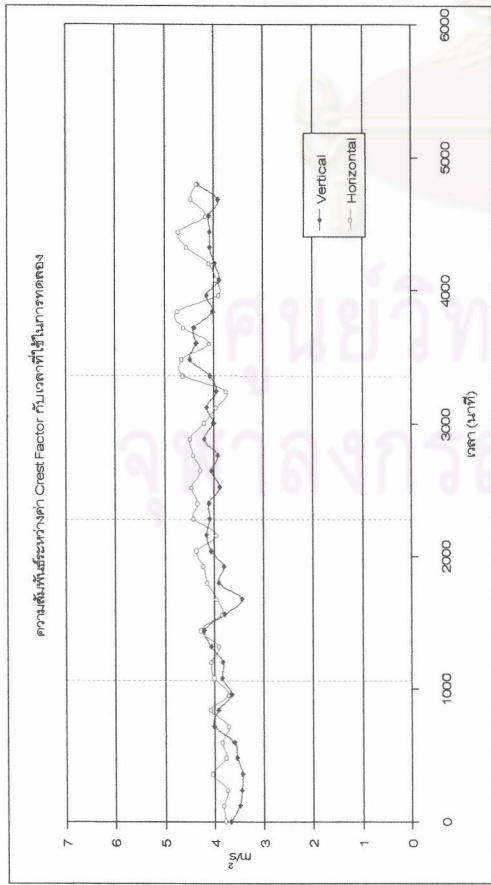


เก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ที่ภาวะ 200 วัตต์

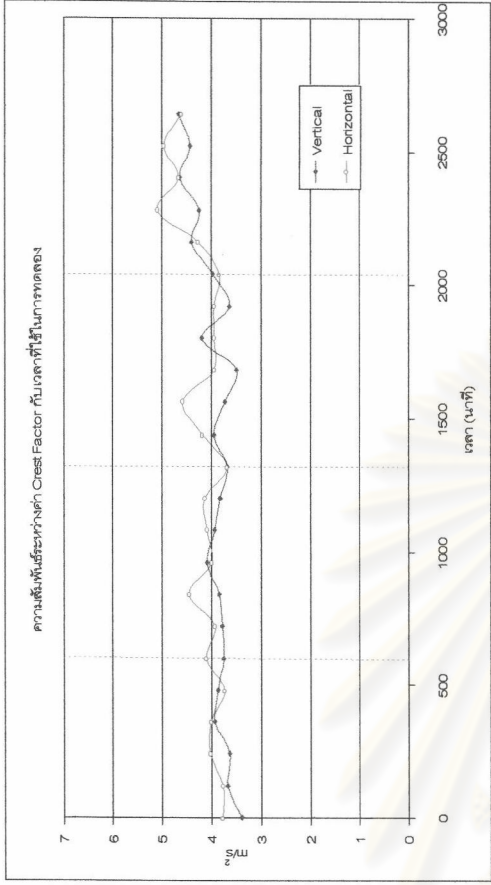


เก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ที่ภาวะ 340 วัตต์

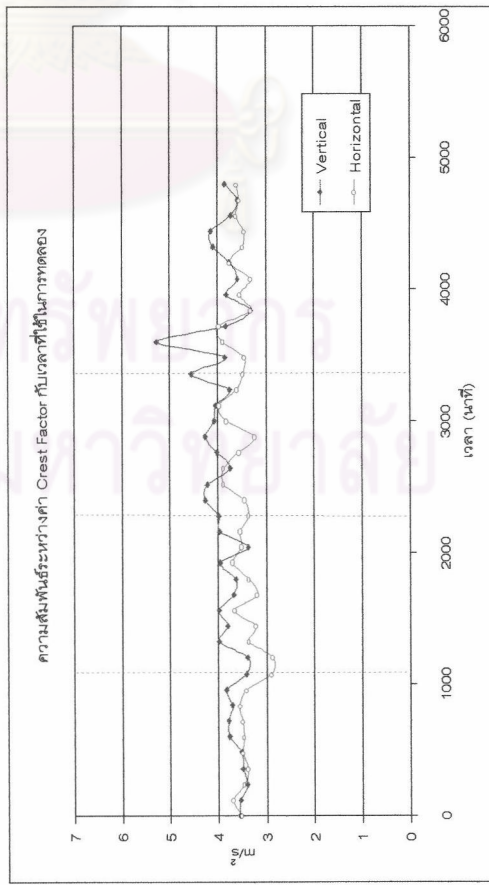
รูปที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Crest Factor กับเวลาที่ใช้นในการทดลองที่ความเร็วรอบ 500 RPM



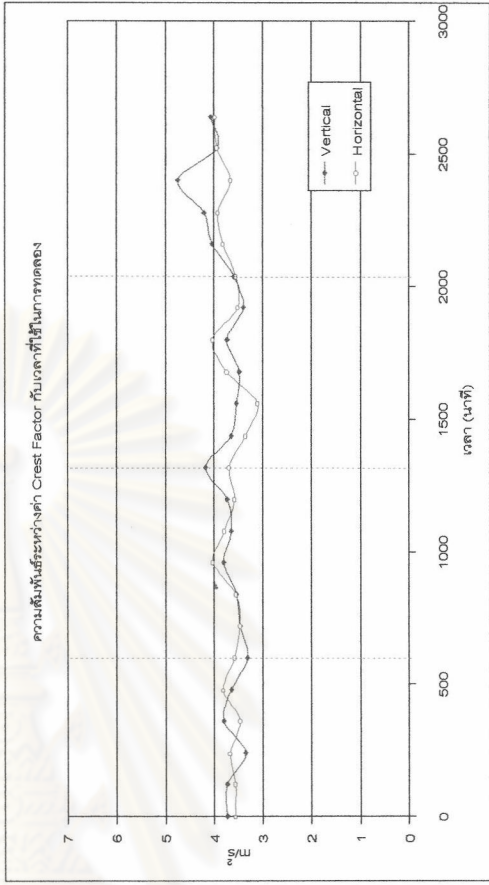
เก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ที่ภาวะ 200 วัตต์



เก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ที่ภาวะ 340 วัตต์



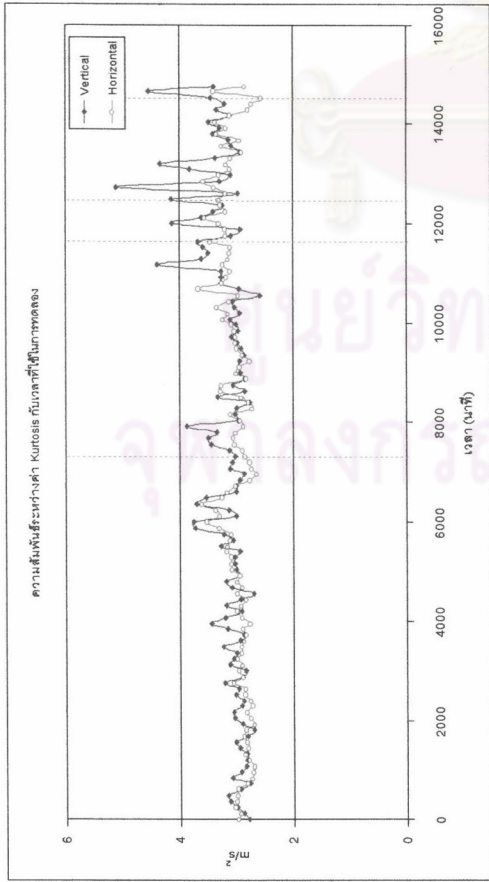
เก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ที่ภาวะ 200 วัตต์



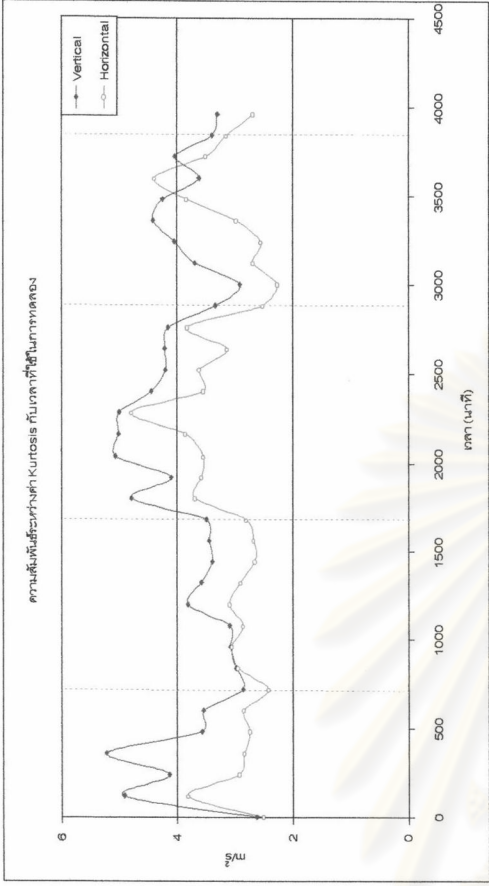
เก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ที่ภาวะ 340 วัตต์

รูปที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Crest Factor กับเวลาที่ใช้ในการทดสอบที่ความเร็วรอบ 800 RPM

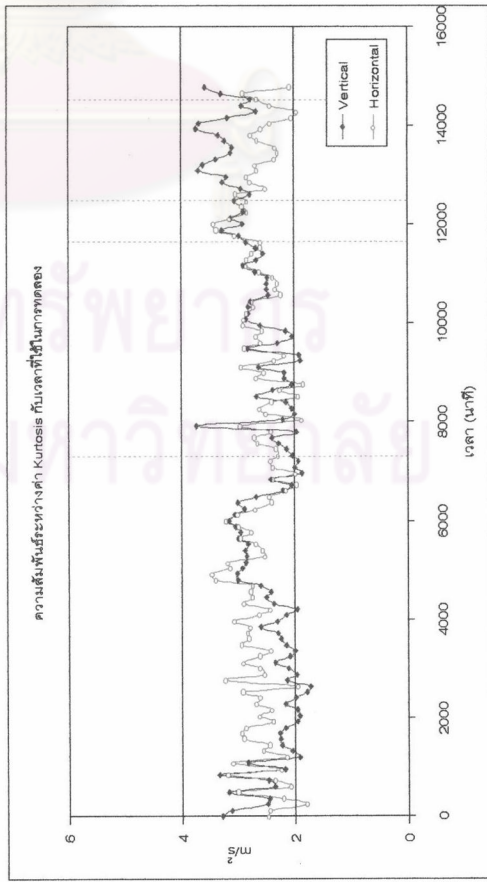




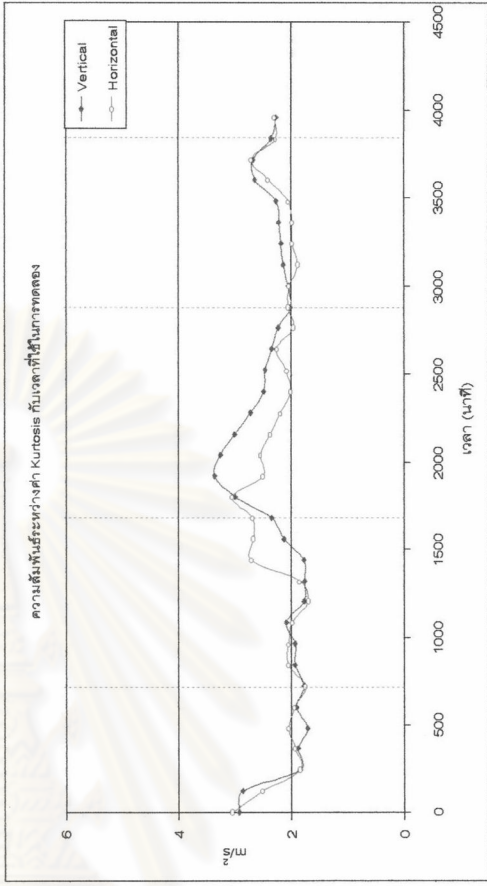
เก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ที่ภาวะ 200 วัตต์



เก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ที่ภาวะ 340 วัตต์

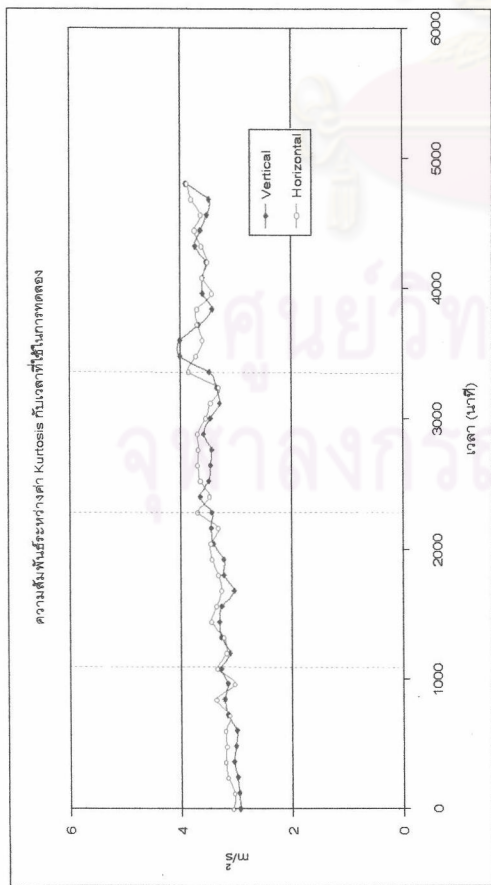


เก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ที่ภาวะ 500 วัตต์

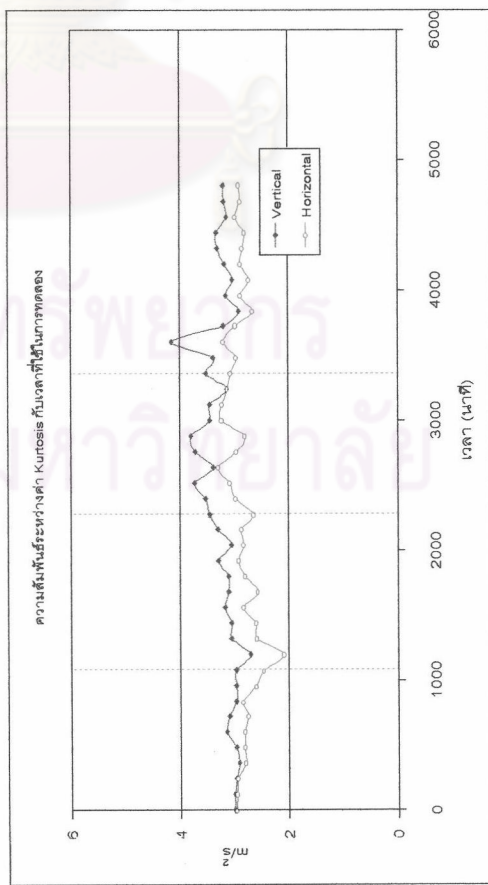


เก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ที่ภาวะ 340 วัตต์

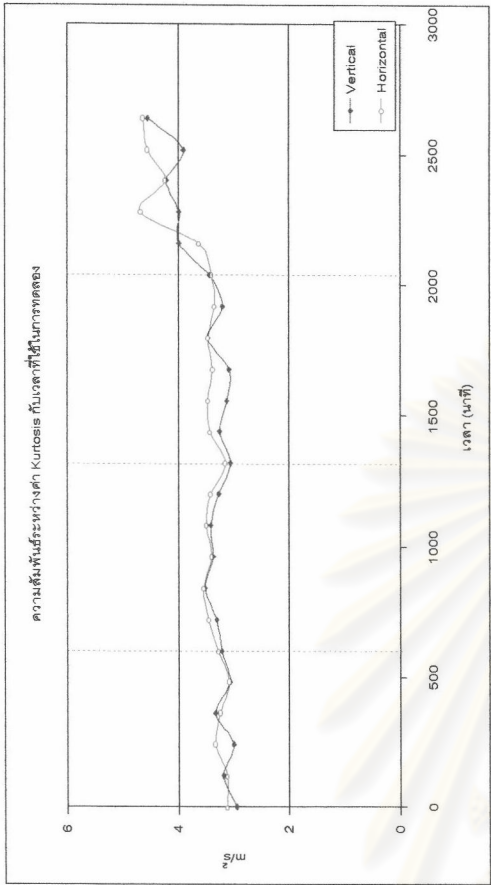
รูปที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Kurtosis กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่ความเร็วรอบ 500 RPM



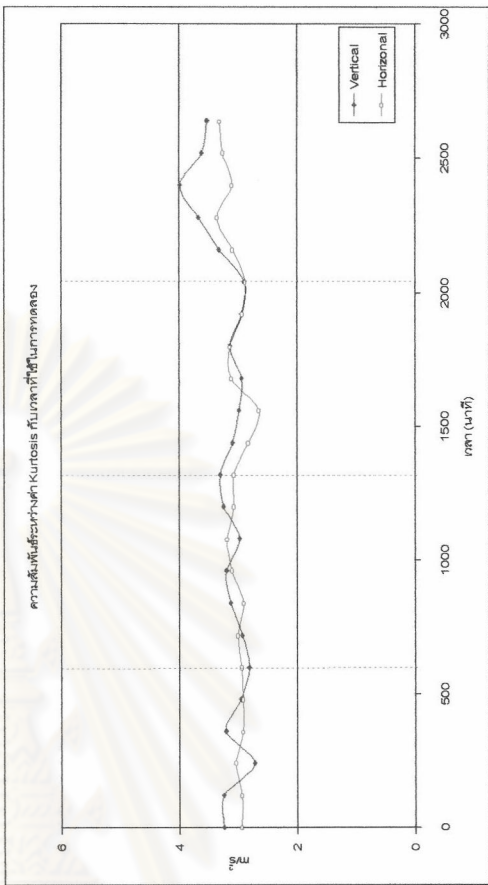
เก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ที่ภาวะ 200 วัตต์



เก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ที่ภาวะ 340 วัตต์



เก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ที่ภาวะ 800 วัตต์



เก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ที่ภาวะ 800 วัตต์

รูปที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Kurtosis กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่ความเร็วรอบ 800 RPM

## ผลและการวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนเวลา

### ผลและการวิเคราะห์ค่า RMS และ Peak

ค่า RMS และ Peak จะแยกพิจารณาการเปลี่ยนแปลงเป็น 4 กรณี ตามระดับสีกหรือวิธีการเก็บสัญญาณ ความเร็วรอบมอเตอร์ และระดับของภาระ

#### 1. แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า RMS และ Peak เมื่อระดับสีกหรือเปลี่ยน

ค่า RMS มีการเปลี่ยนแปลงที่สภาวะการทดลองต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- 1) ที่สภาวะ 500 RPM 200 W จากรูปที่ 4-1, 4-3 จะเห็นได้ว่าแนวโน้มแอมพลิจูดของ RMS และ Peak โดยรวมจากวิธีการเก็บสัญญาณทั้ง 2 แบบ คือแบบ Spectrum Averaging และ Synchronous Time Averaging คล้ายคลึงกัน คือมีแนวโน้มที่ค่อนข้างคงที่ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงที่เด่นชัด แต่มีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงการสีกหรือมาก ๆ ทั้งในแนวตั้งและแนวระดับ
- 2) ที่สภาวะ 500 RPM 340 W จากรูปที่ 4-1, 4-3 จะเห็นว่ามีความสอดคล้องกันของแนวโน้มของค่าแอมพลิจูดของ RMS และ Peak ในทั้ง 2 วิธีการเก็บสัญญาณ และทั้งในแนวตั้งและแนวระดับ โดยวิธี Spectrum Averaging จะชัดเจนกว่า คือมีแนวโน้มที่สูงขึ้นในช่วงตั้งแต่เริ่มทดลองไปจนถึงระดับการสีกหรือที่ 1.5 หรือที่เวลาประมาณ 1,250 นาที จากนั้นแอมพลิจูดของสัญญาณมีแนวโน้มลดลงจนถึงที่เวลาประมาณ 2,880 นาทีหรือประมาณระดับการสีกหรือที่ 3 ในวิธีการเก็บสัญญาณแบบ Spectrum Averaging และที่เวลาประมาณ 1,920 นาที ในวิธีการเก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging จากนั้นแนวโน้มจะสูงขึ้นจนถึงที่เวลาประมาณ 3,600 นาที และกลับลดลงอีกครั้งจนถึงระดับการสีกหรือสุดท้ายคือระดับที่ 5 ที่เวลาประมาณ 3,960 นาที
- 3) ที่สภาวะ 800 RPM 200 W จากรูปที่ 4-2, 4-4 เห็นการเปลี่ยนแปลงของแนวโน้มที่ชัดเจน แอมพลิจูดของ RMS และ Peak มีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่เริ่มทดลองไปจนถึงระดับสีกหรือสุดท้ายหรือที่เวลาประมาณ 4,800 นาที ในทั้ง 2 วิธีการเก็บสัญญาณและทั้งในแนวตั้งและแนวระดับ โดยมีความแปรปรวนของค่า RMS และ Peak ขึ้นลงมากในวิธีการเก็บสัญญาณแบบ Spectrum Averaging
- 4) ที่สภาวะ 800 RPM 340 W จากรูปที่ 4-2, 4-4 เห็นการเปลี่ยนแปลงของแนวโน้มเหมือนในสภาวะ 800 RPM 200 W แต่ไม่ชัดเจนเท่า และจะมีความแปรปรวนค่อนข้างมากในกรณีของการเก็บสัญญาณแบบ Spectrum Averaging

## 2. ผลของการเก็บสัญญาณด้วยวิธีที่ต่างกัน

ค่าแอมพลิจูดของ RMS และ Peak ที่ได้จากการเก็บสัญญาณด้วยวิธีการทั้งสองวิธีมีแนวโน้มที่สอดคล้องกัน แต่การเก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging จะให้ค่า RMS และ Peak ที่สูงกว่า เนื่องจากค่า RMS และ Peak จากวิธีดังกล่าวหามาจากสัญญาณบนโดเมนเวลาเพียงชุดเดียว ในขณะที่ ค่า RMS และ Peak จากวิธี Synchronous Time Averaging หามาจากค่าเฉลี่ยของสัญญาณบนโดเมนเวลาจำนวน 100 ชุด ที่จังหวะตรงกันทำให้ความแปรปรวนของสัญญาณลดลงอย่างมาก กรณีของความเร็รรอบ 800 RPM ค่า RMS และ Peak ที่ได้จากวิธี Spectrum Averaging มีค่ามากกว่า ค่า RMS และ Peak ที่ได้จากวิธี Synchronous Time Averaging 10 เท่า จึงสอดคล้องกับทฤษฎีที่กล่าวว่า “การเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะสามารถลดขนาดของสัญญาณรบกวนให้เหลือเพียง  $1/\sqrt{N_A}$  เท่า” เมื่อ  $N_A$  คือจำนวนชุดสัญญาณที่นำมาเฉลี่ย [3]

## 3. การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเมื่อความเร็วรอบของมอเตอร์เปลี่ยน

ที่ความเร็วรอบมอเตอร์ 800 RPM จะให้ขนาดแอมพลิจูดของ RMS และ Peak และแนวโน้มที่ดีกว่าที่ความเร็วรอบ 500 RPM ในกรณีของ Spectrum Averaging ที่ 800 RPM จะให้ค่า RMS และ Peak ที่สูงกว่าที่ 500 RPM ประมาณ 2 เท่าที่ภาระ 200 W และประมาณ 5 เท่าที่ภาระ 340 W ในขณะที่วิธีการเก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ที่ 800 RPM จะให้ค่า RMS และ Peak ที่สูงกว่าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น สิ่งนี้แสดงให้เห็นว่าที่ความเร็ว 800 RPM อัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนมีค่าน้อยกว่าที่ความเร็ว 500 RPM

## 4. การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเมื่อระดับของภาระเปลี่ยน

ที่ 500 RPM ที่ความเร็วรอบนี้โดยรวมขนาดของสัญญาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มภาระ การทดลอง และการเปลี่ยนแปลงของภาระมีผลต่อแนวโน้มของสัญญาณ นั่นคือแนวโน้มของสัญญาณจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบไปบ้างเมื่อภาระเปลี่ยน

ที่ 800 RPM ที่ความเร็วรอบนี้รูปแบบของแนวโน้มแอมพลิจูด RMS และ Peak ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเปลี่ยนภาระ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของภาระมีผลต่อขนาดแอมพลิจูดของ RMS และ Peak เท่านั้น คือที่ภาระ 340 W ให้ค่า RMS และ Peak ที่สูงกว่าที่ 200 W เล็กน้อย

การเพิ่มภาระการทดลองจะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของแอมพลิจูดน้อยกว่าการเพิ่มความเร็วรอบ

### ผลและการวิเคราะห์ค่า Crest Factor

ค่า Crest Factor เป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงการปรากฏพัลส์ชั่วขณะในสัญญาณบนโดเมนเวลา พิจารณาเป็น 4 กรณีตามสภาวะการทดลองดังนี้

1. ที่สภาวะ 500 RPM 200 W แนวโน้มของแอมพลิจูดของ Crest Factor ค่อนข้างคงที่หรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามระดับการสึกหรอแต่จะมีการปรับขึ้นๆ ลงๆ ในทั้ง 2 วิธีการเก็บสัญญาณและทั้งในแนวตั้งและแนวระดับ เช่นเดียวกับ RMS
2. ที่สภาวะ 500 RPM 340 W แนวโน้มของแอมพลิจูดของ Crest Factor ในกรณีของ Spectrum Averaging ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงที่เด่นชัดโดยมีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามการสึกหรอ โดยรวมเปลี่ยนแปลงไปมาอยู่ที่ช่วงประมาณ 3-5 ในทั้ง 2 วิธีการเก็บสัญญาณและทั้งในแนวตั้งและแนวระดับ
3. ที่สภาวะ 800 RPM 200 W แนวโน้มแอมพลิจูดของ Crest Factor ที่สภาวะนี้โดยรวมแนวโน้มมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยทั้งสัญญาณในแนวตั้งและแนวระดับ ในกรณีของการเก็บสัญญาณแบบ Spectrum Averaging พบการเพิ่มขึ้นของแนวโน้มตามการสึกหรอที่ชัดเจนกว่าการเก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ทั้งสัญญาณในแนวตั้งและแนวระดับ
4. ที่สภาวะ 800 RPM 340 W แอมพลิจูดของ Crest Factor ที่สภาวะนี้โดยรวมมีค่าค่อนข้างคงที่ตั้งแต่เริ่มทดลองจนถึงระดับสึกหรอที่ 3 หรือที่เวลาประมาณ 2,040 นาที จากนั้นพบแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นชัดเจนจนถึงระดับสึกหรอที่ 4 ในทั้ง 2 วิธีการเก็บสัญญาณ

### ผลและการวิเคราะห์ค่า Kurtosis

ค่า Kurtosis เป็นพารามิเตอร์ทางสถิติโมเมนต์อันดับที่ 4 ใช้สำหรับวัดขนาดการแผ่กว้างของฟังก์ชันการกระจายความน่าจะเป็น ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงการปรากฏพัลส์ชั่วขณะในสัญญาณบนโดเมนเวลา แยกพิจารณาการเปลี่ยนแปลงตามสภาวะการทดลองทั้ง 4 ดังนี้

1. ที่สภาวะ 500 RPM 200 W จากรูปที่ 4-3 จะเห็นได้ว่าแนวโน้มแอมพลิจูดของค่า Kurtosis โดยรวมจากวิธีการเก็บสัญญาณทั้ง 2 แบบ คือแบบ Spectrum Averaging และ Synchronous Time Averaging จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก โดย Spectrum Averaging จะมีค่าใกล้เคียง 3 ในช่วงตั้งแต่เริ่มทดลองไปจนถึงประมาณระดับสึกหรอที่ 2 หรือที่เวลาประมาณ 11,640 นาที หลังจากนั้นค่า Kurtosis จะมีการแปรปรวนค่อนข้างมารอบๆ ค่า 3.5 นั่นคือในช่วงหลังสัญญาณบนโดเมนเวลามีแนว

- โน้มที่จะมีพัลส์มากขึ้นทั้งในแนวตั้งและแนวระดับ ส่วนในวิธีการเก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging จะมีค่า Kurtosis ที่ต่ำกว่าในการเก็บสัญญาณแบบแรก แต่ค่า Kurtosis มีความแปรปรวนมากกว่าโดยมีค่าขึ้นลงรอบๆค่า 2.5 แสดงว่าสัญญาณบนโดเมนเวลาที่ได้จากการเก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging นั้นปรากฏการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของพัลส์ในสัญญาณน้อยกว่า
2. ที่สภาวะ 500 RPM 340 W จากรูป 4-3 จะเห็นว่าที่สภาวะนี้แนวโน้มโดยรวมของสัญญาณจะใกล้เคียงกันในทั้ง 2 วิธีการเก็บสัญญาณแตกต่างกันในช่วงแรกเริ่มตั้งแต่เริ่มทดลองไปจนถึงระดับสีกหรือที่ 1 หรือที่เวลาประมาณ 720 นาที คือในช่วงนี้แนวโน้มของสัญญาณจากการเก็บสัญญาณแบบ Spectrum Averaging จะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นก่อนจนถึงที่ระดับสีกหรือประมาณ 0.5 หรือที่เวลาประมาณ 360 นาทีจากนั้นแนวโน้มจะลดลงจนถึงระดับสีกหรือที่ 1 ส่วนในการเก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ในช่วงดังกล่าวแนวโน้มสัญญาณจะมีแนวโน้มที่ลดลงในช่วงระหว่างเริ่มทดลองจนถึงที่เวลาประมาณ 240 นาที จากนั้นแนวโน้มจะคงที่ไปจนถึงระดับสีกหรือที่ 1 จากนั้น แนวโน้ม Kurtosis จะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน โดยลักษณะโดยรวมจะตรงกันข้ามกับกรณีแนวโน้มของ RMS คือแนวโน้มของสัญญาณจะเพิ่มขึ้นที่เวลาประมาณ 1,500 นาที จนถึงที่ช่วงเวลาประมาณ 2,000-2,500 นาที หลังจากนั้นแนวโน้มของสัญญาณจะเริ่มตกลงจนถึงที่เวลาประมาณ 3,000 นาที หลังจากนั้นแนวโน้มของสัญญาณจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งจนถึงที่เวลาประมาณ 3,700 นาที จากนั้นแนวโน้มสัญญาณจะลดลงจนถึงระดับสีกหรือที่ 5 โดยสัญญาณจะมีแนวโน้มที่เหมือนกันในสัญญาณที่เก็บจากแนวตั้งและสัญญาณที่เก็บจากแนวระดับ ค่า Kurtosis จากการเก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging ในทุกระดับสีกหรือมีค่าไม่เกิน 3 ดังนั้นจึงไม่ปรากฏพัลส์ในสัญญาณบนโดเมนเวลาดังแสดงในรูปที่ 3-6 ส่วนสัญญาณที่เก็บโดยวิธี Spectrum Averaging ค่า Kurtosis จะมีค่าที่ใกล้เคียง 3 ในทุกระดับการสีกหรือ
  3. ที่สภาวะ 800 RPM 200 W จากรูป 4-4 จะเห็นแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในการเก็บสัญญาณแบบ Spectrum Averaging ทั้งสัญญาณในแนวตั้งและสัญญาณในแนวระดับ ลักษณะเช่นนี้จะบ่งบอกถึงการปรากฏขึ้นของพัลส์ชั่วขณะในสัญญาณบนโดเมนเวลา ส่วนในการเก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ไม่เห็นแนวโน้มที่ชัดเจนทั้งสัญญาณในแนวตั้งและสัญญาณในแนวระดับ คือค่า Kurtosis ของสัญญาณจะเปลี่ยนแปลงอยู่ที่รอบๆ 3
  4. ที่สภาวะ 800 RPM 340 W จากรูปที่ 4-4 การเก็บสัญญาณโดยวิธี Spectrum Averaging จะเห็นแนวโน้มของแอมพลิจูดของ Kurtosis ที่เพิ่มขึ้นทั้งในแนวตั้งและแนว

ระดับและแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นในช่วงการสีกหรือมากๆ สอดคล้องกับรูปที่ 3-7 โดยจะเริ่มปรากฏพัลส์ที่เด่นชัดตั้งแต่ระดับสีกหรือที่ 3 ในขณะที่การเก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging สัญญาณมีค่าใกล้เคียง 3 ตั้งแต่เริ่มทดลองจนถึงระดับสีกหรือที่ 3 หรือที่เวลาประมาณ 2,040 นาที จากนั้นสัญญาณจะมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นจนถึงระดับสีกหรือที่ 4 หรือที่เวลาประมาณ 2,640 นาที ทั้งสัญญาณที่เก็บในแนวตั้งและสัญญาณที่เก็บในแนวระดับ สอดคล้องกับรูปที่ 3-8 คือไม่ปรากฏพัลส์ที่เด่นชัดในทุก ระดับการสีกหรือ

ในการวิเคราะห์ด้วยสัญญาณบนโดเมนเวลาสำหรับกรณีการสีกหรือบนซีพินั้น การเลือกพิจารณาแนวโน้มของค่า Peak และค่า RMS จะมีความเหมาะสมมากกว่าการวิเคราะห์ค่า Kurtosis หรือ Crest Factor เนื่องจากค่า Kurtosis และ Crest Factor เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์สัญญาณที่มีลักษณะที่เป็นพัลส์ชั่วขณะ ซึ่งเหมาะกับการตรวจสอบความเสียหายที่เกิดขึ้นบนซีพินซีใดซีหนึ่งมากกว่า แต่ในกรณีของการสีกหรือบนซีพินเพียงนั้นความเสียหายที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นค่อนข้างสม่ำเสมอในทุกๆซีพิน ดังนั้นสัญญาณบนโดเมนเวลาจะไม่ปรากฏลักษณะความเป็นพัลส์ ณ ขณะใดขณะหนึ่งซ้ำๆ กัน การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณจะเป็นในรูปแบบของการเพิ่มขึ้นของแอมพลิจูดโดยรวมมากกว่า

เมื่อพิจารณาถึงวิธีการเก็บสัญญาณจะเห็นว่าวิธีการเก็บสัญญาณทั้ง 2 แบบจะให้แนวโน้มของแอมพลิจูดที่มีลักษณะเดียวกัน แต่การเก็บสัญญาณแบบ Spectrum Averaging จะให้ค่าแอมพลิจูดที่สูงกว่าการเก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging เนื่องจากการเก็บสัญญาณแบบ Spectrum Averaging พารามิเตอร์ต่างๆ คำนวณจากชุดของสัญญาณเพียงชุดเดียว ขณะที่สัญญาณบนโดเมนเวลาที่เกิดจากการเก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging เกิดจากการเฉลี่ยกันของสัญญาณบนโดเมนเวลาจำนวน 100 ชุด ซึ่งช่วยลดสัญญาณรบกวนจากความถี่อื่นๆลง ทำให้สามารถสังเกตความเป็นคาบและการซบกันของซีพินเฟืองได้ แต่วิธีการดังกล่าวมีข้อเสียอยู่ที่ความผิดพลาดในระหว่างการเก็บสัญญาณ เนื่องจากต้องเก็บสัญญาณถึง 100 ชุด นำมาเฉลี่ยกันจึงใช้เวลาในการเก็บมาก ซึ่งความผิดพลาดจะเกิดขึ้นจากความไม่สม่ำเสมอของความเร็วรอบหมุนของมอเตอร์ในระหว่างที่ทำการเก็บและประมวลผลข้อมูล ดังนั้นแนวโน้มและค่าพารามิเตอร์ต่างๆจากการเก็บสัญญาณแบบ Spectrum Averaging มีข้อได้เปรียบที่เก็บสัญญาณได้รวดเร็วกว่า แต่วิธีการดังกล่าวมีข้อเสียคือสัญญาณรบกวนมีมากจึงไม่สามารถสังเกตความเป็นคาบและการซบกันของซีพินได้

แนวโน้มสัญญาณของ Peak และ RMS ปรากฏมีแนวโน้มสูงขึ้นตามขนาดของการสีกหรืออย่างชัดเจนเฉพาะในการทดลองที่ความเร็วรอบ 800 RPM ซึ่งที่ความเร็ว 800 RPM จะมีการส่งผ่านของแรงที่น้อยกว่าที่ 500 RPM ทำให้มีโอกาสที่ฟันเฟืองจะหลุดจากการขบกันในขณะส่งผ่านการเคลื่อนที่มากกว่า เมื่อการสีกหรือเพิ่มขึ้นช่องว่างระหว่างฟันที่ขบกัน (Backlash) ก็มากขึ้นด้วยทำให้ฟันเฟืองมีโอกาสที่จะหลุดจากการขบกันมากขึ้นอีก ซึ่งน่าจะส่งผลให้มีการกระแทกกันของฟันเฟืองมากขึ้นทำให้แนวโน้มของสัญญาณมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อสังเกตจากที่สภาวะ 800 RPM 200 W ซึ่งที่สภาวะนี้มีการส่งผ่านแรงที่น้อยกว่าที่ 800 RPM 340 W แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่า Peak และ RMS ก็มากกว่าด้วย

การวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนเวลาสามารถนำมาวิเคราะห์ปัญหาการสีกหรือของซี่ฟันได้ซึ่งแนวโน้มจะชัดเจนโดยเฉพาะการทดลองที่ความเร็วรอบ 800 RPM จากรูปในบทที่ 3 สัญญาณบนโดเมนเวลาแบบ Synchronous Time Averaging จะเห็นการมอดูเลตที่ชัดเจนกว่าในการทดลองที่ความเร็วรอบ 500 RPM เนื่องจากแรงที่ส่งผ่านมีค่ามากกว่าทำให้โอกาสที่ฟันเฟืองจะหลุดจากการขบกันมีน้อยกว่าสัญญาณรบกวนจึงมีน้อยกว่า จึงสามารถสังเกตการมอดูเลตที่ชัดเจนมากกว่าในการทดลองที่ความเร็วรอบ 800 RPM และจากการมอดูเลตที่ชัดเจนกว่าการทดลองที่ความเร็วรอบ 500 RPM จึงน่าจะช่วยให้สังเกตการเปลี่ยนแปลงในสัญญาณสเปกตรัมและเซปัสตรัมได้ดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สัญญาณสเปกตรัม

พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์คือ

- 1) แอมพลิจูดของ 1xGMF, 2xGMF, และ 3xGMF คือ แอมพลิจูดของยอดสัญญาณสเปกตรัมที่มีความถี่การซบกันของชุดเฟือง ฮาร์โมนิกที่ 2 และ 3 ตามลำดับ
- 2) แอมพลิจูดของ 1xSBPL, 2xSBPL, และ 3xSBPL คือ แอมพลิจูดของยอดสัญญาณสเปกตรัมที่เป็นชุดแถบความถี่ข้าง ด้านความถี่ต่ำกว่า 1xGMF โดยห่างจาก 1xGMF เท่ากับความถี่ของเฟืองขับ ฮาร์โมนิกที่ 2 และ 3 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีฮาร์โมนิกที่อันดับสูง ๆ ซึ่งมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าแอมพลิจูดเป็นอย่างมาก ได้แก่ 4xSBPL, 5xSBPL, 6xSBPL, 7xSBPL, 10xSBPL, 11xSBPL และ 14xSBPL
- 3) แอมพลิจูดของ 1xSBPR และ 2xSBPR คือ แอมพลิจูดของยอดสัญญาณสเปกตรัมที่เป็นชุดแถบความถี่ข้าง ด้านความถี่สูงกว่า 1xGMF โดยห่างจาก 1xGMF เท่ากับความถี่ของเฟืองขับ และ ฮาร์โมนิกที่ 2 ตามลำดับ
- 4) แอมพลิจูดของ 1xSBWL, 2xSBWL และ 3xSBWL คือ แอมพลิจูดของยอดสัญญาณสเปกตรัมที่เป็นชุดแถบความถี่ข้าง ด้านความถี่ต่ำกว่า 1xGMF โดยห่างจาก 1xGMF เท่ากับความถี่ของเฟืองตาม ฮาร์โมนิกที่ 2 และ 3 ตามลำดับ
- 5) แอมพลิจูดของ 1xSBWR และ 2xSBWR คือ แอมพลิจูดของยอดสัญญาณสเปกตรัมที่เป็นชุดแถบความถี่ข้าง ด้านความถี่สูงกว่า 1xGMF โดยห่างจาก 1xGMF เท่ากับความถี่ของเฟืองตาม และ ฮาร์โมนิกที่ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-1 ค่าความถี่ของ 1xGMF และชุดแถบความถี่ข้าง 3 ฮาร์โมนิกแรกรอบ 1xGMF

| Motor Speed | Pinion Speed (Hz) | Gear Speed (Hz) | 1xGMF (Hz) | 1 SBPL (Hz) | 1 SBPR (Hz) | 1 SBWL (Hz) | 1 SBWR (Hz) |
|-------------|-------------------|-----------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 500 rpm     | 8.33              | 5.86            | 216.67     | 208.33      | 225.00      | 210.81      | 222.52      |
| 800 rpm     | 13.33             | 9.37            | 346.67     | 333.33      | 360.00      | 337.30      | 356.04      |

| Motor Speed | 2 SBPL (Hz) | 2 SBPR (Hz) | 2 SBWL (Hz) | 2 SBWR (Hz) | 3 SBPL (Hz) | 3 SBPR (Hz) | 3 SBWL (Hz) | 3 SBWR (Hz) |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 500 rpm     | 200.00      | 233.33      | 204.95      | 228.38      | 191.67      | 241.67      | 199.10      | 234.23      |
| 800 rpm     | 320.00      | 373.33      | 327.93      | 365.41      | 306.67      | 386.67      | 318.56      | 374.77      |

ค่าความถี่ของพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์บางส่วนแสดงไว้ในตารางที่ 4-1 ส่วนชุดแถบความถี่ข้างล่างที่มีความถี่ต่ำกว่า  $1 \times \text{GMF}$  เป็นฮาร์มอนิกสูงๆ ที่พิจารณาเพิ่มเติมมีความถี่ดังต่อไปนี้

- การวิเคราะห์สัญญาณที่สภาวะ ความเร็ว 500 รอบต่อนาที :  $5 \times \text{SBPL}$  ที่ 175.00 Hz,  $6 \times \text{SBPL}$  ที่ 166.67 Hz,  $7 \times \text{SBPL}$  ที่ 158.33 Hz,  $11 \times \text{SBPL}$  ที่ 125.00 Hz
- การวิเคราะห์สัญญาณที่สภาวะ ความเร็ว 800 รอบต่อนาที :  $4 \times \text{SBPL}$  ที่ 293.33 Hz,  $5 \times \text{SBPL}$  ที่ 280.00 Hz,  $6 \times \text{SBPL}$  ที่ 266.66 Hz,  $10 \times \text{SBPL}$  ที่ 213.33 Hz,  $14 \times \text{SBPL}$  ที่ 160.00 Hz

ชุดแถบความถี่ข้างล่างนี้เลือกมาโดยอาศัยสังเกตจากการตรวจพินิจ แล้วพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงที่ค่อนข้างมาก[12]

เนื่องจากความละเอียดของสัญญาณสเปกตรัมมีค่า 1 Hz และ 2 Hz สำหรับการวัดที่สภาวะความเร็ว 500 และ 800 รอบต่อนาที ตามลำดับ ในขณะที่ความถี่ของพารามิเตอร์ส่วนใหญ่ไม่ตรงกับเส้นสเปกตรัม อีกทั้งความเร็วของมอเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงประมาณ  $\pm 1$  รอบต่อนาที แอมพลิจูดของแต่ละพารามิเตอร์จึงเลือกมาจากค่าสูงสุดของ 2-3 เส้นสเปกตรัมที่อยู่รอบๆ ความถี่ของแต่ละพารามิเตอร์ที่กล่าวถึงข้างต้น

ใช้ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์แต่ละตัวที่ได้จากการเก็บสัญญาณ 5 ครั้ง ในแต่ละจุดทุกๆ 120 นาที โดยการเพิ่มขึ้นของเวลาแทนการสึกหรอที่เพิ่มขึ้น หากความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กับเวลาที่ใช้ในการทดลองด้วยการลากเส้นเชื่อมต่อแต่ละจุดจะเกิดเส้นกราฟ เส้นกราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่มีต่อการสึกหรอของฟันเฟืองที่เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างค่า GMF กับเวลาที่ใช้ในการทดลองไม่ได้แสดงค่าของ  $2 \times \text{GMF}$  และ  $3 \times \text{GMF}$  ที่ได้จากการเก็บสัญญาณด้วยกระบวนการขยายความละเอียดของโดเมนความถี่ (Zoom Processing) เนื่องจากที่ความถี่ของ  $2 \times \text{GMF}$  และ  $3 \times \text{GMF}$  อยู่นอกช่วงความถี่ของวิธีการเก็บสัญญาณด้วยกระบวนการขยายความละเอียดของโดเมนความถี่ ประกอบกับวิธีการนี้มีหลักการเก็บสัญญาณเหมือนกับการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่ และเป้าหมายของวิธีการนี้ก็เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ชุดแถบความถี่ข้างเป็นหลัก

### ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณสเปกตรัมและเวลาที่ใช้ในการทดลอง

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสัญญาณสเปกตรัมและเวลาที่ใช้ในการทดลองในแต่ละรูปประกอบด้วย 3 รูปย่อย ตามวิธีการเก็บสัญญาณ ยกเว้น 2xGMF และ 3xGMF ที่แต่ละรูปประกอบด้วย 4 รูปย่อย ตามระดับของภาระและวิธีการเก็บสัญญาณ และทุกพารามิเตอร์แต่ละรูปย่อยแสดงการเปรียบเทียบที่ยบระหว่างสัญญาณที่วัดในแนวระดับ (Horizontal) และแนวตั้ง (Vertical) ตามลำดับดังต่อไปนี้

- 1) ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของ 1xGMF กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง
  - รูปที่ 4-9 : ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที
  - รูปที่ 4-10 : ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที
- 2) ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของ 2xGMF กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง
  - รูปที่ 4-11 : ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที
  - รูปที่ 4-12 : ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที
- 3) ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของ 3xGMF กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง
  - รูปที่ 4-13 : ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที
  - รูปที่ 4-14 : ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที
- 4) ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแถบความถี่ข้างที่สภาวะ 500 RPM 200 W
  - รูปที่ 4-15 : แถบความถี่ข้างที่ 1xSBPL และ 2xSBPL
  - รูปที่ 4-16 : แถบความถี่ข้างที่ 3xSBPL และ 1xSBPR
  - รูปที่ 4-17 : แถบความถี่ข้างที่ 2xSBPR และ 1xSBWL
  - รูปที่ 4-18 : แถบความถี่ข้างที่ 2xSBWL และ 3xSBWL
  - รูปที่ 4-19 : แถบความถี่ข้างที่ 1xSBWR และ 2xSBWR
  - รูปที่ 4-20 : แถบความถี่ข้างที่ 5xSBPL และ 6xSBPL
  - รูปที่ 4-21 : แถบความถี่ข้างที่ 7xSBPL และ 11xSBPL
- 5) ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแถบความถี่ข้างที่สภาวะ 500 RPM 340 W
  - รูปที่ 4-22 : แถบความถี่ข้างที่ 1xSBPL และ 2xSBPL
  - รูปที่ 4-23 : แถบความถี่ข้างที่ 3xSBPL และ 1xSBPR
  - รูปที่ 4-24 : แถบความถี่ข้างที่ 2xSBPR และ 1xSBWL
  - รูปที่ 4-25 : แถบความถี่ข้างที่ 2xSBWL และ 3xSBWL
  - รูปที่ 4-26 : แถบความถี่ข้างที่ 1xSBWR และ 2xSBWR

- รูปที่ 4-27 : แถบความถี่ข้างที่ 5xSBPL และ 6xSBPL  
 รูปที่ 4-28 : แถบความถี่ข้างที่ 7xSBPL และ 11xSBPL
- 6) ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแถบความถี่ข้างที่สภาวะ 800 RPM 200 W
- รูปที่ 4-29 : แถบความถี่ข้างที่ 1xSBPL และ 2xSBPL  
 รูปที่ 4-30 : แถบความถี่ข้างที่ 3xSBPL และ 1xSBPR  
 รูปที่ 4-31 : แถบความถี่ข้างที่ 2xSBPR และ 1xSBWL  
 รูปที่ 4-32 : แถบความถี่ข้างที่ 2xSBWL และ 3xSBWL  
 รูปที่ 4-33 : แถบความถี่ข้างที่ 1xSBWR และ 2xSBWR  
 รูปที่ 4-34 : แถบความถี่ข้างที่ 4xSBPL และ 5xSBPL  
 รูปที่ 4-35 : แถบความถี่ข้างที่ 6xSBPL และ 10xSBPL  
 รูปที่ 4-36 : แถบความถี่ข้างที่ 14xSBPL
- 7) ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแถบความถี่ข้างที่สภาวะ 800 RPM 340 W
- รูปที่ 4-37 : แถบความถี่ข้างที่ 1xSBPL และ 2xSBPL  
 รูปที่ 4-38 : แถบความถี่ข้างที่ 3xSBPL และ 1xSBPR  
 รูปที่ 4-39 : แถบความถี่ข้างที่ 2xSBPR และ 1xSBWL  
 รูปที่ 4-40 : แถบความถี่ข้างที่ 2xSBWL และ 3xSBWL  
 รูปที่ 4-41 : แถบความถี่ข้างที่ 1xSBWR และ 2xSBWR  
 รูปที่ 4-42 : แถบความถี่ข้างที่ 4xSBPL และ 5xSBPL  
 รูปที่ 4-43 : แถบความถี่ข้างที่ 6xSBPL และ 10xSBPL  
 รูปที่ 4-44 : แถบความถี่ข้างที่ 14xSBPL

## ผลการวิเคราะห์สัญญาณสเปกตรัม

### ผลและการวิเคราะห์ค่า GMF

จากการทดลองความถี่สัญญาณ GMF 3 ความถี่ คือ 1xGMF 2xGMF และ 3xGMF โดยวิธีการเก็บสัญญาณของ 1xGMF มีการเก็บสัญญาณ 3 วิธี คือ Spectrum Averaging, Synchronous Time Averaging และ Zoom Processing ส่วนที่ 2xGMF และ 3xGMF มีการเก็บสัญญาณเพียง 2 วิธี คือ Spectrum Averaging, Synchronous Time Averaging เหตุที่สัญญาณ 2xGMF และ 3xGMF ไม่เก็บสัญญาณแบบ Zoom Processing เนื่องจากที่ความถี่ดังกล่าวอยู่นอกช่วงความถี่ของการเก็บสัญญาณโดยวิธี Zoom Processing ดังแสดงในรูปที่ 4-9 ถึง 4-14

### ผลและการวิเคราะห์ค่า 1xGMF

#### 1. แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า 1xGMF เมื่อระดับสีกหรือเปลี่ยน

ค่า 1xGMF มีการเปลี่ยนแปลงที่สภาวะการทดลองต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- 1) การทดลองที่สภาวะ 500 RPM 200 W ที่สภาวะนี้แนวโน้มของแอมพลิจูดของ 1xGMF มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แน่นอนแต่ทั้ง 3 วิธีการเก็บสัญญาณทั้งแนวตั้งและแนวระดับ มีลักษณะเหมือนกัน
- 2) การทดลองที่สภาวะ 500 RPM 340 W ที่สภาวะนี้แนวโน้มของแอมพลิจูดของ 1xGMF จะเพิ่มขึ้นตั้งแต่เริ่มทดลองไปจนถึงจุดสูงสุดที่เวลาประมาณ 840-1,320 นาที จากนั้นแนวโน้มสัญญาณจะลดลงจนถึงที่เวลาประมาณ 1,800-1,920 นาที จากนั้นแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งจนถึงที่เวลาประมาณ 3,480-3,600 นาที จากนั้นสัญญาณจะมีแนวโน้มที่ลดลงจนถึงระดับสีกหรือสุดท้ายในทั้ง 3 วิธีการเก็บสัญญาณทั้งแนวตั้งและแนวระดับ
- 3) การทดลองที่สภาวะ 800 RPM 200 W ที่สภาวะนี้แนวโน้มของแอมพลิจูดของ 1xGMF มีแนวโน้มที่ลดลงเล็กน้อยตั้งแต่เริ่มทำการทดลองจนถึงระดับสีกหรือที่ 4 ในทั้ง 3 วิธีการเก็บสัญญาณทั้งแนวตั้งและแนวระดับ
- 4) การทดลองที่สภาวะ 800 RPM 340 W ที่สภาวะนี้แนวโน้มของแอมพลิจูดของ 1xGMF มีความแปรปรวนและแนวโน้มที่ลดลงชัดเจนกว่าที่สภาวะ 800 RPM 200 W ตั้งแต่เริ่มทดลองจนถึงระดับสีกหรือที่ 4

2. ผลจากการเก็บสัญญาณด้วยวิธีที่ต่างกัน

การเก็บสัญญาณของทั้ง 3 วิธีจะให้แนวโน้มที่เหมือนกัน ส่วนขนาดของแอมพลิจูดของสัญญาณที่เก็บจากวิธี Spectrum Averaging มีค่าใกล้เคียงกับสัญญาณที่เก็บจากวิธี Zoom Processing ซึ่งมีค่าที่มากกว่าสัญญาณที่ได้มาจากการเก็บสัญญาณโดยวิธี Synchronous Time Averaging อยู่ 2-4 เท่า

3. ผลจากการทดลองที่ความเร็วรอบที่แตกต่างกัน

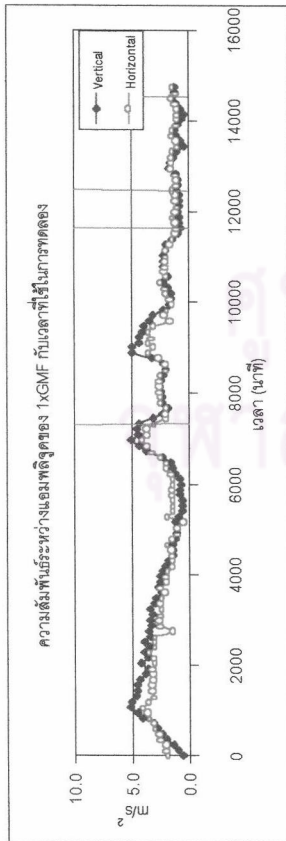
การทดลองที่ความเร็วรอบมอเตอร์ 800 RPM ให้แนวโน้มที่ดีกว่าการทดลองที่ความเร็วรอบ 500 RPM คือการทดลองที่ความเร็วรอบ 800 RPM ให้แนวโน้มที่ลดลงตั้งแต่เริ่มทดลองจนถึงที่ระดับสีกหรือสุดท้าย ในขณะที่การทดลองที่ความเร็ว 500 RPM จะให้แนวโน้มของสัญญาณที่ไม่แน่นอนมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง

4. ผลจากการทดลองที่ระดับของภาระแตกต่างกัน

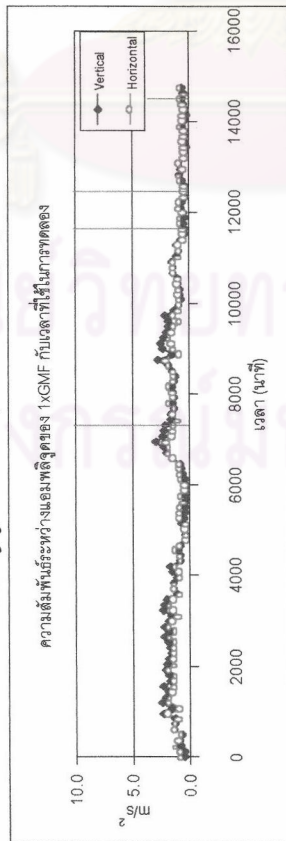
ระดับของภาระมีผลต่อขนาดของแอมพลิจูดในการทดลองที่ 800 RPM มากกว่าการทดลองที่ความเร็วรอบ 500 RPM คือการทดลองที่ความเร็วรอบ 500 RPM แอมพลิจูดของการทดลองที่ภาระ 340 W มีค่ามากกว่าแอมพลิจูดของการทดลองที่ภาระ 200 W ประมาณ 2 เท่า ในขณะที่การทดลองที่ความเร็วรอบ 800 RPM จะมากกว่า 3-5 เท่า

ผลและการวิเคราะห์ค่า 2xGMF และ 3xGMF

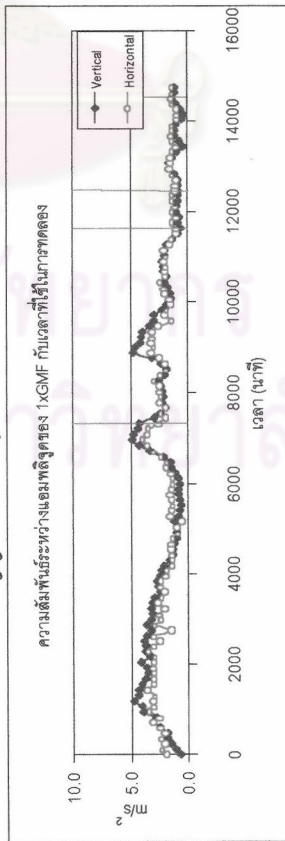
แอมพลิจูดของค่า 2xGMF และ 3xGMF ในรูปที่ 4-11 ถึง 4-14 โดยรวมมีแนวโน้มที่แปรปรวนมากและไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน โดยรวมการทดลองที่ความเร็วรอบมอเตอร์ 800 RPM มีแนวโน้มของสัญญาณที่ชัดเจนกว่าการทดลองที่ความเร็วรอบมอเตอร์ 500 RPM แต่มีความแปรปรวนของแอมพลิจูดของ GMF มาก สาเหตุอาจจะมาจากการที่ระดับการสีกหรือของแต่ละฟันไม่เท่ากันทำให้จังหวะและช่วงเวลาในการขบกันเปลี่ยนไปมาไม่แน่นอน ความเป็นคาบของสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ความถี่ GMF มากบ้างน้อยบ้าง การใช้พารามิเตอร์แอมพลิจูดของ GMF เป็นเกณฑ์ในการบ่งบอกระดับการสีกหรือของเฟืองอาจไม่ชัดเจน



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

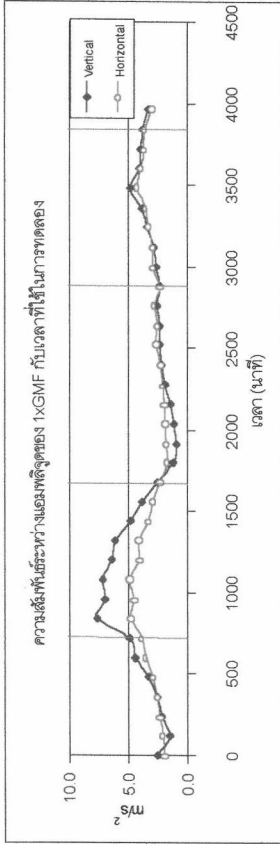


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

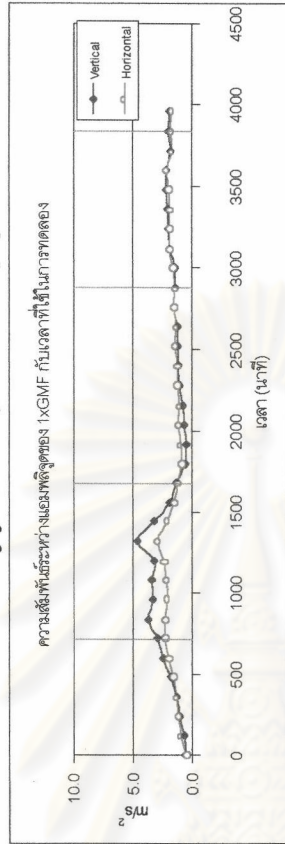


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

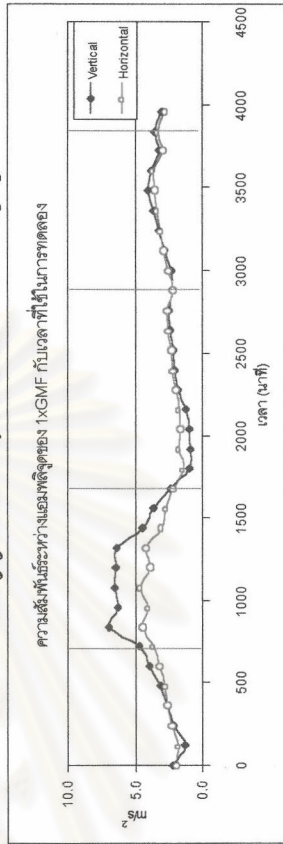
การทดลองที่ภาวะ 200 W



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



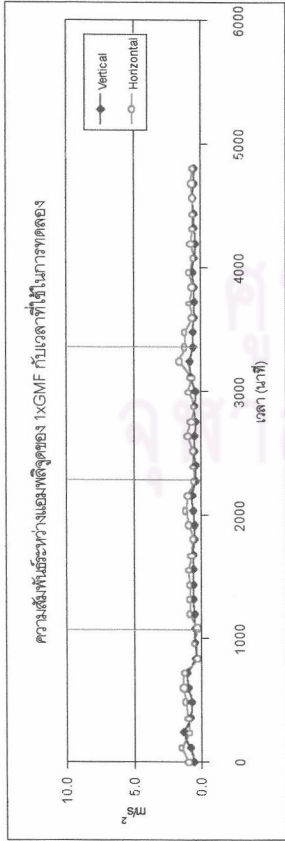
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



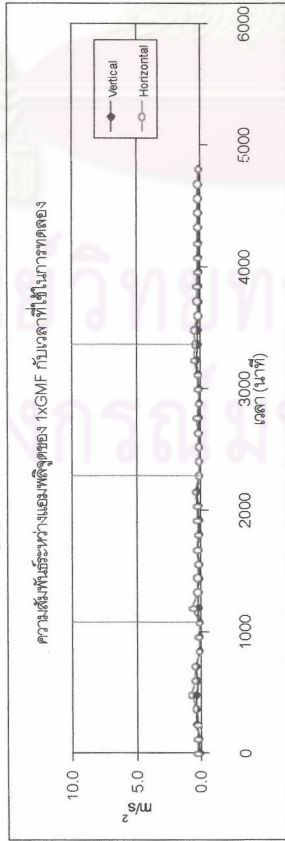
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

การทดลองที่ภาวะ 340 W

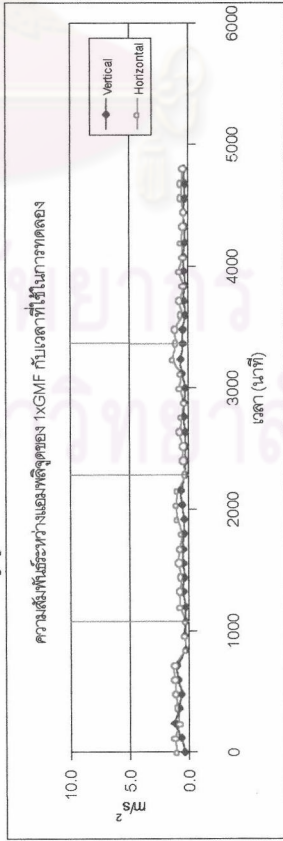
รูปที่ 4-9 ความสั่นพ้องระหว่างแอมพลิจูดของ 1xGMF กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่ความเร็วรอบ 500 RPM



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

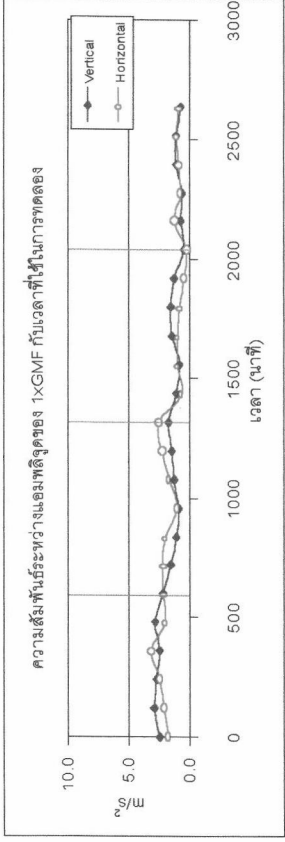


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

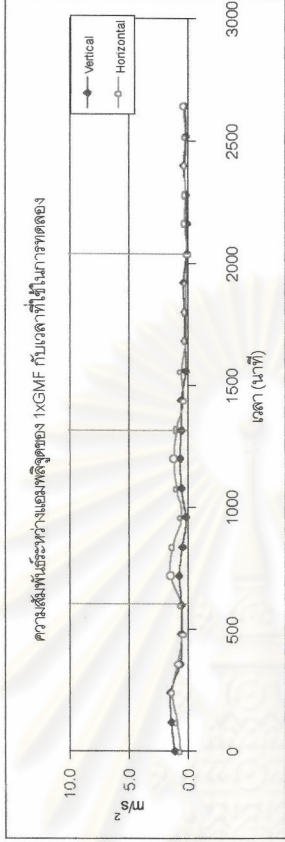


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

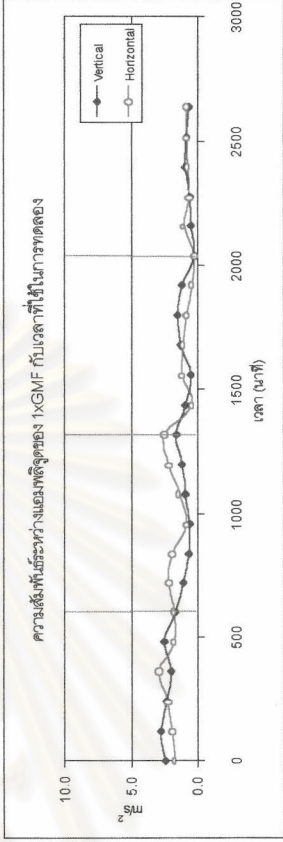
การทดลองที่ภาวะ 200 W



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

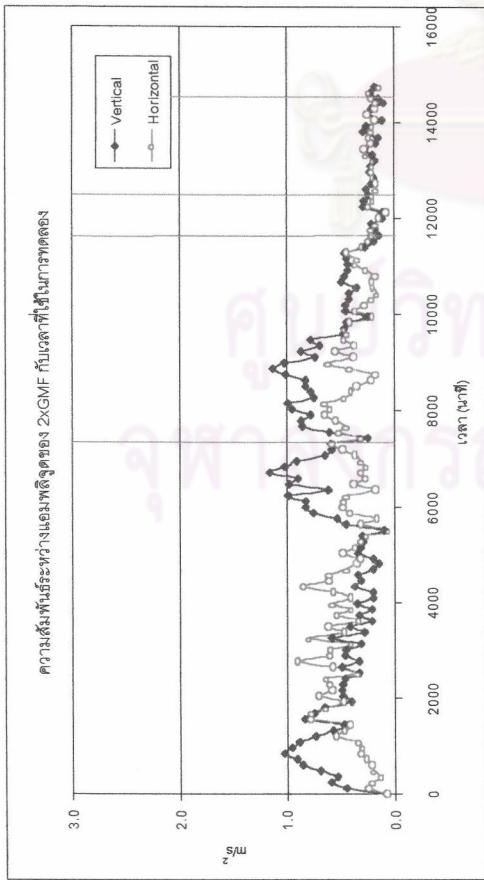


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

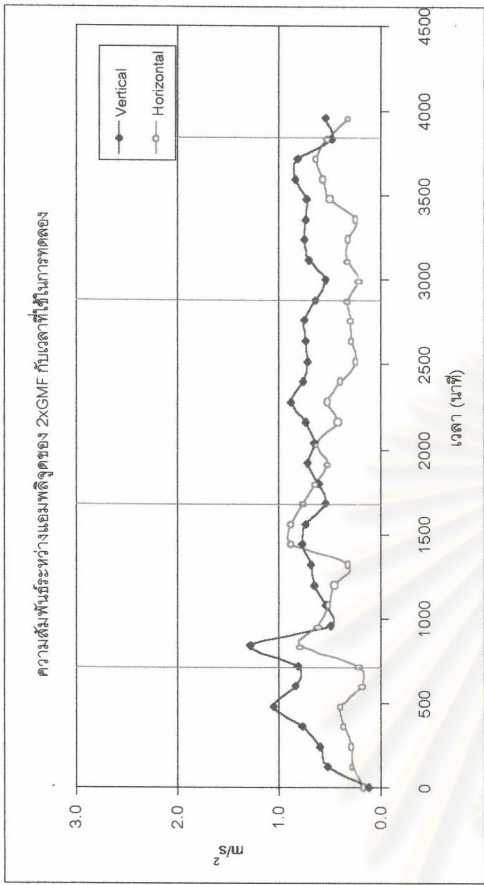
การทดลองที่ภาวะ 340 W

รูปที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของ 1xGMF กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่ความเร็วรอบ 800 RPM

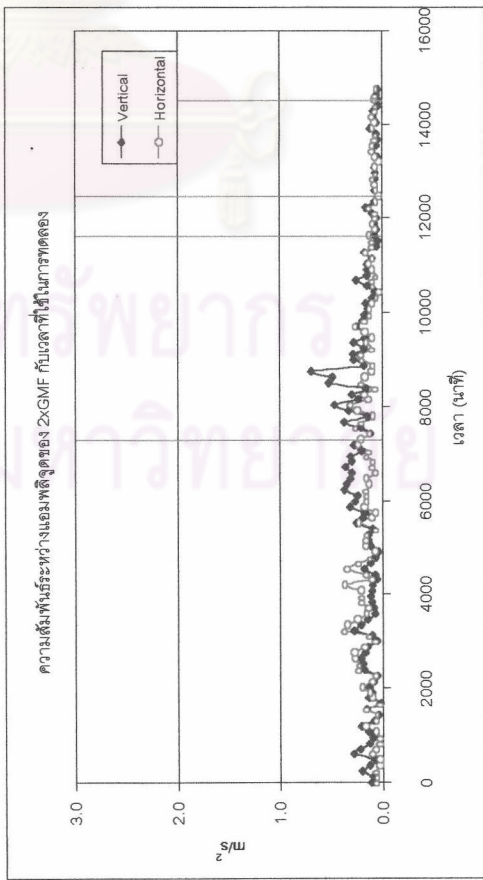




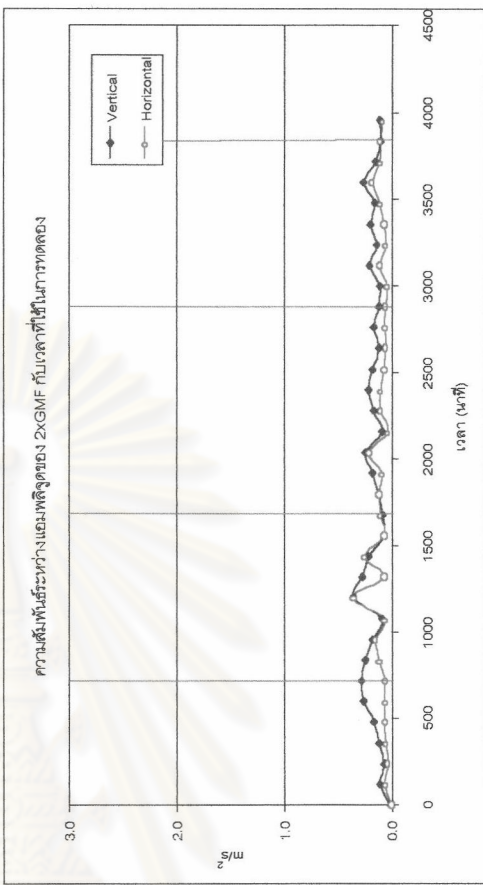
เก็บข้อมูลด้วยวิธี Spectrum Averaging ที่ภาระ 200 W



เก็บข้อมูลด้วยวิธี Spectrum Averaging ที่ภาระ 340 W

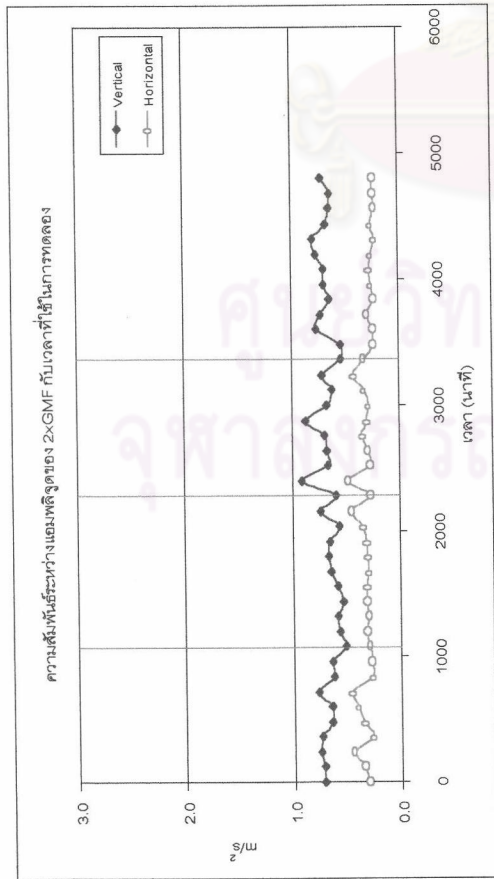


เก็บข้อมูลด้วยวิธี Synchronous Time Averaging ที่ภาระ 200 W

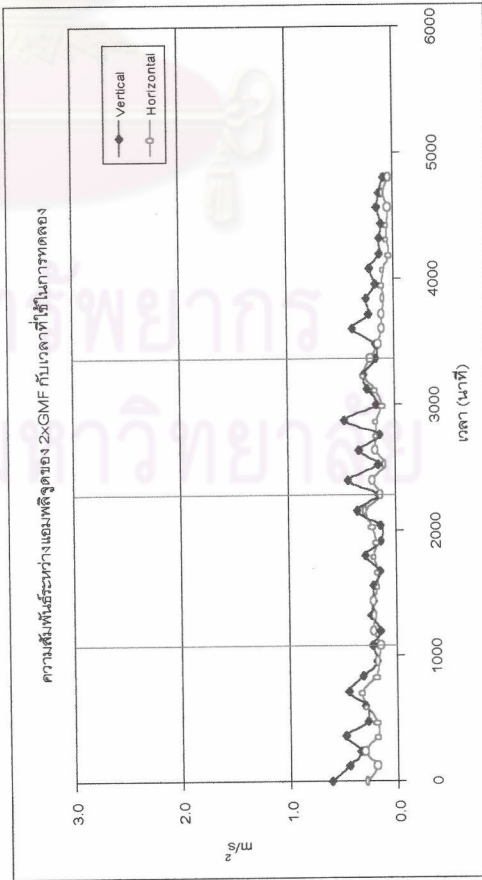


เก็บข้อมูลด้วยวิธี Synchronous Time Averaging ที่ภาระ 340 W

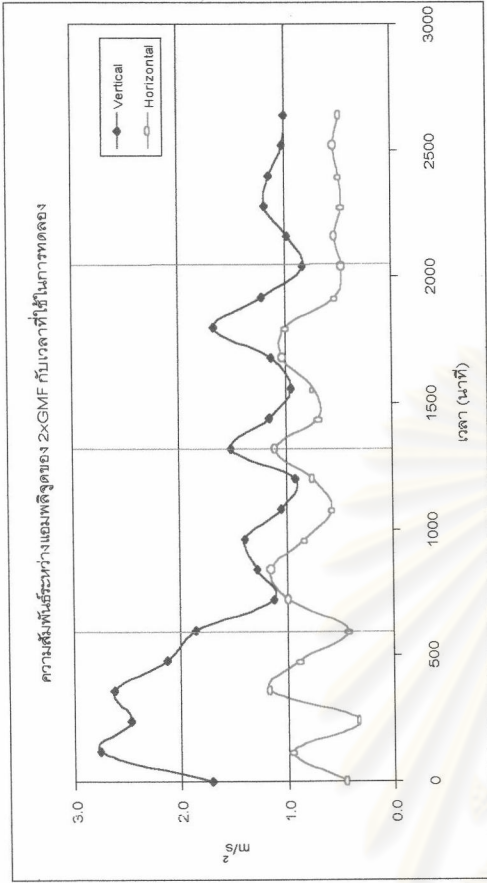
รูปที่ 4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของ 2xGMF กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่ความเร็วรอบ 500 RPM



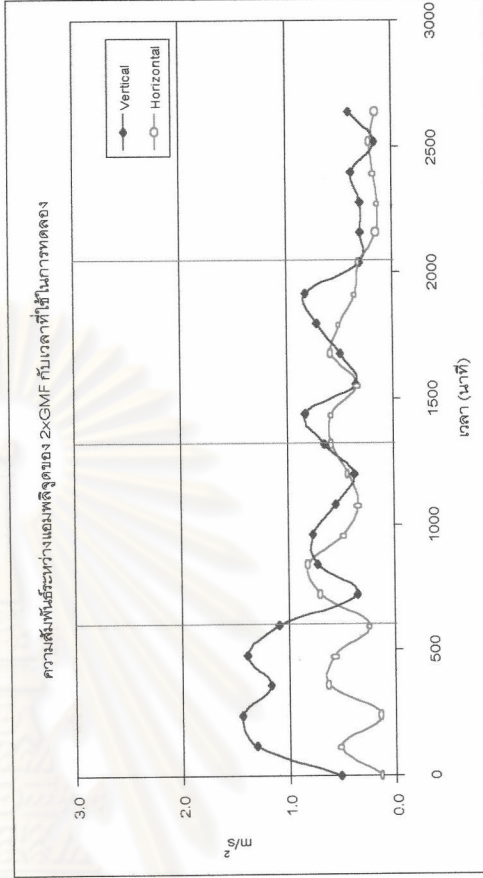
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging ที่ภาระ 200 W



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging ที่ภาระ 200 W

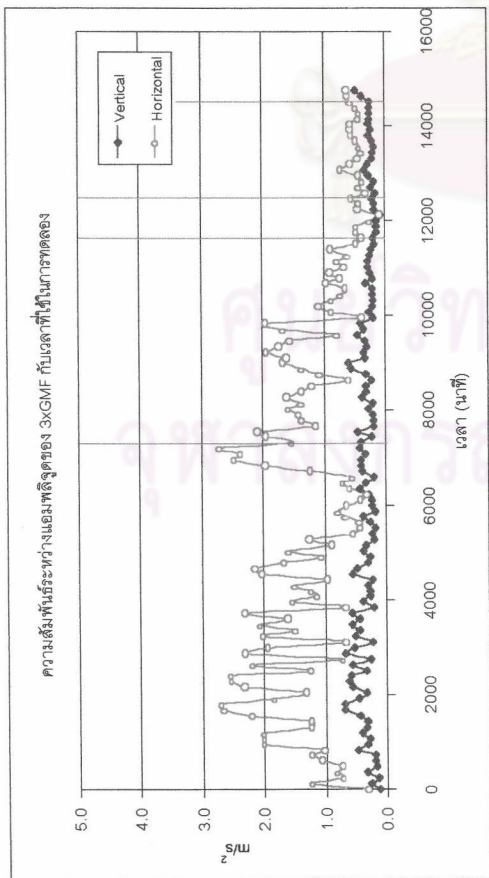


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging ที่ภาระ 340 W

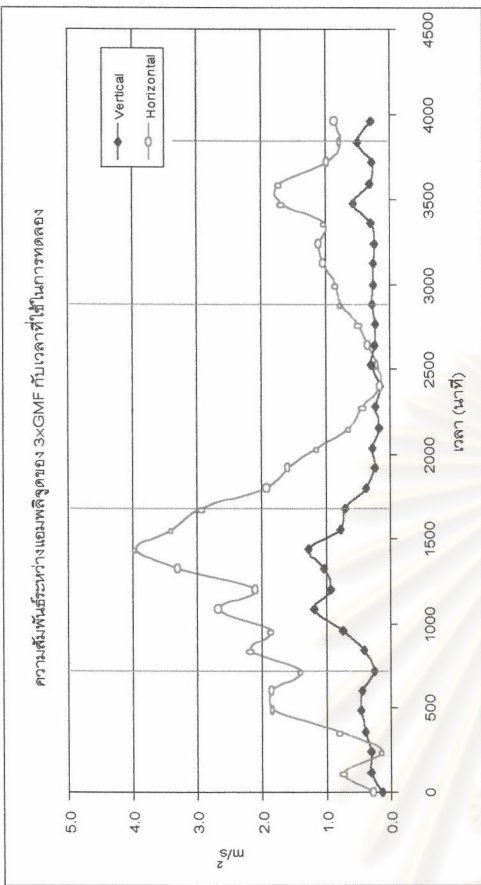


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging ที่ภาระ 340 W

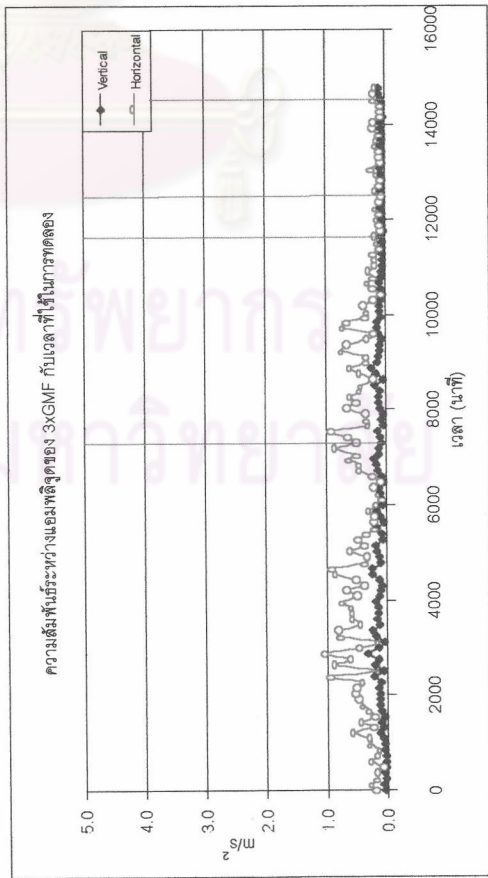
รูปที่ 4-12 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของ 2xGMF กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่ความเร็วรอบ 800 RPM



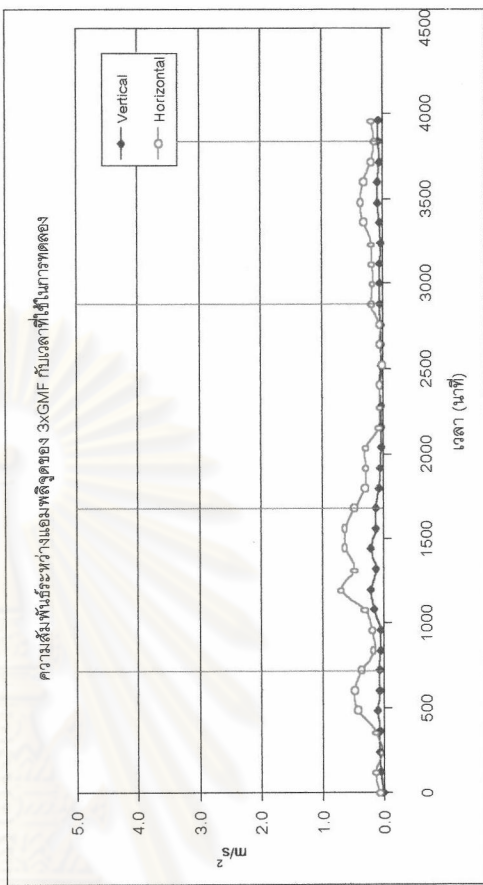
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging ที่ภาระ 200 W



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging ที่ภาระ 340 W

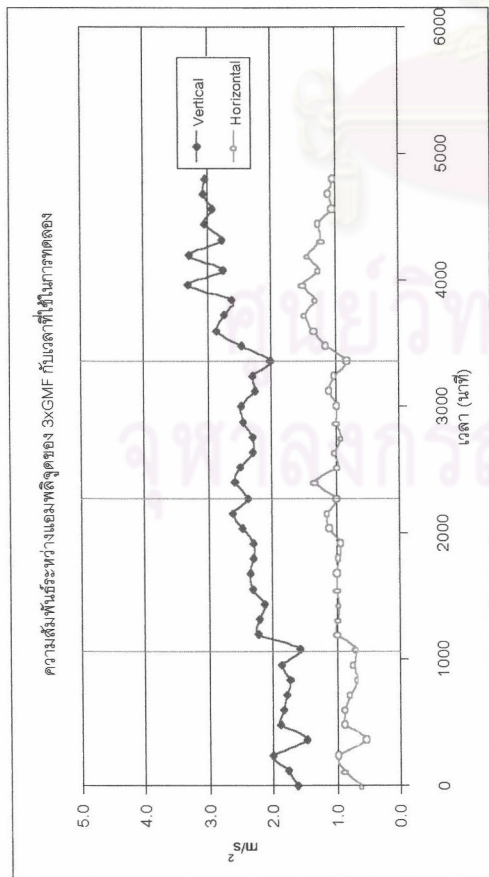


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging ที่ภาระ 200 W

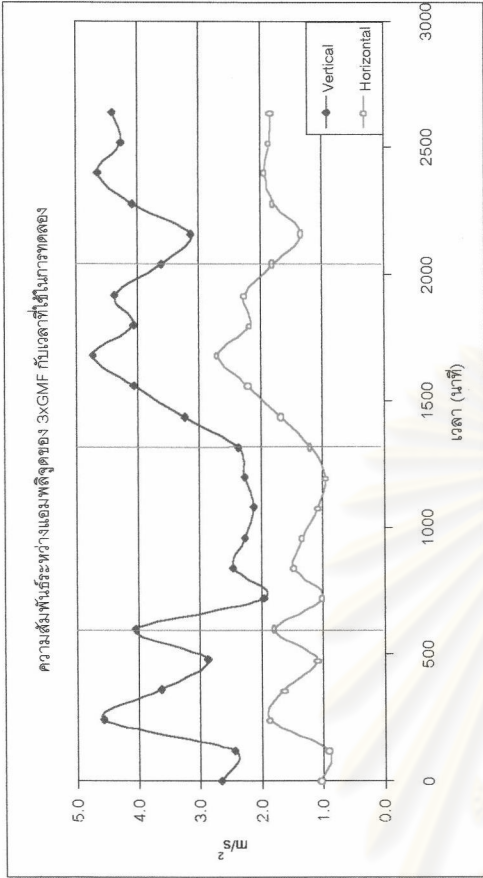


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging ที่ภาระ 340 W

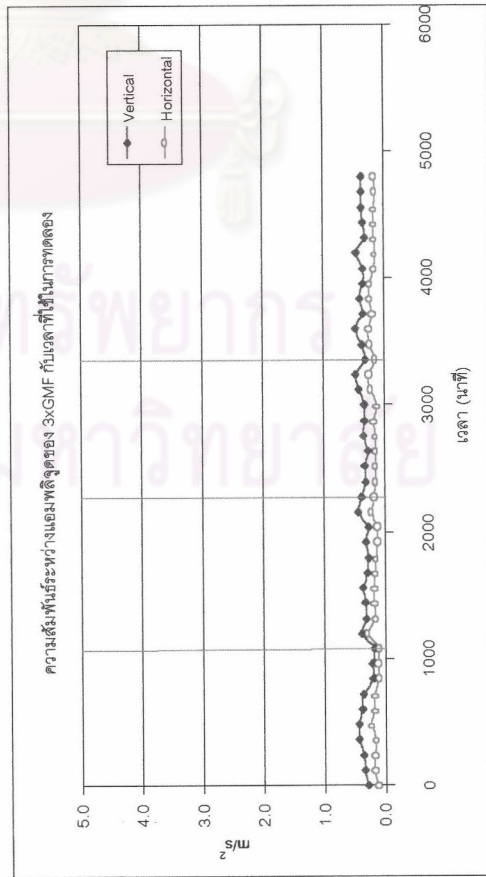
รูปที่ 4-13 ความสั่นพ้องระหว่างแอมพลิจูดของ 3xGMF กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่ความเร็วยรอบ 500 RPM



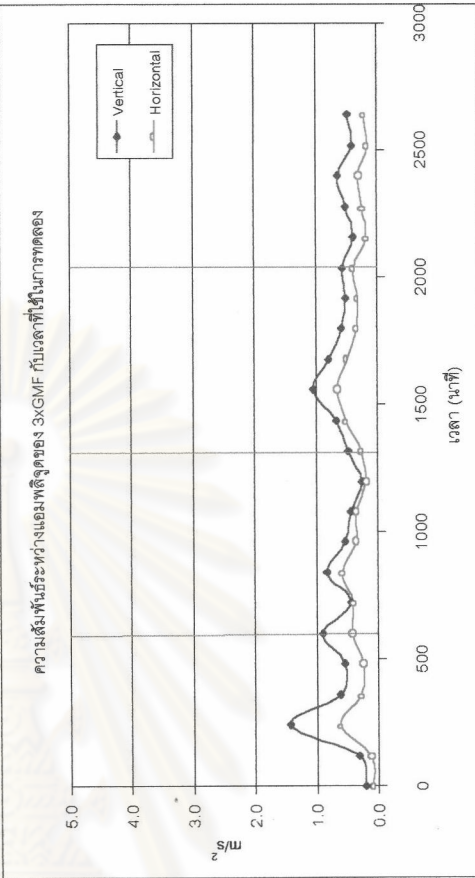
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging ที่ภาระ 200 W



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging ที่ภาระ 340 W



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging ที่ภาระ 200 W



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging ที่ภาระ 340 W

รูปที่ 4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของ 3xGMF กับเวลาที่ใช้ในการทดสอบที่ความเร็วรอบ 800 RPM

## ผลและการวิเคราะห์แถบความถี่ข้าง

พิจารณาแอมพลิจูดของแถบความถี่ข้างต่างๆ เมื่อเวลาผ่านไปที่สภาวะต่างๆ มีลักษณะแอมพลิจูดดังนี้

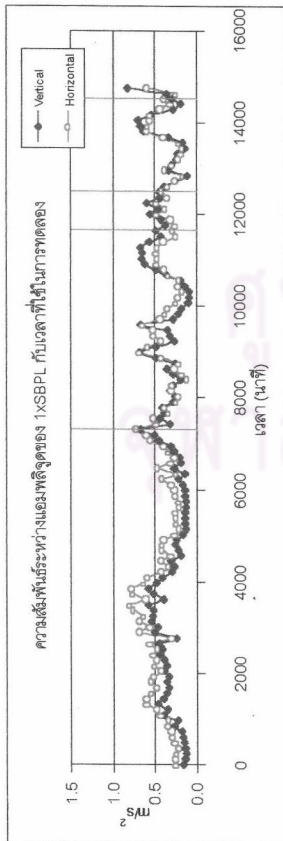
### 1. การทดลองที่สภาวะ 500 RPM 200 W

การพิจารณาแอมพลิจูดของแถบความถี่ข้างรอบๆ 1xGMF จะพิจารณาเฉพาะแถบความถี่ข้างที่มีแอมพลิจูดที่น่าสนใจ ซึ่งแถบความถี่ข้างที่น่าสนใจในสภาวะนี้มี 2 ความถี่ คือ 6xSBPL และ 7xSBPL ที่สภาวะนี้แอมพลิจูดที่น่าสนใจส่วนใหญ่จะเป็นแถบความถี่ข้างจากความถี่เฟืองขับที่ฮาร์มอนิกที่ 5 ขึ้นไป ในขณะที่แถบความถี่ข้างจากความถี่เฟืองตามมีแอมพลิจูดที่ไม่น่าสนใจ แอมพลิจูดของแถบความถี่ข้างอื่นๆ มีลักษณะทั่วไปขึ้นลงคล้ายกับค่าแอมพลิจูดของยอดสเปกตรัม 1xGMF แต่มีการแปรปรวนขึ้นลงมากกว่าดังแสดงในรูปที่ 4-15 ถึง 4-21

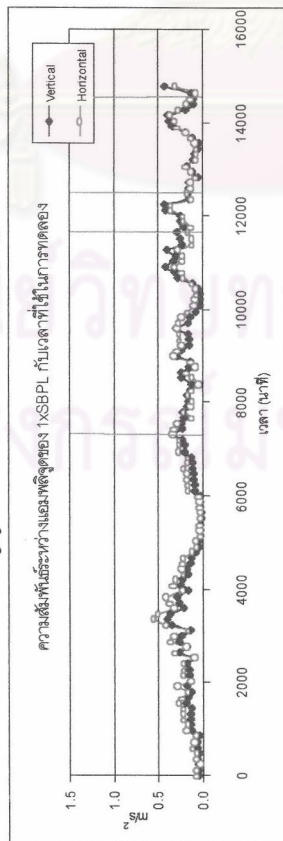
6xSBPL แถบความถี่ข้างนี้มีความถี่ประมาณ 166.66 Hz ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของชุดทดสอบดังแสดงไว้ในภาคผนวก ง โดยแอมพลิจูดสัญญาณมีลักษณะที่คล้ายกันในทุก 3 วิธีการเก็บ มีลักษณะที่น่าสนใจมาก คือ แอมพลิจูดจะคงที่ในช่วงตั้งแต่เริ่มทดลองจนถึงที่เวลา 11,760 นาที ซึ่งใกล้เคียงกับระดับสีกหรือที่ 2 (11,640 นาที) หลังจากนั้นสัญญาณจะมีแอมพลิจูดที่เพิ่มขึ้นจนถึงระดับสีกหรือที่ 5 โดยแอมพลิจูดที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวมีความเด่นชัดที่สัญญาณในแนวระดับมากกว่าสัญญาณในแนวตั้ง

7xSBPL แอมพลิจูดที่แถบความถี่ข้างนี้มีแอมพลิจูดที่เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตั้งแต่เริ่มทดลองจนถึงที่เวลาประมาณ 8,520-8,880 นาที หลังจากนั้นแอมพลิจูดเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่เวลาประมาณ 12,120-12,240 นาที จากนั้นแอมพลิจูดจะลดลงจนถึงระดับสีกหรือที่ 5 โดยสัญญาณจะมีแอมพลิจูดที่คล้ายกันในทุก 3 วิธีการเก็บสัญญาณ และทั้งในสัญญาณแนวตั้งและแนวระดับ

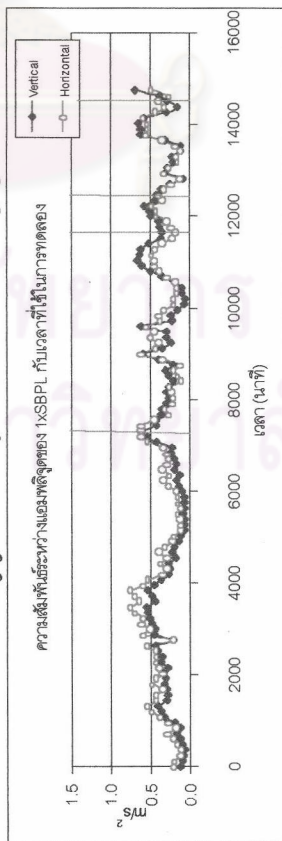
แอมพลิจูดของแถบความถี่ข้างอื่นๆ รอบ 1xGMF ได้แก่ 1xSBPL, 2xSBPL, 3xSBPL, 5xSBPL, 11xSBPL, 1xSBPR, 2xSBPR, 1xSBWL, 2xSBWL, 3xSBWL, 1xSBWR, และ 2xSBWR แอมพลิจูดการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน ค่าแอมพลิจูดแถบความถี่ข้างเหล่านี้ปรับขึ้นลงไม่มากและรูปแบบไม่คงที่



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



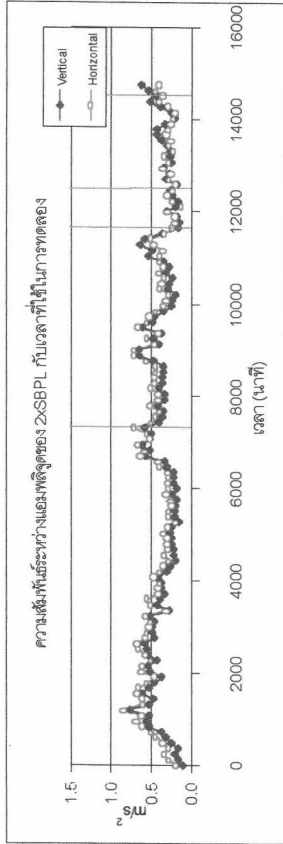
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



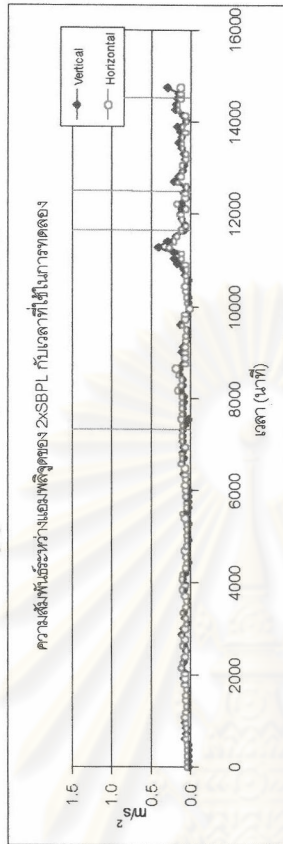
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

### แอมพลิจูดของ 1xSBPL

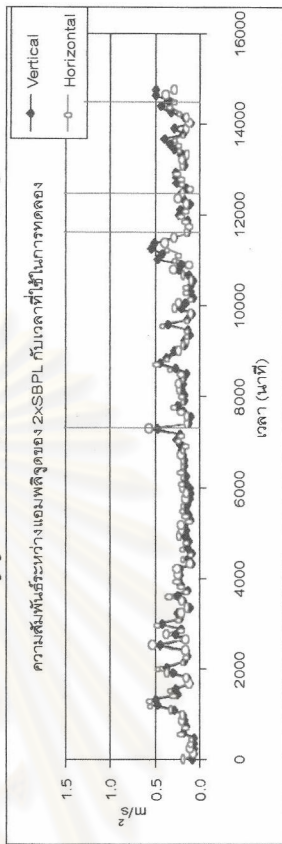
รูปที่ 4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแถบความถี่ข้าง กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่สภาวะ 500 RPM 200 W



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

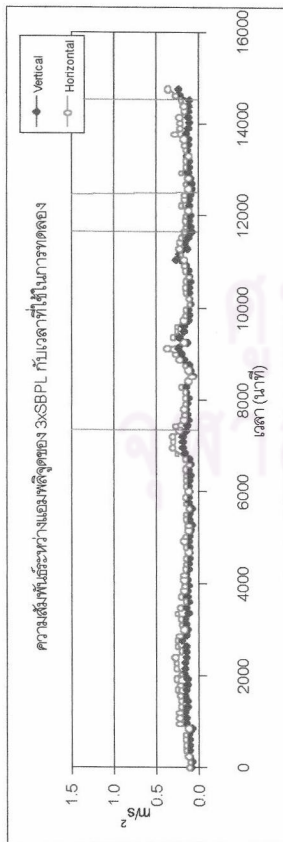


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

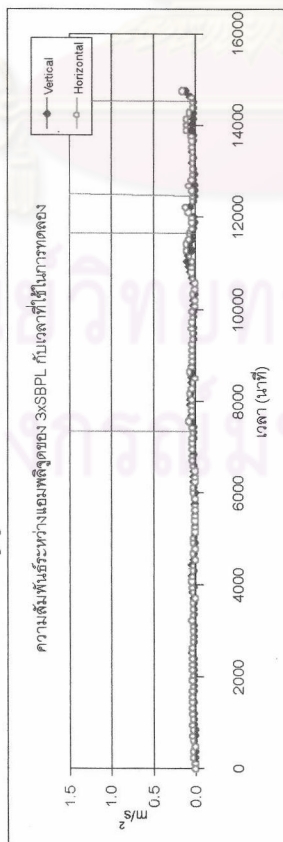


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

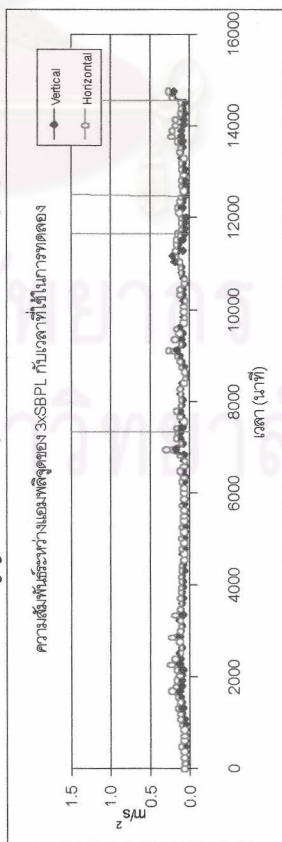
### แอมพลิจูดของ 2xSBPL



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

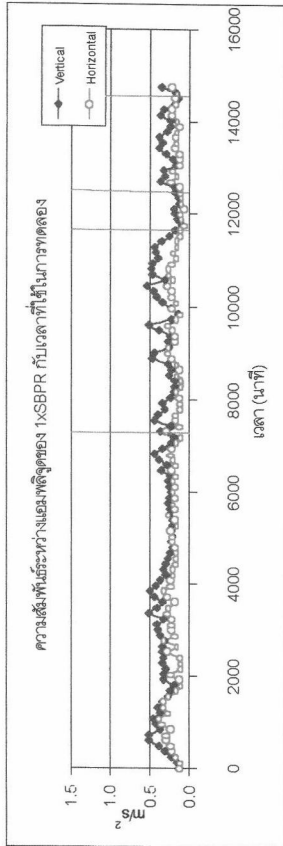


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

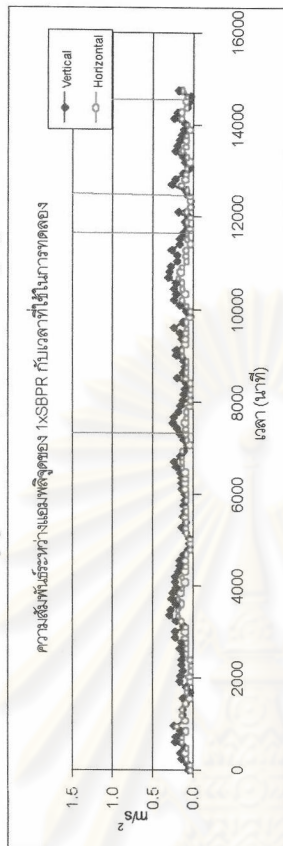


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

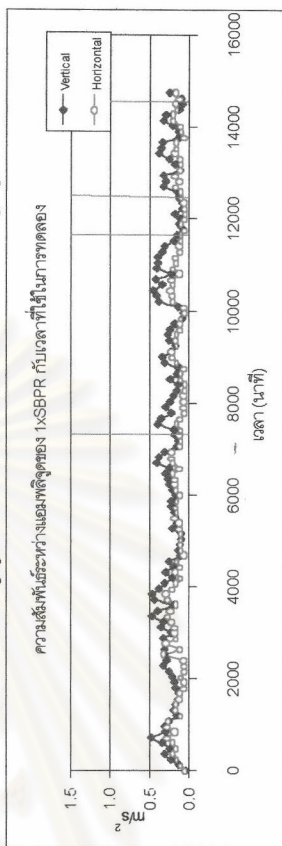
แอมพลิจูดของ 3xSBPL



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



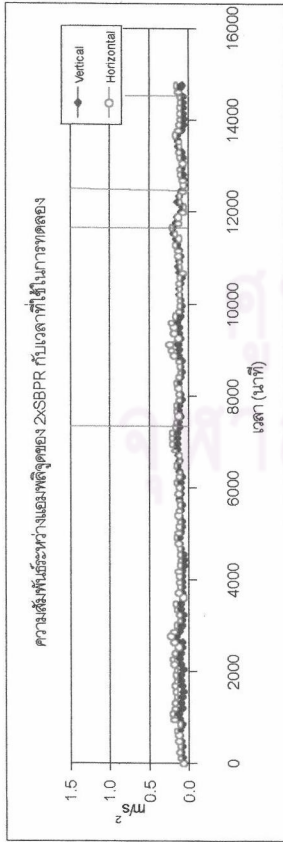
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



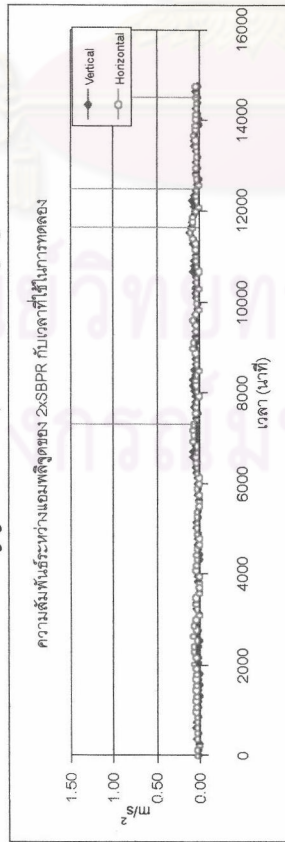
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

แอมพลิจูดของ 1xSBPR

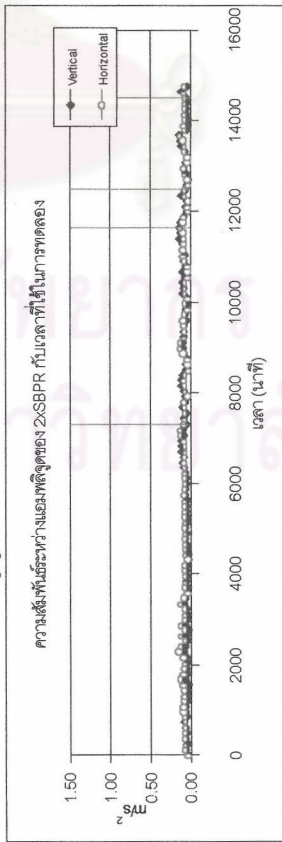
รูปที่ 4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแอมความถี่ข้าง กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่สภาวะ 500 RPM 200 W



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

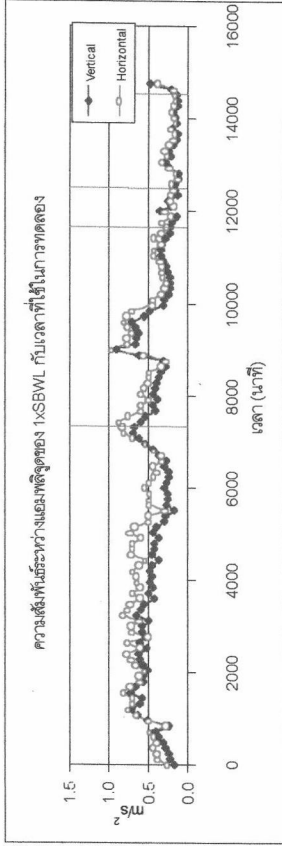


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

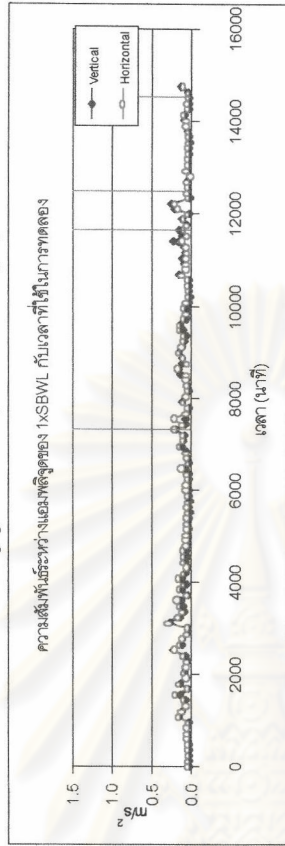


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

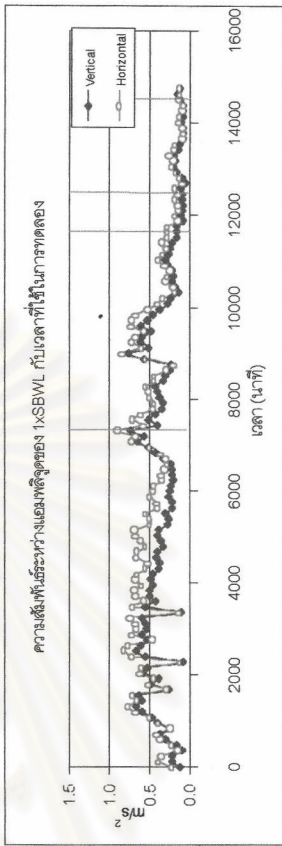
แอมพลิจูดของ 2xSBPR



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

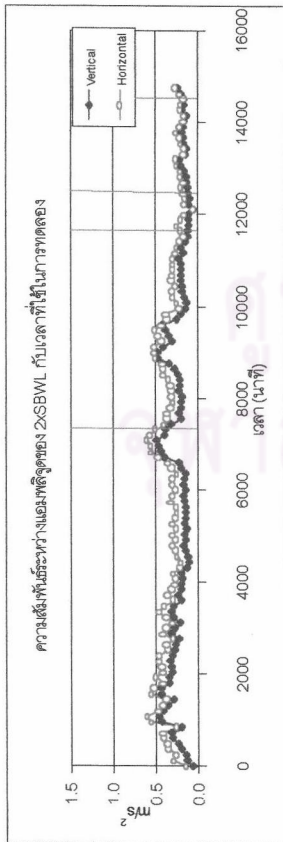


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

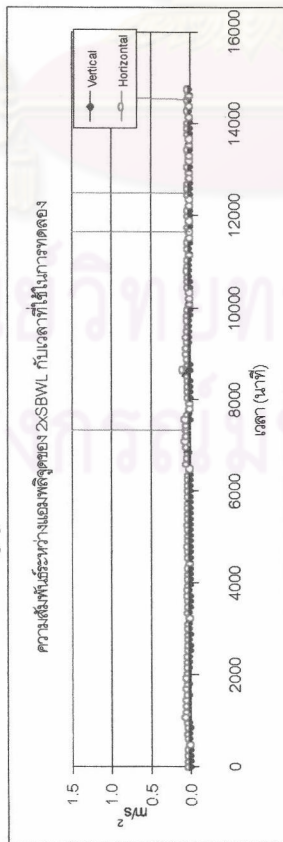
แอมพลิจูดของ 1xSBWL

รูปที่ 4-17 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแอมความถี่ข้าง กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่สภาวะ 500 RPM 200 W

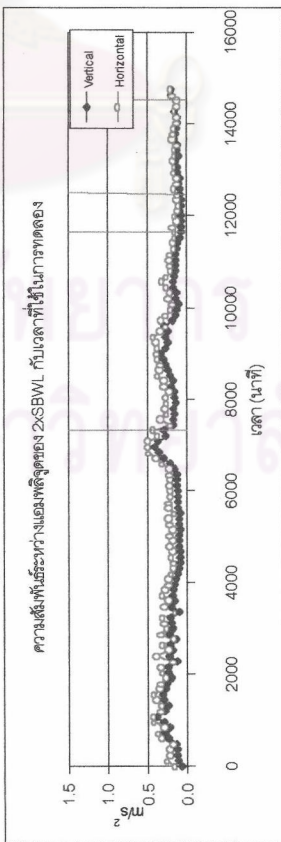




เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

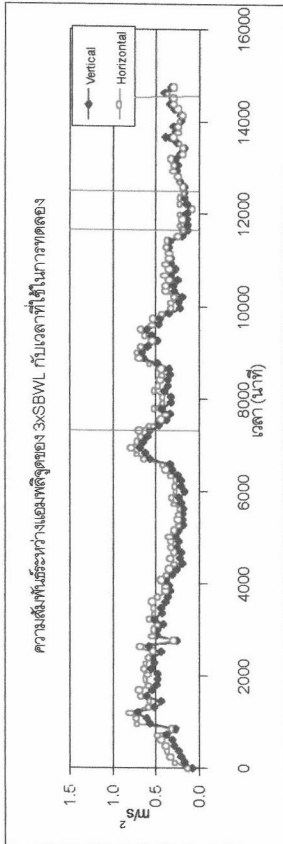


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

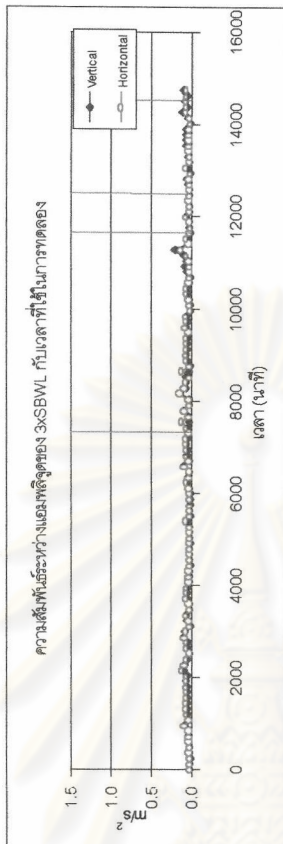


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

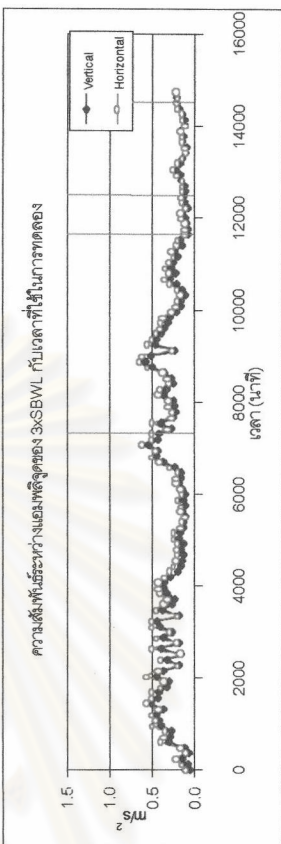
แอมพลิจูดของ 2xSBWL



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



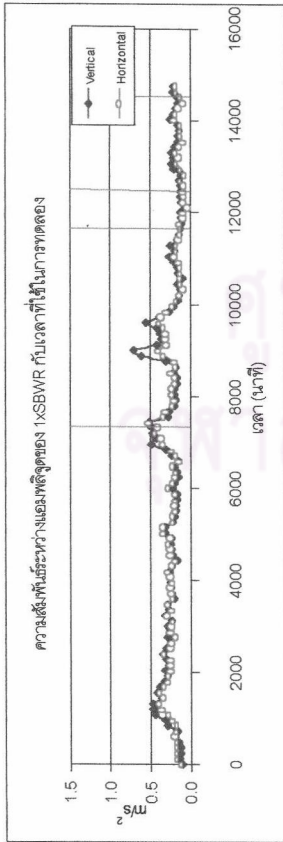
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



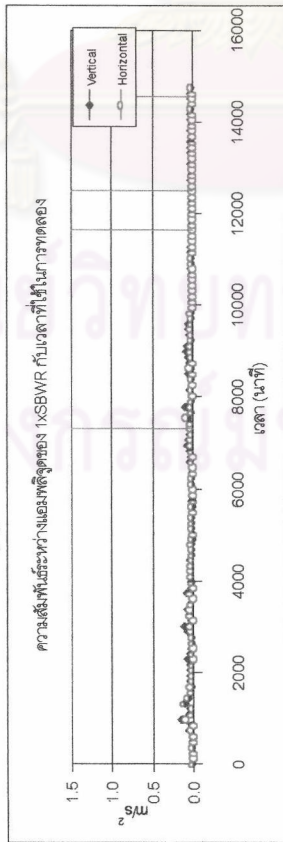
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

แอมพลิจูดของ 3xSBWL

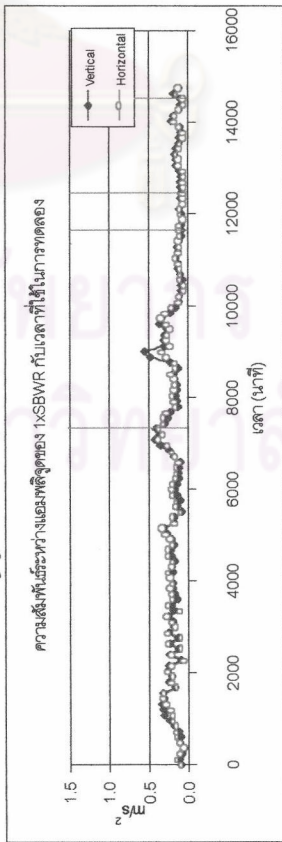
รูปที่ 4-18 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแถบความถี่ข้าง กับเวลาที่ใช้ในการทดสอบที่สภาวะ 500 RPM 200 W



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

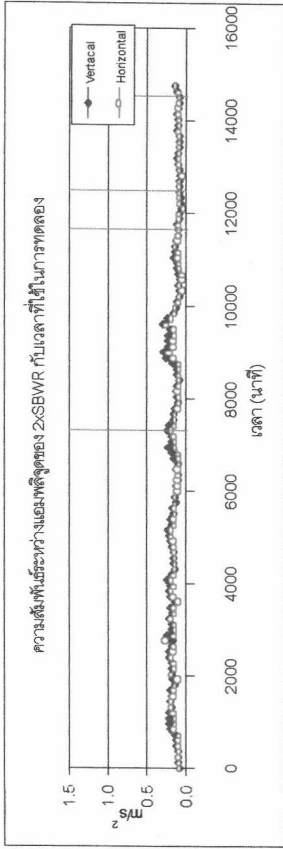


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

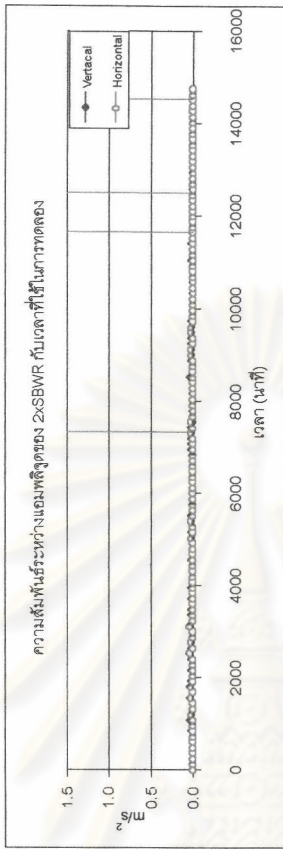


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

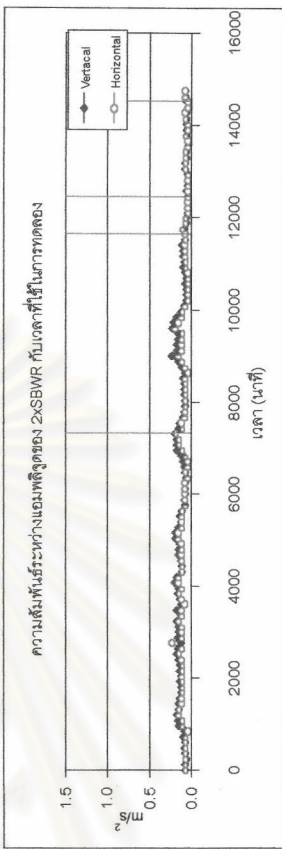
แอมพลิจูดของ 1xSBWR



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



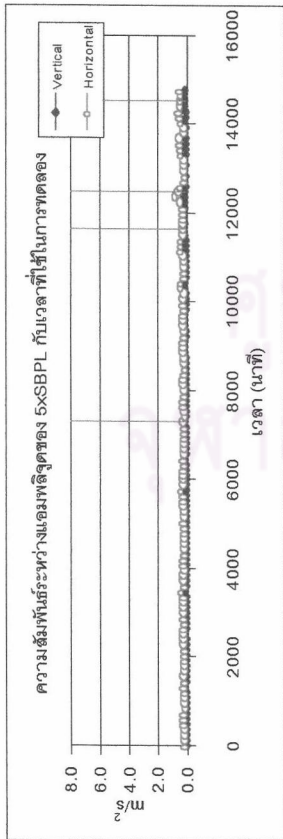
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



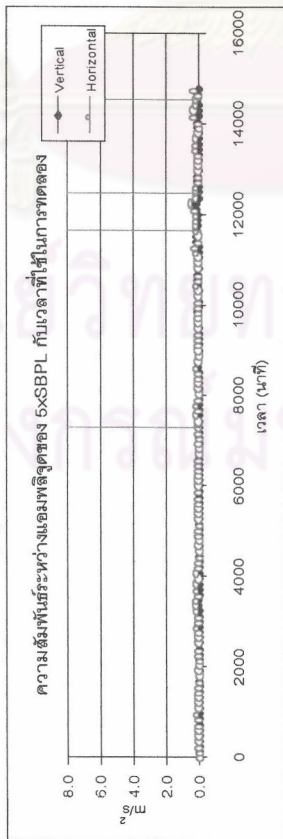
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

แอมพลิจูดของ 2xSBWR

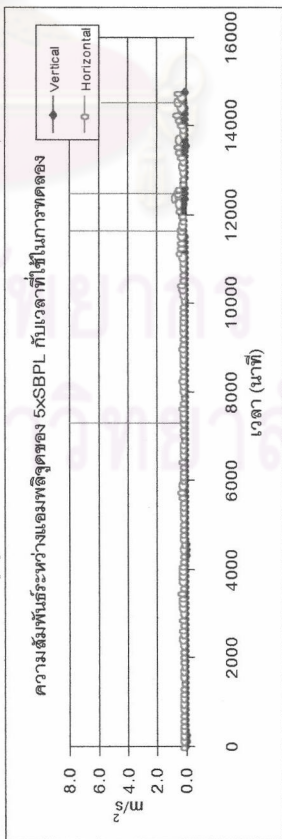
รูปที่ 4-19 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแถบความถี่ข้าง กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่สภาวะ 500 RPM 200 W



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

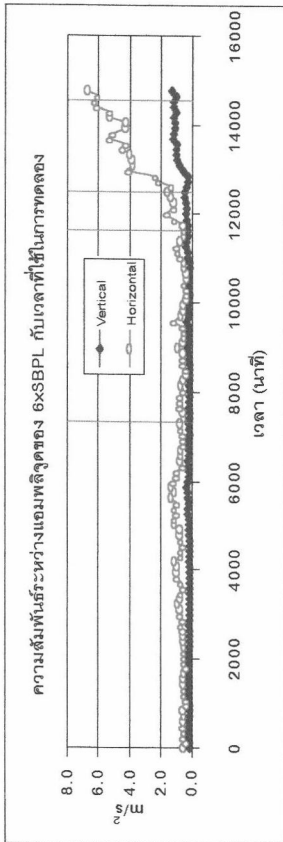


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

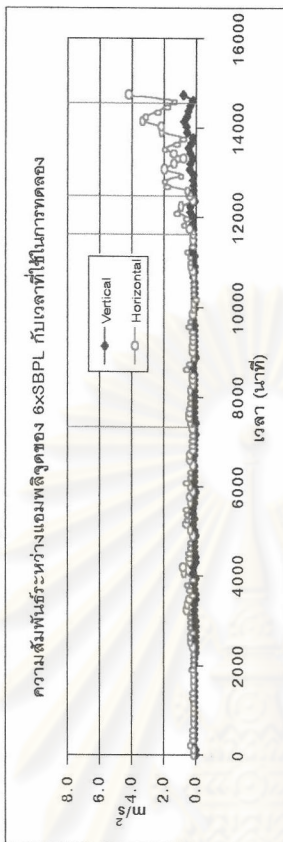


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

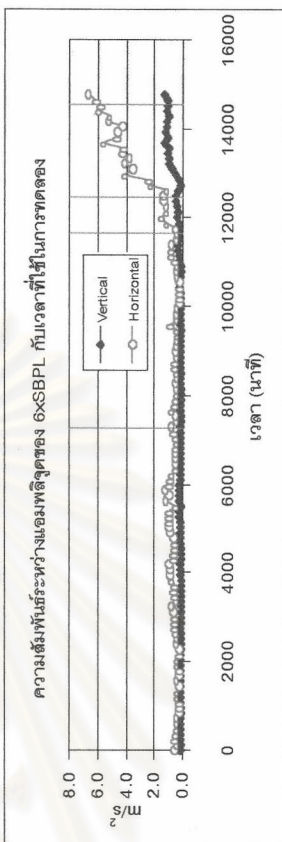
แอมพลิจูดของ 5xSBPL



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



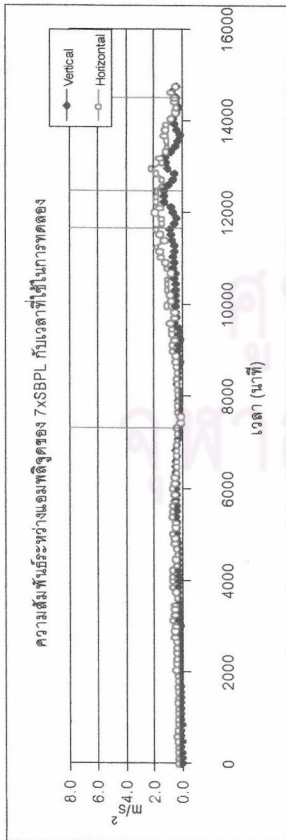
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



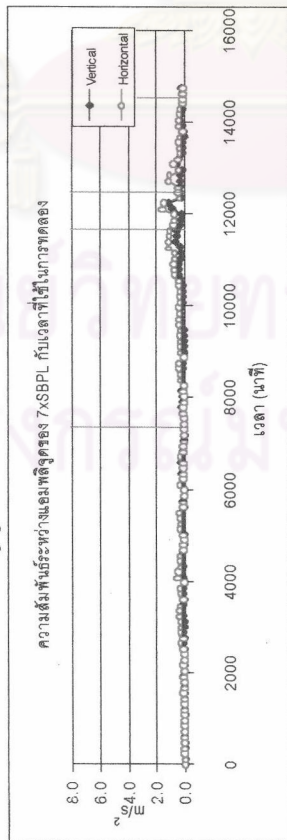
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

แอมพลิจูดของ 6xSBPL

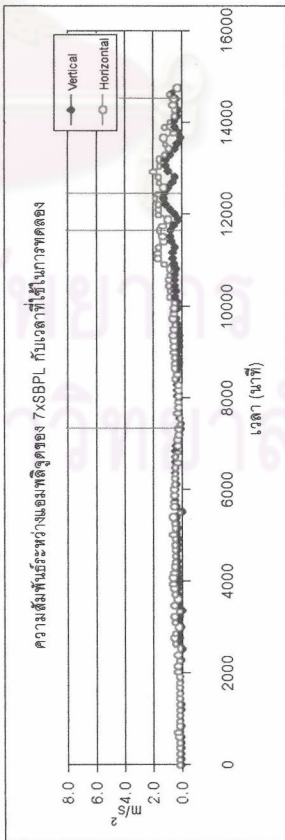
รูปที่ 4-20 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแถบความถี่ต่าง กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่สภาวะ 500 RPM 200 W



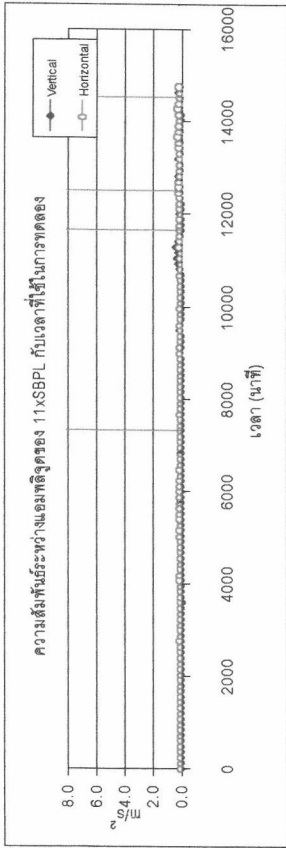
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



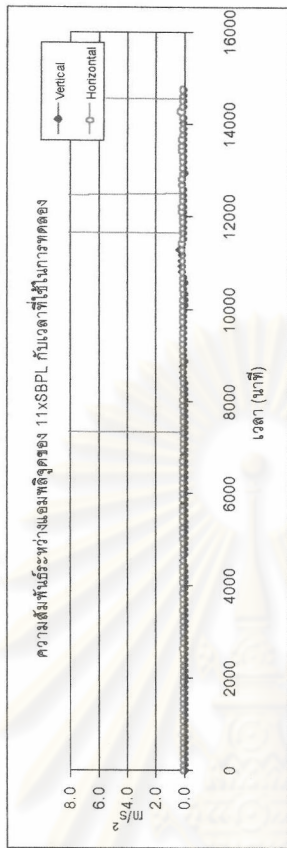
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



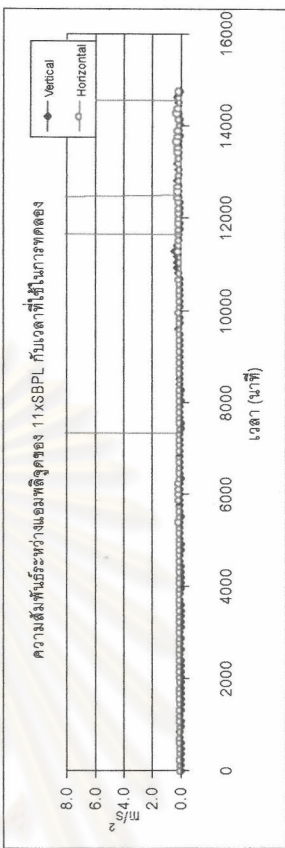
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

แอมพลิจูดของ 7xSBPL

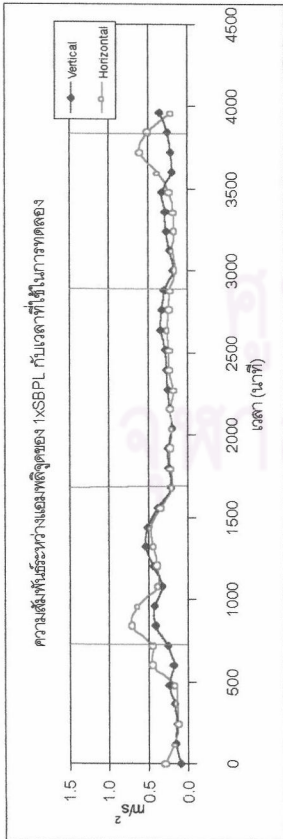
แอมพลิจูดของ 11xSBPL

รูปที่ 4-21 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแอมพลิจูดของที่สภาวะ 500 RPM 200 W

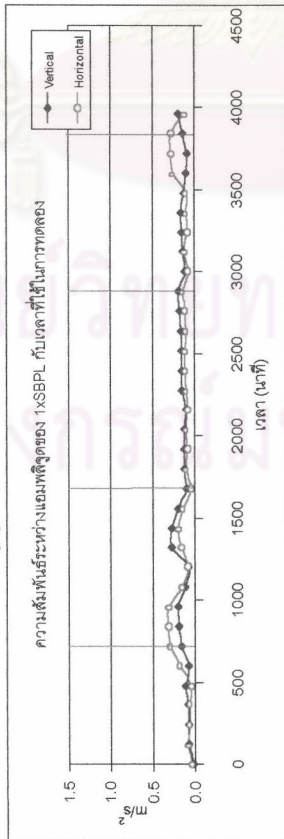
## 2. การทดลองที่สภาวะ 500 RPM 340 W

ที่สภาวะนี้แนวโน้มของแถบความถี่ข้างส่วนใหญ่ได้แก่ 1xSBPL, 2xSBPL, 3xSBPL, 5xSBPL, 11xSBPL, 1xSBPR, 2xSBPR, 1xSBWL, 2xSBWL, 3xSBWL, 1xSBWR, และ 2xSBWR จะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับแนวโน้มของสัญญาณบนโดเมนความถี่ที่ความถี่ 1xGMF และค่า Peak และ RMS ของสัญญาณบนโดเมนเวลา คือจะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นก่อนในช่วงแรกจนมีค่าสูงสุดอยู่ที่ช่วงเวลาประมาณ 960-1,440 นาที จากนั้นแนวโน้มจะลดลงจนถึงที่เวลาประมาณ 1,680-1,920 นาที ในบางกรณีแนวโน้มสัญญาณจะมีลักษณะที่คงที่หรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อการทดลองผ่านไปจนถึงระดับลึกหรือที่ 5 และในบางกรณีประมาณหลังจากนาทีที่ 1,680-1,920 แนวโน้มจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงที่เวลาประมาณ 2,800-3,480 นาที จากนั้นสัญญาณจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงค่าสูงสุดที่เวลาประมาณ 3,480-3,600 นาทีแล้วสัญญาณจะมีแนวโน้มที่ลดลงจนถึงระดับสุดท้าย นอกจากนี้ยังแถบความถี่ข้างที่มีแนวโน้มที่น่าสนใจอีกคือที่ 6xSBPL และ 7xSBPL ดังแสดงในรูปที่ 4-22 ถึง 4-28

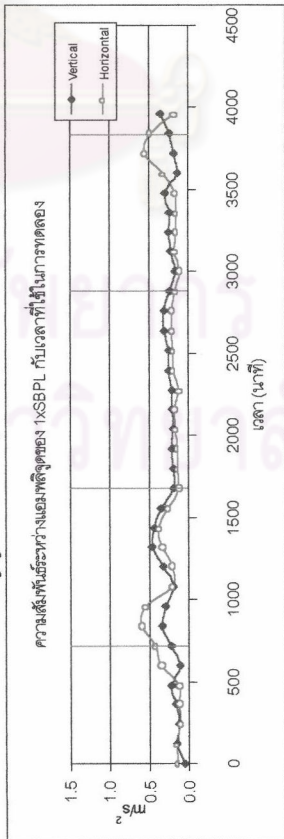
6xSBPL และ 7xSBPL สัญญาณที่แถบความถี่ข้างนี้มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เริ่มทดลองไปจนถึงระดับลึกหรือสุดท้ายโดยช่วงแรกประมาณ 2,000 นาที มีการเพิ่มขึ้นช้าๆ หลังจากนั้นการเพิ่มขึ้นชัดเจนมากยิ่งขึ้นโดยแนวโน้มจะมีลักษณะเดียวกันในทั้ง 3 วิธีการเก็บสัญญาณและทั้งสัญญาณในแนวตั้งและสัญญาณในแนวระดับ แต่ก็ยังมีการปรับตัวขึ้นลงตลอดช่วงการทดลอง



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

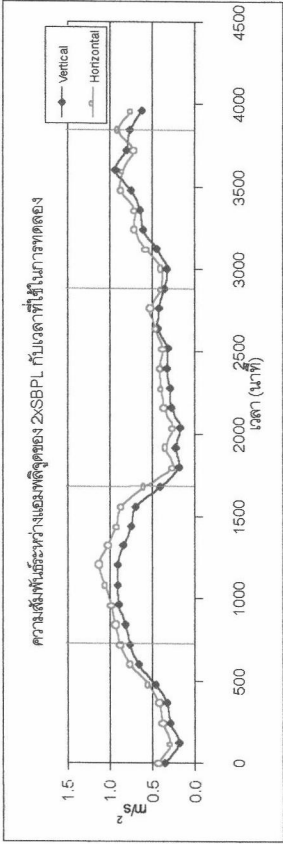


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

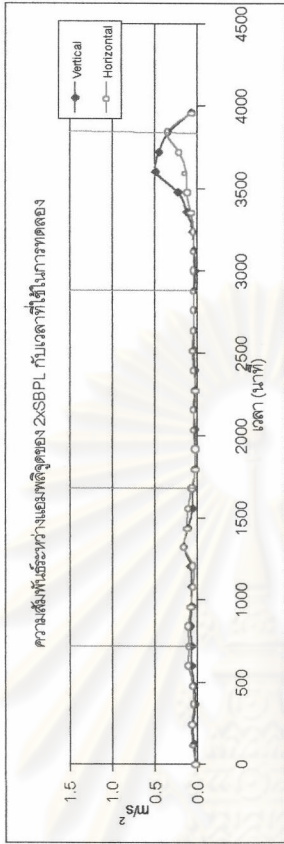


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

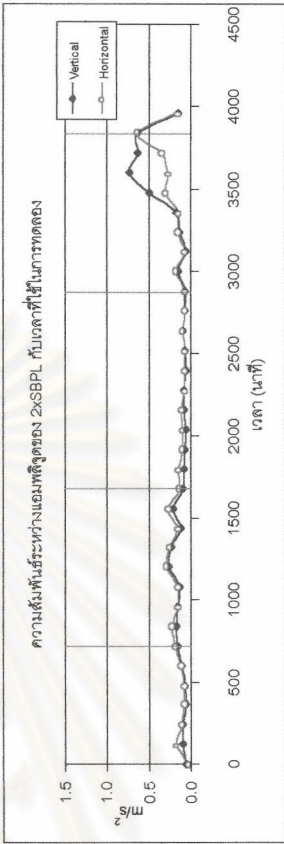
### แอมพลิจูดของ 1xSBPL



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



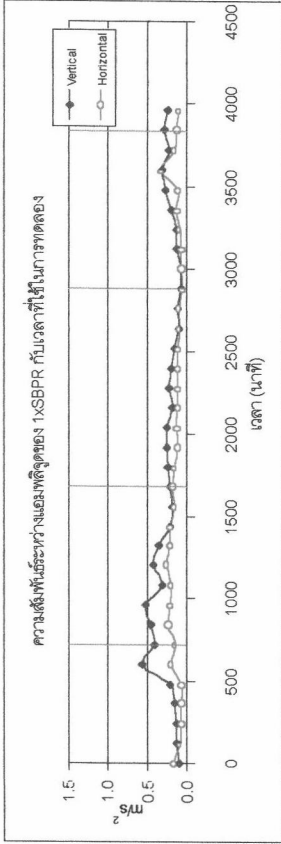
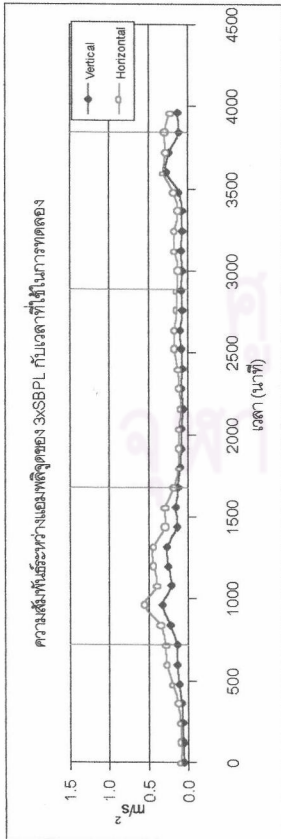
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

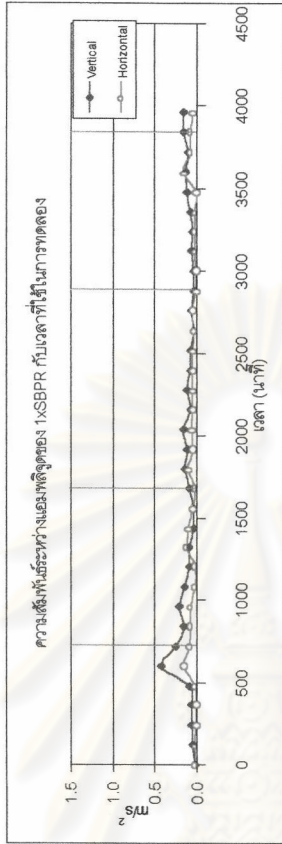
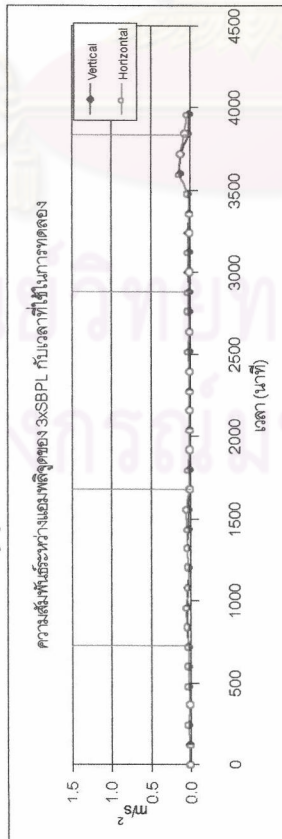
### แอมพลิจูดของ 2xSBPL

รูปที่ 4-22 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแถบความถี่ต่าง กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่สภาวะ 500 RPM 340 W



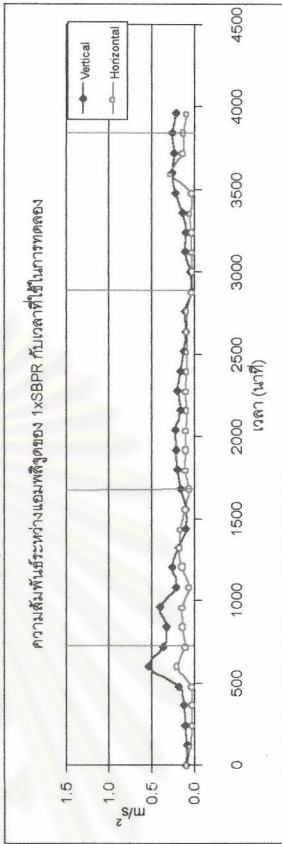
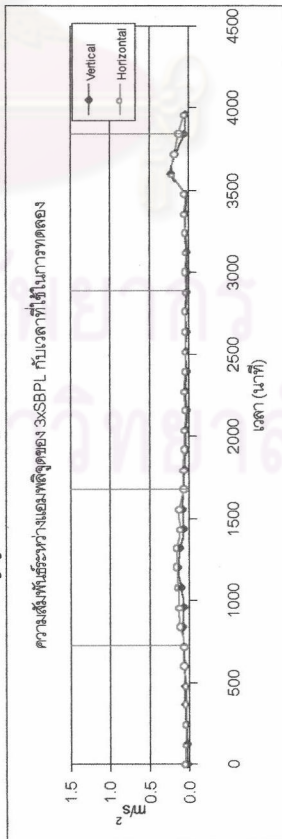
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



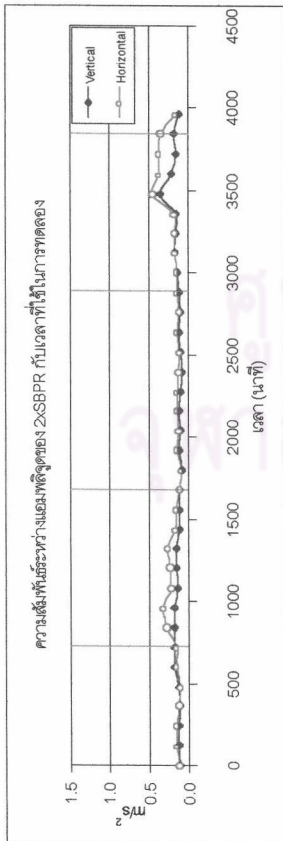
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

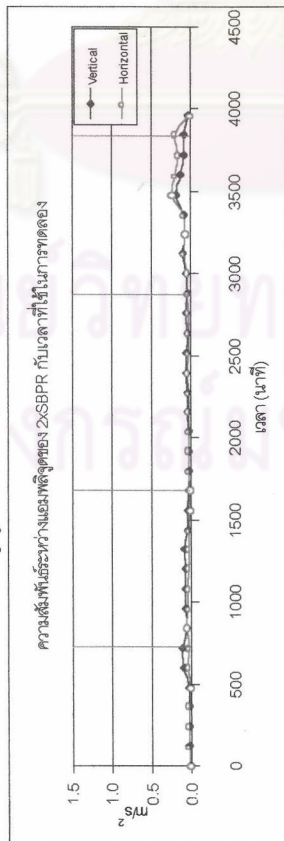
แอมพลิจูดของ 3xSBPL

แอมพลิจูดของ 1xSBPR

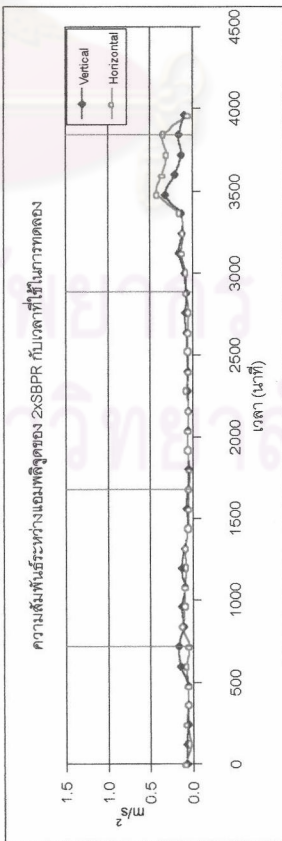
รูปที่ 4-23 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแถบความถี่ต่าง กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่สภาวะ 500 RPM 340 W



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

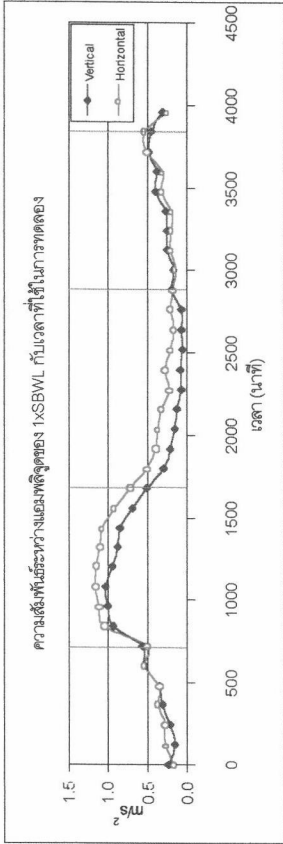


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

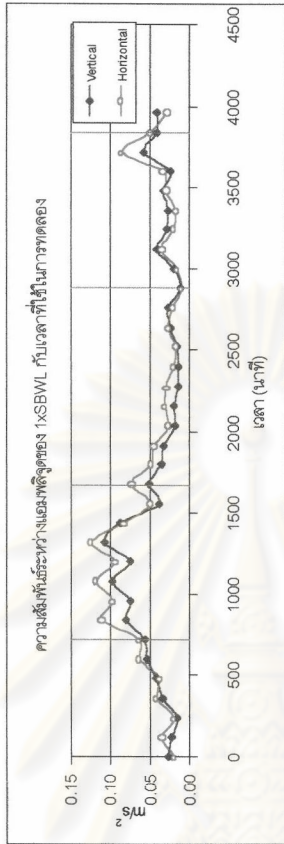


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

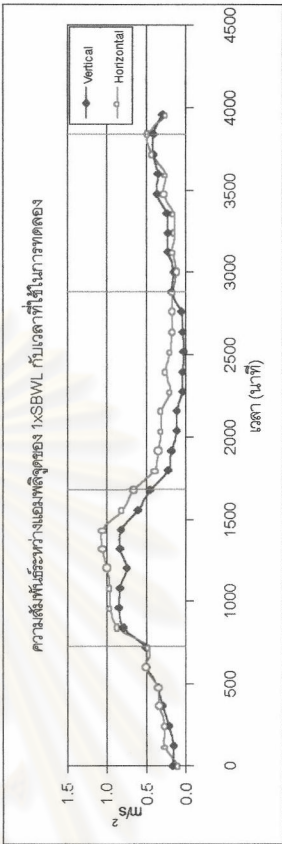
### แอมพลิจูดของ 2xSBPR



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

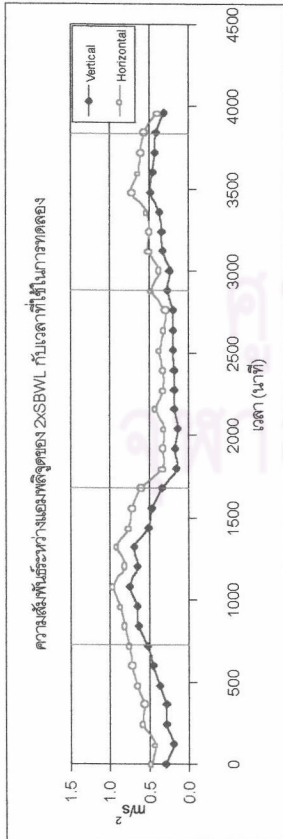


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

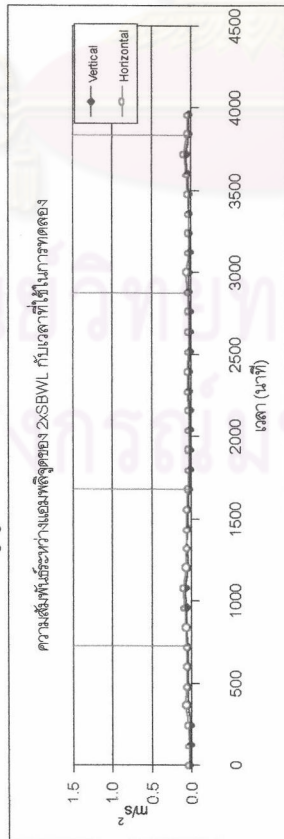
### แอมพลิจูดของ 1xSBWL

รูปที่ 4-24 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแถบความถี่ต่าง กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่สภาวะ 500 RPM 340 W

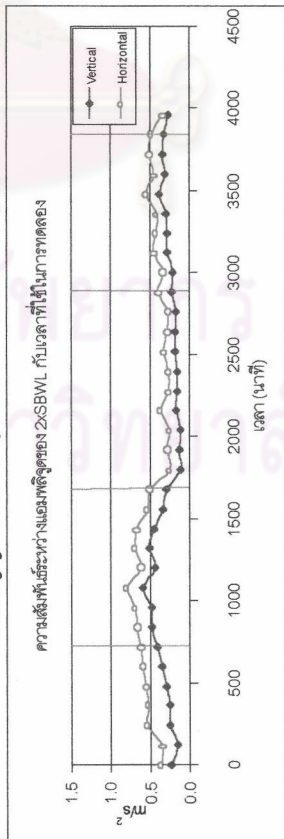




เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

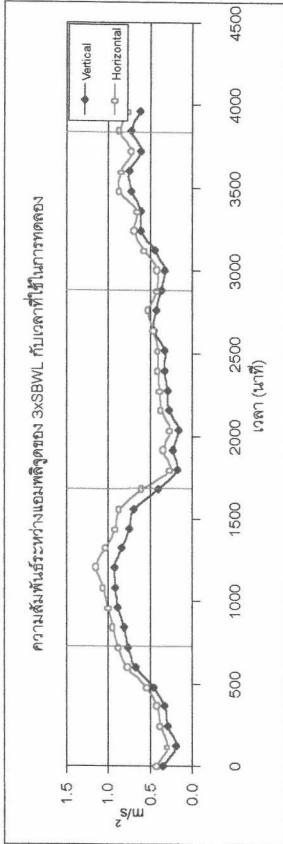


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

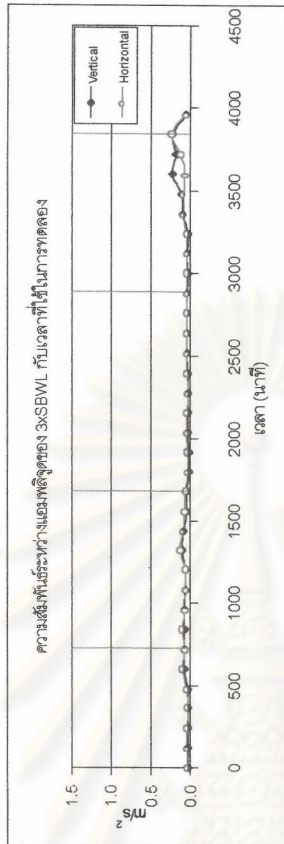


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

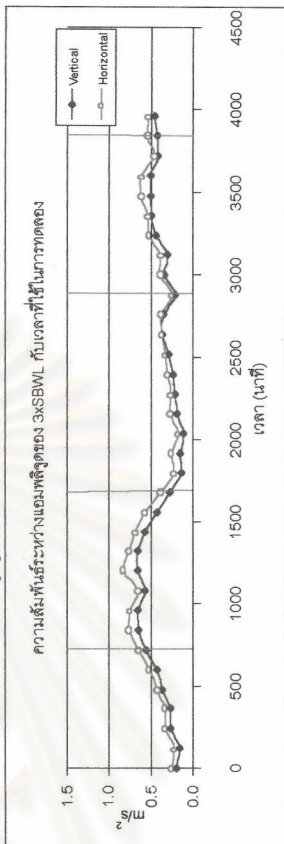
แอมพลิจูดของ 2xSBWL



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



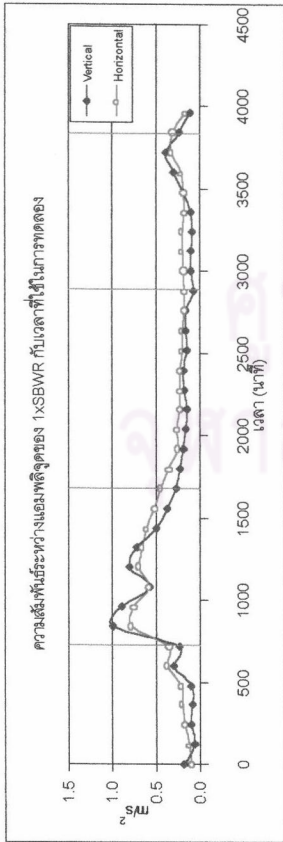
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



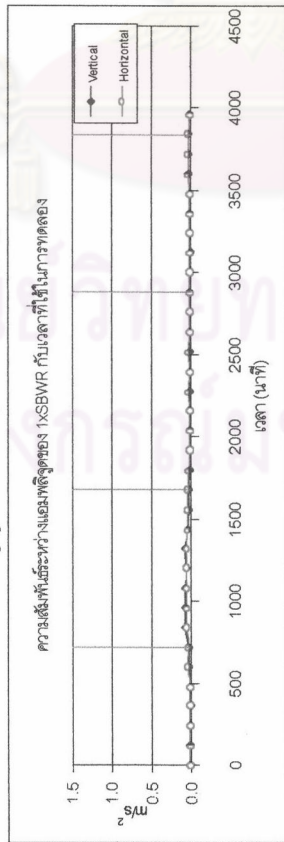
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

แอมพลิจูดของ 3xSBWL

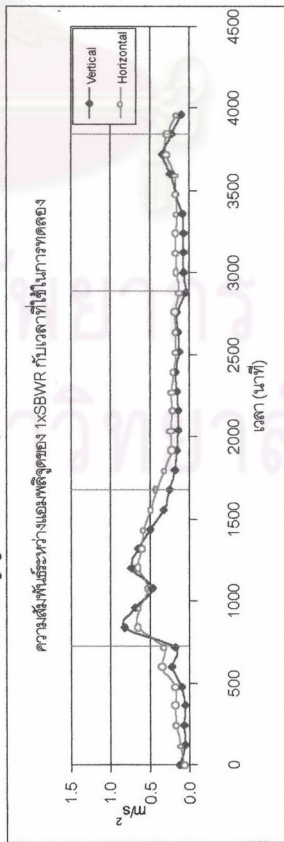
รูปที่ 4-25 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแถบความถี่ต่าง กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่สภาวะ 500 RPM 340 W



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

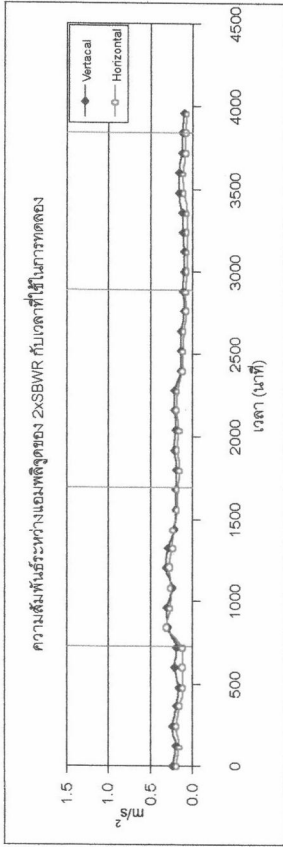


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

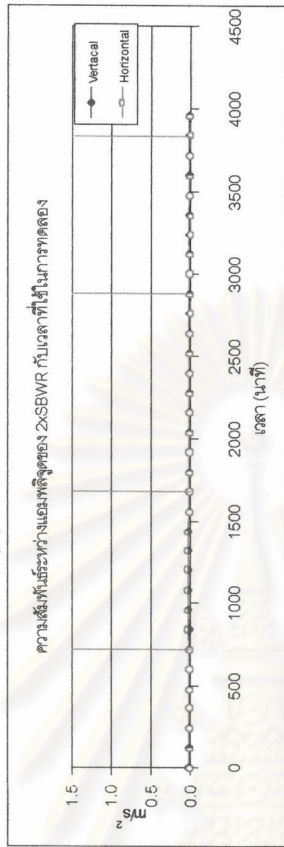


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

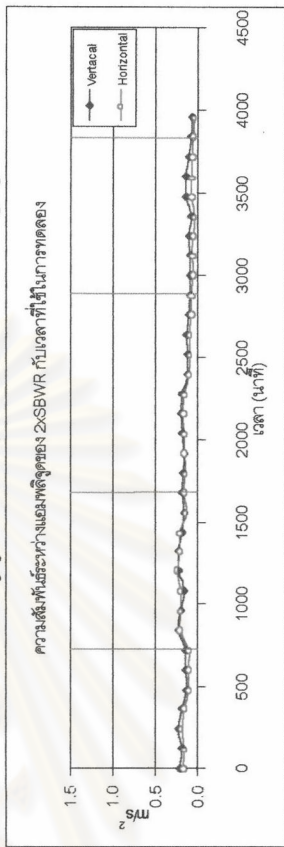
แอมพลิจูดของ 1xSBWR



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



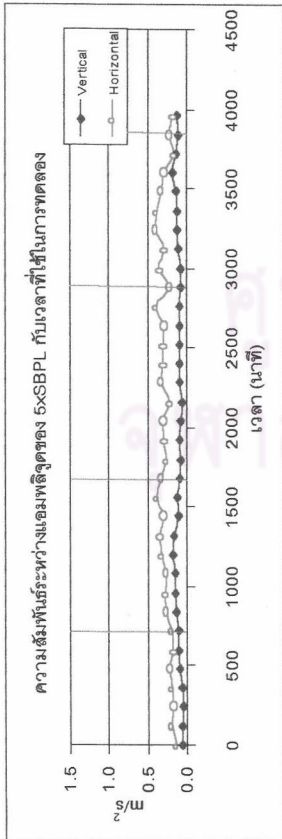
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



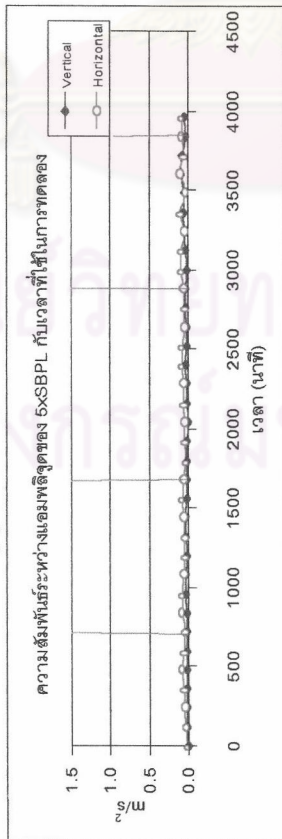
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

แอมพลิจูดของ 2xSBWR

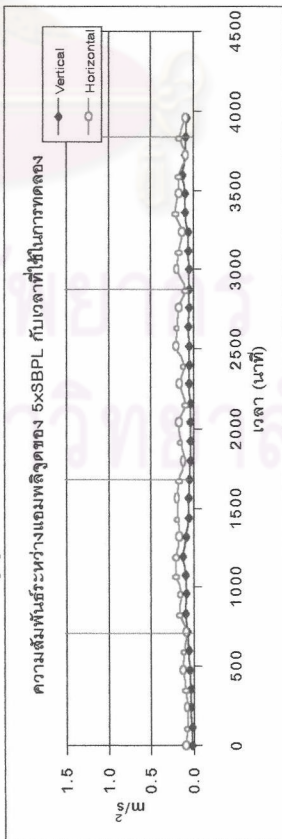
รูปที่ 4-26 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแอมพลิจูดของ 500 RPM 340 W



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

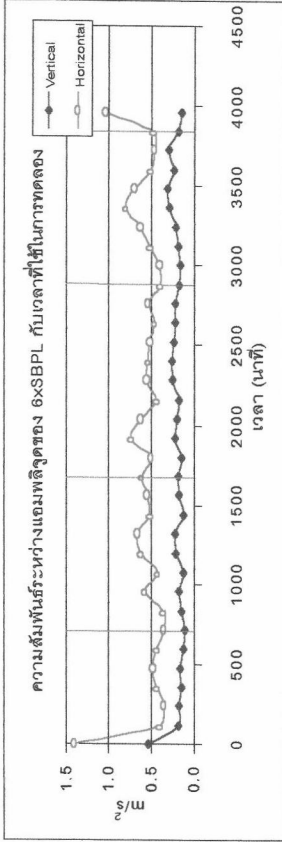


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

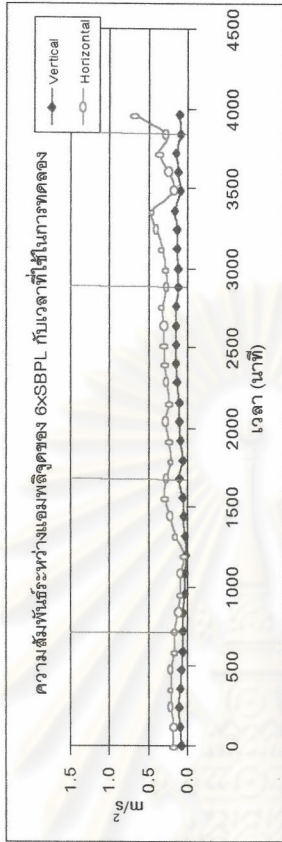


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

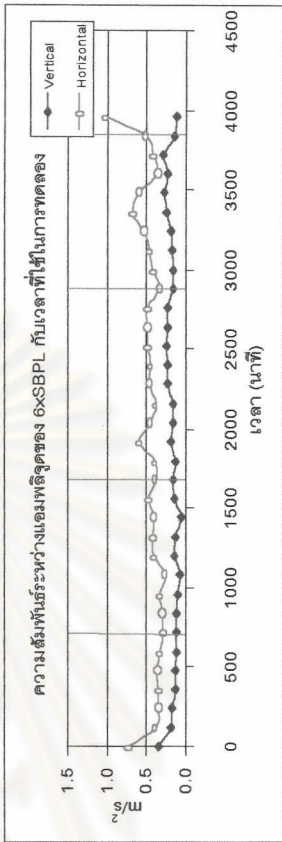
แอมพลิจูดของ 5xSBPL



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



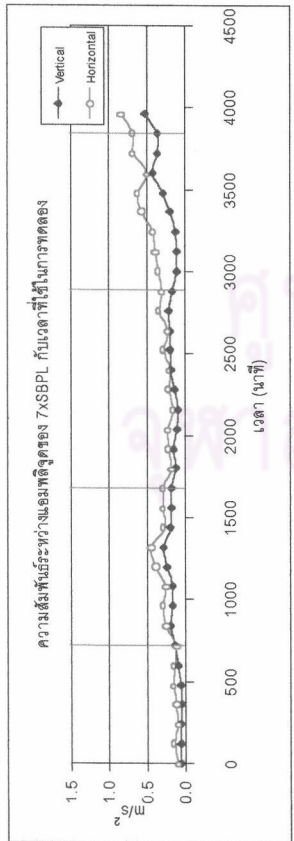
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



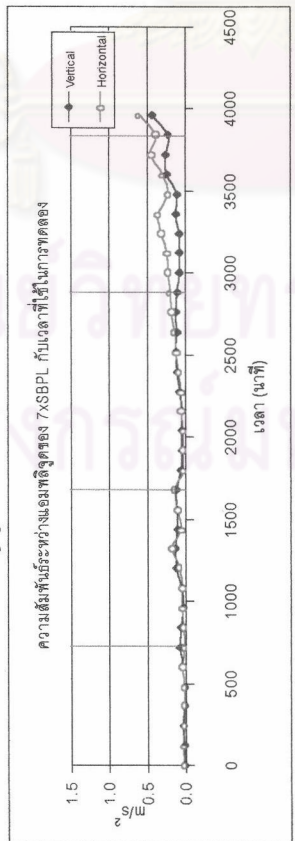
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

แอมพลิจูดของ 6xSBPL

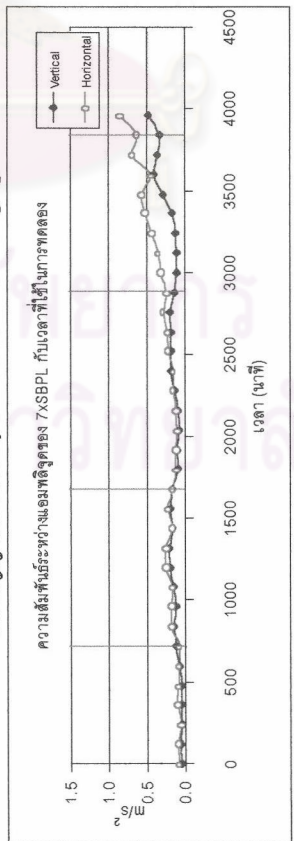
รูปที่ 4-27 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแถบความถี่ข้าง กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่สภาวะ 500 RPM 340 W



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

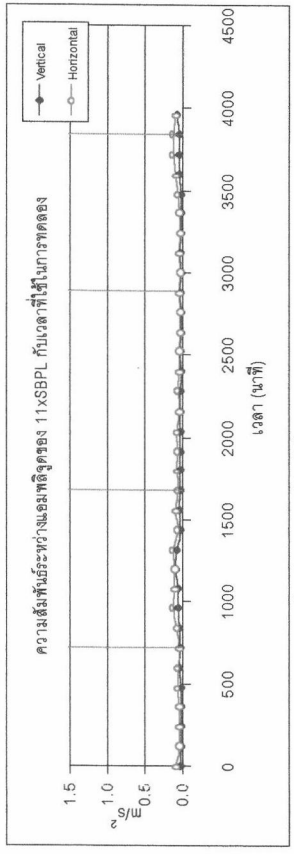


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

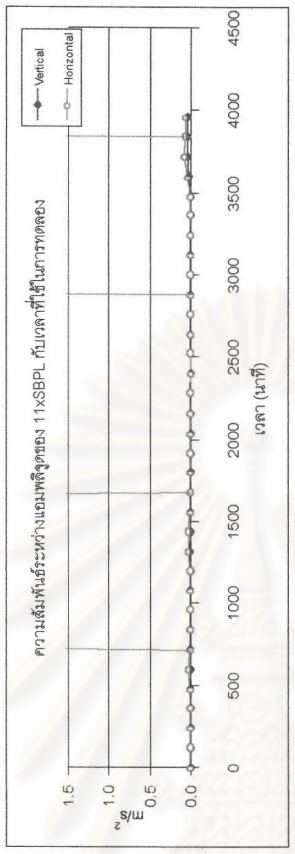


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

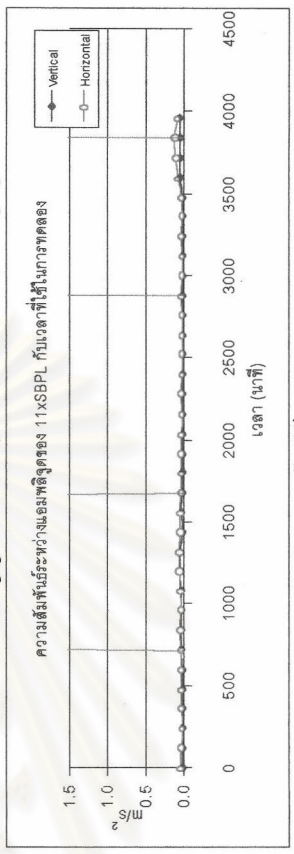
แอมพลิจูดของ 7xSBPL



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

แอมพลิจูดของ 11xSBPL

รูปที่ 4-28 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแถบความถี่ต่าง กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่สภาวะ 500 RPM 340 W

### 3. การทดลองที่สภาวะ 800 RPM 200 W

การพิจารณาแถบความถี่ข้างที่สภาวะนี้จะพิจารณาเฉพาะแถบความถี่ข้างที่มีแนวชัดเจน ซึ่งแถบความถี่ข้างที่น่าสนใจในสภาวะนี้มี 5 พารามิเตอร์ คือ 2xSBPL, 3xSBWL, 6xSBPL, 10xSBPL และ 14xSBPL ดังแสดงในรูปที่ 4-29 ถึง 4-36

2xSBPL รูปแบบแนวโน้มของแถบความถี่ข้างนี้มีลักษณะที่คล้ายกันในทั้ง 3 วิธีการเก็บสัญญาณทั้งสัญญาณในแนวตั้งและแนวระดับ แต่ความเด่นชัดของสัญญาณจะปรากฏที่สัญญาณในแนวตั้งมากกว่าสัญญาณในแนวระดับ โดยรูปแบบของแนวโน้มจะค่อนข้างคงที่ตั้งแต่เริ่มทดลองไปจนถึงระดับลึกหรือที่ 1 หรือที่เวลาประมาณ 1,080 นาที จากนั้นสัญญาณจะมีแนวโน้มที่สูงขึ้นและคงที่จนถึงระดับลึกหรือที่ 2 หรือที่เวลาประมาณ 2,280 นาที แล้วสัญญาณจะมีแนวโน้มที่ลดลงจนถึงระดับเริ่มต้นและคงสภาพจนถึงระดับลึกหรือสุดท้าย วิธีการเก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging มีความแปรปรวนของสัญญาณที่ค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับการเก็บสัญญาณด้วยวิธีอื่น

3xSBWL เนื่องจากที่แถบความถี่ข้างนี้ตรงกับสัญญาณที่ความถี่ 318.56 Hz ในสัญญาณบนโดเมนความถี่ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับที่แถบความถี่ข้าง 2xSBPL ซึ่งตรงกับสัญญาณที่ความถี่ 320 Hz ในสัญญาณบนโดเมนความถี่ ประกอบกับความละเอียดบนกราฟสเปกตรัมที่ความเร็วรอบ 800 RPM ในวิธีการเก็บสัญญาณแบบ Spectrum Averaging และ Synchronous Time Averaging มีค่าประมาณ 2 Hz จึงทำให้ค่า ณ เวลาต่างๆ บนเส้นแนวโน้มของแถบความถี่ข้าง 3xSBWL ในวิธีการเก็บสัญญาณแบบ Spectrum Averaging และ Synchronous Time Averaging มีค่าใกล้เคียงกับแนวโน้มของ 2xSBPL แต่ในกรณีของการเก็บสัญญาณโดยวิธี Zoom Processing ความละเอียดของสัญญาณบนโดเมนความถี่มีค่าเท่ากับ 0.5 Hz จึงทำให้ความแตกต่างของแนวโน้มที่แถบความถี่ข้างทั้ง 2 จากวิธีการดังกล่าวมีค่ามากกว่าความแตกต่างของแนวโน้มจากวิธีการเก็บสัญญาณทั้ง 2 วิธีข้างต้น

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นทำให้แนวโน้มที่แถบความถี่ข้างนี้มีลักษณะที่เหมือนกับแนวโน้มที่แถบความถี่ข้าง 2xSBPL ในทั้ง 3 วิธีการเก็บสัญญาณและทั้งสัญญาณในแนวตั้งและสัญญาณในแนวระดับ

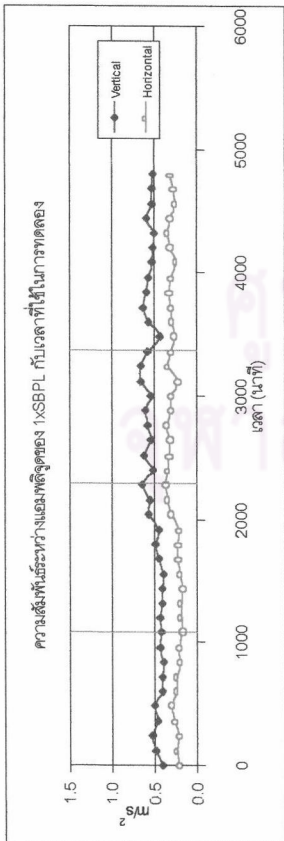
6xSBPL แถบความถี่ข้างนี้แนวโน้มจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่เริ่มทดลองไปจนถึงที่เวลาประมาณ 960-1,200 นาที หลังจากนั้นสัญญาณจะมีแนวโน้มที่ลดลงจนถึงที่ระดับลึกหรือที่ 4 โดยแนวโน้มของสัญญาณจะคล้ายกันในทั้ง 3 วิธีการเก็บสัญญาณทั้งสัญญาณในแนวตั้งและสัญญาณในแนวระดับ

10xSBPL แนวน้มน้ของแถบความถี่ข้างนี้มีลักษณะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วงตั้งแต่เริ่มเก็บสัญญาณไปจนถึงที่เวลาประมาณ 3,480-3,600 นาที่ จากนั้นแนวน้มน้จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงที่เวลาประมาณ 4,080 นาที่ ก่อนที่แนวน้มน้จะลดลงเล็กน้อยจนถึงที่ระดับสี่หรือที่ 4 ในทั้ง 3 วิธีการเก็บสัญญาณทั้งสัญญาณในแนวตั้งและแนวระดับ

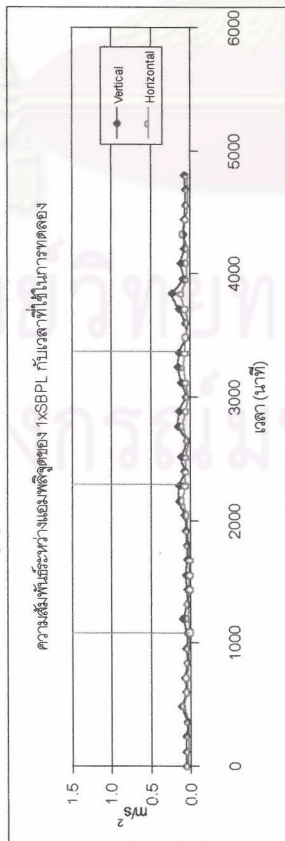
14xSBPL ที่แถบความถี่ข้างนี้แนวน้มน้มีลักษณะที่คล้ายคลึงกับที่แถบความถี่ข้าง 10xSBPL คือมีแนวน้มน้ที่เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนถึงที่เวลาประมาณ 3,480 นาที่ ต่อจากนั้นแนวน้มน้คงที่จนถึงระดับสี่หรือที่ 4 ค่าความถี่นี้ใกล้เคียงกับค่าความถี่ธรรมชาติ 166 Hz



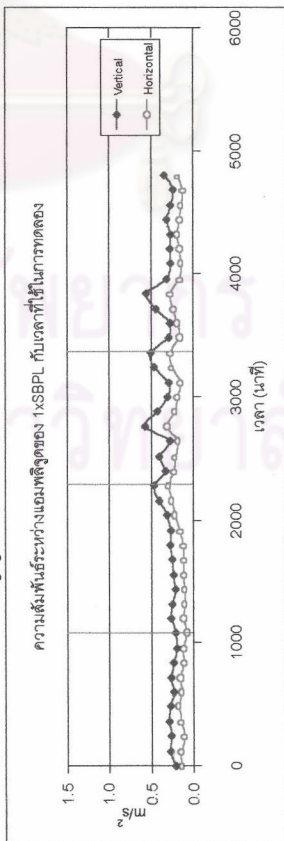
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

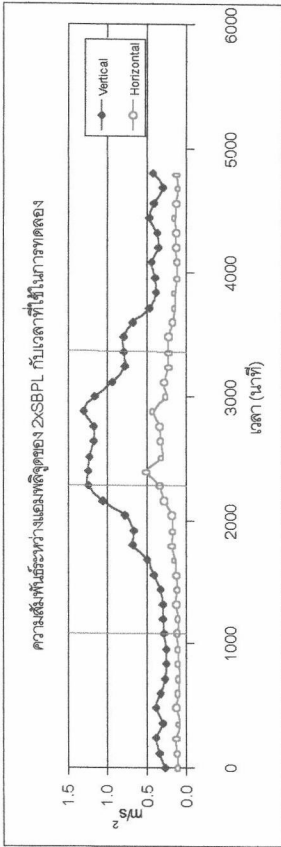


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

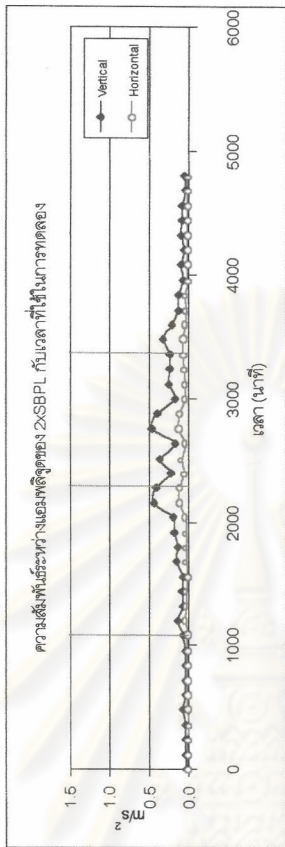


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

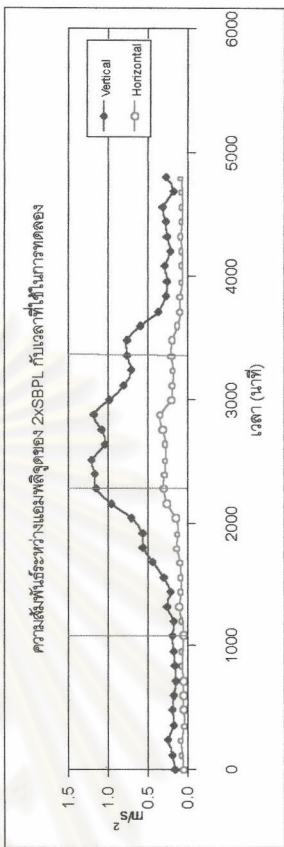
### แอมพลิจูดของ 1xSBPL



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



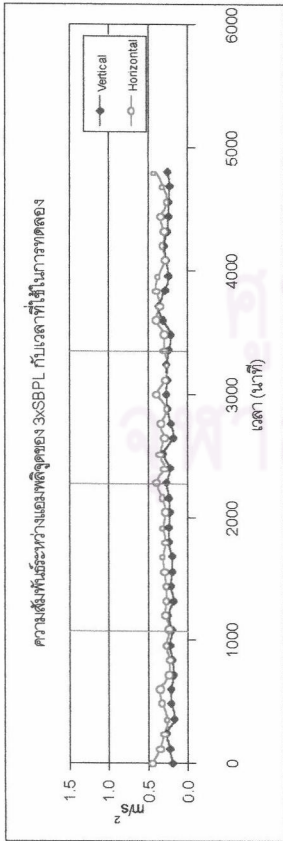
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



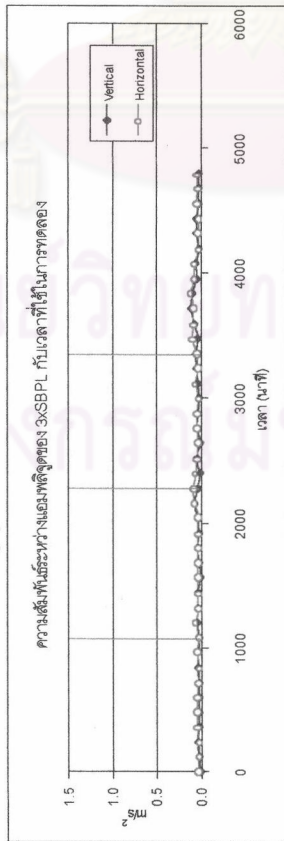
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

### แอมพลิจูดของ 2xSBPL

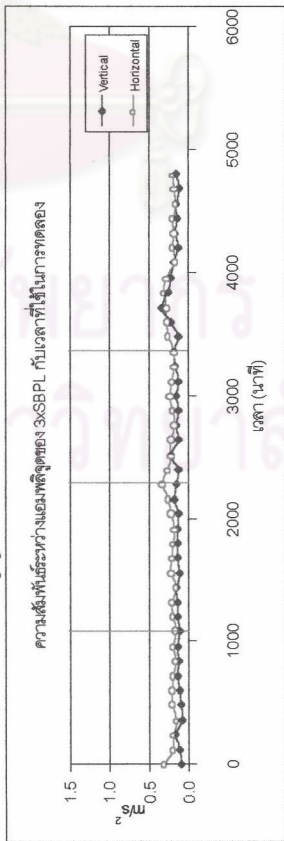
รูปที่ 4-29 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแถบความถี่ต่าง กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่สภาวะ 800 RPM 200 W



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

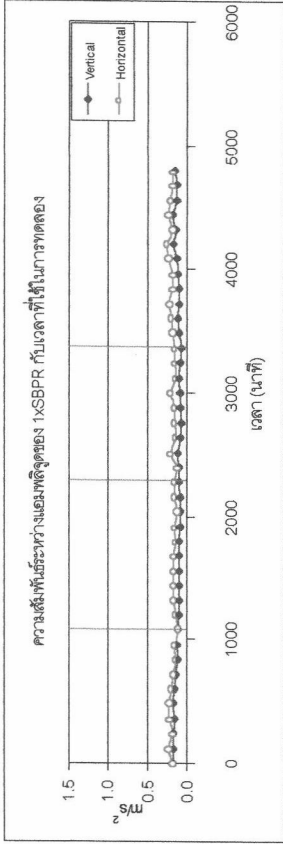


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

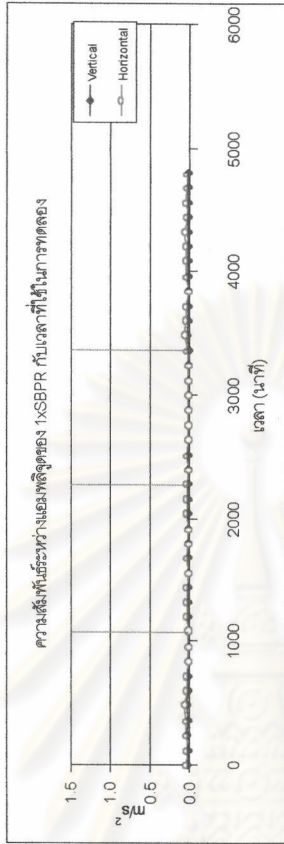


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

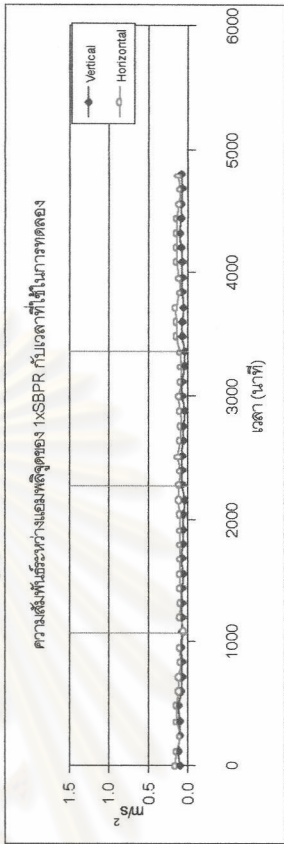
แอมพลิจูดของ 3xSBPL



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

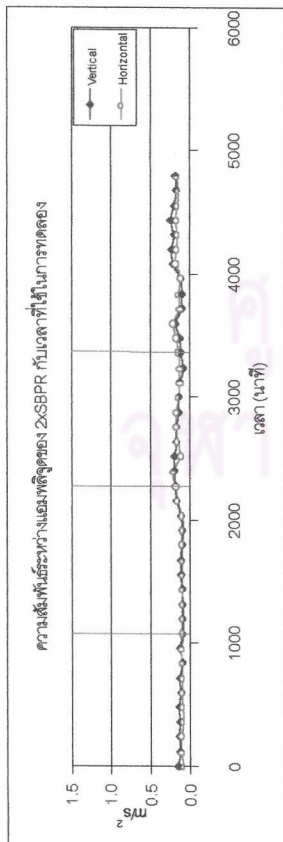


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

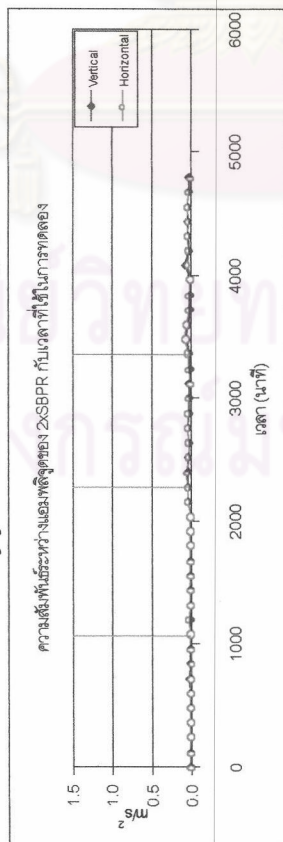
แอมพลิจูดของ 1xSBPR

รูปที่ 4-30 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแอมพลิจูดของแถบความถี่ต่าง กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่สภาวะ 800 RPM 200 W

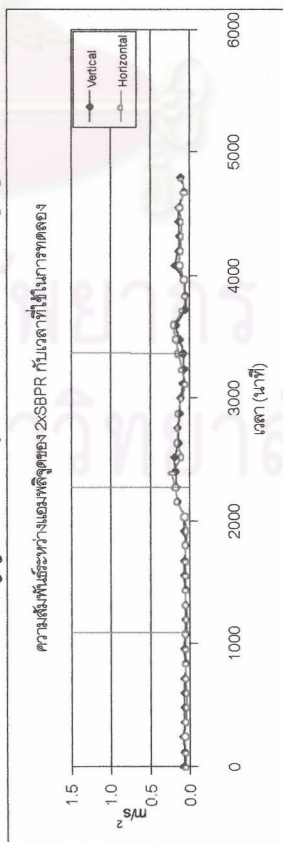




เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

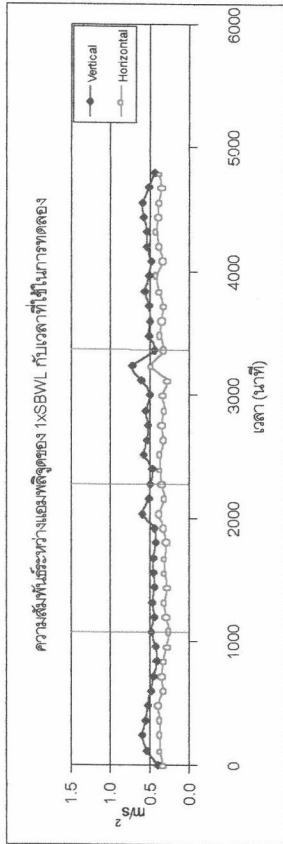


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

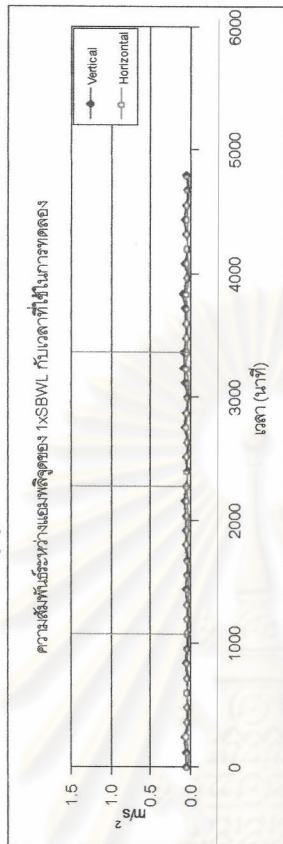


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

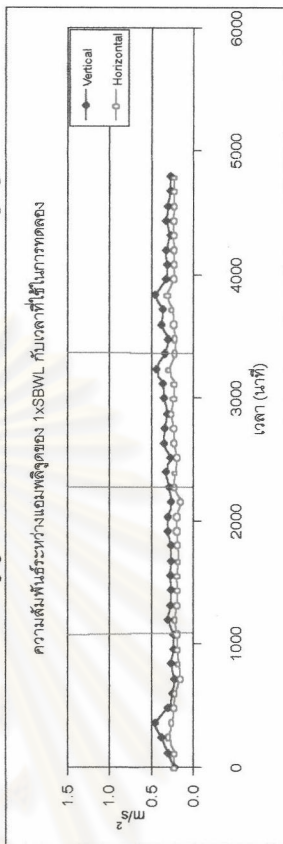
แอมพลิจูดของ 2xSBPR



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



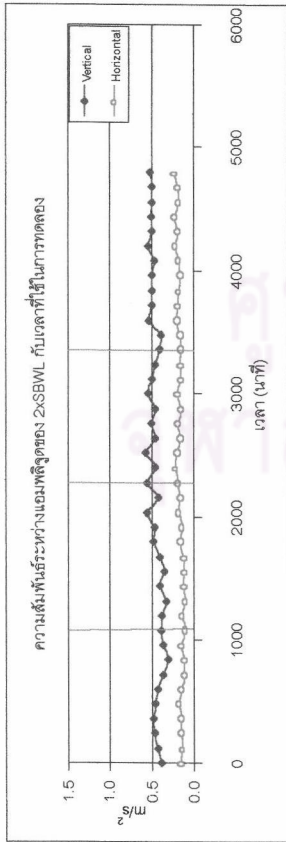
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



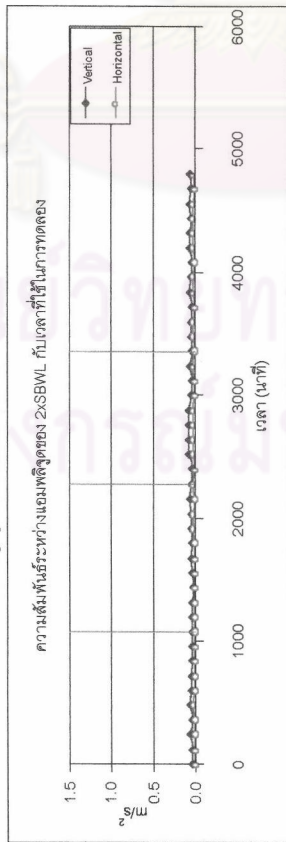
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

แอมพลิจูดของ 1xSBWL

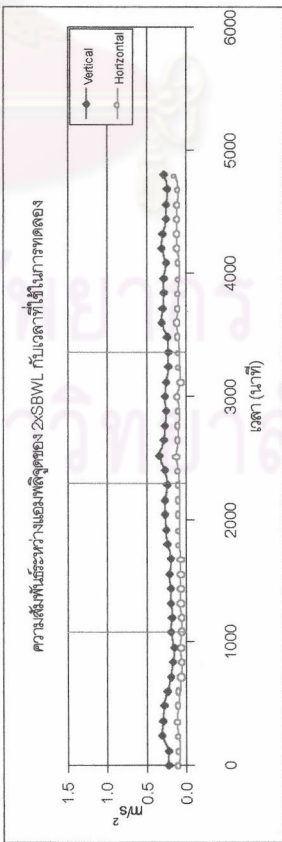
รูปที่ 4-31 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแถบความถี่ข้าง กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่สภาวะ 800 RPM 200 W



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

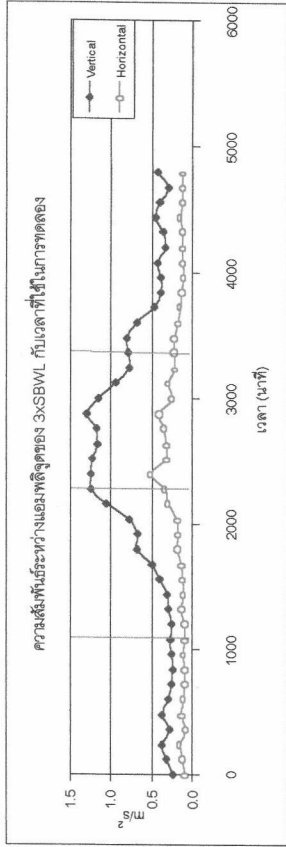


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

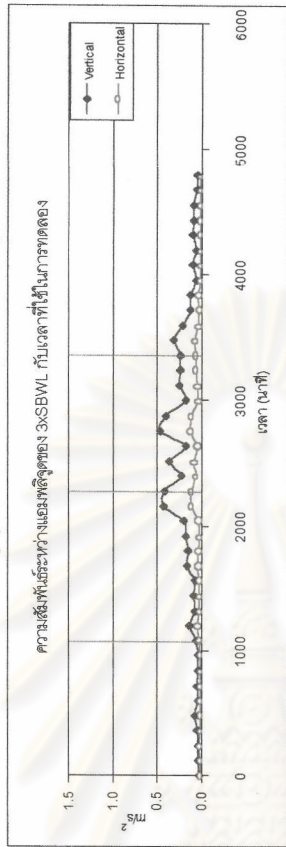


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

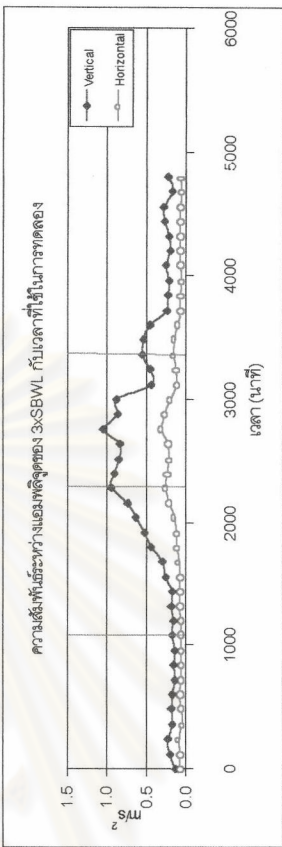
แอมพลิจูดของ 2xSBWL



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



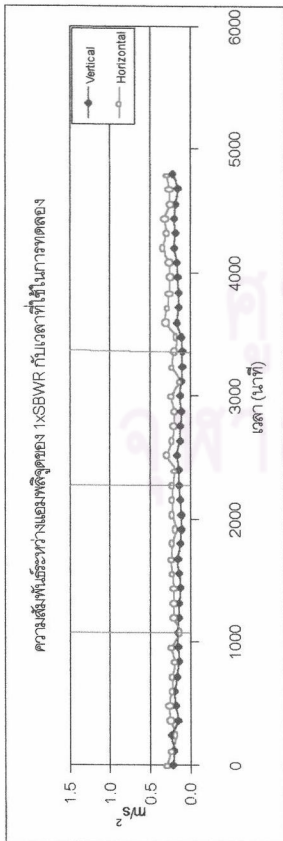
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



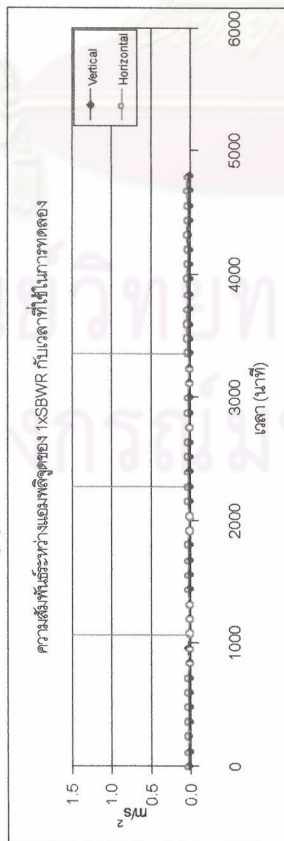
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

แอมพลิจูดของ 3xSBWL

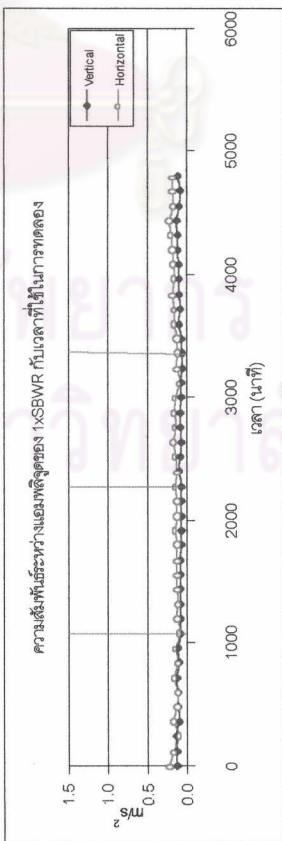
รูปที่ 4-32 ความสั่นพ้องระหว่างแอมพลิจูดของแอมพลิจูดของ 800 RPM 200 W



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

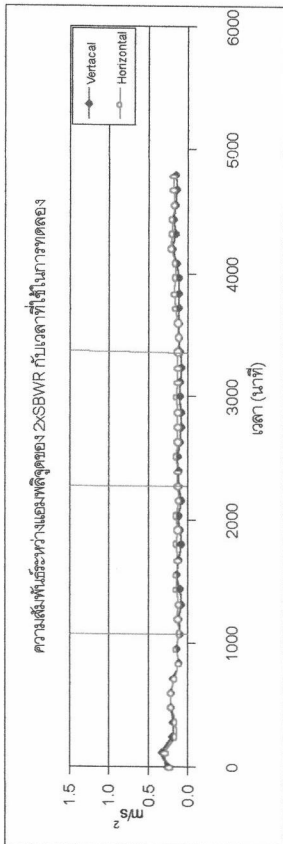


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

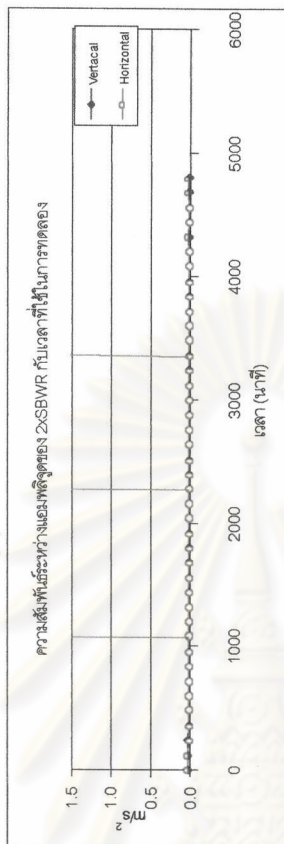


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

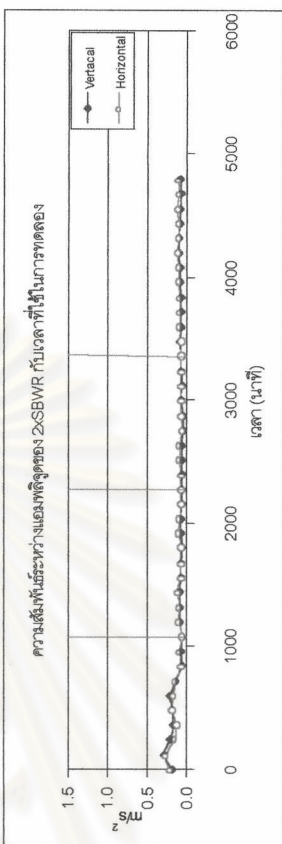
แอมพลิจูดของ 1xSBWR



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



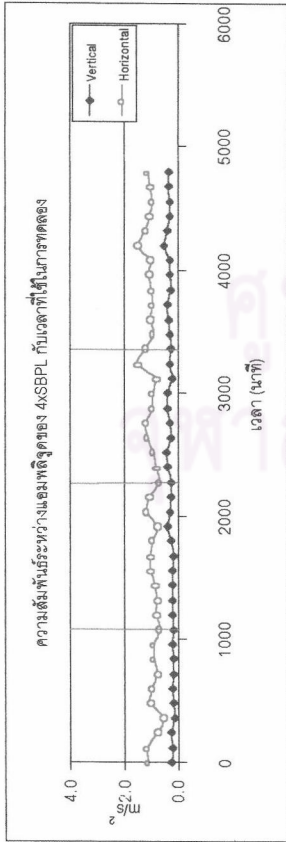
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



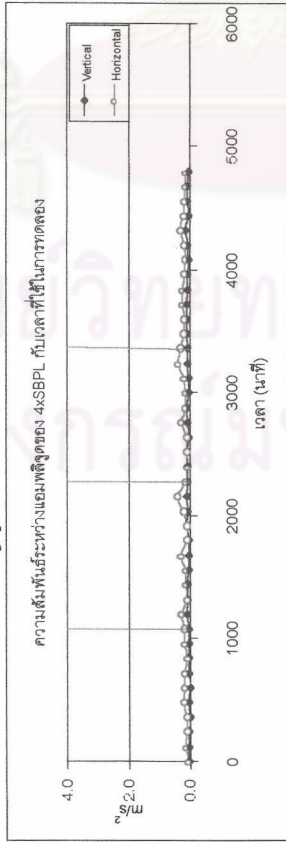
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

แอมพลิจูดของ 2xSBWR

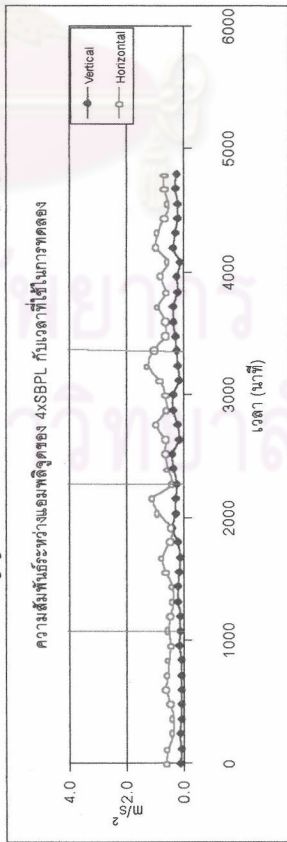
รูปที่ 4-33 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแถบความถี่ต่าง กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่สภาวะ 800 RPM 200 W



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

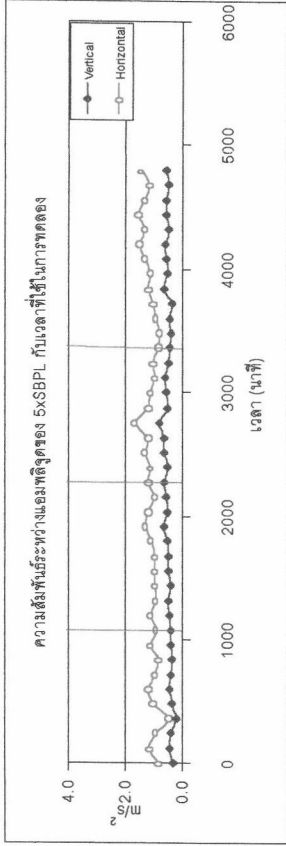


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

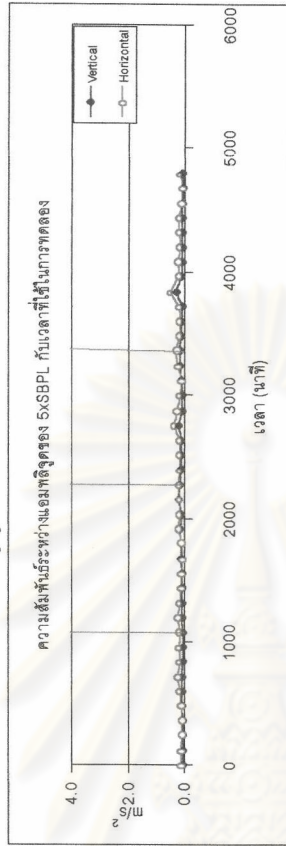


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

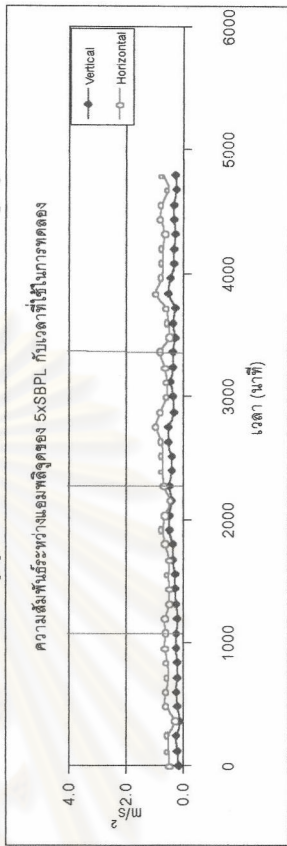
แอมพลิจูดของ 4xSBPL



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



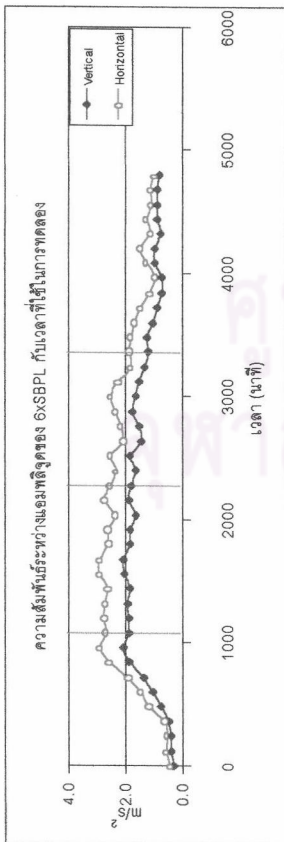
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



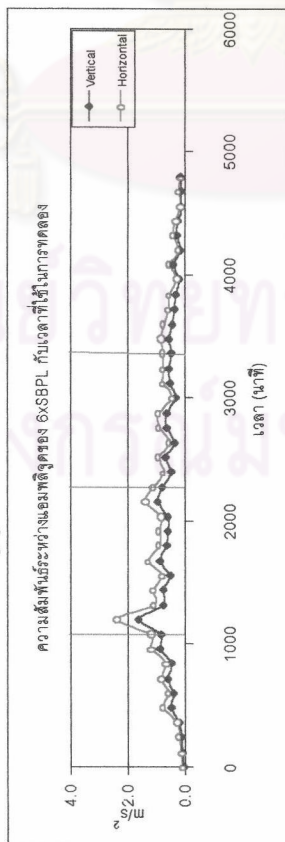
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

แอมพลิจูดของ 5xSBPL

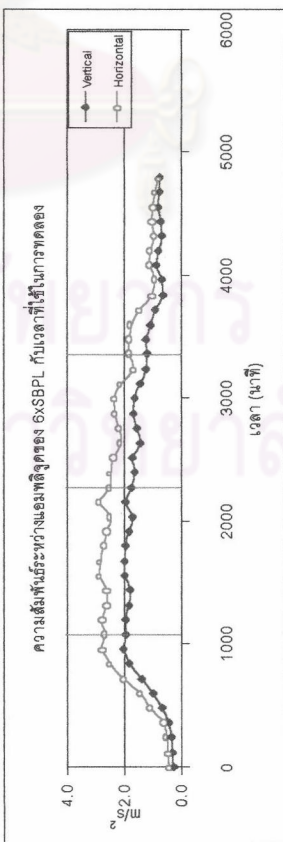
รูปที่ 4-34 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแอมพลิจูดของ 800 RPM 200 W กับเวลาที่ใช้ในการทดลองทั้งข้าง



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

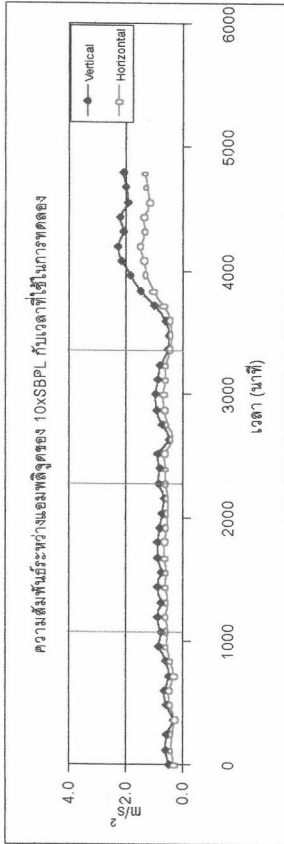


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

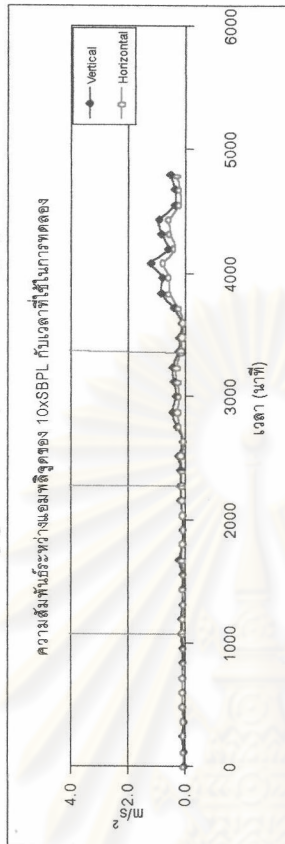


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

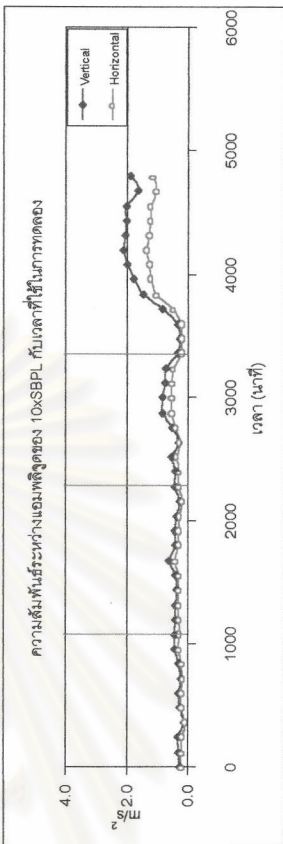
แอมพลิจูดของ 6xSBPL



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



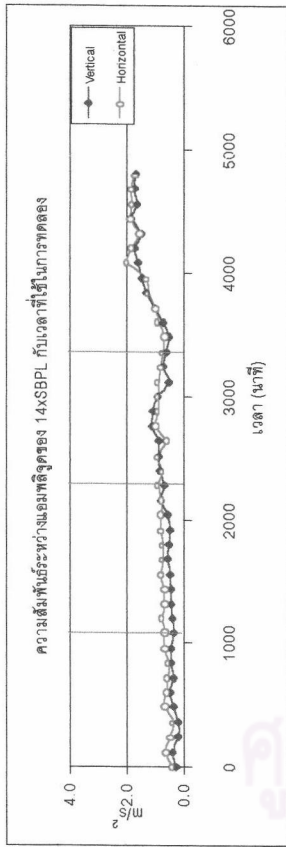
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



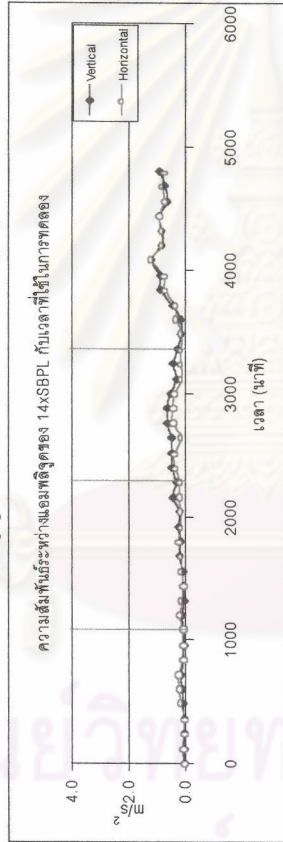
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

แอมพลิจูดของ 10xSBPL

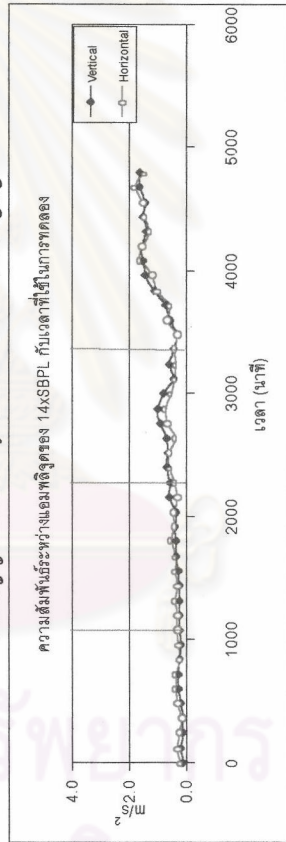
รูปที่ 4-35 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแถบความถี่ข้าง กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่สภาวะ 800 RPM 200 W



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

แอมพลิจูดของ 14xSBPL

รูปที่ 4-36 ความสั่นพ้องระหว่างแอมพลิจูดของแอมพลิจูดของ 14xSBPL ที่ความเร็ว 800 RPM 200 W

#### 4. การทดลองที่สภาวะ 800 RPM 340 W

การพิจารณาแถบความถี่ข้างที่สภาวะนี้จะพิจารณาเฉพาะแถบความถี่ข้างที่มีแนวโน้มที่น่าสนใจซึ่งแถบความถี่ข้างที่น่าสนใจในสภาวะนี้มี 5 พารามิเตอร์ คือ 3xSBPL, 5xSBPL, 6xSBPL, 10xSBPL และ 14xSBPL ดังแสดงในรูปที่ 4-37 ถึง 4-44

3xSBPL แนวโน้มที่แถบความถี่ข้างนี้มีรูปแบบเดียวกันในทั้ง 3 วิธีการเก็บสัญญาณ โดยสัญญาณจากวิธีการเก็บสัญญาณทั้ง 3 วิธี มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นช้าๆ ตั้งแต่เริ่มทดลองจนถึงที่ช่วงเวลาประมาณ 600-1900 นาที่ สัญญาณแนวระดับเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าสัญญาณแนวตั้ง

5xSBPL แอมพลิจูดของสัญญาณที่ความถี่นี้มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นช้าๆ ตั้งแต่เริ่มทดลองไปจนถึงประมาณ 600 นาที่ จากนั้นแนวโน้มสัญญาณจะเพิ่มสูงขึ้นมากถึงจุดสูงสุดที่ประมาณนาที่ที่ 1,440-1,560 หลังจากนั้นแนวโน้มจะลดลงจนถึงที่ระดับสีกหรือสุดท้าย โดยแนวโน้มจะมีรูปแบบเดียวกันหมดในทั้ง 3 วิธีการเก็บสัญญาณและทั้งสัญญาณในแนวตั้งและสัญญาณในแนวระดับ แต่ในสัญญาณที่เก็บโดยวิธี Synchronous Time Averaging มีความแปรปรวนค่อนข้างมาก

6xSBPL และ 14xSBPL ที่แถบความถี่ข้างนี้จะมีแนวโน้มของสัญญาณที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้นตั้งแต่เริ่มทดลองไปจนถึงที่เวลาประมาณ 1,920-2,040 นาที่ สัญญาณจะเพิ่มสูงขึ้นมาก จากนั้นแนวโน้มสัญญาณจะลดลงจนถึงที่ระดับสีกหรือที่ 4 โดยแนวโน้มแอมพลิจูดของสัญญาณที่แถบความถี่ข้างนี้จะคล้ายกันทั้ง 3 วิธีการเก็บสัญญาณ และทั้งสัญญาณในแนวตั้งและสัญญาณในแนวระดับ แต่สัญญาณจะมีแนวโน้มที่แปรปรวนค่อนข้างมากสำหรับวิธีการเก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging

10xSBPL ที่แถบความถี่ข้างนี้ให้แนวโน้มของแอมพลิจูดที่มีลักษณะเดียวกับแนวโน้มแอมพลิจูดสัญญาณที่แถบความถี่ข้าง 6xSBPL แต่สัญญาณมีความแปรปรวนที่น้อยกว่า

สัญญาณบนโดเมนความถี่ให้แนวโน้มที่ดีที่สุดที่แถบความถี่ข้างรอบ 1xGMF ของเฟืองขับที่ฮาร์มอนิกไกลๆ และส่วนใหญ่จะให้แนวโน้มที่เหมือนกันในสัญญาณที่เก็บจากแนวตั้งกับแนวระดับ และในวิธีการเก็บสัญญาณทั้ง 3 แบบ แต่ความแปรปรวนของแนวโน้มสัญญาณที่ได้จากการเก็บสัญญาณโดยวิธี Synchronous Time Averaging จะมีมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเก็บสัญญาณด้วยวิธีอื่น ทั้งนี้อาจจะเป็นผลมาจากที่วิธีการดังกล่าวใช้เวลาในการเก็บสัญญาณที่มากกว่าวิธีอื่นมากจึงอาจเกิดความผิดพลาดจากการเก็บสัญญาณเนื่องจากความเร็วรอบของมอเตอร์ไม่คงที่ในขณะที่ทำการเก็บสัญญาณ แต่อย่างไรก็ดีวิธีการดังกล่าวจะสามารถลดสัญญาณรบกวนที่ความถี่ต่างๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง

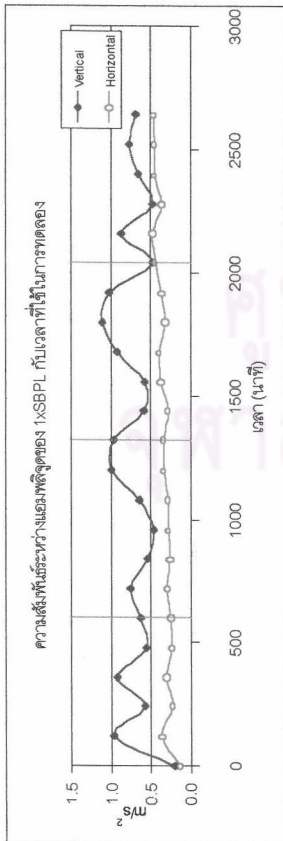
กับความไวรอบหมุนของมอเตอร์ ซึ่งจะทำให้สามารถสังเกตสเปกตรัมของ GMF Sidebands และฮาร์มอนิกต่างๆ ในสัญญาณบนโดเมนความถี่ได้ชัดเจนกว่าวิธีการเก็บสัญญาณวิธีอื่นๆ

กรณีที่แอมพลิจูดของแถบความถี่ข้างฮาร์มอนิกสูงๆ รอบ  $1 \times \text{GMF}$  ซึ่งมีความถี่ใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของระบบมีแนวโน้มแอมพลิจูดสูงขึ้นเมื่อการสั่นหรือมากขึ้น ก็เนื่องมาจากว่าในช่วงต้นมีการสั่นหรือการมอดูเลตของสัญญาณมีน้อยทำให้มีเฉพาะแถบความถี่ข้างฮาร์มอนิกน้อยๆ เกิดขึ้น เมื่อการสั่นหรือการมอดูเลตของสัญญาณจะเพิ่มมากขึ้นทำให้แถบความถี่ข้างฮาร์มอนิกสูงๆ มีแอมพลิจูดสูงมากขึ้นซึ่งจะไปกระตุ้นความถี่ธรรมชาติของระบบทำให้เกิดการขยายสัญญาณการสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นไปอีกการเพิ่มขึ้นของฮาร์มอนิกของแถบความถี่ข้างสอดคล้องกับ [13], [14]

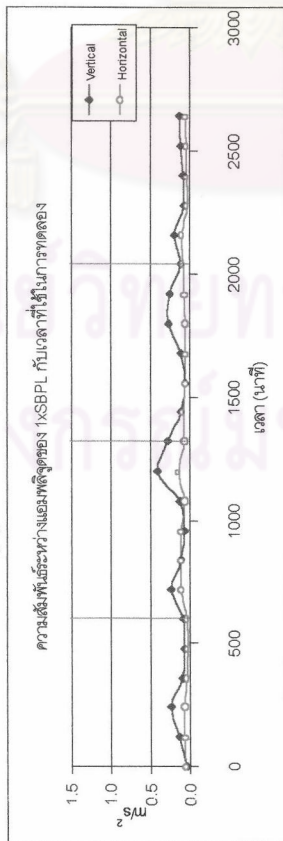


ศูนย์วิทยพัชการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

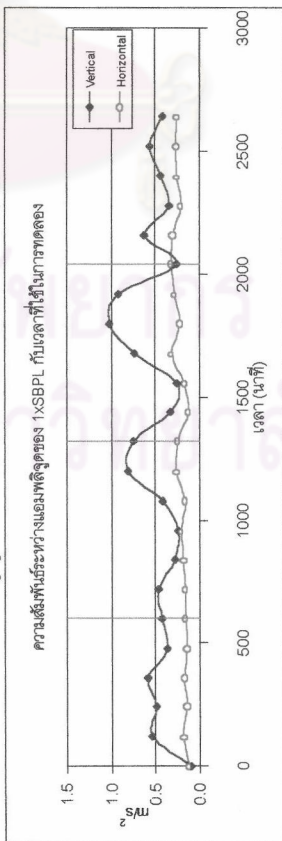




เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

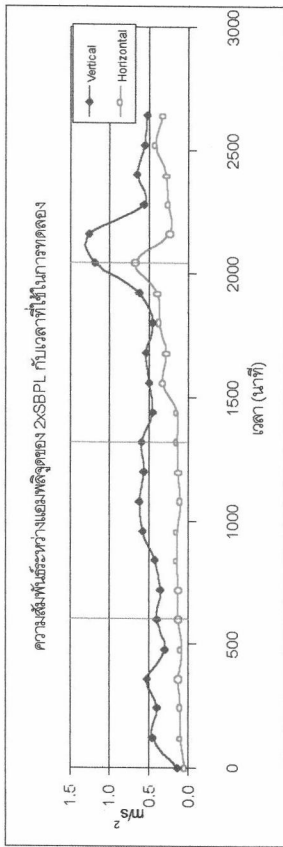


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

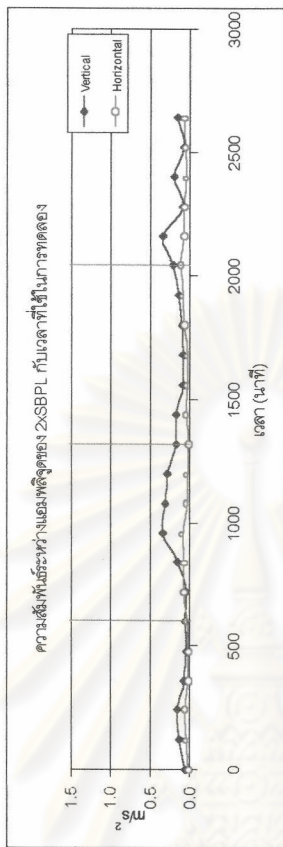


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

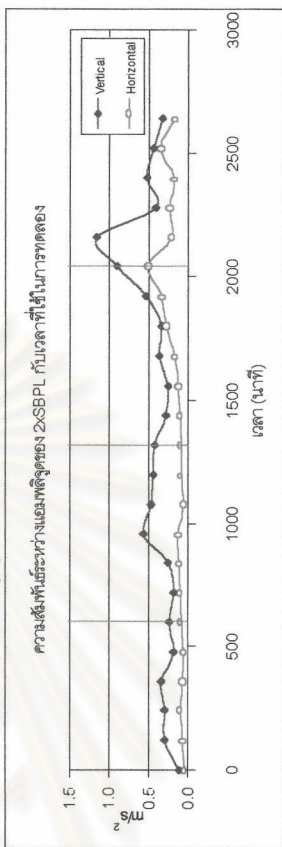
แอมพลิจูดของ 1xSBPL



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



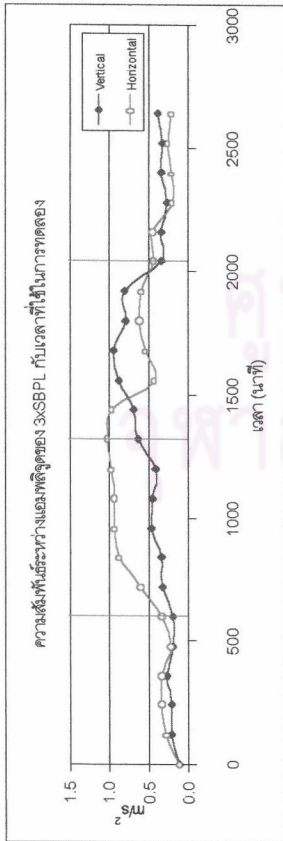
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



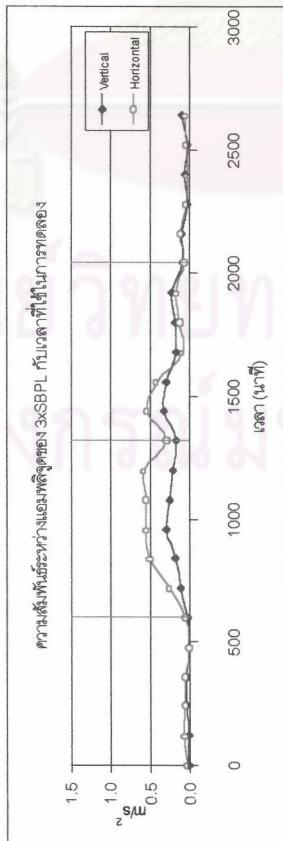
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

แอมพลิจูดของ 2xSBPL

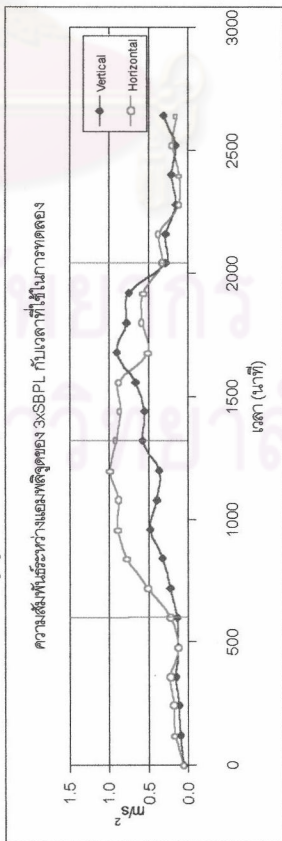
รูปที่ 4-37 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแอมความถี่ข้าง กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่สภาวะ 800 RPM 340 W



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

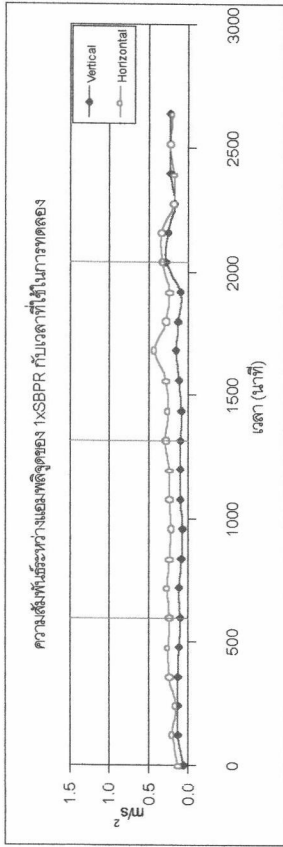


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

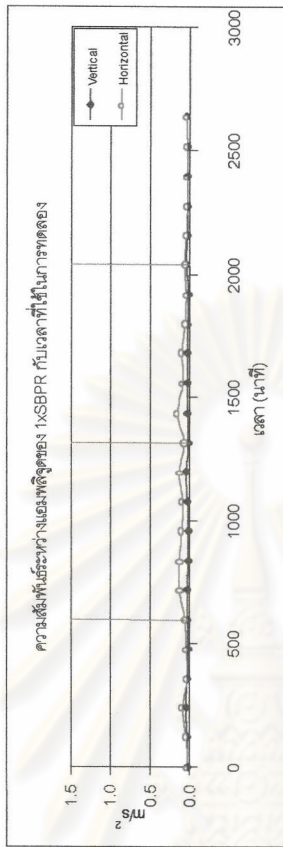


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

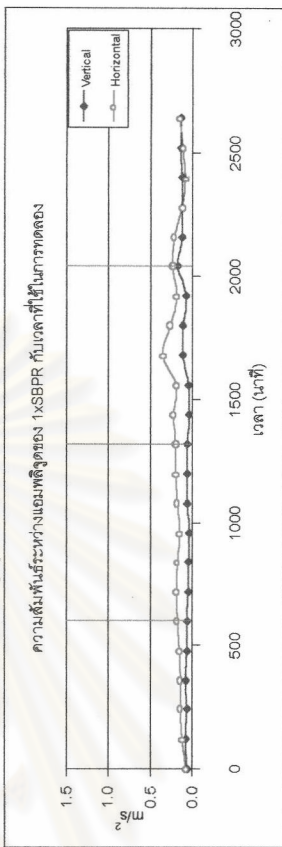
แอมพลิจูดของ 3xSBPL



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



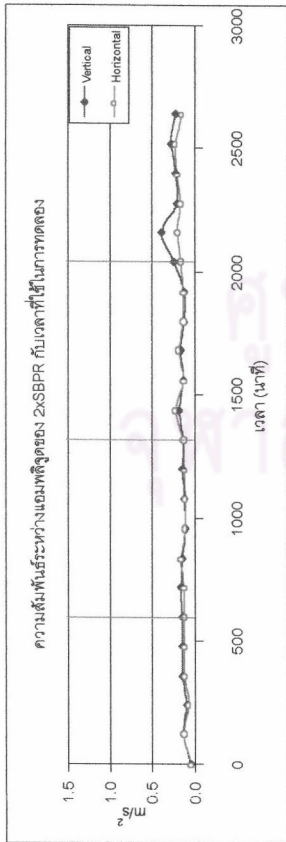
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



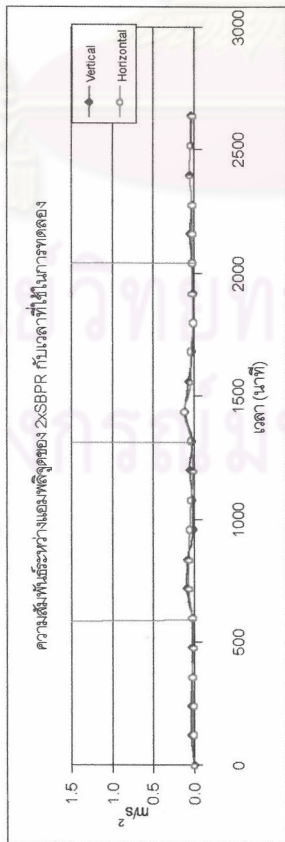
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

แอมพลิจูดของ 1xSBPR

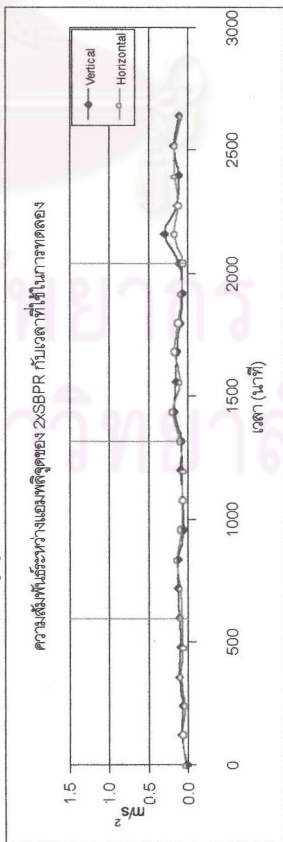
รูปที่ 4-38 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแอมพลิจูดของแบบความถี่ข้าง กับเวลาที่ใช้นในการทดลองที่สภาวะ 800 RPM 340 W



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

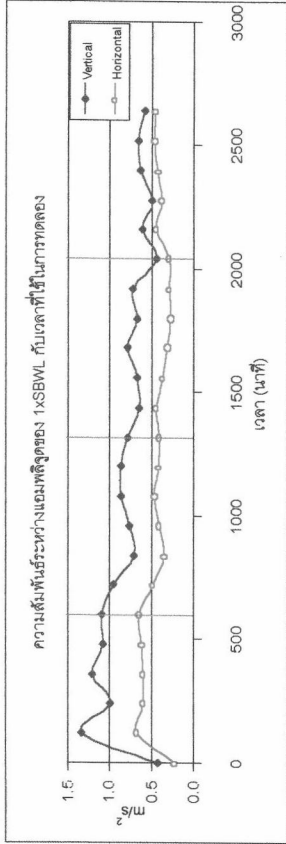


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

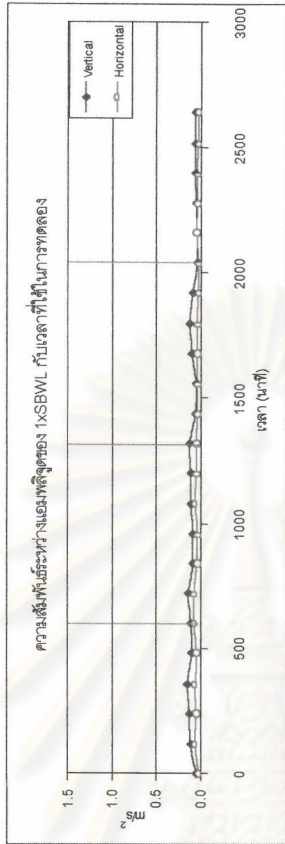


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

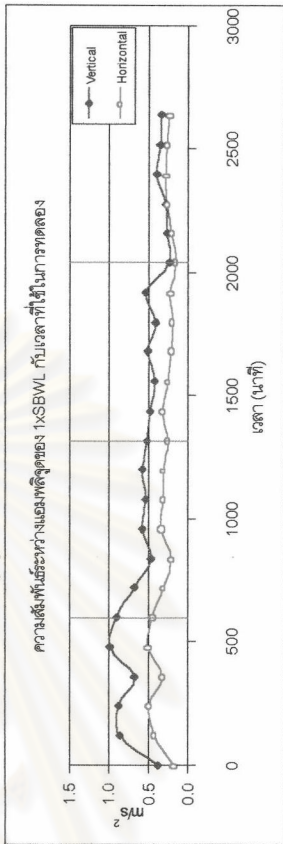
แอมพลิจูดของ 2XSBPR



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



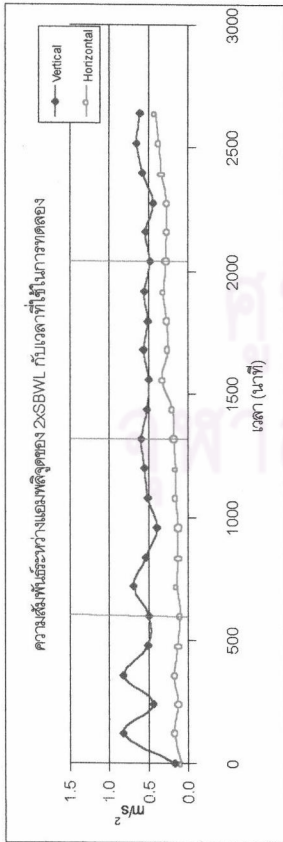
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



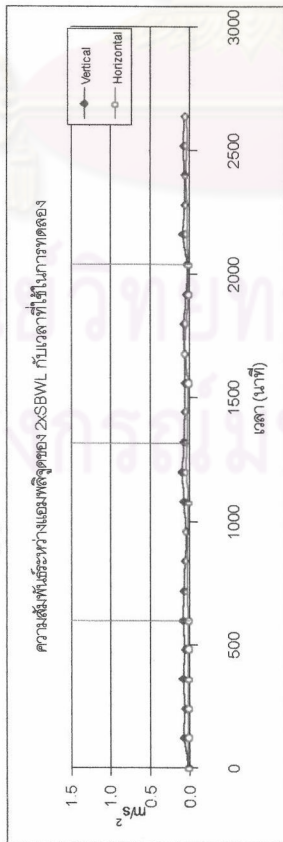
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

แอมพลิจูดของ 1XSBWL

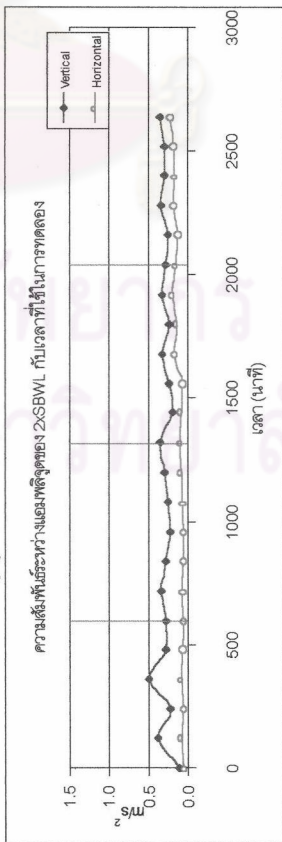
รูปที่ 4-39 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแถบความถี่ข้าง กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่สภาวะ 800 RPM 340 W



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

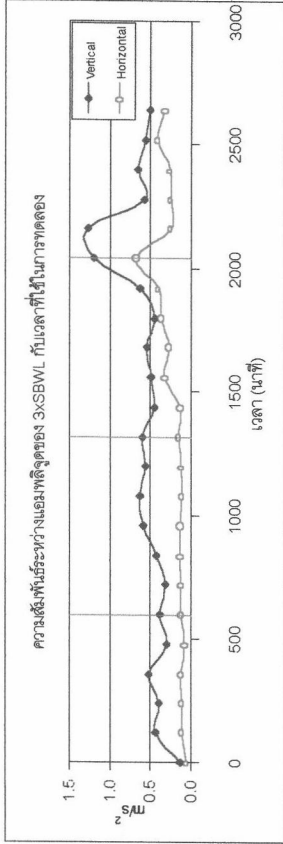


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

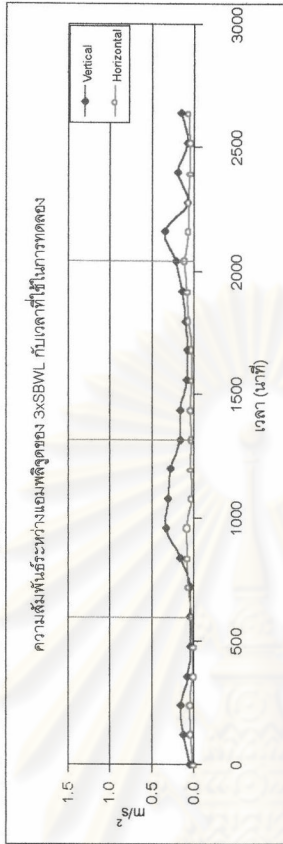


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

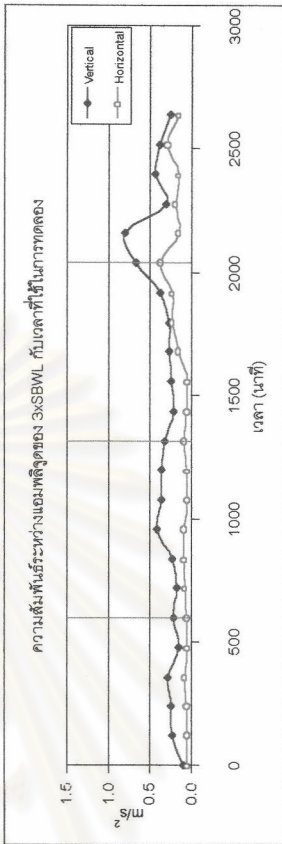
แอมพลิจูดของ 2xSBWL



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



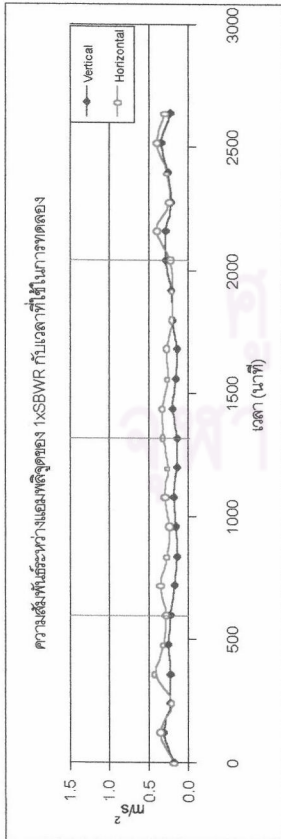
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



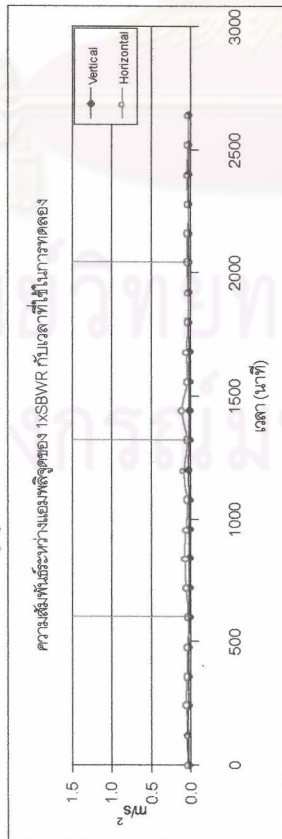
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

แอมพลิจูดของ 3xSBWL

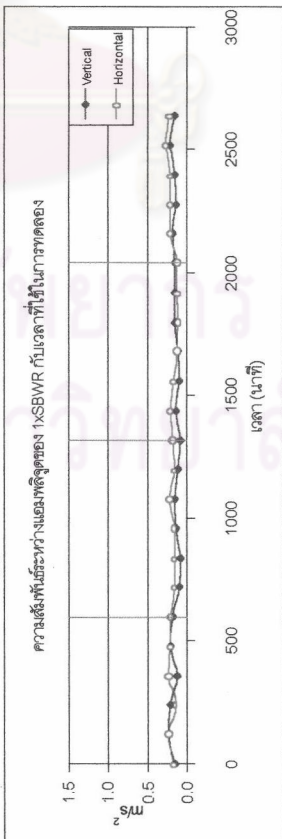
รูปที่ 4-40 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแอมความถี่ต่าง กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่สภาวะ 800 RPM 340 W



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

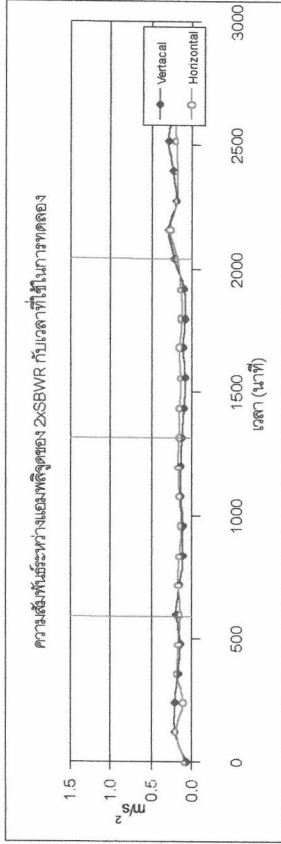


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

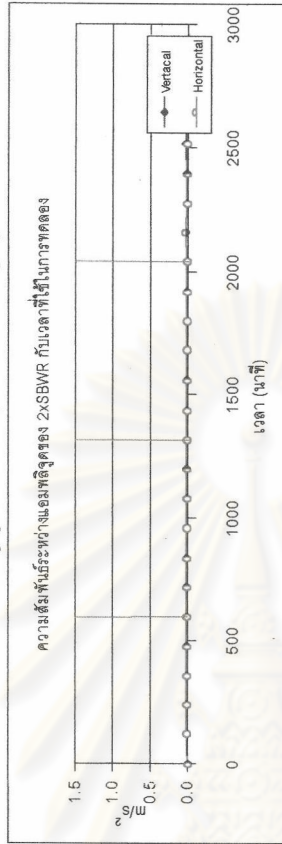


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

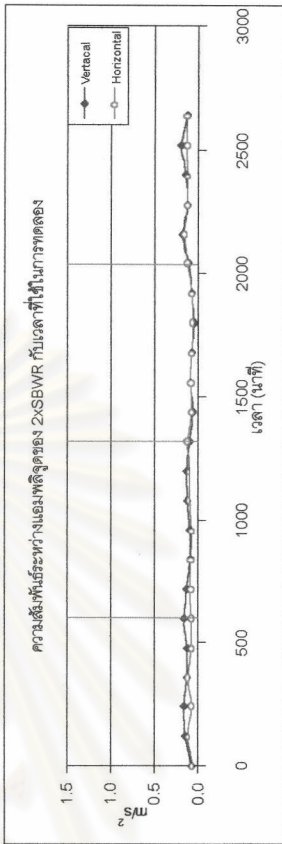
แอมพลิจูดของ 1xSBWR



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



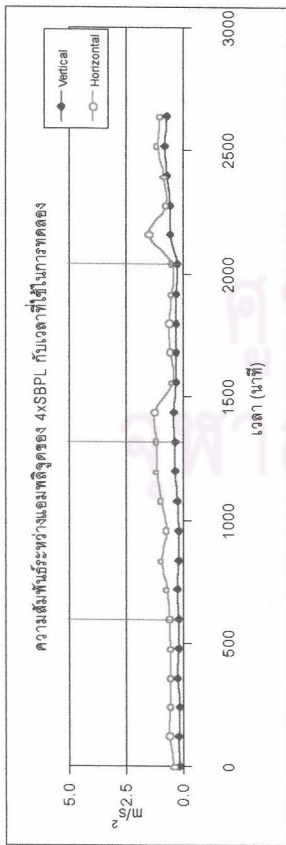
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



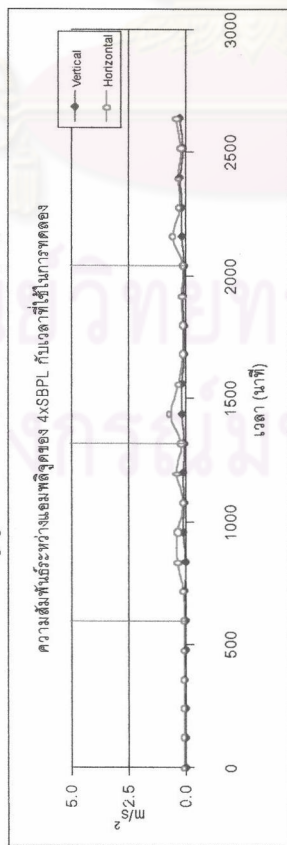
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

แอมพลิจูดของ 2xSBWR

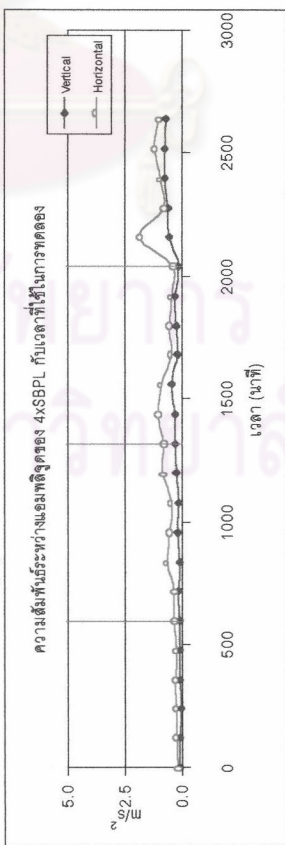
รูปที่ 4-41 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแถบความถี่ข้าง กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่สภาวะ 800 RPM 340 W



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

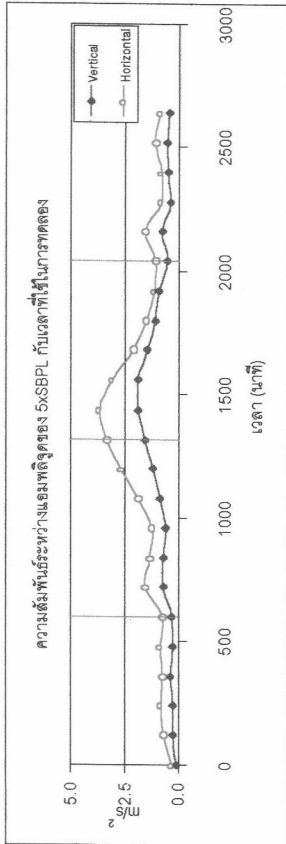


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

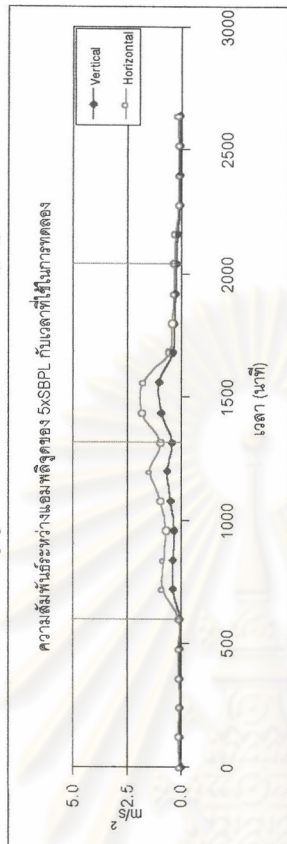


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

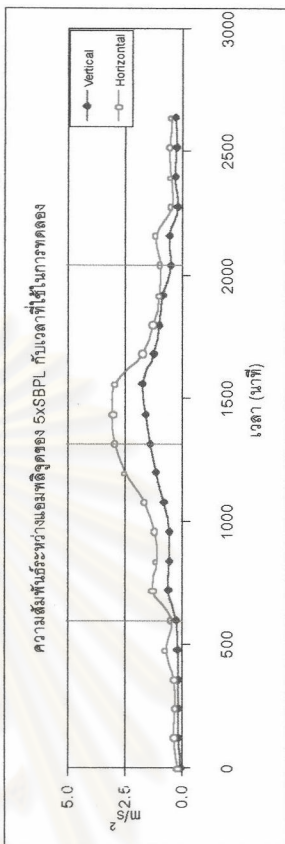
แอมพลิจูดของ 4xSBPL



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



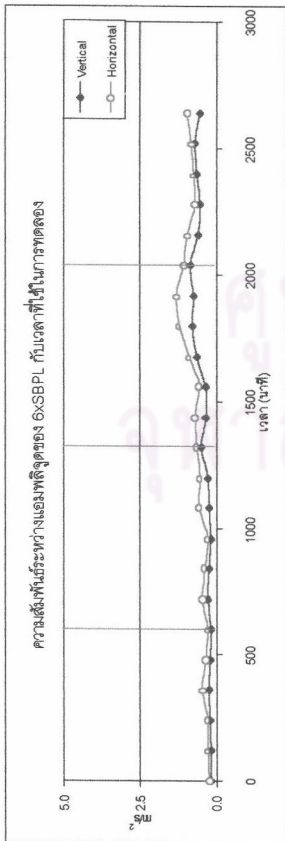
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



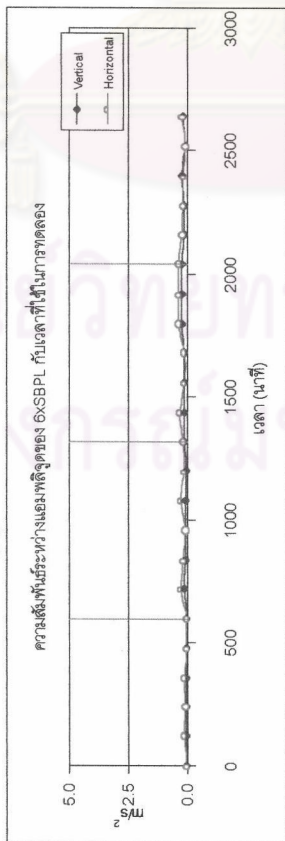
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

แอมพลิจูดของ 5xSBPL

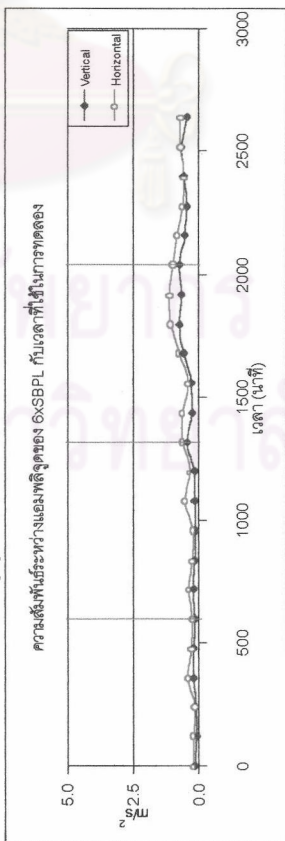
รูปที่ 4-42 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแอมพลิจูดของแถบความถี่ข้าง กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่สภาวะ 800 RPM 340 W



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

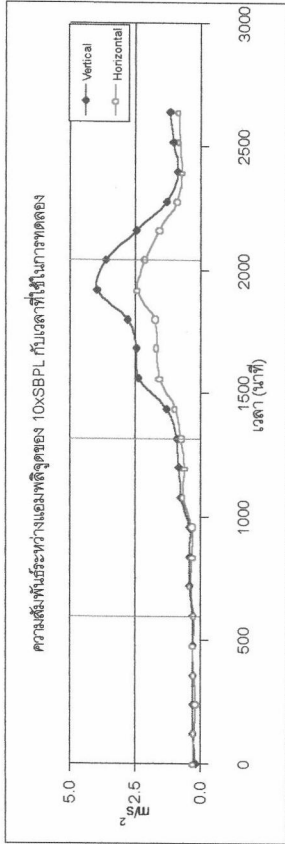


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

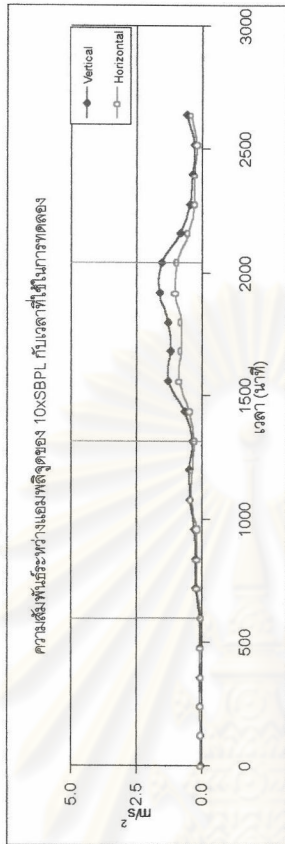


เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

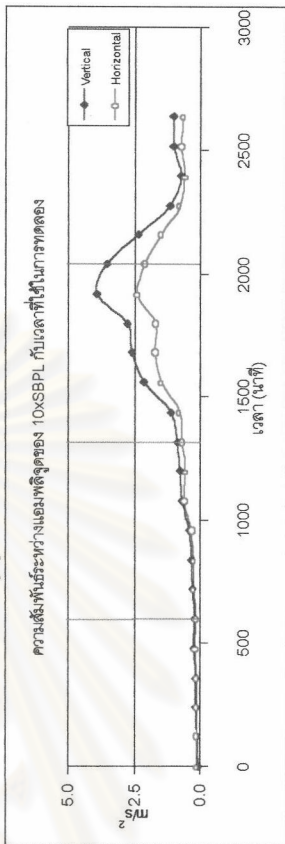
แอมพลิจูดของ 6xSBPL



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



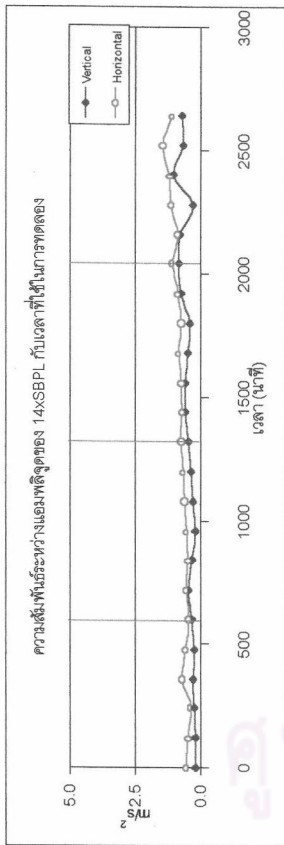
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



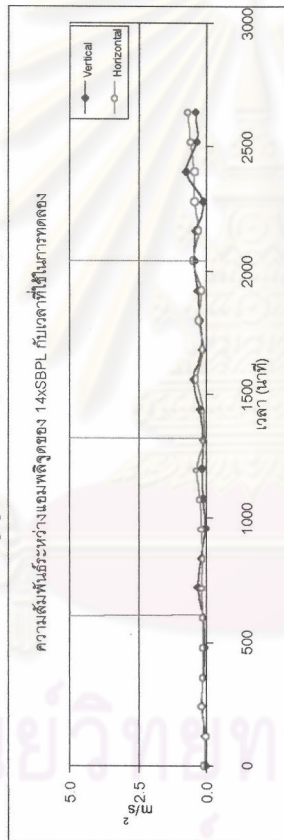
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

แอมพลิจูดของ 10xSBPL

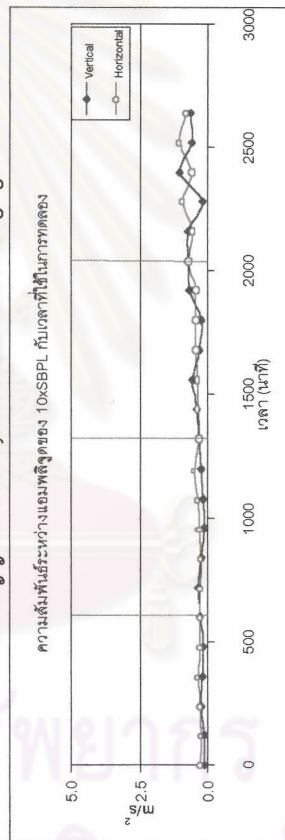
รูปที่ 4-43 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแถบความถี่ต่าง กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่สภาวะ 800 RPM 340 W



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

**แอมพลิจูดของ 14xSBPL**

รูปที่ 4-44 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของแถบความถี่ข้าง กับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่สภาวะ 800 RPM 340 W



## สัญญาณเซปส์ตรัม

พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ คือ

- 1) เกมมิจูตของ 1/P 2/P และ 3/P คือ ค่าเกมมิจูตของยอดสัญญาณเซปส์ตรัมที่คิฟเฟรนซีเท่ากับ  $1/(\text{ความถี่เฟืองขับ})$  และ รัศมีมอริกที่ 2 และ 3 ตามลำดับ
- 2) เกมมิจูตของ 1/W คือ ค่าเกมมิจูตของยอดสัญญาณเซปส์ตรัมที่คิฟเฟรนซีเท่ากับ  $1/(\text{ความถี่เฟืองตาม})$

คิฟเฟรนซีของพารามิเตอร์แต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 3-7 เนื่องจากความละเอียดของเซปส์ตรัมค่อนข้างมากและพารามิเตอร์แต่ละตัวอยู่ห่างกันจึงไม่ประสบปัญหาในการเลือกคิฟเฟรนซีของพารามิเตอร์แต่ละตัว โดยการเลือกคิฟเฟรนซีใช้ค่าเกมมิจูตที่สูงที่สุด 5 จุดข้อมูลรอบๆ คิฟเฟรนซีของแต่ละพารามิเตอร์

ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์แต่ละตัวและเวลาที่ใช้ในการทดลอง ใช้ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์แต่ละตัวที่ได้จากการเก็บสัญญาณ 5 ครั้ง ในแต่ละจุดทุกๆ 120 นาที โดยพิจารณาว่าการเพิ่มขึ้นของเวลาแทนการสึกหรอที่เพิ่มขึ้น วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ทั้ง 4 ชนิดและเวลาที่ใช้ในการทดลองด้วยการลากเส้นเชื่อมต่อแต่ละจุดจะเกิดเส้นกราฟแนวโน้มของเส้นกราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่มีต่อการสึกหรอของฟันเฟืองที่เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป

พารามิเตอร์ 1/P และรัศมีมอริก มีความสัมพันธ์กับชุดแถบความถี่ข้างจากความถี่เฟืองขับ ซึ่งเป็นเฟืองตัวเกิดการสึกหรอจึงน่าจะมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของเกมมิจูตตามการเพิ่มของระดับสึกหรอหรือเวลาที่ใช้ในการทดลอง ในขณะที่พารามิเตอร์ 1/W อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงของเกมมิจูตน้อยเนื่องจากฟันของเฟืองตามมีการสึกหรอน้อยมาก จากการศึกษาแบบจำลองคณิตศาสตร์ของสมชาย [14] พบว่า ถ้าการมอดูเลตทางแอมพลิจูดด้วยฟังก์ชันที่มีความถี่เท่ากับความถี่ของเฟืองขับมีขนาดมากขึ้น ในขณะที่การมอดูเลตทางแอมพลิจูดด้วยฟังก์ชันที่มีความถี่เท่ากับความถี่ของเฟืองตามมีขนาดเท่าเดิม จะทำให้เกมมิจูตของ 1/P เพิ่มขึ้นในขณะที่เกมมิจูตของ 1/W ลดลง แต่ถ้าเป็นการมอดูเลตทางความถี่ไม่ว่าจะด้วยฟังก์ชันที่มีความถี่ใดก็ตามเกมมิจูตของทั้ง 1/P และ 1/W จะลดลงเมื่อขนาดของการมอดูเลตเพิ่มขึ้น

### ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเซปส์ตรัมและเวลาที่ใช้ในการทดลอง

ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเซปส์ตรัมกับเวลาที่ใช้ในการทดลองในแต่ละรูปประกอบด้วย 4 รูปย่อย ตามพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์คือ 1/P, 2/P, 3/P และ 1/W และทุกพารามิเตอร์แต่ละรูปย่อย แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณที่วัดในแนวระดับ (Horizontal) และแนวตั้ง (Vertical) ตามลำดับดังต่อไปนี้

- 1) ความสัมพันธ์ระหว่างแกมมิจุดของเซปส์ตรัมกับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่สภาวะ 500 RPM 200 W
  - รูปที่ 4-45 : เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging
  - รูปที่ 4-46 : เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging
  - รูปที่ 4-47 : เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing
- 2) ความสัมพันธ์ระหว่างแกมมิจุดของเซปส์ตรัมกับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่สภาวะ 500 RPM 340 W
  - รูปที่ 4-48 : เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging
  - รูปที่ 4-49 : เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging
  - รูปที่ 4-50 : เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing
- 3) ความสัมพันธ์ระหว่างแกมมิจุดของเซปส์ตรัมกับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่สภาวะ 800 RPM 200 W
  - รูปที่ 4-51 : เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging
  - รูปที่ 4-52 : เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging
  - รูปที่ 4-53 : เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing
- 4) ความสัมพันธ์ระหว่างแกมมิจุดของเซปส์ตรัมกับเวลาที่ใช้ในการทดลองที่สภาวะ 800 RPM 340 W
  - รูปที่ 4-54 : เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging
  - รูปที่ 4-55 : เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging
  - รูปที่ 4-56 : เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

## ผลและการวิเคราะห์เซปต์ตรัม

การพิจารณาผลของเซปต์ตรัมจะพิจารณาแนวโน้มแกมมาของเซปต์ตรัมเมื่อที่เวลาผ่านไปที สภาวะการทดลองต่างๆ

### 1. การทดลองที่สภาวะ 500 RPM 200 W

แกมมาของ 1/P แนวโน้มแกมมาของ 1/P จะคล้ายกันในสัญญาณที่เก็บโดยวิธี Spectrum Averaging กับ Synchronous Time Averaging คือ มีแนวโน้มที่คงที่ประมาณในช่วง 2,000 นาทีแรก แล้วเพิ่มขึ้นไปจนถึงที่เวลาประมาณ 3,720-4,200 นาที จากนั้นแกมมาของ สัญญาณจะมีแนวโน้มที่ลดลงจนถึงที่เวลาประมาณ 5,760 นาที ช่วง 5,760-9,000 นาที แกมมาเกิดการเพิ่มขึ้นและลดลงคล้ายช่วงแรกแต่ยังไม่ชัดเจนแล้วแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งจนถึงที่เวลาประมาณ 12,000-12,240 นาที และลดลงจนถึงระดับสี่หรือที่ 5 โดยสัญญาณมีแนวโน้มที่เหมือนกันทั้ง สัญญาณที่เก็บในแนวตั้งและสัญญาณที่เก็บในแนวระดับ ส่วนแนวโน้มของสัญญาณที่ได้จากวิธีการเก็บสัญญาณแบบ Zoom Processing มีแนวโน้มของแอมพลิจูดของสัญญาณเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตั้งแต่เริ่มทดลองจนถึงที่เวลาประมาณ 9,240 นาที จากนั้นแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนมากขึ้นจนถึงที่เวลาประมาณ 1,2240 นาที หลังจากนั้นแนวโน้มลดลงอย่างช้าๆ จนถึงที่ระดับสี่หรือที่ 5 โดย แนวโน้มเหมือนกันทั้งสัญญาณที่เก็บในแนวตั้งและแนวระดับ

แกมมาของ 2/P แนวโน้มแกมมาของสัญญาณ 2/P จะคล้ายกันในสัญญาณที่เก็บ โดยวิธี Spectrum Averaging กับ Synchronous Time Averaging ซึ่งแนวโน้มของสัญญาณจากการทั้ง 2 มีรูปแบบเดียวกับแนวโน้มแกมมาของ 1/P คือ แนวโน้มจะคงที่ในช่วงแรกแล้วเพิ่มขึ้นจนถึงที่เวลาประมาณ 4,320-4,560 นาที จากนั้นแนวโน้มจะลดลงจนถึงที่เวลาประมาณ 6,000 นาที ช่วง 5,760-9,000 นาที แกมมาเกิดการเพิ่มขึ้นและลดลงคล้ายช่วงแรกแต่ยังไม่ชัดเจน ต่อจากนั้นแนวโน้ม จะเพิ่มขึ้นอีกครั้งจนถึงที่เวลาประมาณ 12,240 นาที และแนวโน้มจะลดลงจนถึงระดับสี่หรือที่ 5 โดยแนวโน้มจะเหมือนกันทั้งสัญญาณที่เก็บในแนวตั้งและแนวระดับ ส่วนสัญญาณที่เก็บโดยวิธี Zoom Processing ให้แกมมาที่มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตั้งแต่เริ่มทดลองไปจนถึงระดับสี่หรือที่ 5 แนวโน้มเหมือนกันทั้งสัญญาณที่เก็บในแนวตั้งและแนวระดับ การเปลี่ยนแปลงแกมมามี ขนาดน้อยลงเมื่อเทียบกับ 1/P

แกมมาของ 3/P แนวโน้มแกมมาของสัญญาณ 3/P จากการเก็บสัญญาณโดยวิธี Spectrum Averaging จะมีรูปแบบที่คล้ายกับแนวโน้มแกมมาของสัญญาณ 1/P และ 2/P คือแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการทดลอง ส่วนสัญญาณที่เก็บโดยวิธี Synchronous Time Averaging ให้แนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตั้งแต่เริ่มทดลองไปจนถึงที่ระดับสี่หรือที่ 5 โดยแนวโน้ม

เหมือนกันทั้งสัญญาณที่เก็บในแวนด์ิงและแวนด์ระดับ ส่วนการเก็บสัญญาณแบบ Zoom Processing ให้แวนด์ที่ไม่น่าเหมือนกันจากสัญญาณที่เก็บในแวนด์ิงและสัญญาณที่เก็บในแวนด์ระดับ สัญญาณที่เก็บจากแวนด์ิงจะมีแวนด์ที่สูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปตั้งแต่เริ่มทดลองไปจนถึงระดับสีกหรือที่ 5 ในขณะที่สัญญาณที่เก็บจากแวนด์ระดับมีแวนด์คงที่ตลอดการทดลอง การเปลี่ยนแปลงแกมมิจุดมีขนาดน้อยมากเมื่อเทียบกับ 1/P และ 2/P

แกมมิจุดของ 1/W แวนด์แกมมิจุดของสัญญาณ 1/W จากวิธีการเก็บสัญญาณแบบ Spectrum Averaging มีลักษณะที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่เริ่มทดลองไปจนถึงที่เวลาประมาณ 1,800 นาที จากนั้นแวนด์จะลดลงจนถึงที่เวลาประมาณ 6,240-6,480 นาที และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเข้าสู่หน้าที่ที่ 6,840-6,960 จากนั้นแวนด์จะลดลงจนถึงระดับสีกหรือที่ 5 โดยแวนด์จะมีลักษณะที่เหมือนกันในสัญญาณที่เก็บจากแวนด์ิงและแวนด์ระดับ ส่วนแวนด์สัญญาณที่เก็บโดยวิธี Synchronous Time Averaging จะให้แวนด์ที่สูงขึ้นตั้งแต่เริ่มทดลองไปจนถึงที่ช่วงเวลาประมาณ 2,040-2,160 นาที จากนั้นแวนด์สัญญาณค่อนข้างคงที่หรือไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงจนถึงประมาณหน้าที่ที่ 10,080-10,560 จากนั้นสัญญาณมีแวนด์ที่ลดลงจนถึงที่ระดับสีกหรือที่ 5 โดยแวนด์มีลักษณะที่เหมือนกันทั้งสัญญาณที่เก็บจากแวนด์ิงและสัญญาณในแวนด์ระดับ ในขณะที่แวนด์ของสัญญาณที่เก็บโดยวิธี Zoom Processing จะคงที่ในช่วงตั้งแต่เริ่มทดลองไปจนถึงที่เวลาประมาณ 9,840 นาที จากนั้นแวนด์ของสัญญาณจะค่อยๆ ลดลงจนถึงระดับสีกหรือที่ 5 แวนด์เหมือนกันทั้งสัญญาณที่เก็บในแวนด์ระดับและสัญญาณในแวนด์ิง

## 2. การทดลองที่สภาวะ 500 RPM 340 W

แกมมิจุดของ 1/P แวนด์ของสัญญาณจะเหมือนกันในทั้ง 3 วิธีการเก็บสัญญาณ โดยสัญญาณจะมีแวนด์ที่ลดลงตั้งแต่เริ่มทดลองไปจนถึงที่เวลาประมาณ 1,200-1,920 นาที แต่ที่ช่วงเวลาประมาณ 720 นาที มีการปรับค่าเพิ่มขึ้นชั่วคราว จากนั้นสัญญาณจะมีแวนด์ที่เพิ่มขึ้นจนถึงที่ระดับสีกหรือที่ 5 โดยการเก็บสัญญาณทั้ง 3 วิธีให้แวนด์ที่เหมือนกันในสัญญาณที่เก็บจากแวนด์ิงและแวนด์ระดับ การเปลี่ยนแปลงแกมมิจุดของ 1/P มีขนาดมากกว่าการเปลี่ยนแปลงแกมมิจุดของ 2/P และ 3/P แม้ว่าแวนด์ของการเปลี่ยนแปลงจะคล้ายคลึงกัน

แกมมิจุดของ 2/P แวนด์แกมมิจุดของสัญญาณ 2/P ให้แวนด์ที่มีรูปแบบเดียวกับสัญญาณ 1/P โดยสัญญาณมีแวนด์ที่คล้ายกันในสัญญาณที่เก็บโดยทั้ง 3 วิธี คือ มีแวนด์ที่ลดลงตั้งแต่เริ่มทดลองไปจนถึงที่เวลาประมาณ 1,200-1,560 นาที แต่ช่วงเวลาประมาณ 720 นาทีมีการปรับค่าเพิ่มขึ้นชั่วคราว จากนั้นแวนด์สัญญาณจะเพิ่มขึ้นจนถึงระดับสีกหรือที่ 5 ทั้ง 3 วิธีของการเก็บสัญญาณมีแวนด์ของสัญญาณที่เหมือนกันในสัญญาณที่เก็บจากแวนด์ิงและแวนด์ระดับ

แกมมาจุดของ 3/P      แนวโน้มของสัญญาณจะมีลักษณะเดียวกับสัญญาณ 1/P และ 2/P คือจะมีแนวโน้มที่เหมือนกันในสัญญาณที่เก็บจากทั้ง 3 วิธี โดยแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในช่วงตั้งแต่เริ่มทดลองจนถึงที่เวลาประมาณ 1,200-1,320 นาที แต่ช่วงเวลาประมาณ 720 นาที มีการปรับค่าเพิ่มขึ้นชั่วคราว จากนั้นแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นจนถึงระดับสี่หรือที่ 5 แนวโน้มจะเหมือนกันจากสัญญาณที่เก็บในแนวตั้งและสัญญาณแนวระดับ

แกมมาจุดของ 1/W      แนวโน้มสัญญาณมีลักษณะที่คล้ายกันหมดในทั้ง 3 วิธีการเก็บสัญญาณ คือมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่เริ่มทดลองไปจนถึงประมาณนาทีที่ 240 แล้วสัญญาณมีแนวโน้มที่ลดลงจนถึงที่เวลาประมาณ 1,920-2,280 นาที จากนั้นแนวโน้มสัญญาณจะเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดอยู่ที่เวลาประมาณ 3,000 นาที ก่อนที่แนวโน้มจะลดลงจนถึงระดับสี่หรือที่ 5 สัญญาณในแนวตั้งและสัญญาณในแนวระดับ มีลักษณะเหมือนกัน

### 3. การทดลองที่สภาวะ 800 RPM 200 W

แกมมาจุดของ 1/P      แนวโน้มแกมมาจุดของ 1/P ที่สภาวะนี้จะมีรูปแบบของแนวโน้มที่เหมือนกันในทั้ง 3 วิธีการเก็บสัญญาณ โดยสัญญาณมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่เริ่มทดลองจนถึงช่วงเวลาประมาณ 2,000-4,000 นาที ในช่วงนี้แกมมาจุดมีแนวโน้มเหมือนบริเวณส่วนยอดของโค้ง จากนั้นสัญญาณมีแนวโน้มที่ลดลงจนถึงระดับสี่หรือที่ 4 สัญญาณมีลักษณะปรับตัวขึ้นลงรอบๆ แนวโน้มข้างต้น สัญญาณมีแนวโน้มที่เหมือนกันในสัญญาณที่เก็บจากแนวตั้งและสัญญาณในแนวระดับ การเปลี่ยนแปลงแกมมาจุดมีขนาดน้อยลงเมื่อเทียบกับ 1/P และ 2/P

แกมมาจุดของ 2/P      ที่สภาวะนี้แกมมาจุดของสัญญาณ 2/P มีรูปแบบที่ใกล้เคียงกันในทั้ง 3 วิธีการเก็บสัญญาณ คล้ายกับแกมมาจุด 1/P โดยสัญญาณมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นจนถึงที่เวลาประมาณ 2,180-3,400 นาที ในช่วงนี้แกมมาจุดมีแนวโน้มเหมือนส่วนยอดของโค้งแล้วแนวโน้มจะลดลงจนถึงระดับสี่หรือที่ 4 สัญญาณมีลักษณะปรับตัวรอบๆ แนวโน้มข้างต้น สัญญาณที่เก็บจากแนวตั้งและสัญญาณที่เก็บจากแนวระดับมีแนวโน้มเหมือนกัน การเปลี่ยนแปลงของแกมมาจุดมีขนาดน้อยลงเมื่อเทียบกับ 1/P

แกมมาจุดของ 3/P      แนวโน้มโดยรวมของสัญญาณ 3/P จะมีรูปแบบเดียวกับ 1/P และ 2/P สัญญาณมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่หรือเพิ่มขึ้นช้าๆ ในช่วงเริ่มทดลองจนถึงที่เวลาประมาณ 1,800-2,000 นาที จากนั้นแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นในลักษณะเป็นยอดของโค้ง ก่อนที่แนวโน้มจะลดลงอย่างช้าๆ จากช่วง 3,600 นาทีจนถึงระดับสี่หรือที่ 4 ส่วนแนวโน้มของ Synchronous Time Averaging จะไม่เห็นแนวโน้มใดๆ ที่ชัดเจน แนวโน้มมีลักษณะคงที่ แต่หลังจากนาทีที่ 2,760 สัญญาณจะมีความ

แปรปรวนมาก สัญญาณจากการเก็บสัญญาณทั้ง 3 วิธีให้แนวโน้มที่เหมือนกันในสัญญาณแนวตั้งและแนวระดับ

แกมมาจุดของ 1/W ที่สภาวะนี้สัญญาณ 1/W มีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจนนักในทั้ง 3 วิธีการเก็บสัญญาณ สัญญาณมีแนวโน้มลดลงช้าๆ จากเริ่มต้นจนถึงที่ประมาณ 1,000 นาที หลังจากนั้นแนวโน้มมีลักษณะคงที่จนถึงระดับสี่หรือที่ 4 ส่วนสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging จะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นช้าๆ จนถึงระดับสี่หรือที่ 4 โดยสัญญาณที่ได้จากการเก็บสัญญาณทั้ง 3 วิธีมีแนวโน้มที่เหมือนกันในสัญญาณแนวตั้งและแนวระดับ

#### 4. การทดลองที่สภาวะ 800 RPM 340 W

แกมมาจุดของ 1/P สภาวะนี้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงแกมมาจุดของ 1/P มีรูปแบบเดียวกันในวิธีการเก็บสัญญาณทั้ง 3 วิธีการเก็บสัญญาณ สัญญาณมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่เริ่มทดลองไปจนถึงที่เวลาประมาณ 840-1,200 นาที จากนั้นแนวโน้มจะลดลงจนถึงช่วงเวลาประมาณ 1,320-1,440 นาที ต่อจากนั้นแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นจนเวลาประมาณ 1,800 นาที แล้วแนวโน้มจะลดลงจนถึงระดับสี่หรือที่ 4 ทั้ง 3 วิธีการเก็บสัญญาณมีแนวโน้มที่เหมือนกันในสัญญาณจากแนวตั้งและแนวระดับ และสัญญาณมีการปรับตัวรอบๆ แนวโน้ม การเปลี่ยนแปลงแกมมาจุดของ 1/P มีค่ามากกว่าการเปลี่ยนแปลงของ 2/P และ 3/P ตามลำดับ

แกมมาจุดของ 2/P แนวโน้มแกมมาจุดของสัญญาณ 2/P มีแนวโน้มที่คล้ายกับ 1/P ในวิธีการเก็บสัญญาณทั้ง 3 แบบ คือมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่เริ่มทดลองจนถึงที่เวลาประมาณ 840-960 นาที จากนั้นแนวโน้มจะลดลงและจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งจนถึงช่วงเวลาประมาณ 1,500-1,800 นาที ก่อนที่แนวโน้มจะลดลงจนถึงระดับสี่หรือที่ 4 โดยสัญญาณที่เก็บจากแนวตั้งและแนวระดับมีแนวโน้มที่เหมือนกันในทั้ง 3 วิธีการเก็บสัญญาณ และสัญญาณมีการปรับตัวขึ้นลงรอบๆ แนวโน้ม

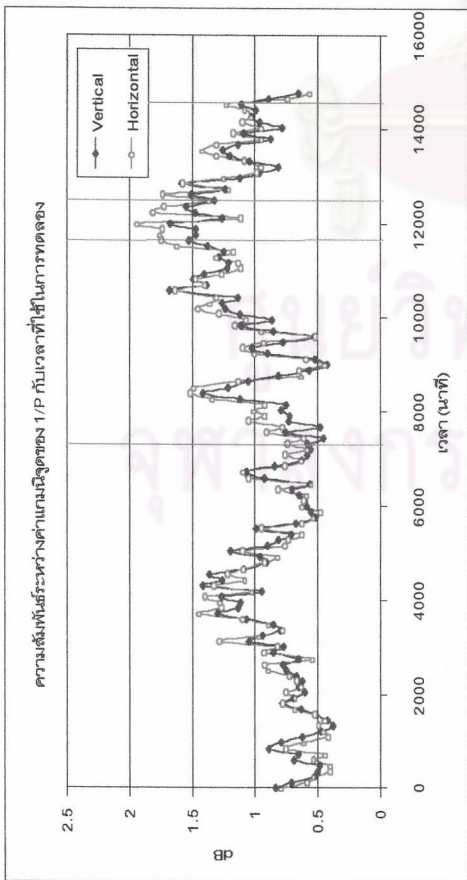
แกมมาจุดของ 3/P ที่สภาวะนี้ในกรณีของการเก็บสัญญาณแบบ Spectrum Averaging และ Synchronous Time Averaging เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงระดับการสี่หรือสุดท้ายแต่ไม่ชัดเจนนัก ส่วนในวิธีการเก็บสัญญาณแบบ Zoom Processing มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่เริ่มทดลองจนถึงที่เวลาประมาณ 1,800 นาที จากนั้นแนวโน้มจะลดลงจนถึงระดับสี่หรือที่ 4 สัญญาณมีแนวโน้มที่เหมือนกันทั้งสัญญาณที่เก็บในแนวตั้งและแนวระดับในทั้ง 3 วิธีการเก็บสัญญาณ และสัญญาณมีการปรับตัวขึ้นลงรอบๆ แนวโน้ม

แกมมาจุดของ 1/W แนวโน้มแกมมาจุดของ 1/W จากวิธีการเก็บสัญญาณทั้ง 3 แบบไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน มีแนวโน้มคงที่หรือลดลงเล็กน้อยจนถึงระดับสี่หรือที่ 4 ทั้ง 3 วิธีการเก็บสัญญาณมีแนวโน้มที่เหมือนกันจากการเก็บสัญญาณในแนวตั้งและแนวระดับ

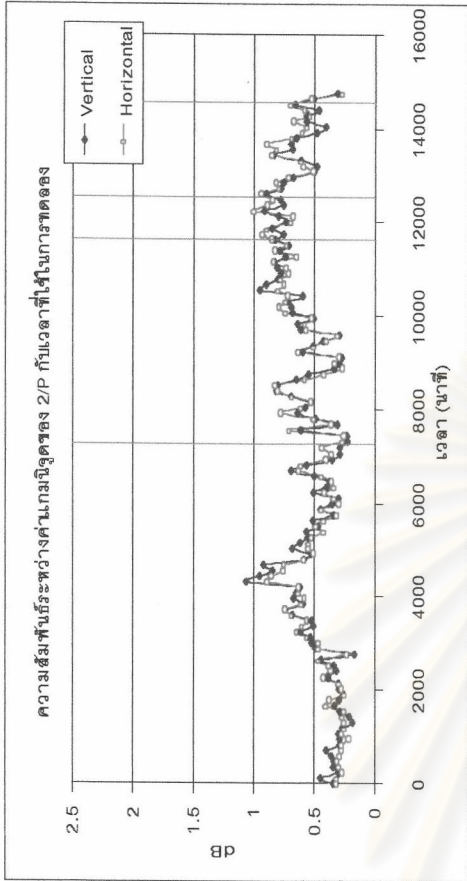
ในทุกสภาวะการทดลองแนวโน้มแกมมิจุดของเซปัสต์รุ่มที่ 1/P, 2/P และ 3/P โดยรวมจะมีลักษณะที่คล้ายกันในวิธีการเก็บสัญญาณแบบเดียวกัน โดย 1/P จะให้แนวโน้มที่เด่นชัดที่สุด และแนวโน้มแกมมิจุดของเซปัสต์รุ่มที่ 1/P, 2/P, 3/P และ 1/W ที่ได้จากวิธีการเก็บสัญญาณทั้ง 3 วิธีในแต่ละสภาวะการทดลองจะคล้ายกันในเกือบทุกสภาวะ ยกเว้นที่สภาวะ 500 RPM 200 W แกมมิจุดและการเปลี่ยนแปลงแกมมิจุดของ 1/P สูงกว่า 2/P และ 3/P โดยวิธีการเก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ให้ค่าแกมมิจุดและการเปลี่ยนแปลงสูงสุด เนื่องจากสัญญาณได้ลดทอนสัญญาณรบกวนให้เห็นความเป็นคาบของแถบความถี่ข้างในสเปกตรัมชัดเจนขึ้น

พารามิเตอร์ที่น่าจะนำมาใช้ในการเฝ้าตรวจการสั่นสะเทือนของชุดเฟืองสำหรับปัญหาการสึกหรอบนซี่ฟันเฟืองได้คือ 1/P และ 1/W โดยแนวโน้มโดยรวมของพารามิเตอร์ทั้ง 2 จะมีทิศทางที่ตรงกันข้ามกัน โดย 1/P มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นแล้วลดลงเมื่อเฟืองมีการสึกหรอมากขึ้น ในขณะที่ 1/W มีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อการสึกหรอเพิ่มขึ้น เนื่องจากช่วงต้นการสึกหรอของแต่ละฟันใกล้เคียงกัน ผลของการสึกหรอทำให้ตำแหน่งพิทช์เปลี่ยนแปลงไปเสมือนกับการเพิ่มขึ้นของแอมพลิจูดมอดูเลชัน แต่เมื่อการสึกหรอเพิ่มมากขึ้นระยะการสึกหรอของแต่ละฟันแตกต่างกันมากทำให้ช่วงเวลาขบกันของฟันเฟืองเปลี่ยนไปมากเสมือนกับการเพิ่มขึ้นของมอดูเลชันทางความถี่ ยังผลให้มีทั้งการเพิ่มขึ้นและลดลงของพารามิเตอร์ 1/P

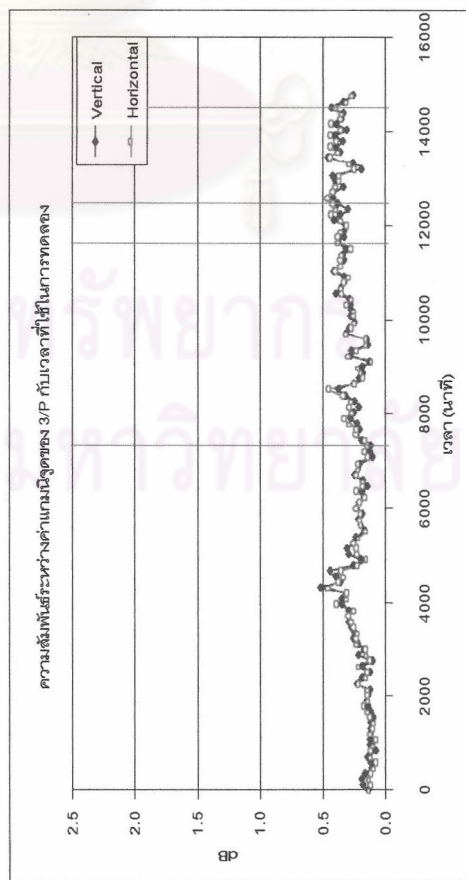
ศูนย์วิทยพัทยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



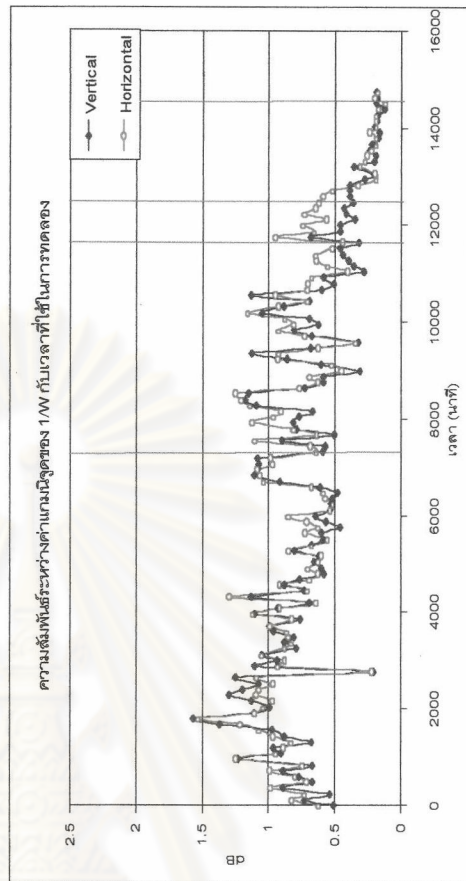
ค่าแอมพลิจูดของ 1/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง



ค่าแอมพลิจูดของ 2/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง



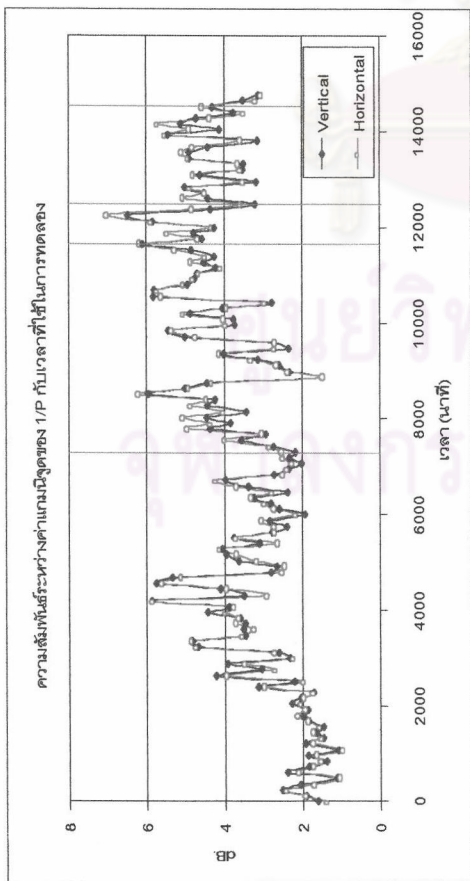
ค่าแอมพลิจูดของ 3/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง



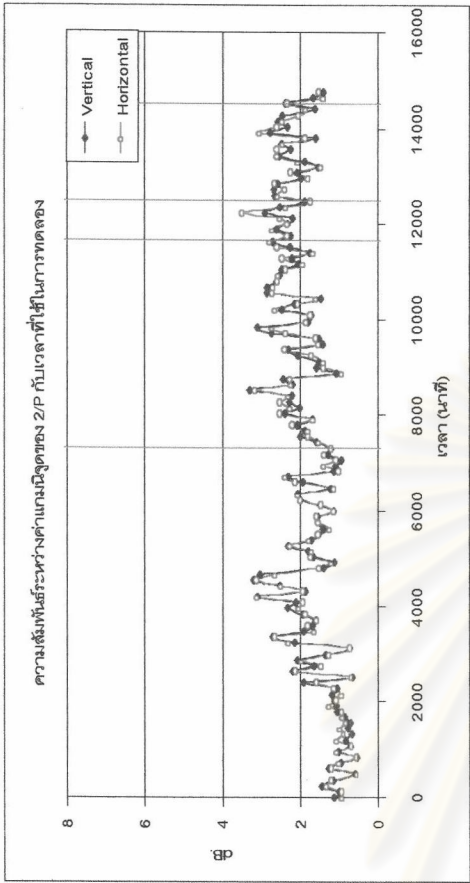
ค่าแอมพลิจูดของ 1/W กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 4-45 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของเซปัสต์รัมกับเวลาที่ใช้ในการทดลอง  
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging ที่ความเร็ว 500 RPM 200 W

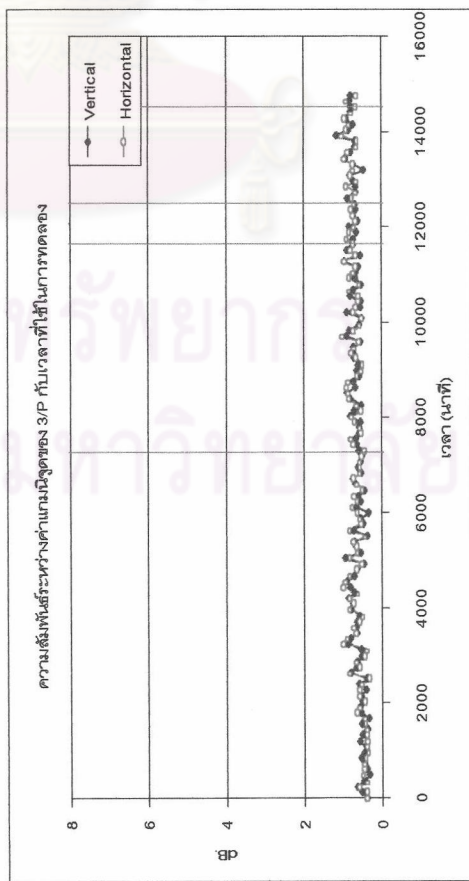




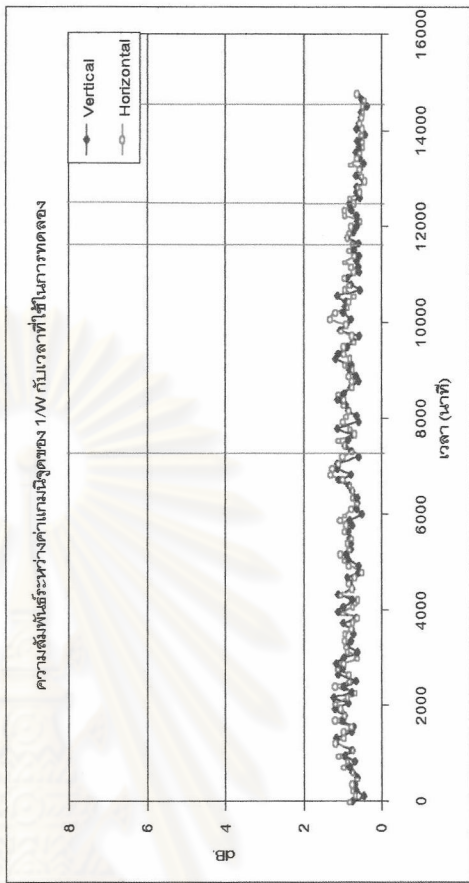
ค่าแกมมาสูงสุดของ 1/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง



ค่าแกมมาสูงสุดของ 2/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง



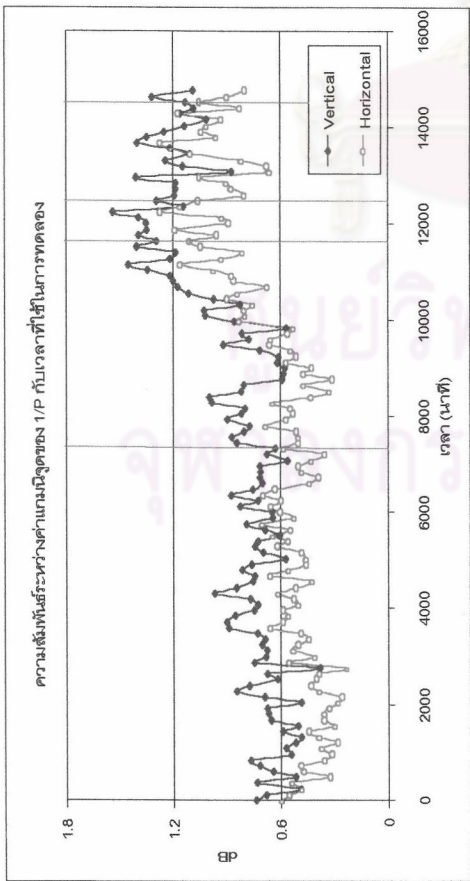
ค่าแกมมาสูงสุดของ 3/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง



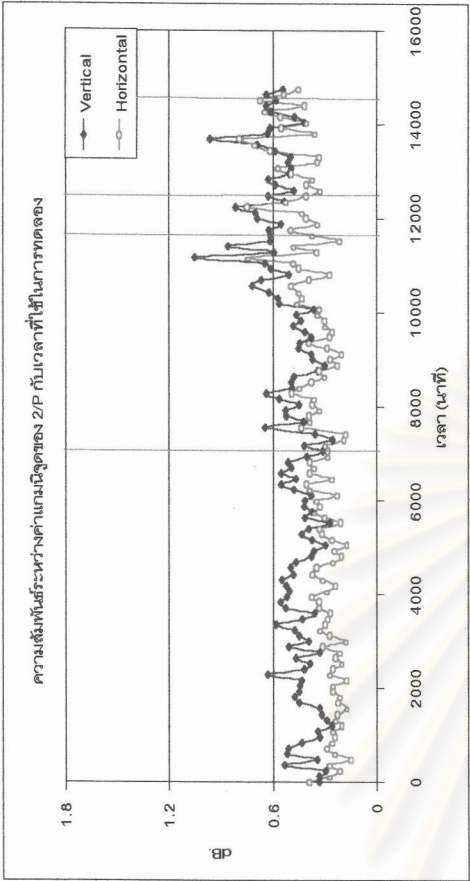
ค่าแกมมาสูงสุดของ 1/W กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 4-46 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแกมมาสูงสุดของเฮปส์ตรัมกับเวลาที่ใช้ในการทดลอง

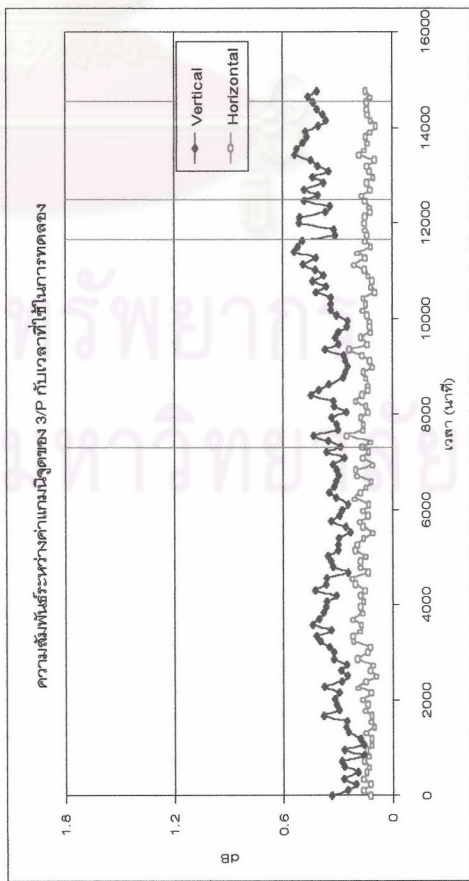
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Average ที่ประมาณ 500 RPM 200 W



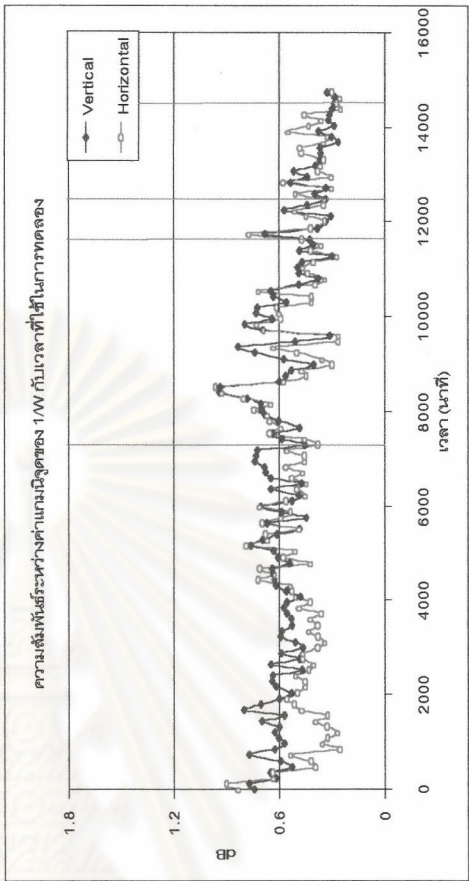
ค่าแกมมาของ 1/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง



ค่าแกมมาของ 2/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง

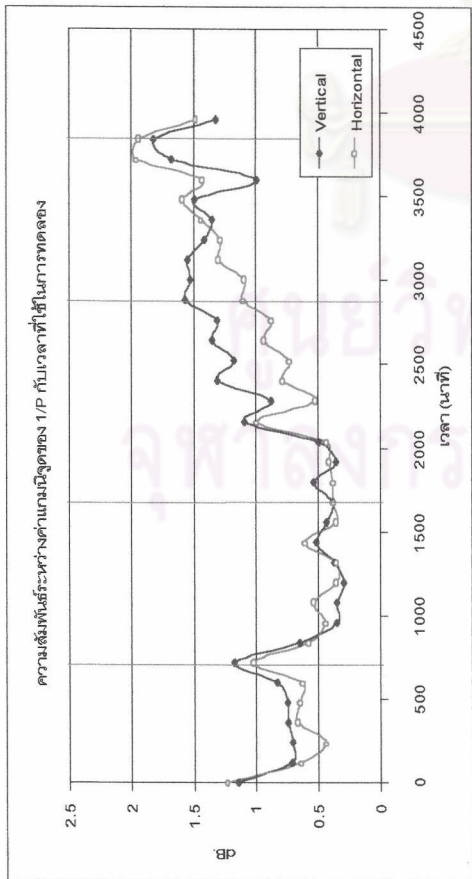


ค่าแกมมาของ 3/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง

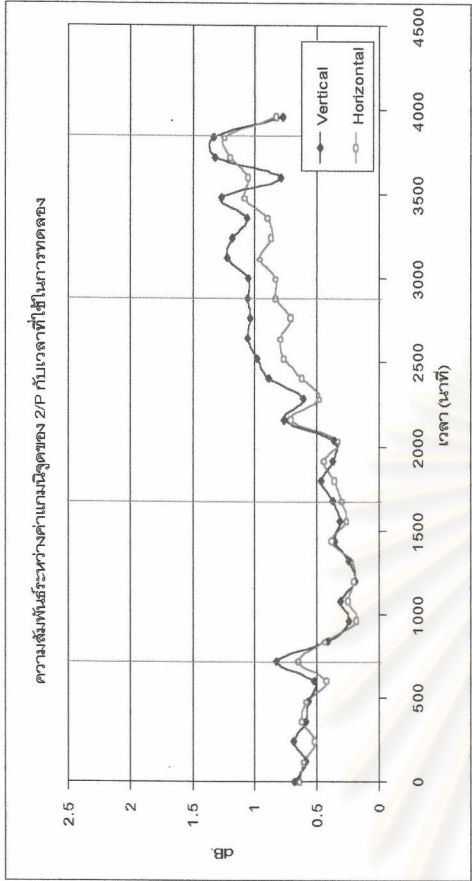


ค่าแกมมาของ 1/W กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง

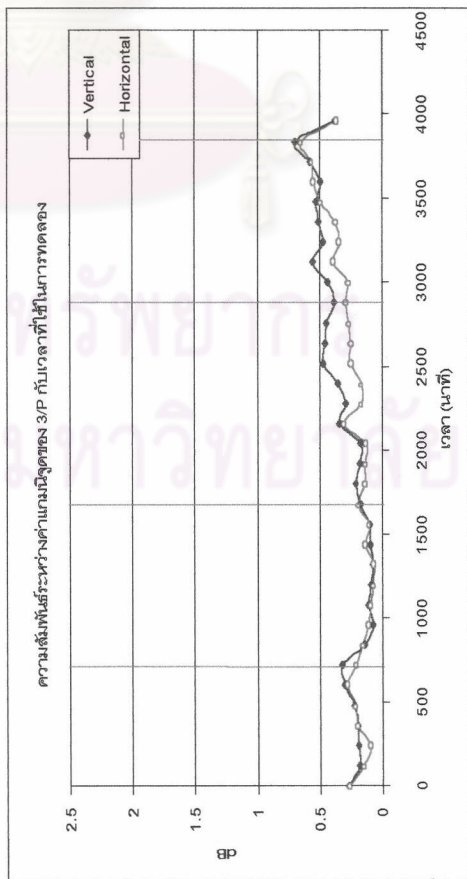
รูปที่ 4-47 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแกมมาของเซปัสต์รั่มกับเวลาที่ใช้ในการทดลอง  
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing ที่สภาวะ 500 RPM 200 W



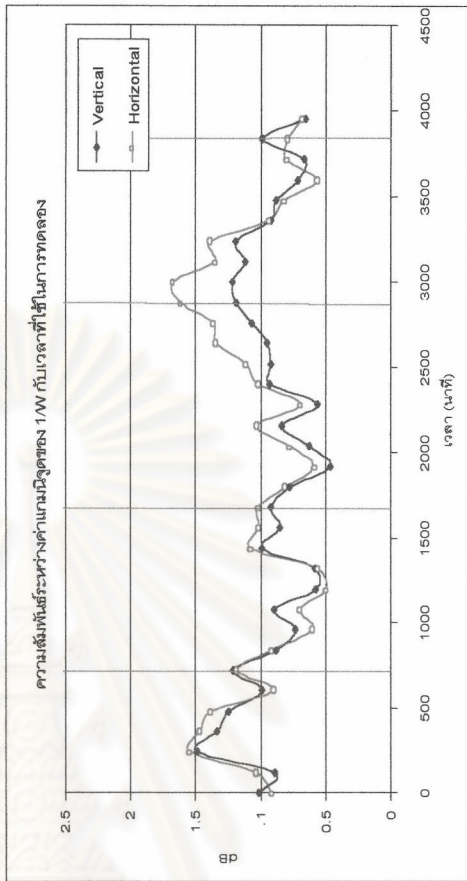
ค่าแอมพลิจูดของ 1/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง



ค่าแอมพลิจูดของ 2/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง

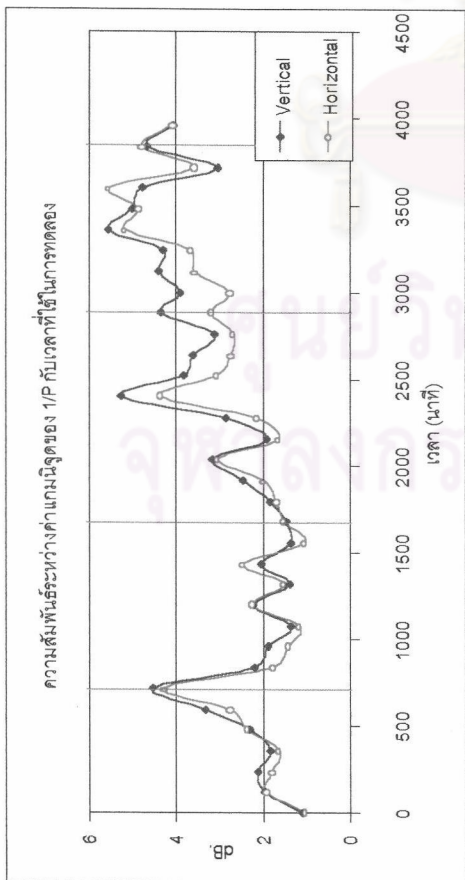


ค่าแอมพลิจูดของ 3/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง

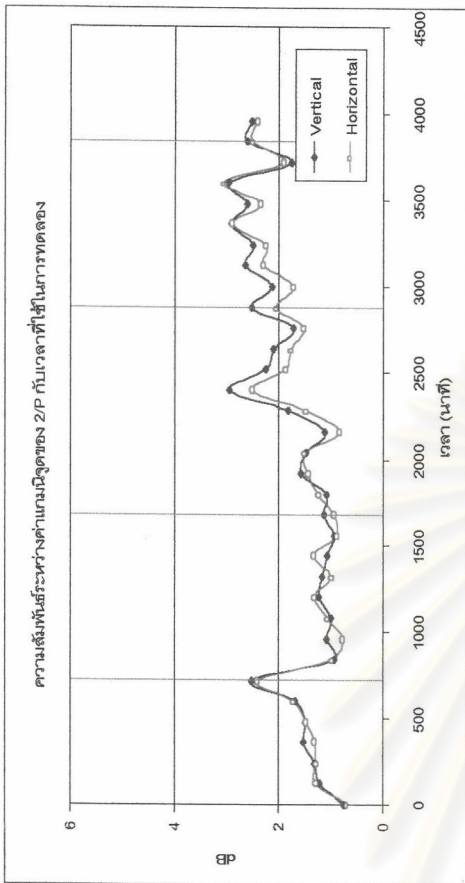


ค่าแอมพลิจูดของ 1/W กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง

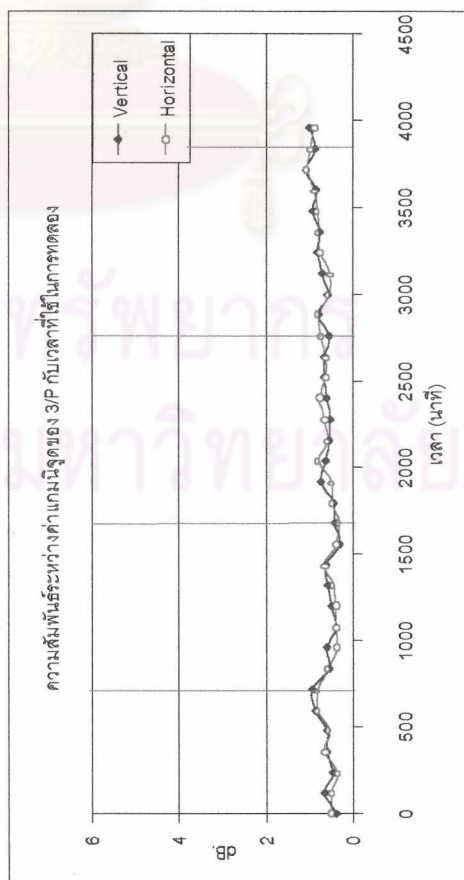
รูปที่ 4-48 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของซปส์ตรัมกับเวลาที่ใช้ในการทดลอง  
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging ที่ความเร็ว 500 RPM 340 W



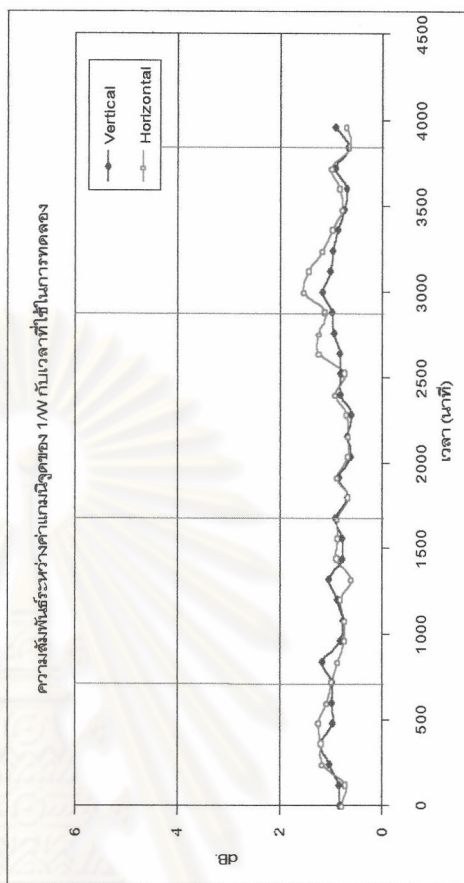
ค่าแกมมนิวตันของ 1/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง



ค่าแกมมนิวตันของ 2/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง

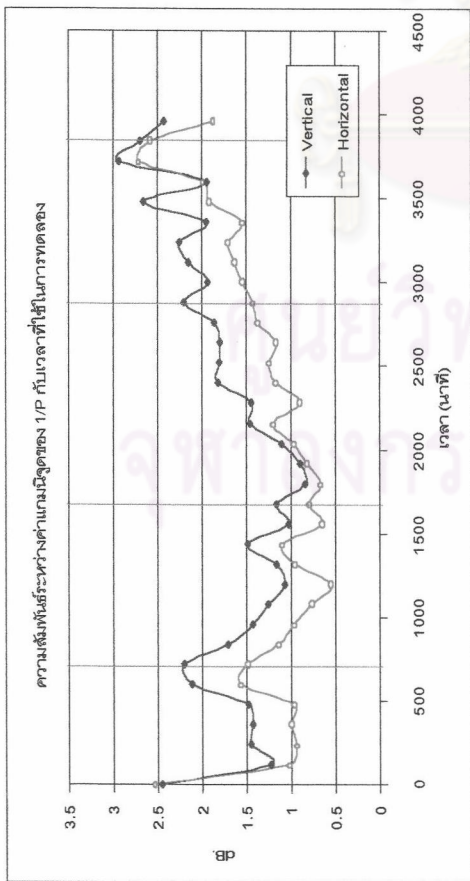


ค่าแกมมนิวตันของ 3/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง

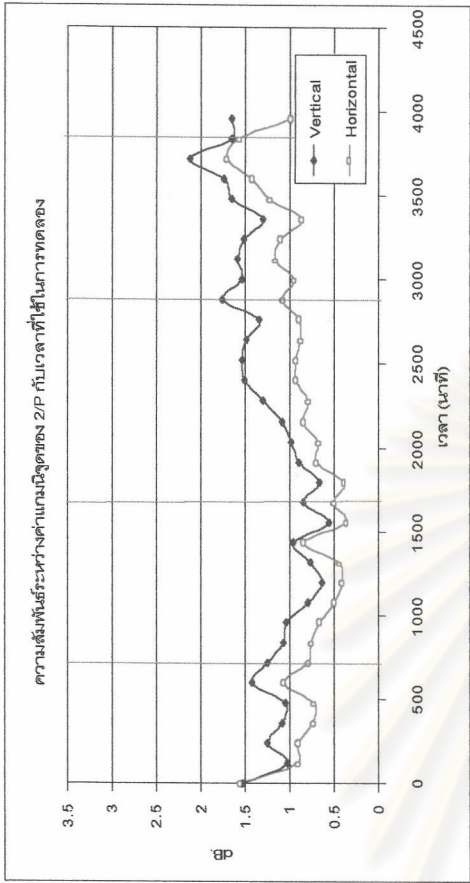


ค่าแกมมนิวตันของ 1/W กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง

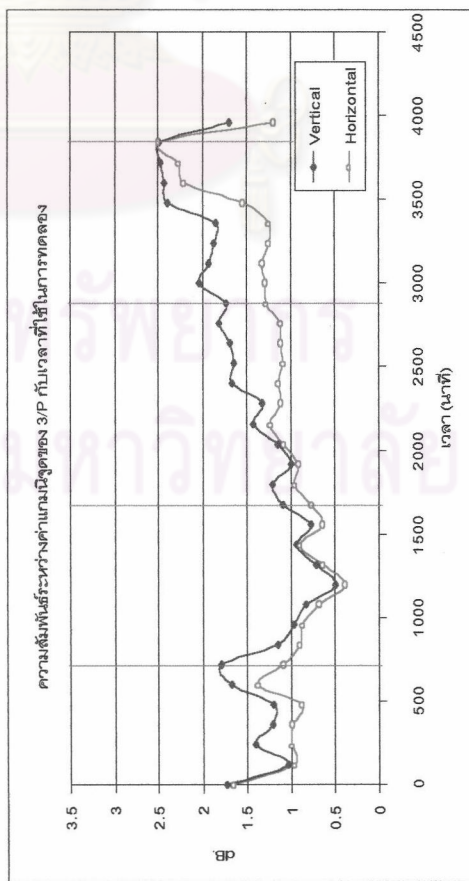
รูปที่ 4-49 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแกมมนิวตันของเซปัสตรีมกับเวลาที่ใช้ในการทดลอง  
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Average ที่สภาวะ 500 RPM 340 W



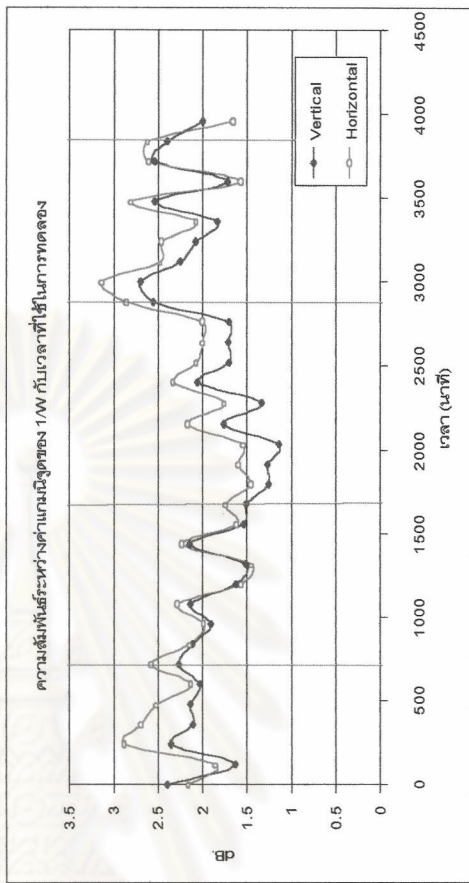
ค่าแกมมิจูดของ 1/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง



ค่าแกมมิจูดของ 2/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง



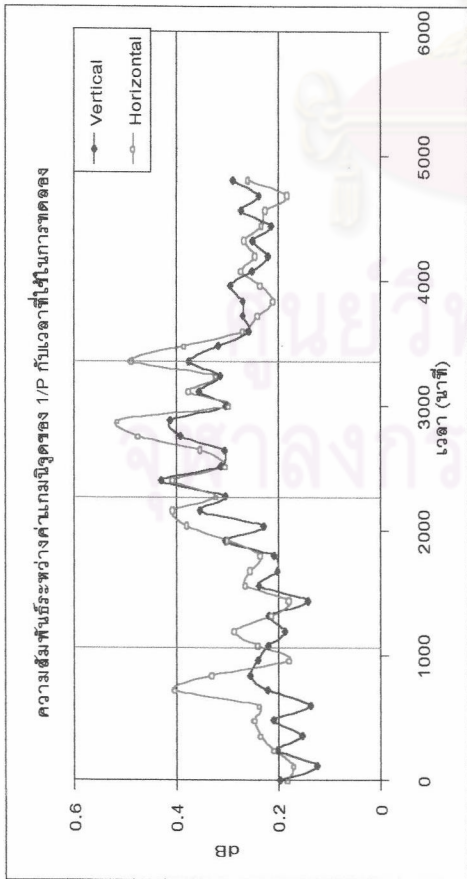
ค่าแกมมิจูดของ 3/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง



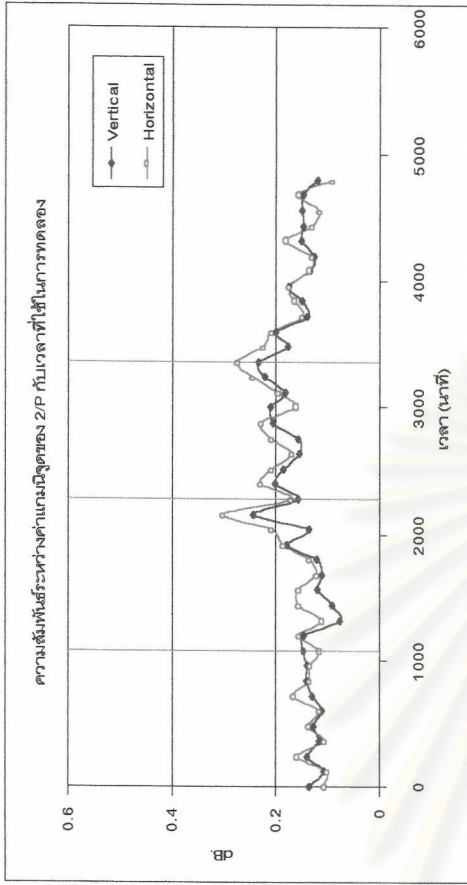
ค่าแกมมิจูดของ 1/W กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 4-50 ความสัมพัทธ์ระหว่างค่าแกมมิจูดของเซปัสต์ริมกับเวลาที่ใช้ในการทดลอง

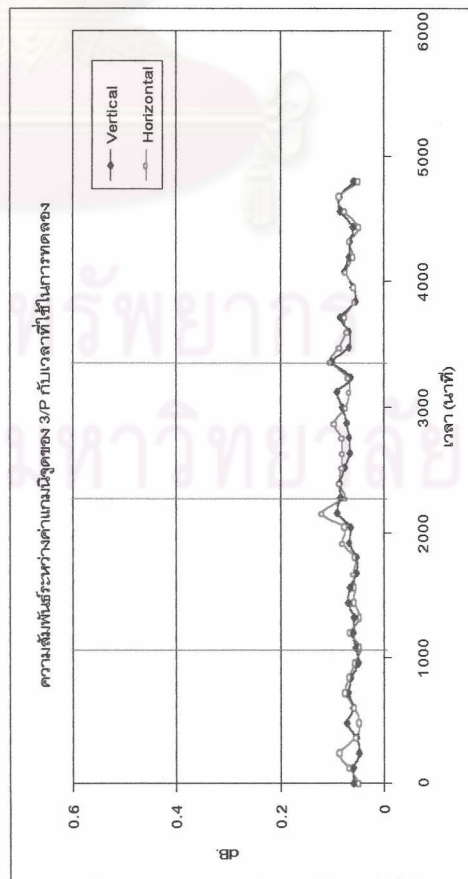
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing ที่สภาวะ 500 RPM 340 W



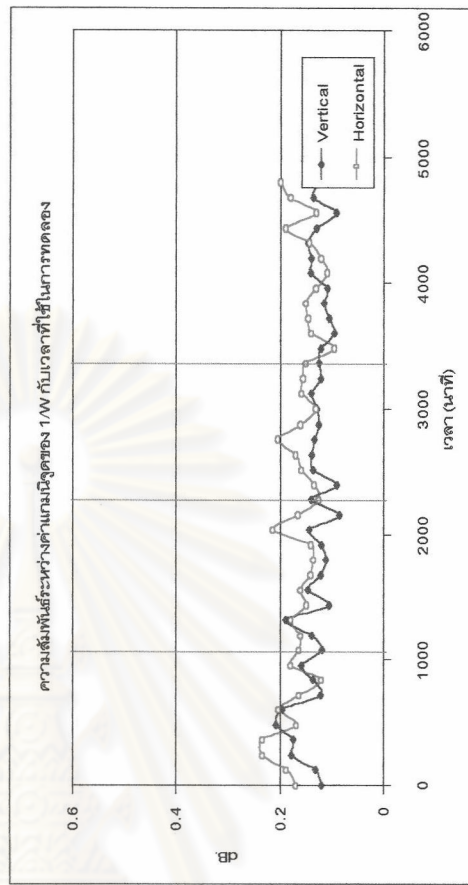
ค่าแอมพลิจูดของ 1/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง



ค่าแอมพลิจูดของ 2/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง

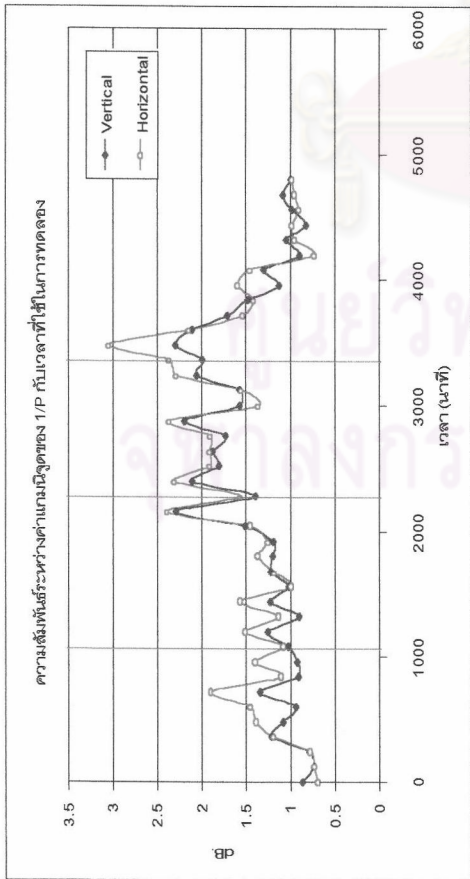


ค่าแอมพลิจูดของ 3/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง

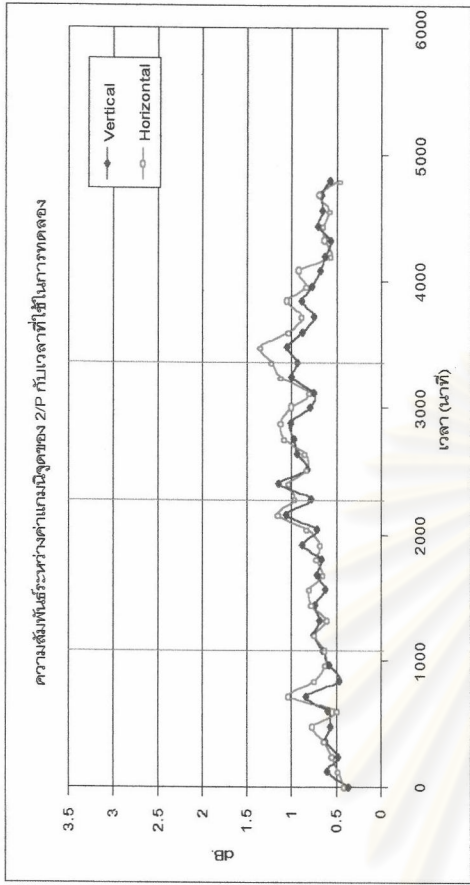


ค่าแอมพลิจูดของ 4/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง

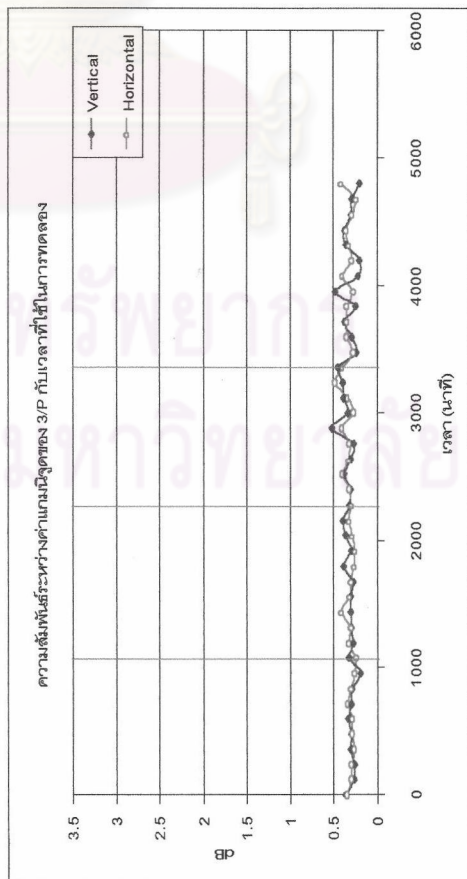
รูปที่ 4-51 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของเซปัสตรัมกับเวลาที่ใช้ในการทดลอง  
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging ที่สภาวะ 800 RPM 200 W



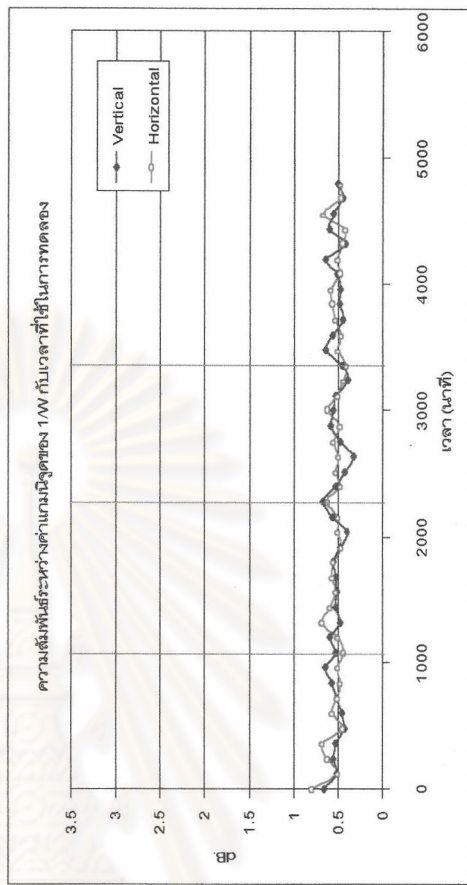
ค่าแกมมนิวตันของ 1/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง



ค่าแกมมนิวตันของ 2/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง



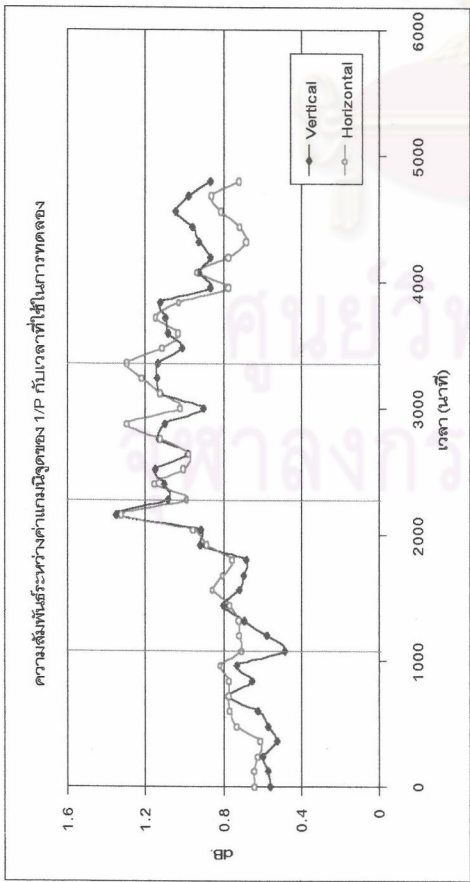
ค่าแกมมนิวตันของ 3/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง



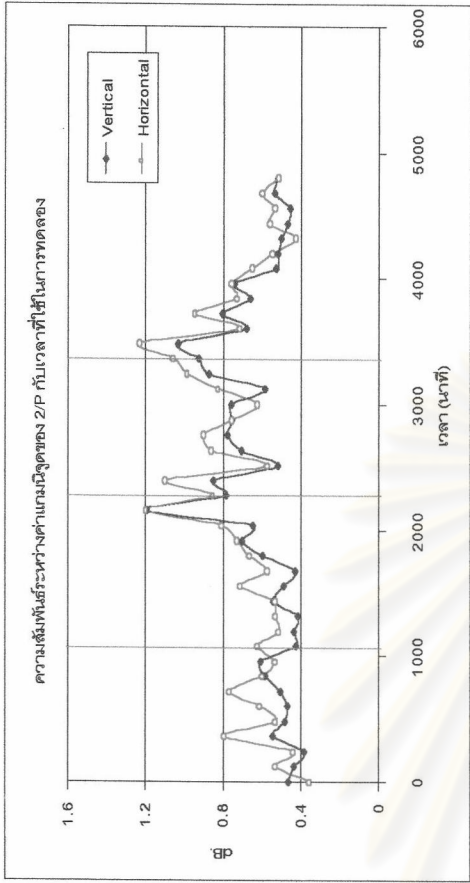
ค่าแกมมนิวตันของ 1/W กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 4-52 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแกมมนิวตันของเซปัสตรัมกับเวลาที่ใช้ในการทดลอง

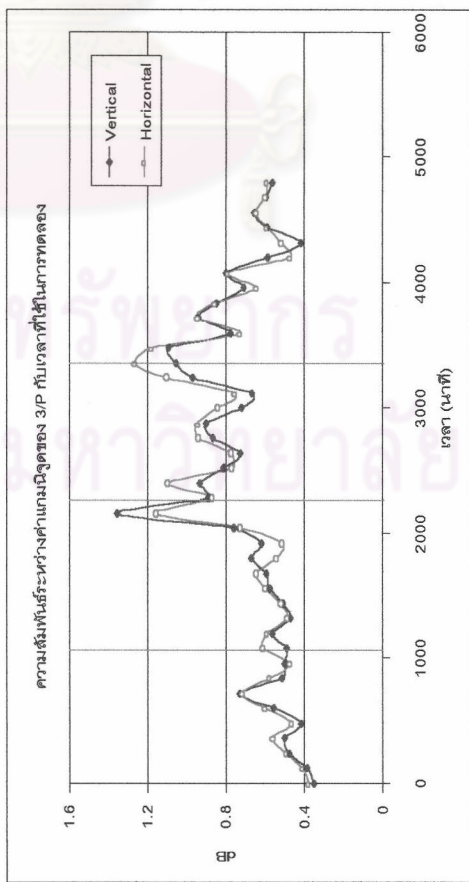
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Average ที่สภาวะ 800 RPM 200 W



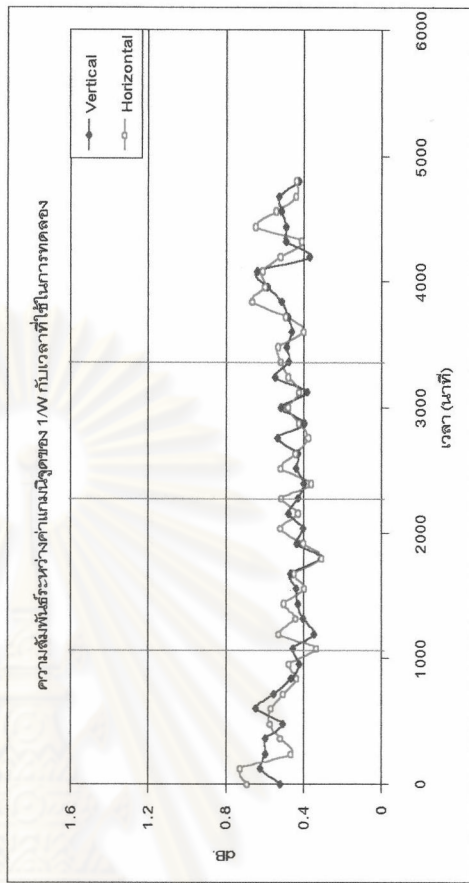
ค่าแกมมิจุดของ 1/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง



ค่าแกมมิจุดของ 2/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง



ค่าแกมมิจุดของ 3/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง

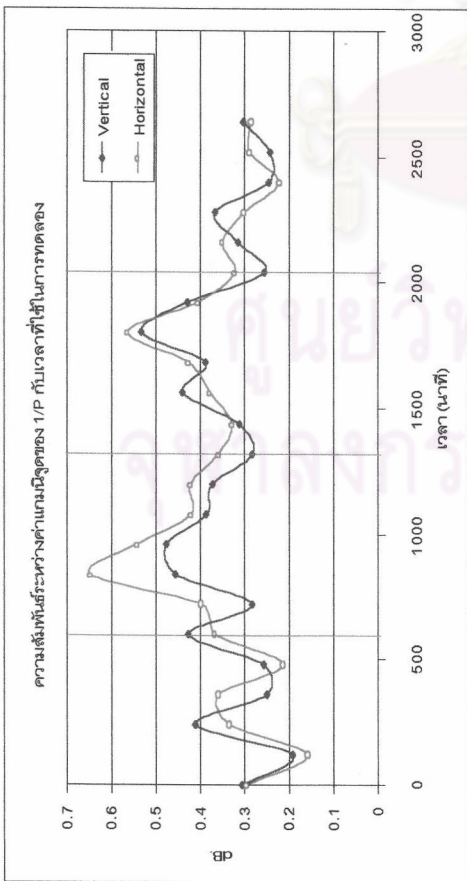


ค่าแกมมิจุดของ 1/W กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง

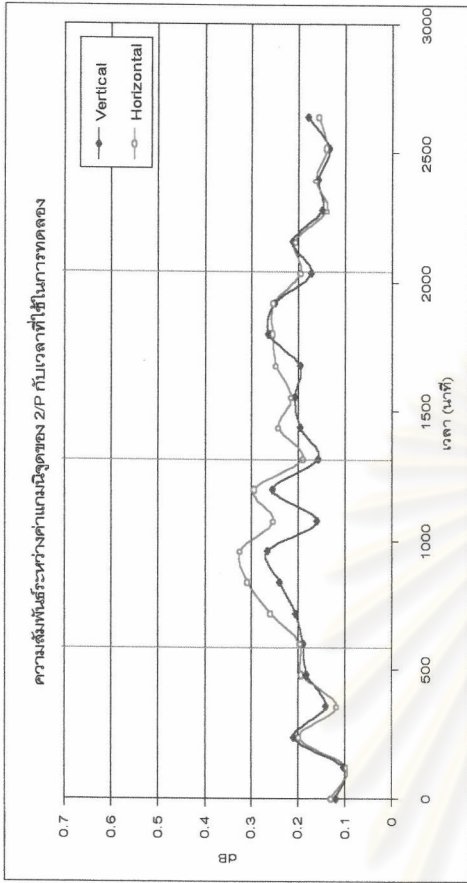
รูปที่ 4-53 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแกมมิจุดของเซปัสต์รัมกับเวลาที่ใช้ในการทดลอง

เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing ที่สภาวะ 800 RPM 200 W

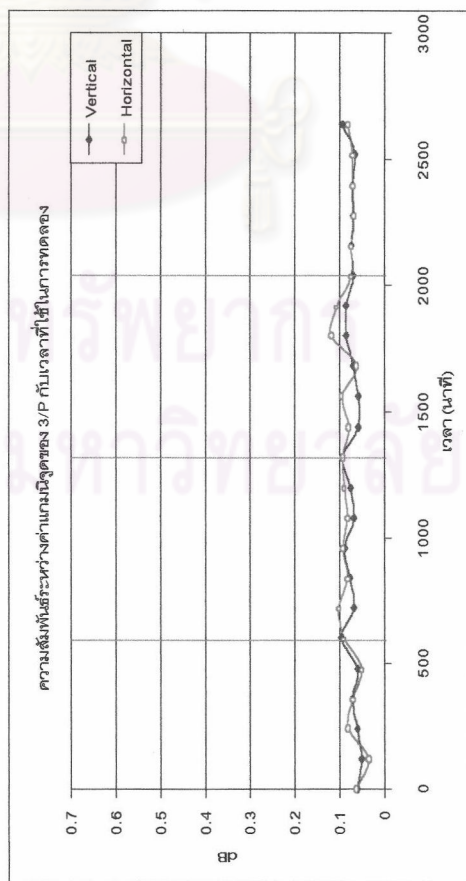




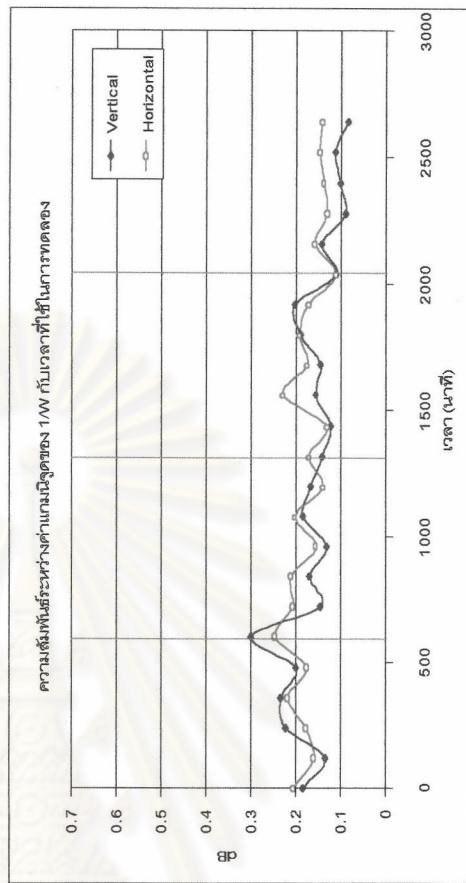
ค่าแอมพลิจูดของ 1/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง



ค่าแอมพลิจูดของ 2/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง

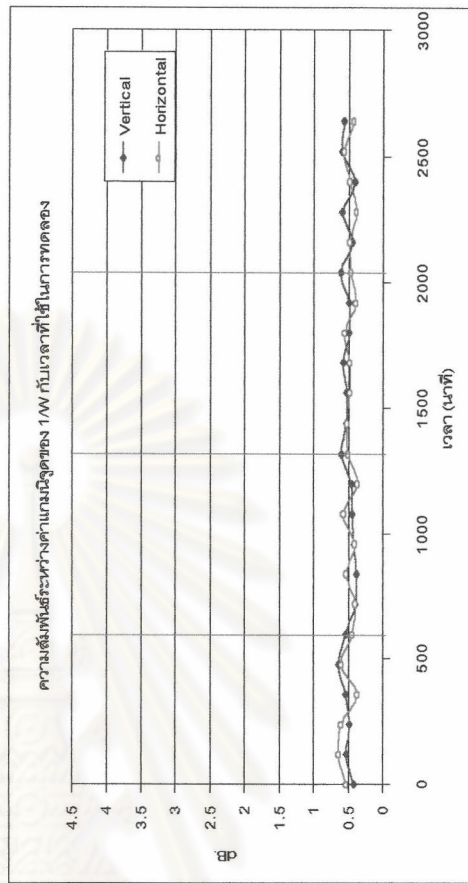
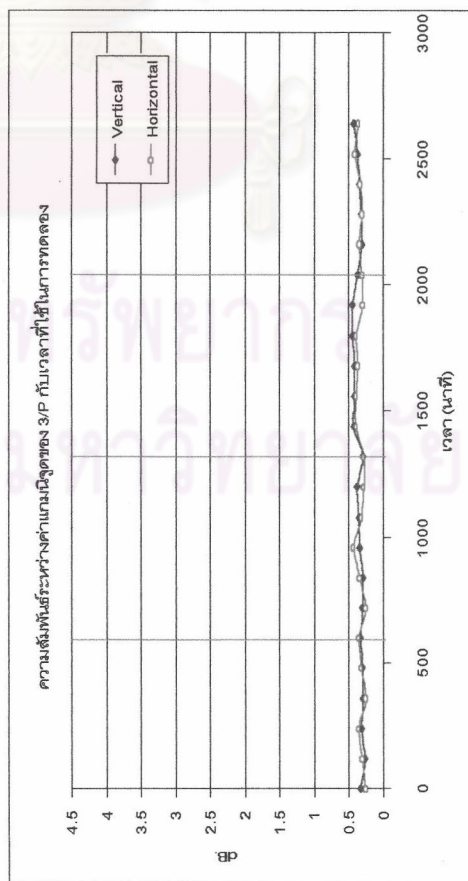
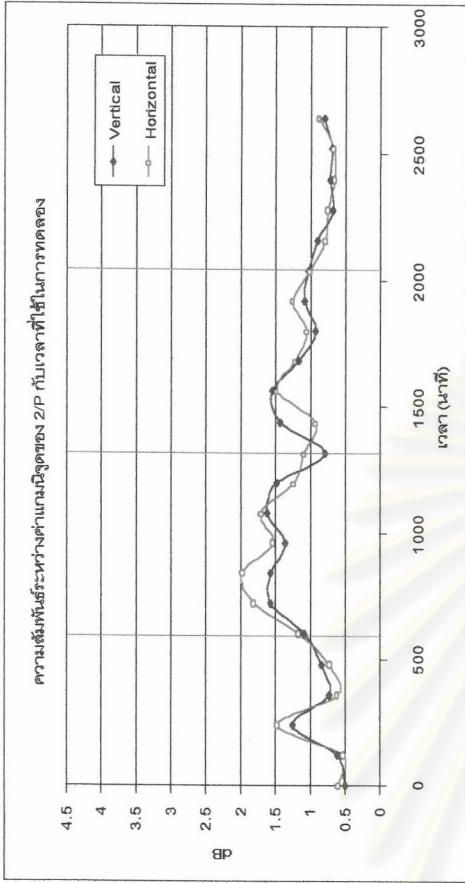
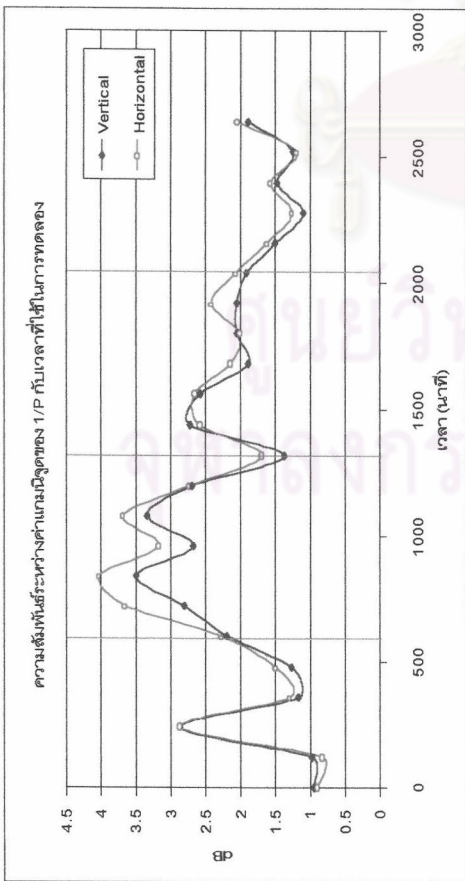


ค่าแอมพลิจูดของ 3/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง



ค่าแอมพลิจูดของ 4/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง

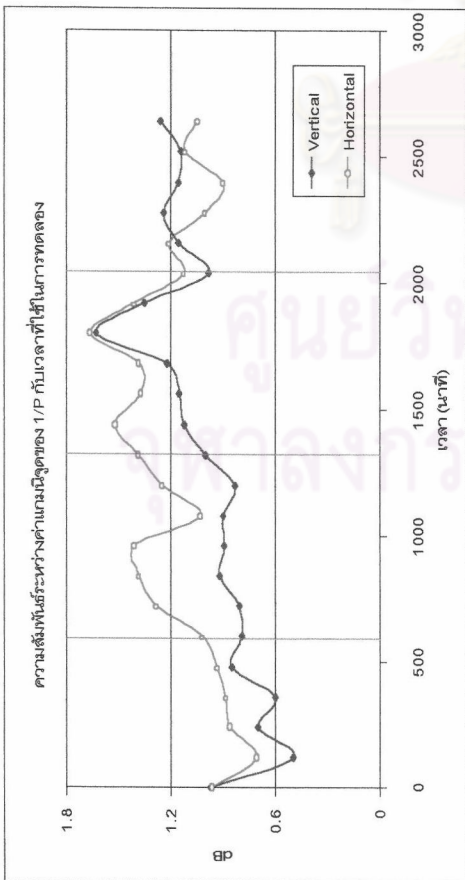
รูปที่ 4-54 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของเซปัสต์รึมกับเวลาที่ใช้ในการทดลอง  
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging ที่สภาวะ 800 RPM 340 W



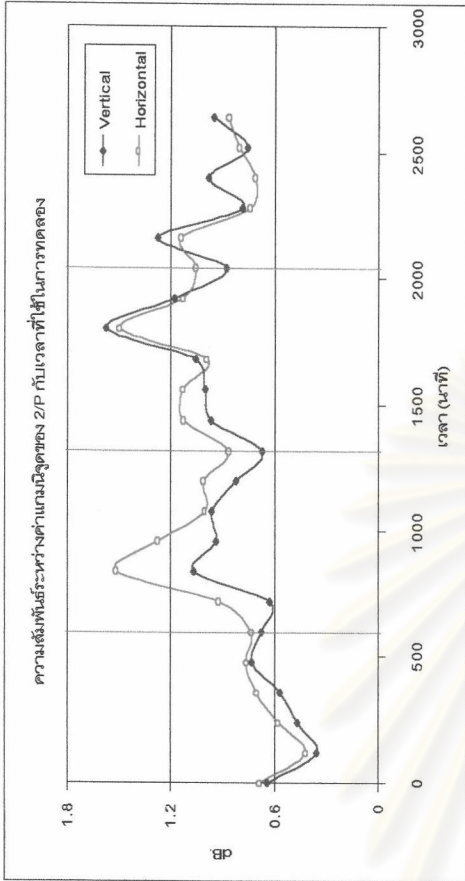
รูปที่ 4-55 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแกมมาสูงสุดของซปส์ตรัมกับเวลาที่ใช้ในการทดลอง

เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Average ที่สภาวะ 800 RPM 340 W

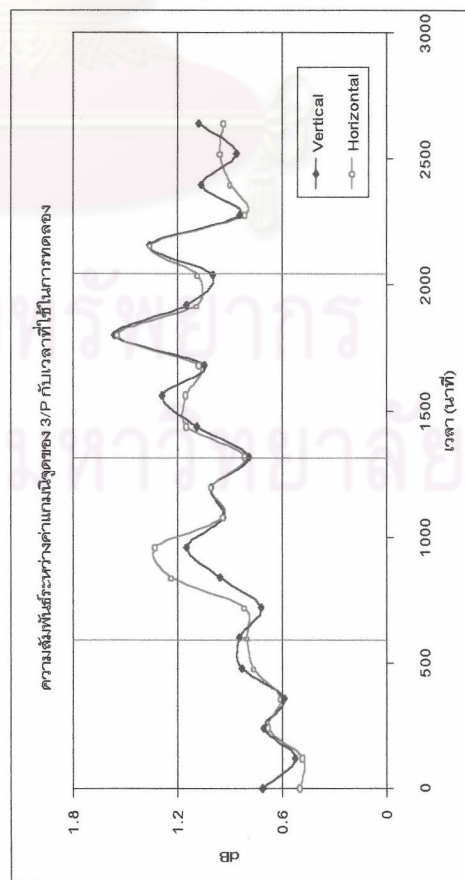
ค่าแกมมาสูงสุดของ 1/W กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง



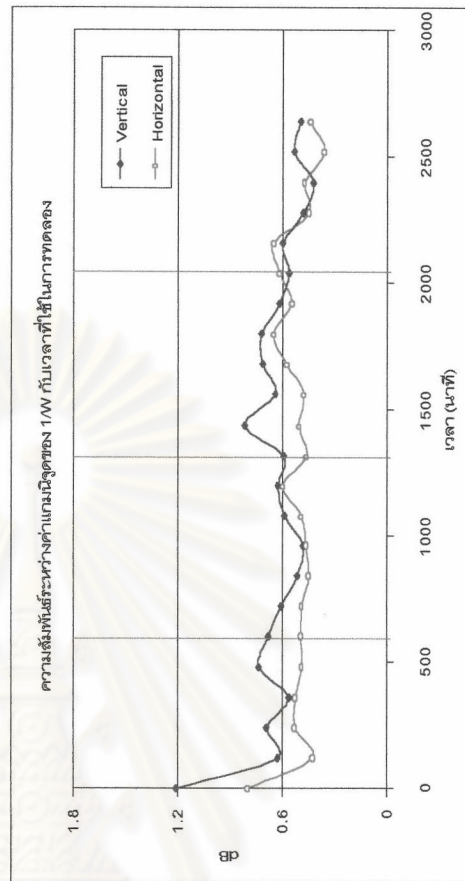
ค่าแกมมนิวตันของ 1/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง



ค่าแกมมนิวตันของ 2/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง



ค่าแกมมนิวตันของ 3/P กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง



ค่าแกมมนิวตันของ 1/W กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 4-56 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแกมมนิวตันของเซปัสตรัมกับเวลาที่ใช้ในการทดลอง  
เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing ที่สภาวะ 800 RPM 340 W