

บทที่ 5

การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน

ในการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อบ่งบอกว่าเป็นการแตกร้าวของพื้นเพ็องและขนาดของรอยแตก ร้าวยังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้หรือไม่ ต้องพิจารณาสัญญาณร่วมกันทั้ง 3 โดเมน การวิเคราะห์สัญญาณทำได้โดยการแสดงค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญและมีส่วนเกี่ยวข้องกับการสั่นสะเทือนของ ชุดเพ็องที่ระดับความยาวของรอยแตกร้าวต่าง ๆ⁵ เพื่อสังเกตดูแนวโน้มของความเปลี่ยนแปลงของค่า พารามิเตอร์ตามขนาดของรอยแตกร้าว รวมทั้งผลของระดับภาวะ ความเร็วรอบหมุน และทิศทาง การวัดสัญญาณที่มีต่อค่าพารามิเตอร์ที่เลือกใช้ โดยทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาจากการเก็บสัญญาณที่แตกต่างกัน 3 วิธีคือ การเปลี่ยนโดเมนความถี่ กระบวนการขยายความละเอียดของโดเมนความถี่ และการเปลี่ยนโดเมนเวลาเข้าจังหวะ

5 - 1 สัญญาณบนโดเมนเวลา

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ

RMS	คือ ค่าแอมพลิจูดอาร์เอ็มเอส
Kurtosis	คือ ค่าทางสถิติโมเมนต์อันดับที่ 4 สำหรับวัดขนาดการแผ่กว้างของ การกระจายตัวของแอมพลิจูดการสั่นสะเทือน
Peak	คือ แอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณในช่วงระยะเวลาที่เก็บสัญญาณ
Crest factor	คือ อัตราส่วนระหว่างค่า Peak ต่อค่า RMS

ใช้ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์แต่ละตัวที่ได้จากการเก็บสัญญาณ 5 ครั้ง ที่แต่ละความยาว รอยแตกร้าว หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ทั้ง 4 ชนิดและความยาวรอยแตกร้าวด้วยวิธี การถดถอยเชิงพหุนามกำลังสอง ที่แต่ละความยาวรอยแตกร้าวแสดงค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ ค่ามากที่สุด และค่าน้อยที่สุด เส้นกราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่มีต่อความยาว รอยแตกร้าวของพื้นเพ็อง

⁵ ค่าของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้วิเคราะห์ความสัมพันธ์แสดงไว้ในภาคผนวก ข.

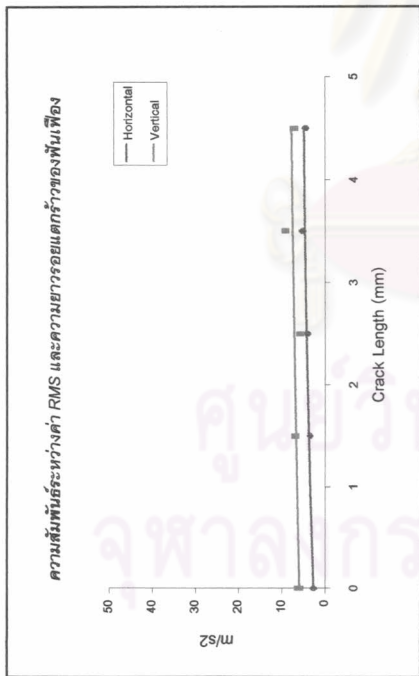
ค่า Kurtosis และ Crest Factor เป็นพารามิเตอร์ที่สามารถบ่งบอกถึงการปรากฏพัลส์ชั่วขณะในสัญญาณบนโดเมนเวลา พัลส์ที่มีคาบการเกิดเท่ากับคาบการหมุนของเฟืองขับน่าจะมีสาเหตุจากฟันที่แตกร้าวขบกัน พารามิเตอร์ทั้งสองจึงเหมาะสมอย่างมากต่อการวิเคราะห์ปัญหาการแตกร้าวของฟันเฟือง การเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะสามารถช่วยลดสัญญาณรบกวนลงเป็นอันมาก และช่วยให้สามารถเห็นรูปแบบจังหวะการขบกันของฟันเฟืองในสัญญาณบนโดเมนเวลาได้ชัดเจนขึ้น ทำให้การวิเคราะห์พารามิเตอร์ทั้งสองน่าจะสามารถเห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงตามขนาดของรอยแตกร้าวได้ชัดเจนขึ้น

5-1-1 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณบนโดเมนเวลาและความยาวรอยแตกร้าวของฟันเฟือง

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสัญญาณบนโดเมนเวลาและความยาวรอยแตกร้าวของฟันเฟืองในแต่ละรูปประกอบด้วย 4 รูปย่อย ตามระดับภาระที่เลือกใช้และวิธีการเก็บสัญญาณ ในแต่ละรูปย่อยแสดงการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณที่วัดในแนวระดับ (Horizontal) และแนวตั้ง (Vertical) ตามลำดับดังต่อไปนี้

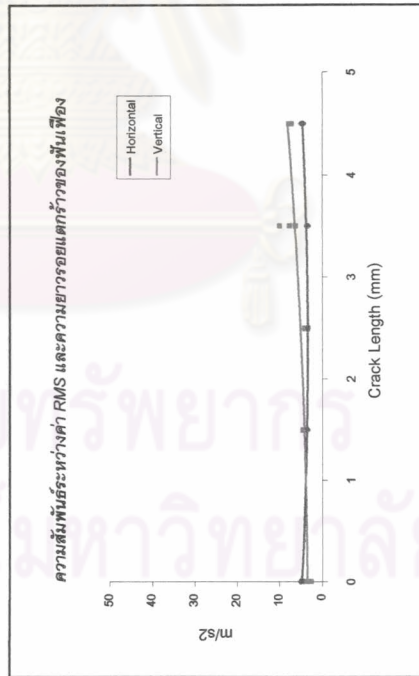
- 1) ความสัมพันธ์ระหว่างค่า RMS และความยาวรอยแตกร้าวของฟันเฟือง
 - รูปที่ 5-1 : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที
 - รูปที่ 5-2 : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที
- 2) ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Kurtosis และความยาวรอยแตกร้าวของฟันเฟือง
 - รูปที่ 5-3 : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที
 - รูปที่ 5-4 : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที
- 3) ความสัมพันธ์ระหว่างค่า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

ภาระ 150 วัตต์

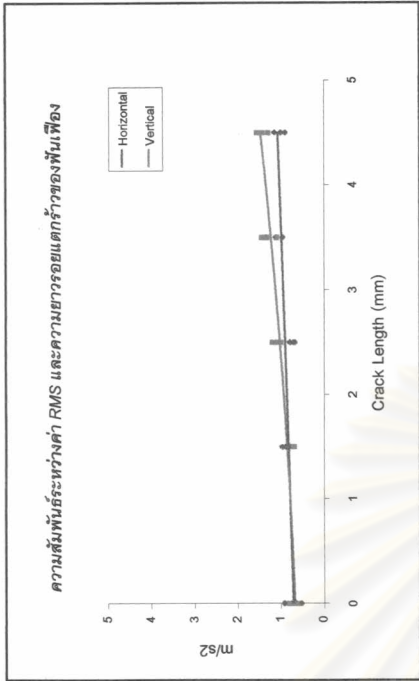


(ก) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

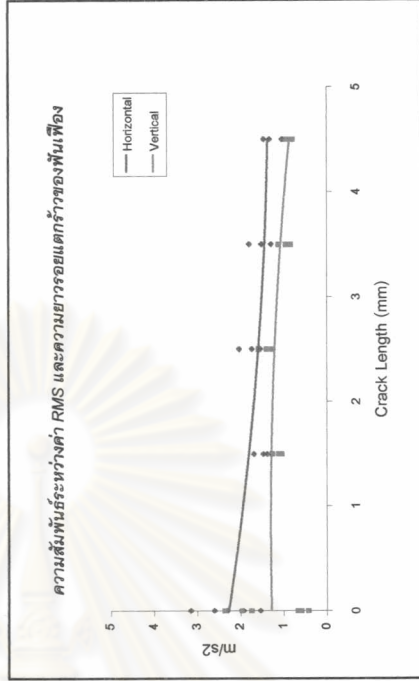
ภาระ 300 วัตต์



(ค) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



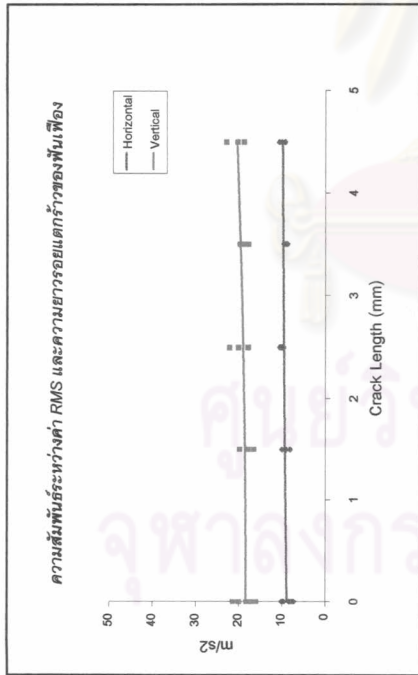
(ข) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



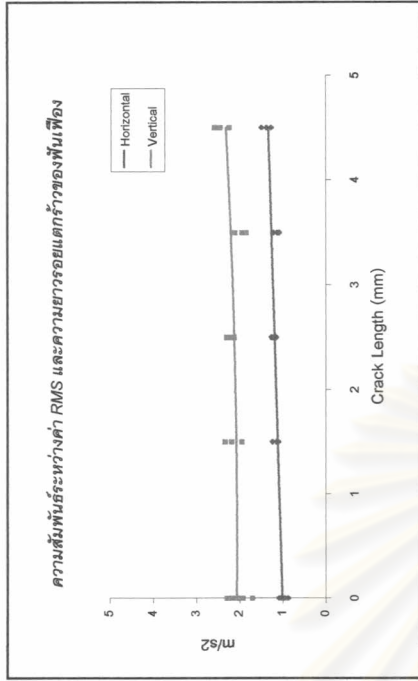
(ง) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

รูปที่ 5-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า RMS และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพียง : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที

ภาระ 150 วัตต์

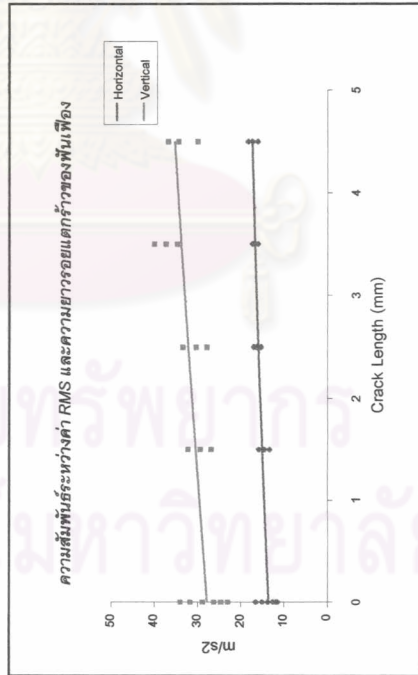


(ก) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

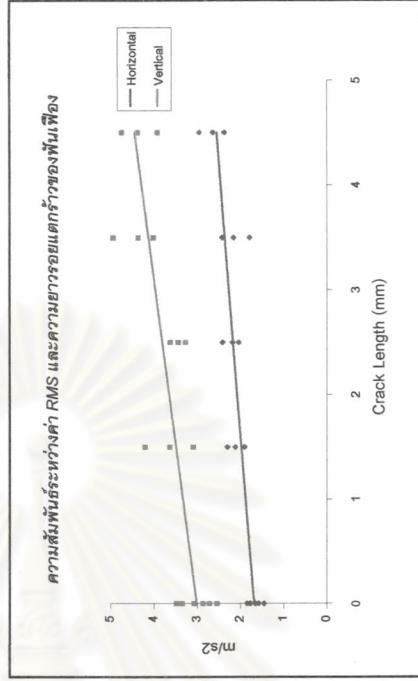


(ข) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

ภาระ 300 วัตต์



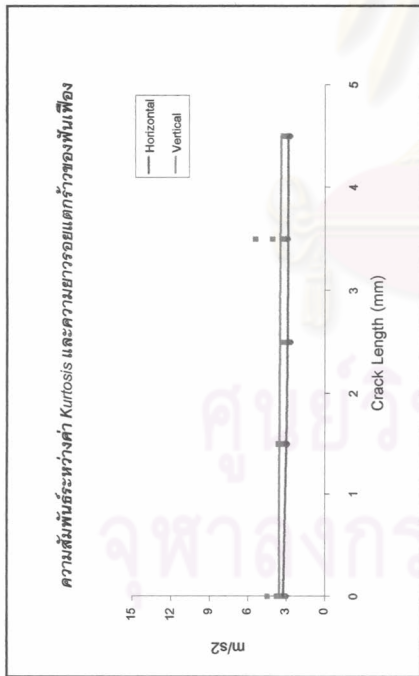
(ค) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



(ง) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

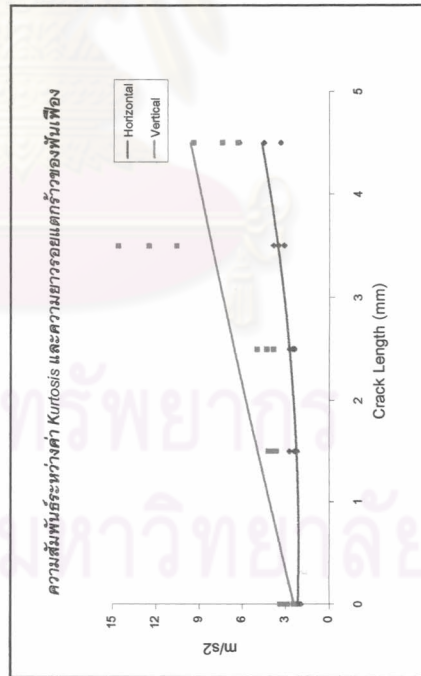
รูปที่ 5-2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า RMS และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพื่อ : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที

ภาระ 150 วัตต์

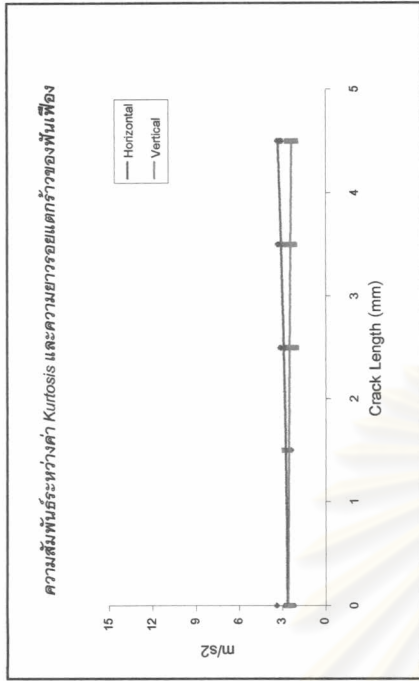


(ก) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

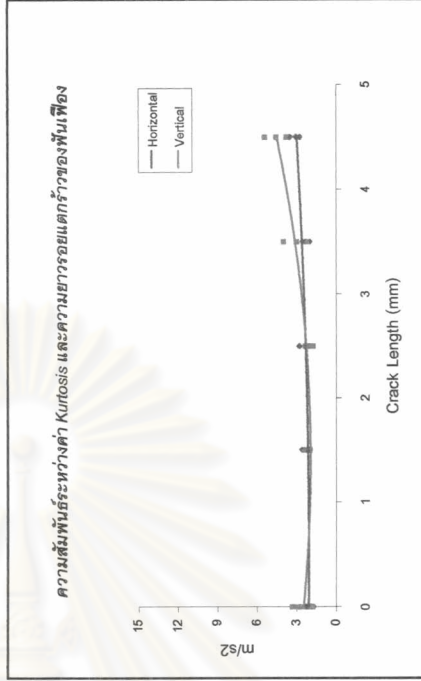
ภาระ 300 วัตต์



(ค) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



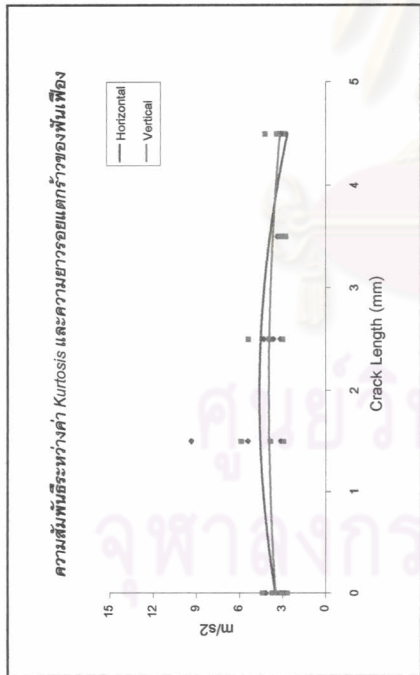
(ข) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



(ง) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

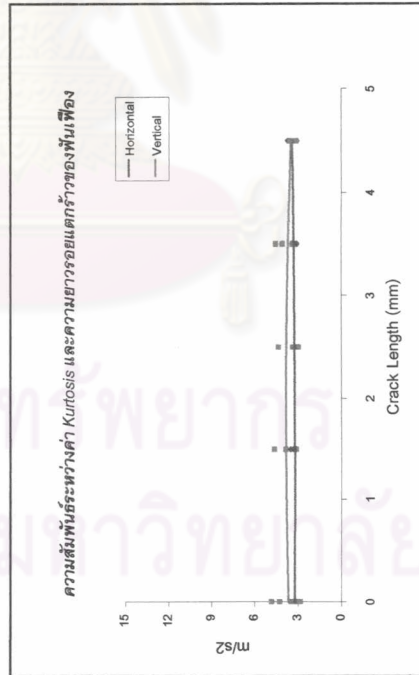
รูปที่ 5-3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Kurtosis และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพียง : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที

ภาวะ 150 วิตัด

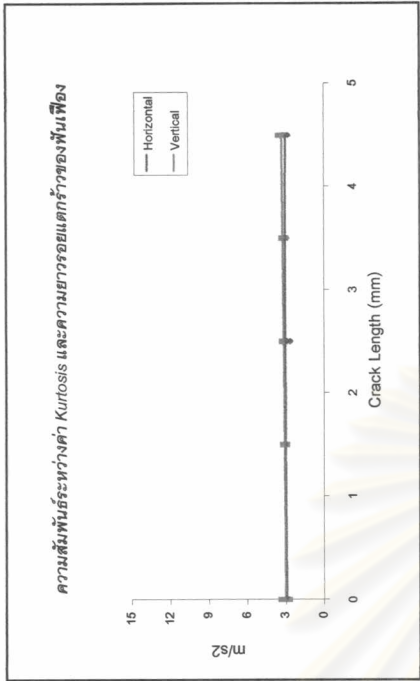


(ก) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

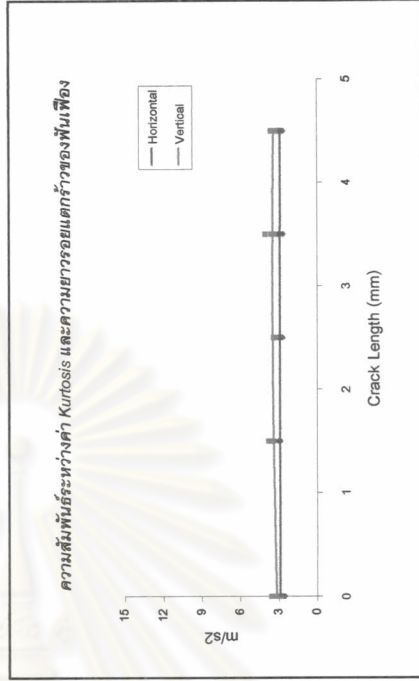
ภาวะ 300 วิตัด



(ค) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



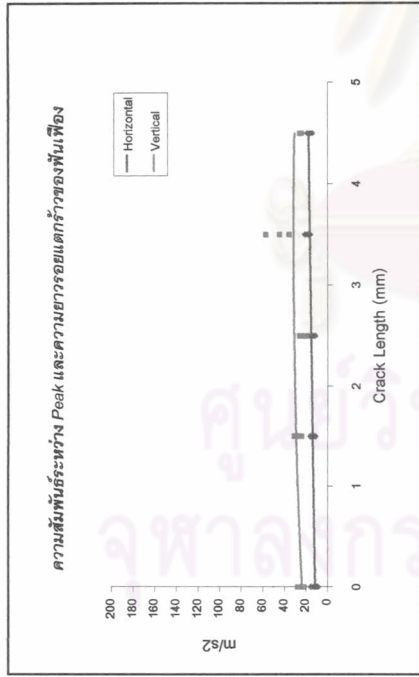
(ข) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging



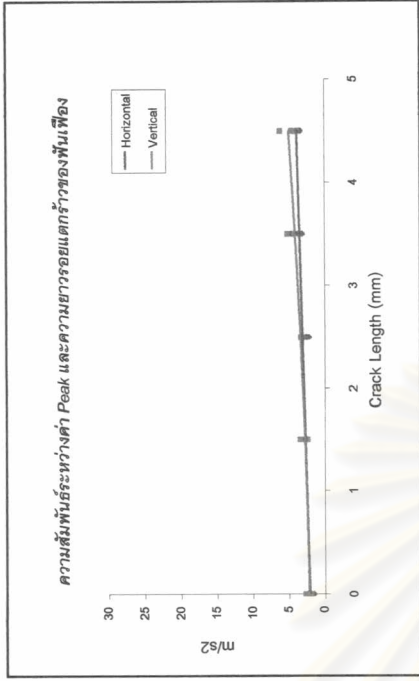
(ง) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

รูปที่ 5-4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Kurtosis และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นผิว : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที

ภาระ 150 วัตต์

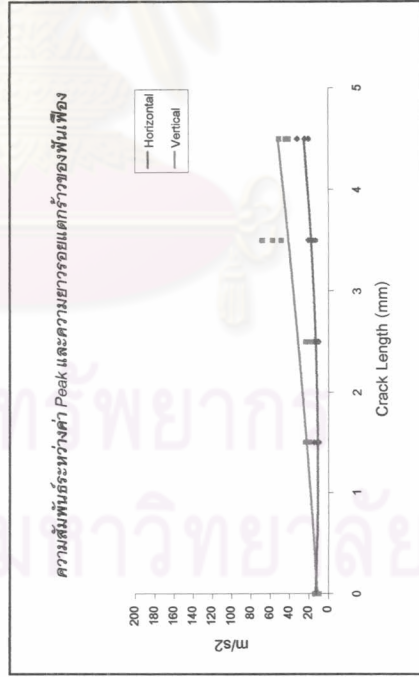


(ก) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

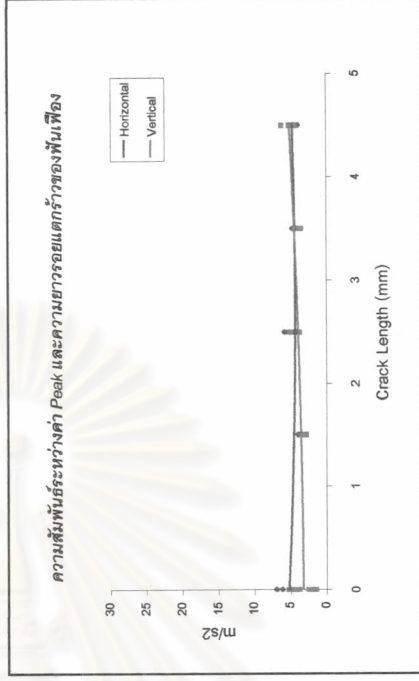


(ข) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

ภาระ 300 วัตต์



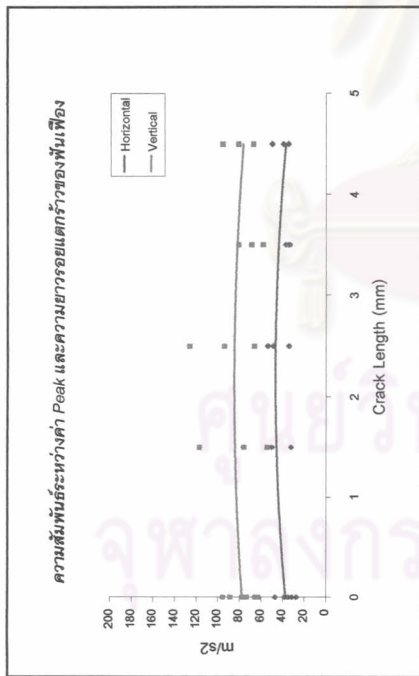
(ค) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



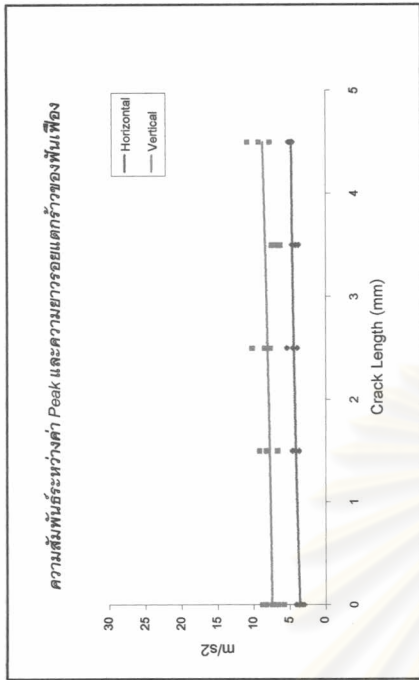
(ง) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

รูปที่ 5-5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Peak และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพ็อง : ความเร็ว 500 รอบต่อวินาที

ภาวะ 150 วัตต์

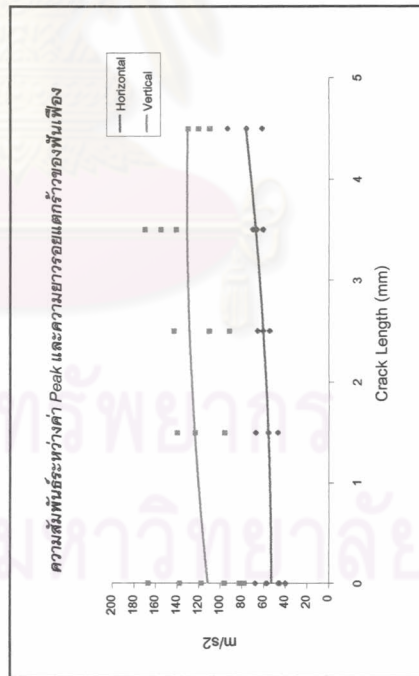


(ก) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

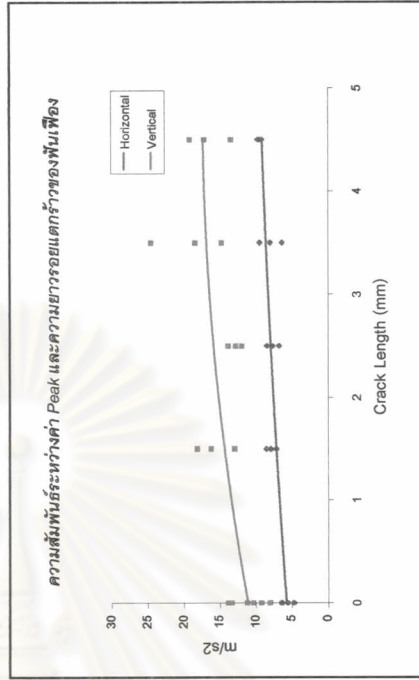


(ข) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

ภาวะ 300 วัตต์



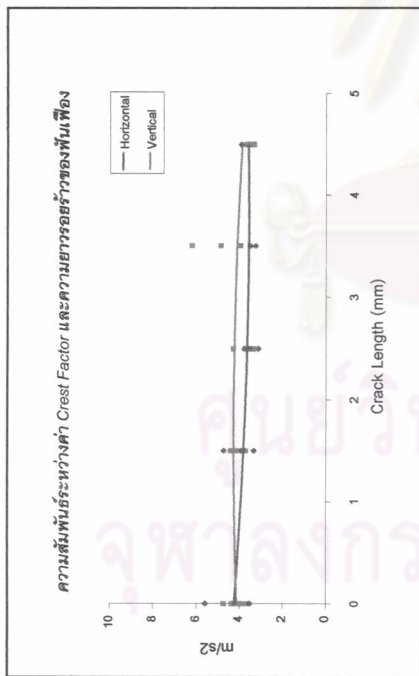
(ค) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



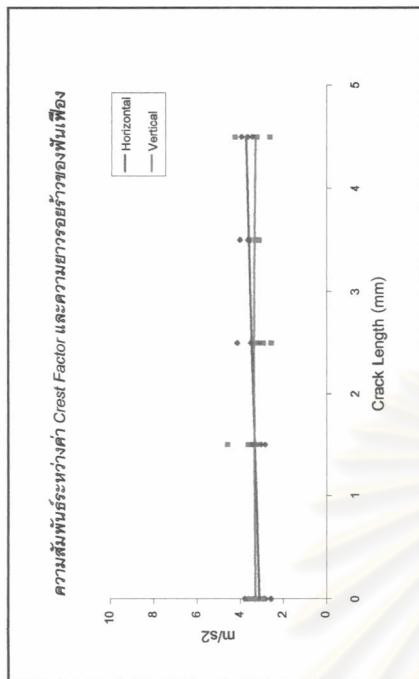
(ง) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

รูปที่ 5-6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Peak และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพียง : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที

ภาระ 150 วัตต์

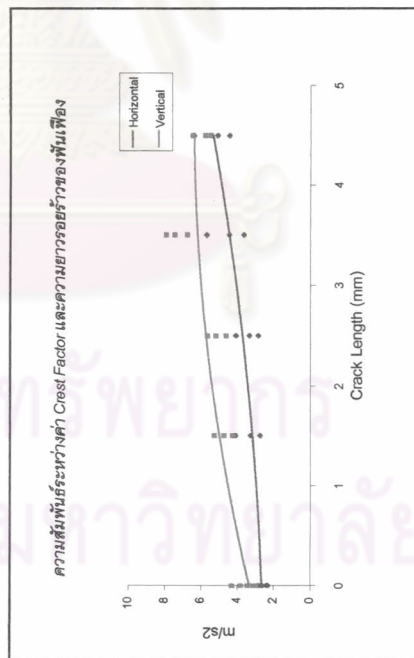


(ก) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

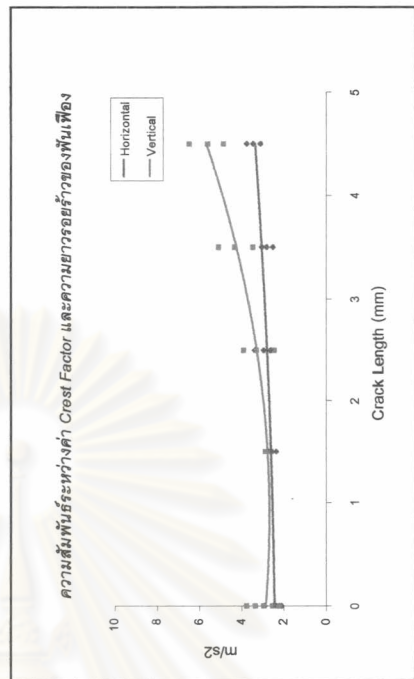


(ข) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

ภาระ 300 วัตต์



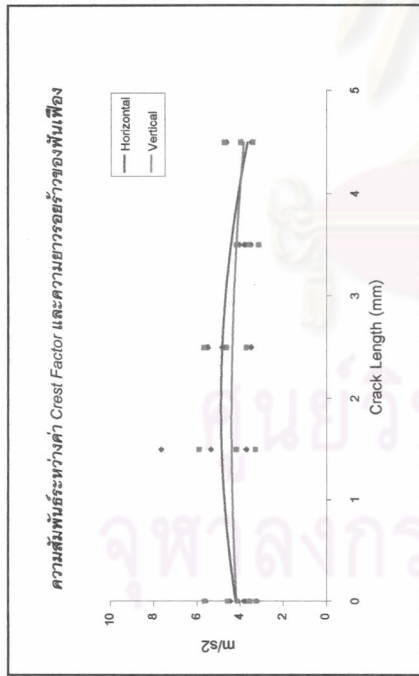
(ค) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



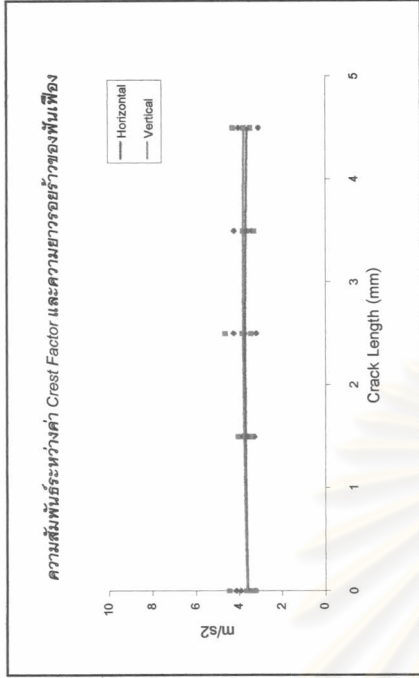
(ง) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

รูปที่ 5-7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Crest Factor และความยาวรอยแตกร้าวของพื้นเพียง : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที

ภาระ 150 วัตต์

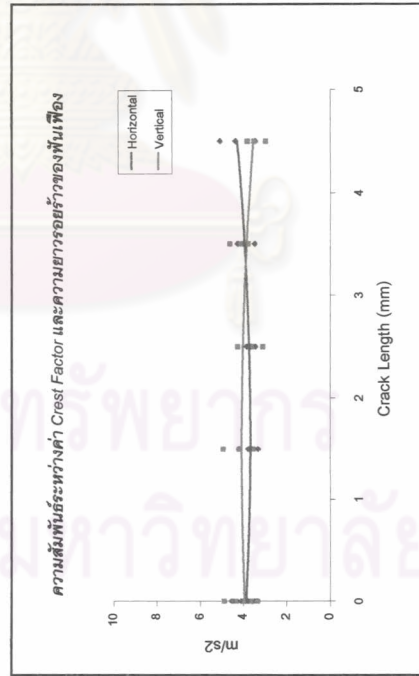


(ก) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

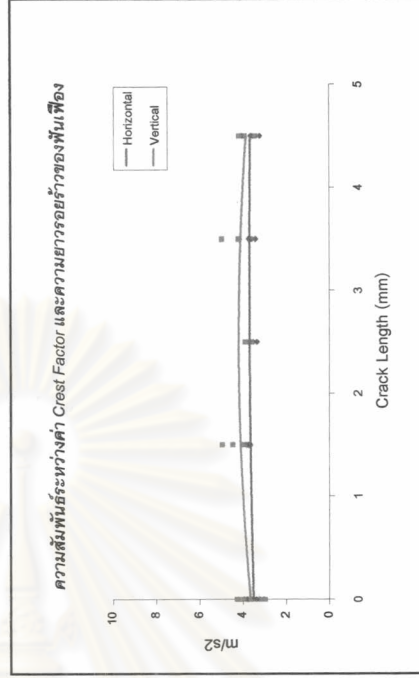


(ข) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

ภาระ 300 วัตต์



(ค) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging



(ง) เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

รูปที่ 5-8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Crest Factor และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพียง : ความเร็ว 800 รอบต่อวินาที

5-1-2 ผลและการวิเคราะห์หีสัญญาณบนโดเมนเวลา

1) ค่า RMS มีการเปลี่ยนแปลงที่เงื่อนไขสภาวะการทดลองต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- 1.1) ผลของการเก็บสัญญาณด้วยวิธีที่ต่างกัน : ค่า RMS ที่ได้จากการเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะซึ่งทำการเฉลี่ยชุดสัญญาณ 100 ชุด มีค่าน้อยกว่าค่า RMS ที่ได้จากการเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่ซึ่งหาค่าจากชุดสัญญาณเพียงชุดเดียวประมาณ 10 เท่า จึงสอดคล้องกับทฤษฎีที่กล่าวว่า การเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะสามารถลดขนาดของสัญญาณรบกวนให้เหลือเพียง $1/\sqrt{N_A}$ เท่า เมื่อ N_A คือจำนวนชุดสัญญาณที่นำมาเฉลี่ย สัญญาณรบกวนในที่นี้น่าจะเป็นการสั่นสะเทือนของชุดอุปกรณ์ทดลองทั้งหมดที่ติดตั้งอยู่บนแท่นชุดทดลองด้วยความถี่ธรรมชาติเมื่อถูกกระตุ้นโดยการชนกันของชุดเฟือง
- 1.2) ผลของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบหมุน : การเพิ่มความเร็วรอบของมอเตอร์ทำให้ค่า RMS ที่ได้จากการเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 2 - 3 เท่า สำหรับการวัดสัญญาณในแนวระดับ และเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 3 - 6 เท่า สำหรับการวัดสัญญาณในแนวตั้ง ในขณะที่ค่า RMS ที่ได้จากการเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักสำหรับการวัดสัญญาณในแนวระดับ แต่จะเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 2 - 4 เท่าสำหรับการวัดสัญญาณในแนวตั้ง การเพิ่มขึ้นของค่า RMS เมื่อเพิ่มความเร็วรอบเป็นผลมาจากการสั่นสะเทือนของสัญญาณรบกวนที่เพิ่มขึ้น เพราะความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นเป็นผลให้โมเมนตัม (Momentum) เพิ่มขึ้นจึงทำให้การกระทบกันเมื่อคู่ฟันเฟืองชนกันรุนแรงมากขึ้น การกระทบกันนี้จะไปกระตุ้นความถี่ธรรมชาติของชุดอุปกรณ์ทดลองที่ติดตั้งอยู่บนแท่นชุดทดลองทั้งหมดให้มีแอมพลิจูดสูงขึ้น การสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากองค์ประกอบความถี่เหล่านี้จะรวมอยู่ด้วยกันกับการสั่นสะเทือนเนื่องจากการชนกันของคู่เฟืองทำให้ระดับการสั่นสะเทือนโดยรวมมีขนาดเพิ่มขึ้น เมื่อทำการเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะสามารถลดขนาดของสัญญาณรบกวนเหล่านี้ลงไปเป็นอันมาก ทำให้สามารถสังเกตเห็นลักษณะของการสั่นที่มีคาบเท่ากับคาบการชนของเฟืองชัดเจน ดังเช่นในรูปที่ 4-14, 4-15 และ 4-18 แต่เมื่อนำการเก็บสัญญาณด้วยวิธีนี้ไปใช้วัดสัญญาณในแนวตั้งที่ความเร็ว 800 รอบต่อนาที

ก็ยังปรากฏสัญญาณรบกวนเหลืออยู่จำนวนมากแม้จะถูกลดขนาดลงไป 10 เท่าแล้วก็ตาม ดังเช่นในรูปที่ 4-19

- 1.3) **ผลของการเปลี่ยนแปลงระดับภาวะ :** การเพิ่มขึ้นของระดับภาวะเป็น 300 วัตต์ ทำให้ค่า RMS ของสภาวะการทดลองส่วนใหญ่เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก แต่ที่ความเร็ว 800 รอบต่อนาที การวัดสัญญาณในแนวตั้งด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่ ได้ค่า RMS เพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 1.5 เท่าของกรณีภาวะ 150 วัตต์ ในขณะที่การเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะ ค่า RMS เพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 1.5 - 2 เท่า สำหรับการวัดทั้ง 2 ทิศทาง
 - 1.4) **ผลของขนาดรอยแตกร้าว :** ค่า RMS มีค่าเกือบคงที่เมื่อความยาวรอยแตกร้าวของพื้นเพื่อเพิ่มขึ้น แต่ก็สามารถสังเกตพบค่า RMS มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในสัญญาณที่เก็บด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะ ดังในรูปที่ 5-1 (ข) และ 5-2 (ง)
 - ที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที ภาวะ 150 วัตต์ สัญญาณที่วัดในแนวตั้งมีค่า RMS ที่ความยาวรอยแตกร้าว 4.5 มม. เป็นประมาณ 2 เท่าของกรณีที่ไม่มีรอยแตกร้าว
 - ที่ความเร็ว 800 รอบต่อนาที ภาวะ 300 วัตต์ ทั้งสัญญาณที่วัดในแนวระดับและแนวตั้งมีค่า RMS ที่ความยาวรอยแตกร้าว 4.5 มม. เป็นประมาณ 1.5 เท่าของกรณีที่ไม่มีรอยแตกร้าว
- 2) ค่า Kurtosis ของสภาวะการทดลองส่วนใหญ่จะมีค่าใกล้เคียง 3 ซึ่งบ่งบอกถึงลักษณะสัญญาณแบบสุ่ม และไม่มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามความยาวรอยแตกร้าว แต่ปรากฏแนวโน้มมีค่าเพิ่มขึ้นที่ชัดเจนเมื่อทำการวัดสัญญาณที่สภาวะความเร็ว 500 รอบต่อนาที ภาวะ 300 วัตต์ ดังในรูปที่ 5-3 (ค) และ (ง)
- 2.1) เมื่อเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่
 - ค่า Kurtosis ของสัญญาณที่วัดในแนวระดับเพิ่มขึ้นจากที่มีค่าประมาณ 2 เมื่อไม่มีรอยแตกร้าว จนมีค่าประมาณ 4.5 เมื่อมีความยาวรอยแตกร้าว 4.5 มม. สอดคล้องกับลักษณะสัญญาณที่ปรากฏในรูปที่ 4-12 ซึ่งในกรณีที่ไม่มีรอยแตกร้าวมีลักษณะสัญญาณคล้ายคลื่นไซน์แต่ก็มีรูปแบบการสั่นที่ไม่แน่นอน และเมื่อมีความยาวรอยแตกร้าว 4.5 มม. ลักษณะสัญญาณเป็นแบบสุ่มและปรากฏพัลส์ที่มีแอมพลิจูดไม่สูงมากนัก

- ในขณะที่ค่า Kurtosis ของสัญญาณที่วัดในแนวตั้งเพิ่มขึ้นจากที่มีค่าประมาณ 2.5 เมื่อไม่มีรอยแตกร้าวจนกระทั่งมีค่าประมาณ 9.6 ที่ความยาวรอยแตกร้าว 4.5 มม. ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะสัญญาณในรูปที่ 4-13 ที่ปรากฏพัลส์ชั่วคราวขณะห่างกันเท่ากับ คาบการหมุนของเฟืองขับ แต่ทว่าค่า Kurtosis ที่ความยาวรอยแตกร้าว 3.5 มม. กลับมีค่าสูงกว่าค่าที่ความยาวรอยแตกร้าว 4.5 มม. มาก แม้ว่าพัลส์ที่ปรากฏมีแอมพลิจูดต่างกันไม่มากนัก

2.2) เมื่อเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉื่อยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะ

- ค่า Kurtosis ของสัญญาณที่วัดในแนวระดับมีค่าประมาณ 2 เมื่อไม่มีรอยแตกร้าว สอดคล้องกับลักษณะสัญญาณในรูปที่ 4-14 ที่ใกล้เคียงคลื่นไซน์เป็นอย่างมาก ค่า Kurtosis เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อรอยแตกร้าวยาวมากขึ้นจนมีค่าเท่ากับ 3 ที่ความยาวรอยแตกร้าว 4.5 มม. สอดคล้องกับภาพสัญญาณที่ยังคงมีลักษณะคล้ายคลื่นไซน์แม้ว่าจะมีลักษณะแบบสุ่มมากขึ้น นอกจากนี้ที่จังหวะการขบกันของฟันที่แตกร้าวกลับพบว่าแอมพลิจูดลดต่ำกว่าจังหวะการขบกันของฟันเฟืองซี่อื่น ๆ
- ในขณะที่การวัดสัญญาณในแนวตั้งพบว่า เมื่อยังไม่มีรอยแตกร้าวและเมื่อรอยแตกร้าวยาวไม่เกิน 2.5 มม. Kurtosis มีค่าเปลี่ยนแปลงในช่วงประมาณ 2 - 2.5 จากนั้นจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ที่ความยาวรอยแตกร้าว 4.5 มม. Kurtosis มีค่าประมาณ 4.5 จากการพิจารณารูปที่ 4-15 พบว่าสัญญาณที่ความยาวรอยแตกร้าว 2.5 มม. ยังคงมีลักษณะเป็นคลื่นไซน์แม้ว่า ณ จังหวะการขบกันของฟันซี่ที่แตกร้าวปรากฏพัลส์ชั่วคราวที่มีแอมพลิจูดสูงขึ้นบ้าง แต่ก็ปรากฏเพียงแค่ 3 รอบการหมุนแรกเท่านั้นเนื่องมาจากไม่สามารถควบคุมให้ความเร็วรอบคงที่ การเฉลี่ยสัญญาณจึงไม่เข้าจังหวะกันอย่างสมบูรณ์ ที่ความยาวรอยแตกร้าว 3.5 มม. มีค่า Kurtosis ประมาณ 3 ซึ่งพบว่าแอมพลิจูดของพัลส์ชั่วคราว ณ จังหวะการขบกันของฟันซี่ที่แตกร้าวแทบไม่แตกต่างจากกรณีความยาวรอยแตกร้าว 2.5 มม. แต่ทว่ามีการสั่นด้วยองค์ประกอบความถี่สูงปะปนอยู่บริเวณรอบ ๆ พัลส์เหล่านี้มากกว่าส่วนที่ความยาวรอยแตกร้าว 4.5 มม. นอกจากปรากฏพัลส์ชั่วคราว ณ จังหวะการขบกันของฟันซี่ที่แตกร้าวแล้ว สัญญาณยังมีลักษณะสุ่มมากขึ้นและมีลักษณะของการมอดูเลตสัญญาณรวมอยู่ด้วย

3) ค่า Peak มีการเปลี่ยนแปลงที่เงื่อนไขสภาวะการทดลองต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- 3.1) ค่า Peak เกือบทุกสภาวะการทดลองมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อความยาวรอยแตกกว้างมากขึ้น แต่ก็ยังพบว่าค่า Peak มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในกรณีต่อไปนี้
- สัญญาณที่วัด ณ ความเร็ว 500 รอบต่อนาที ภาวะ 300 วัดด้วยวิธีการเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเคลื่อนบนโดเมนความถี่ วัดสัญญาณในแนวตั้ง ดังในรูปที่ 5-5 (ค) ค่า Peak ที่ความยาวรอยแตกกว้าง 4.5 มม. มีค่าประมาณ 4.5 เท่าของกรณีไม่มีรอยแตกกว้าง ซึ่งเมื่อพิจารณาลักษณะสัญญาณในรูปที่ 4-13 ควบคู่ไปด้วย พบว่าสัญญาณปรากฏพัลส์ชั่วขณะที่ชัดเจนทุก ๆ รอบการหมุนของเฟืองขับตั้งแต่ความยาวรอยแตกกว้าง 3.5 มม.
 - สัญญาณที่วัด ณ ความเร็ว 800 รอบต่อนาที ภาวะ 300 วัดด้วยวิธีการเคลื่อนบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะ วัดสัญญาณในแนวตั้ง ดังในรูปที่ 5-6 (ง) ค่า Peak ที่ความยาวรอยแตกกว้าง 4.5 มม. มีค่าเป็นประมาณ 1.5 เท่าของกรณีไม่มีรอยแตกกว้าง ซึ่งเมื่อพิจารณาลักษณะสัญญาณในรูปที่ 4-19 ควบคู่ไปด้วย พบว่าสัญญาณมีลักษณะสุ่มและมีพัลส์เกิดขึ้นอย่างมากมายโดยที่ไม่ใช่พัลส์ชั่วขณะเหมือนอย่างในรูปที่ 4-13
- 3.2) เมื่อเปรียบเทียบผลของทิศทางการวัดสัญญาณที่มีต่อค่า Peak พบว่า สัญญาณที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที ดังในรูปที่ 5-5 การเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเคลื่อนบนโดเมนความถี่ ค่า Peak ของสัญญาณที่วัดในแนวตั้งมีค่ามากกว่าในแนวระดับประมาณ 2 เท่า ในขณะที่การเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเคลื่อนบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะ ค่า Peak ของสัญญาณที่วัดจากทั้ง 2 ทิศทางมีค่าใกล้เคียงกัน สัญญาณที่ความเร็ว 800 รอบต่อนาที ดังในรูปที่ 5-6 ค่า Peak ของสัญญาณที่วัดในแนวตั้งมีค่ามากกว่าในแนวระดับประมาณ 2 เท่า สำหรับการเก็บสัญญาณทั้ง 2 วิธี
- 3.3) ค่า Peak ของสัญญาณที่ความเร็ว 800 รอบต่อนาที วัดสัญญาณในแนวตั้ง มีการกระจายของข้อมูลที่กว้างมาก เนื่องจากสัญญาณที่วัดในทิศทางนี้ปรากฏพัลส์จำนวนมากที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของอุปกรณ์ชุดทดลองด้วยความถี่ธรรมชาติเมื่อมีการกระตุ้นจากการขบกันของคู่เฟืองและค่า Peak เป็นการเลือกเอาเฉพาะค่าแอมพลิจูดที่มากที่สุดเท่านั้นมาพิจารณา จึงทำให้มีความคลาดเคลื่อนสูง

- 4) ค่า Crest Factor มีลักษณะแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกับค่า Kurtosis ในทุกสภาวะการทดลอง สำหรับสภาวะการทดลองที่มีแนวโน้มคงที่มีค่าประมาณ 4 และ Crest Factor ของสัญญาณที่วัดในแนวระดับมีค่าใกล้เคียงกับสัญญาณที่วัดในแนวตั้ง ที่สภาวะความเร็ว 500 รอบต่อนาที ภาระ 300 วัตต์ สามารถสังเกตเห็นแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของค่า Crest Factor ตามความยาวรอยแตกกว้างได้อย่างชัดเจน ดังในรูปที่ 5-7 (ค) และ (ง)
- 4.1) จากรูปที่ 5-7 (ค) การเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่ สัญญาณที่วัดทั้งในแนวระดับและแนวตั้งมีค่า Crest Factor ที่ความยาวรอยแตกกว้าง 4.5 มม. เป็นประมาณ 2 เท่าของกรณีไม่มีรอยแตกกว้าง
- 4.2) จากรูปที่ 5-7 (ง) การเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะ สัญญาณที่วัดในแนวตั้ง มีค่า Crest Factor ที่ความยาวรอยแตกกว้าง 4.5 มม. เป็นประมาณ 2 เท่าของกรณีไม่มีรอยแตกกว้าง ในขณะที่สัญญาณที่วัดในแนวระดับค่า Crest Factor มีแนวโน้มคงที่

ในการวิเคราะห์ด้วยสัญญาณบนโดเมนเวลาสำหรับกรณีการแตกกว้างของฟันเฟือง การเลือกพิจารณาแนวโน้มของค่า Kurtosis หรือ Crest Factor มีความเหมาะสมกว่าค่า RMS และ Peak เนื่องจากการเกิดรอยแตกกว้างขึ้นบนฟันเฟืองจะทำให้ความแข็งแรงของฟันที่นี้ลดลง ความสามารถในการส่งผ่านแรงจึงลดลง เมื่อฟันที่นี้ขบกันจะทำให้เกิดพัลส์ชั่วขณะขึ้นในสัญญาณที่วัดในทิศทางเดียวกันกับการขบกันของคู่ฟันเฟือง ซึ่งในการวิจัยนี้คือทิศแนวตั้ง ค่าพารามิเตอร์ทั้งสองจึงมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นชัดเจนตามขนาดของรอยแตกกว้าง แต่เนื่องจากการเก็บสัญญาณด้วยการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่พารามิเตอร์เหล่านี้คำนวณจากชุดสัญญาณเพียงชุดเดียวจึงมีขนาดสัญญาณรบกวนอื่นเนื่องจากสาเหตุการสั่นสะเทือนอื่นปะปนอยู่มาก รวมทั้งการกระแทกของฟันที่แตกกว้างขณะขบกันกระตุ้นความถี่ธรรมชาติของชุดอุปกรณ์ทดลองทั้งหมด เสริมให้พัลส์เหล่านี้มีขนาดโตขึ้นมากซึ่งอาจจะไม่สัมพันธ์กับความแข็งแรงที่ลดลงของฟันเฟือง ดังนั้นการเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะจึงเป็นทางเลือกที่ดีกว่าในกรณีที่เครื่องวิเคราะห์สามารถทำได้ เพราะสามารถช่วยลดสัญญาณรบกวนเหล่านี้ลงเป็นอันมาก ทั้งยังช่วยให้สามารถสังเกตคาบการขบของฟันเฟืองด้วยตาเปล่าได้ง่าย และสามารถระบุตำแหน่งของฟันที่แตกกว้างได้

ค่าของ Kurtosis และ Crest Factor ปรากฏมีแนวโน้มสูงขึ้นตามขนาดความยาวรอยแตกร้าวอย่างชัดเจนเฉพาะในสภาวะการทดลอง ความเร็ว 500 รอบต่อนาที ภาระ 300 วัตต์ ซึ่งเป็นสภาวะที่ฟันเฟืองต้องส่งผ่านแรงมากที่สุดในการวิจัยนี้ซึ่งเท่ากับ 110 นิวตัน เมื่อเปรียบเทียบกับแรงที่ฟันเฟืองสามารถส่งผ่านได้โดยไม่เกินขีดจำกัดความล้าซึ่งมีค่าประมาณ 2,500 นิวตัน ดังนั้นถ้าชุดเฟืองทดสอบรับภาระที่ใกล้เคียงกับขนาดที่ได้ออกแบบไว้ น่าจะสามารถเห็นแนวโน้มที่ชัดเจนทุก ๆ ความเร็วรอบหมุน และแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าพารามิเตอร์ทั้งสองตามขนาดรอยแตกร้าว น่าจะมากกว่านี้ การนำไปประยุกต์ใช้งานกับการตรวจสอบเชิงสภาพชุดเฟืองในเครื่องจักรกลหมุนซึ่งควรมีจุดสังเกตที่สัมพันธ์กับขนาดของรอยแตกร้าว ค่า Kurtosis ของสัญญาณที่เก็บด้วยการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะจึงมีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากเป็นค่าทางสถิติที่สามารถอธิบายถึงลักษณะสัญญาณ สัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟืองที่เก็บด้วยวิธีนี้ที่มีค่า Kurtosis ตั้งแต่ 3 ขึ้นไปจึงควรได้รับการตรวจสอบอย่างใกล้ชิดเนื่องจากปรากฏพัลส์ชั่วขณะที่มีแอมพลิจูดสูงเมื่อฟันซี่ที่แตกร้าวขบกัน และเพื่อป้องกันตำแหน่งของฟันซี่ที่แตกร้าวนี้จึงควรพิจารณารูปสัญญาณควบคู่กันไป

การวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนเวลาสามารถนำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาการแตกร้าวของฟันเฟืองได้ แต่เป็นการยากที่จะตรวจสอบพบรอยแตกร้าวในช่วงเริ่มต้นเนื่องจากการเกิดรอยแตกร้าวเพียงเล็กน้อยอาจจะยังไม่ปรากฏพัลส์ชั่วขณะที่ชัดเจน แต่เนื่องจากการโก่งตัวของฟันซี่ที่แตกร้าวที่มากกว่าฟันซี่อื่น ๆ เมื่อต้องส่งผ่านแรงทำให้ระยะเวลาของคาบการขบเปลี่ยนไปมีลักษณะคล้ายการมอดูเลตทางความถี่ จึงน่าจะเห็นความเปลี่ยนแปลงในสัญญาณสเปกตรัมและเซปส์ตรัม ดังนั้นจึงควรพิจารณาสัญญาณชนิดอื่นควบคู่ไปด้วยกัน นอกจากนี้การวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนเวลาจะทำได้อย่างมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อเครื่องวิเคราะห์สัญญาณสามารถทำการเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะได้ ซึ่งเครื่องวิเคราะห์แบบพกพาที่ใช้กันมากในภาคอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ยังไม่สามารถเก็บสัญญาณด้วยวิธีนี้ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5 – 2 สัญญาณสเปกตรัม

พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์คือ

- 1) แอมพลิจูดของ 1xGMF 2xGMF และ 3xGMF คือ แอมพลิจูดของยอดสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่การขบกันของชุดเฟือง ฮาร์โมนิกที่ 2 และ 3 ตามลำดับ
- 2) แอมพลิจูดของ 1 SBPL 2 SBPL และ 3 SBPL คือ แอมพลิจูดของยอดสัญญาณสเปกตรัมที่เป็นชุดแถบความถี่ข้าง ด้านความถี่ต่ำกว่า 1xGMF โดยห่างจาก 1xGMF เท่ากับความถี่ของเฟืองขับ ฮาร์โมนิกที่ 2 และ 3 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีฮาร์โมนิกที่อันดับสูง ๆ ซึ่งมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าแอมพลิจูดเป็นอย่างมาก ได้แก่ 4 SBPL 5 SBPL 6 SBPL 7 SBPL 10 SBPL 11 SBPL และ 14 SBPL
- 3) แอมพลิจูดของ 1 SBPR 2 SBPR และ 3 SBPR คือ แอมพลิจูดของยอดสัญญาณสเปกตรัมที่เป็นชุดแถบความถี่ข้าง ด้านความถี่สูงกว่า 1xGMF โดยห่างจาก 1xGMF เท่ากับความถี่ของเฟืองขับ ฮาร์โมนิกที่ 2 และ 3 ตามลำดับ
- 4) แอมพลิจูดของ 1 SBWL 2 SBWL และ 3 SBWL คือ แอมพลิจูดของยอดสัญญาณสเปกตรัมที่เป็นชุดแถบความถี่ข้าง ด้านความถี่ต่ำกว่า 1xGMF โดยห่างจาก 1xGMF เท่ากับความถี่ของเฟืองตาม ฮาร์โมนิกที่ 2 และ 3 ตามลำดับ
- 5) แอมพลิจูดของ 1 SBWR 2 SBWR และ 3 SBWR คือ แอมพลิจูดของยอดสัญญาณสเปกตรัมที่เป็นชุดแถบความถี่ข้าง ด้านความถี่สูงกว่า 1xGMF โดยห่างจาก 1xGMF เท่ากับความถี่ของเฟืองตาม ฮาร์โมนิกที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 5-1 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 5-1 ส่วนชุดแถบความถี่ข้างต้นที่มีความถี่ต่ำกว่า $1 \times \text{GMF}$ ฮาร์โมนิกสูง ๆ ที่พิจารณาเพิ่มเติมมีความถี่ดังต่อไปนี้

- การวิเคราะห์สัญญาณที่สภาวะ ความเร็ว 500 รอบต่อนาที : 5 SBPL ที่ 175.00 Hz , 6 SBPL ที่ 166.67 Hz , 7 SBPL ที่ 158.33 Hz , 11 SBPL ที่ 125 Hz
- การวิเคราะห์สัญญาณที่สภาวะ ความเร็ว 800 รอบต่อนาที : 4 SBPL ที่ 293.33 Hz , 5 SBPL ที่ 280.00 Hz , 10 SBPL ที่ 213.33 Hz , 14 SBPL ที่ 160.00 Hz

ชุดแถบความถี่ข้างเหล่านี้เลือกมาโดยอาศัยสังเกตจากการตรวจพินิจ แล้วพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงที่ค่อนข้างมาก

เนื่องจากความละเอียดของสัญญาณสเปกตรัมมีค่า 1 Hz และ 2 Hz สำหรับการวัดที่สภาวะ ความเร็ว 500 และ 800 รอบต่อนาที ตามลำดับ ในขณะที่ความถี่ของพารามิเตอร์ส่วนใหญ่ไม่ตรงกับเส้นสเปกตรัม อีกทั้งความเร็วของมอเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงประมาณ ± 1 รอบต่อนาที แอมพลิจูดของแต่ละพารามิเตอร์จึงเลือกมาจากค่าสูงสุดของ 2-3 เส้นสเปกตรัมที่อยู่รอบ ๆ ความถี่ของแต่ละพารามิเตอร์ที่กล่าวถึงข้างต้น

ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์แต่ละตัวและความยาวรอยแตกร้าวของพื้นเพ็องใช้ค่าเฉลี่ยของแต่ละพารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดสัญญาณ 5 ครั้ง ที่แต่ละความยาวรอยแตกร้าว แล้วหาความสัมพันธ์ด้วยวิธีการถดถอยเชิงพหุนามกำลังสอง แต่ละความยาวรอยแตกร้าวแสดงค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ ค่ามากที่สุด และค่าน้อยที่สุด เส้นกราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่มีต่อความยาวรอยแตกร้าวของพื้นเพ็อง สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างค่า GMF และความยาวรอยแตกร้าวของพื้นเพ็องไม่แสดงค่าที่ได้จากการเก็บสัญญาณด้วยกระบวนการขยายความละเอียดของโดเมนความถี่ เพราะถือว่าวิธีการนี้มีหลักการเก็บสัญญาณเหมือนกับการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่โดยเก็บสัญญาณเฉพาะความถี่รอบ ๆ $1 \times \text{GMF}$ เท่านั้น และเป้าหมายของวิธีการนี้ก็เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ชุดแถบความถี่ข้างเป็นหลัก

สำหรับปัญหาการแตกร้าวของพื้นเพ็องเพียงข้อเดียวที่ใช้วิจัยครั้งนี้ไม่น่าจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าแอมพลิจูดของ GMF เพราะพื้นเพ็องข้ออื่น ๆ ยังมีสภาพที่ดีอยู่ และขนาดของการสั่นสะเทือน (RMS) ในช่วงเวลาที่เก็บสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากเมื่อรอยแตกร้าวมีขนาดโตขึ้น การวิเคราะห์ที่เหมาะสมสำหรับกรณีปัญหาการแตกร้าวนี้ น่าจะเป็นการสังเกต

การเพิ่มจำนวนของชุดแถบความถี่ข้างรอบ $1 \times \text{GMF}$ รวมทั้งแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าแอมพลิจูดของชุดแถบความถี่ข้างเหล่านี้ นอกจากนี้ควรทำการหาความถี่ธรรมชาติของชุดทดลองด้วย เพราะการกระแทกของฟันซี่ที่แตกร้าวขณะขับกันน่าจะส่งผลให้ความถี่ธรรมชาติบางโหมดถูกกระตุ้นให้มีแอมพลิจูดสูงขึ้น

5-2-1 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณสเปกตรัมและความยาวรอยแตกร้าวของฟันเฟือง

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ GMF และความยาวรอยแตกร้าวของฟันเฟือง แสดงด้วยค่าแอมพลิจูดสูงสุด 5 m/s^2 ยกเว้นในกรณี ความเร็ว 800 รอบต่อนาที ภาระ 300 วัตต์ เก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่ เลือกใช้ 10 m/s^2 แทน

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของชุดแถบความถี่ข้างและความยาวรอยแตกร้าวของฟันเฟือง สำหรับการเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่และกระบวนการขยายความละเอียดของโดเมนความถี่ แสดงด้วยค่าแอมพลิจูดสูงสุด 2 m/s^2 ในขณะที่สัญญาณที่เก็บด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะ เลือกใช้ 1 m/s^2 แทน

ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณสเปกตรัมและความยาวรอยแตกร้าวของฟันเฟืองในแต่ละรูปประกอบด้วย 4 รูปย่อย ซึ่งเรียงตามลำดับดังต่อไปนี้

- 1) ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของ GMF และความยาวรอยแตกร้าวของฟันเฟือง
 - รูปที่ 5-9 : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging
 - รูปที่ 5-10 : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging
 - รูปที่ 5-11 : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging
 - รูปที่ 5-12 : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging
- 2) ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของ SBP 3 ฮาร์มอนิกแรกรอบ $1 \times \text{GMF}$ และความยาวรอยแตกร้าวของฟันเฟือง
 - รูปที่ 5-13 : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging วัดสัญญาณในแนวระดับ

- รูปที่ 5-14 : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging
วัดสัญญาณในแนวตั้ง
- รูปที่ 5-15 : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing
วัดสัญญาณในแนวระดับ
- รูปที่ 5-16 : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing
วัดสัญญาณในแนวตั้ง
- รูปที่ 5-17 : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time
Averaging วัดสัญญาณในแนวระดับ
- รูปที่ 5-18 : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time
Averaging วัดสัญญาณในแนวตั้ง
- รูปที่ 5-19 : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging
วัดสัญญาณในแนวระดับ
- รูปที่ 5-20 : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging
วัดสัญญาณในแนวตั้ง
- รูปที่ 5-21 : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing
วัดสัญญาณในแนวระดับ
- รูปที่ 5-22 : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing
วัดสัญญาณในแนวตั้ง
- รูปที่ 5-23 : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time
Averaging วัดสัญญาณในแนวระดับ
- รูปที่ 5-24 : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time
Averaging วัดสัญญาณในแนวตั้ง
- 3) ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของ SBP ฮาร์มอนิกที่ไกลออกไป ทางด้านความถี่
ต่ำกว่า $1 \times \text{GMF}$ และความยาวรอยแตกยาวของพื้นเฟือง
- รูปที่ 5-25 : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging
- รูปที่ 5-26 : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing
- รูปที่ 5-27 : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time
Averaging
- รูปที่ 5-28 : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging
- รูปที่ 5-29 : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

รูปที่ 5-30 : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

- 4) ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของ SBW 3 ฮาร์มอนิกแรกรอบ 1xGMF และ ความยาวรอยแตกร้าวของพื้นเฟือง

รูปที่ 5-31 : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging วัดสัญญาณในแนวระดับ

รูปที่ 5-32 : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging วัดสัญญาณในแนวตั้ง

รูปที่ 5-33 : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing วัดสัญญาณในแนวระดับ

รูปที่ 5-34 : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing วัดสัญญาณในแนวตั้ง

รูปที่ 5-35 : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging วัดสัญญาณในแนวระดับ

รูปที่ 5-36 : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging วัดสัญญาณในแนวตั้ง

รูปที่ 5-37 : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging วัดสัญญาณในแนวระดับ

รูปที่ 5-38 : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging วัดสัญญาณในแนวตั้ง

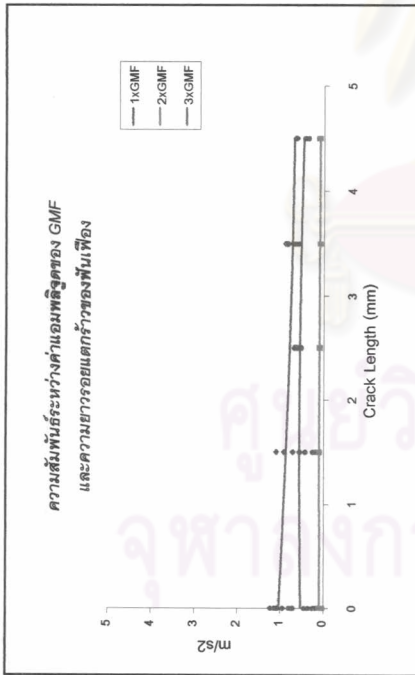
รูปที่ 5-39 : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing วัดสัญญาณในแนวระดับ

รูปที่ 5-40 : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing วัดสัญญาณในแนวตั้ง

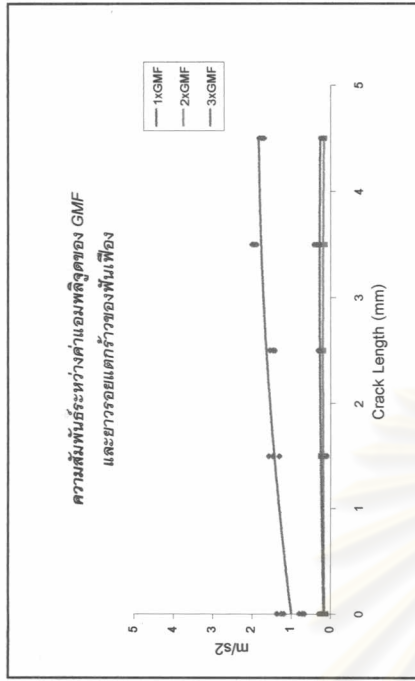
รูปที่ 5-41 : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging วัดสัญญาณในแนวระดับ

รูปที่ 5-42 : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging วัดสัญญาณในแนวตั้ง

ภาระ 150 วัตต์

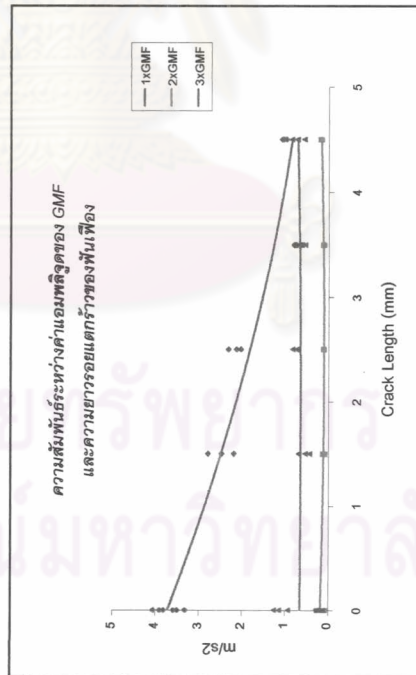


(ก) วัสดุยูนิแกนแรงระดับ

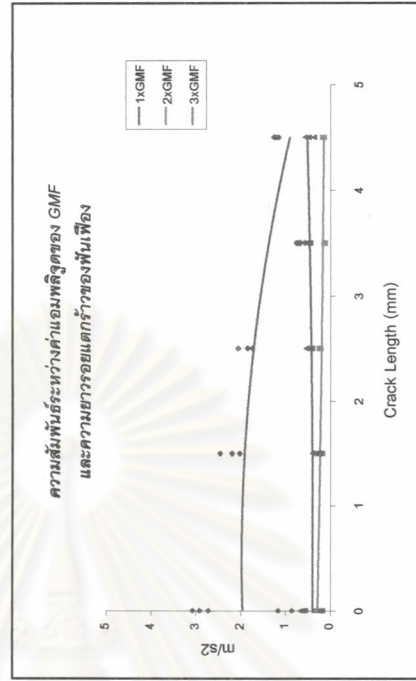


(ข) วัสดุยูนิแกนแนวตั้ง

ภาระ 300 วัตต์



(ค) วัสดุยูนิแกนแรงระดับ

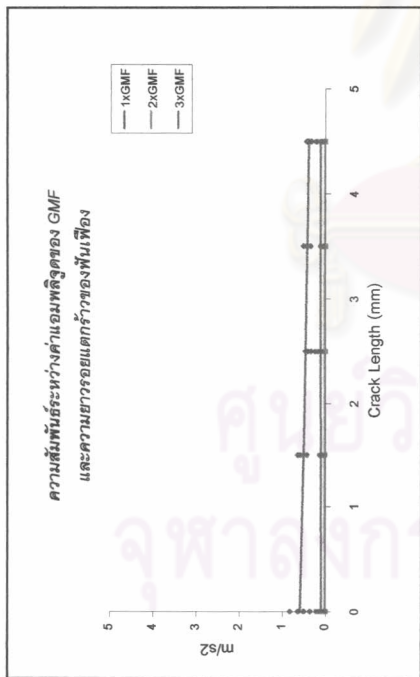


(ง) วัสดุยูนิแกนแนวตั้ง

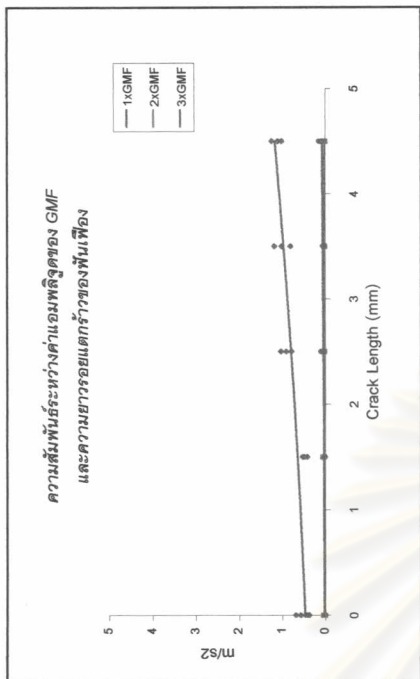
รูปที่ 5-9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ GMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพ็ช

: ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

ภาระ 150 วัตต์

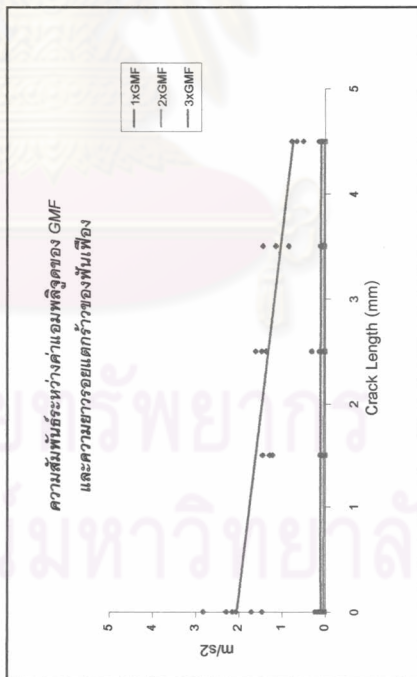


(ก) วัดสัญญาณแนวระดับ

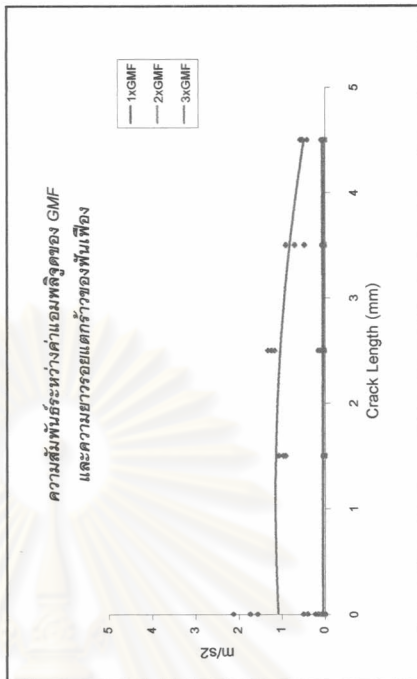


(ข) วัดสัญญาณแนวตั้ง

ภาระ 300 วัตต์



(ค) วัดสัญญาณแนวระดับ

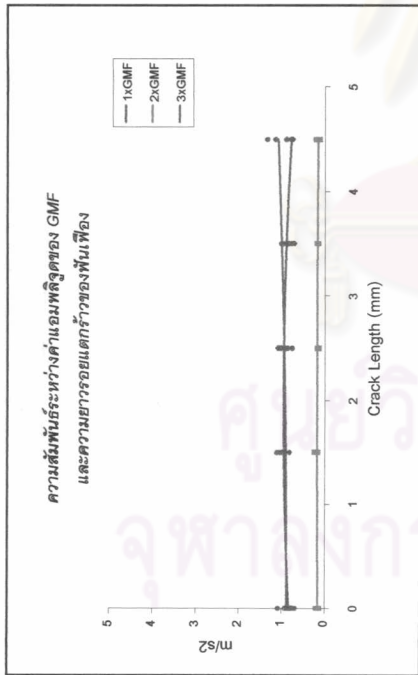


(ง) วัดสัญญาณแนวตั้ง

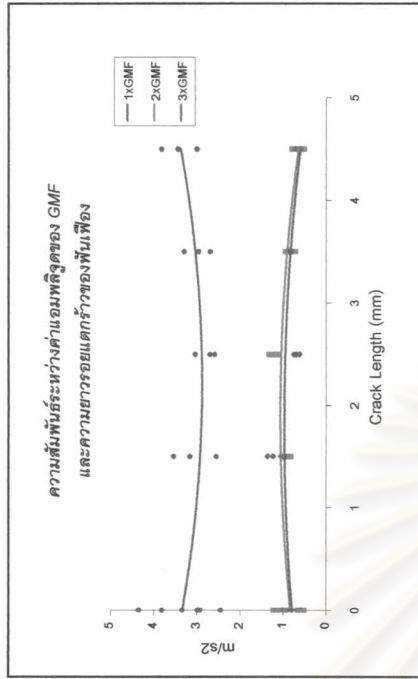
รูปที่ 5-10 ความสั่นพ้องระหว่างค่าแอมพลิจูดของ GMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพียง

: ความเร็ว 500 รอบต่อวินาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

ภาระ 150 วัตต์

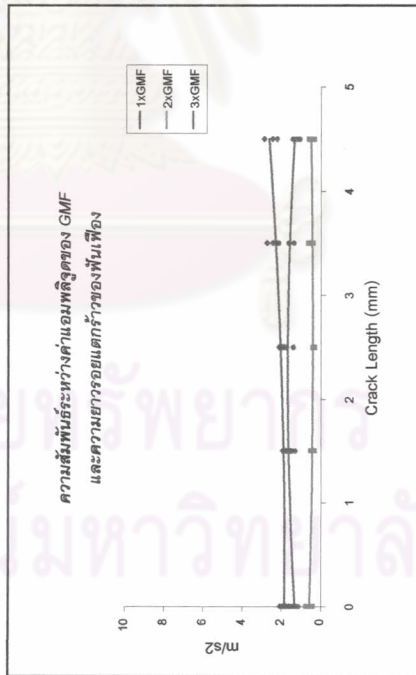


(ก) วัดสัญญาณแนวระดับ

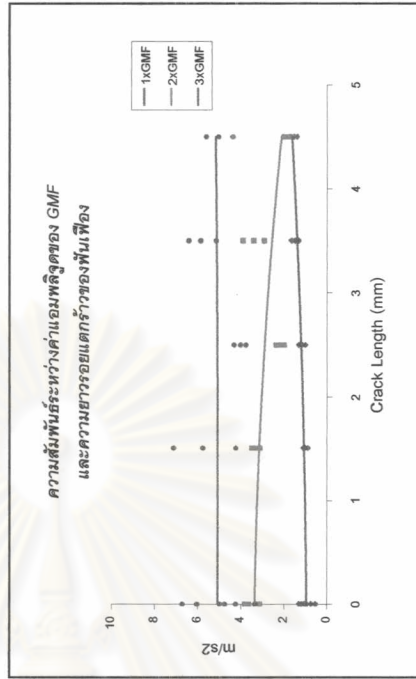


(ข) วัดสัญญาณแนวตั้ง

ภาระ 300 วัตต์



(ค) วัดสัญญาณแนวระดับ

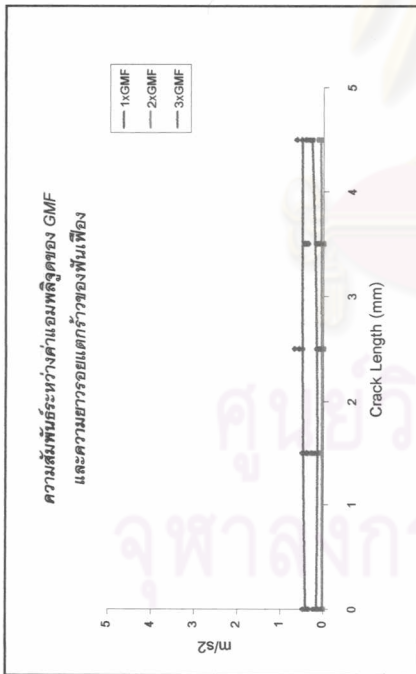


(ง) วัดสัญญาณแนวตั้ง

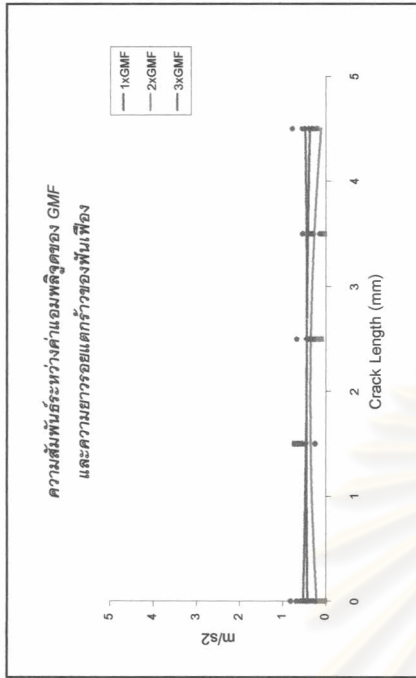
รูปที่ 5-11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ GMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพ็อง

: ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

ภาระ 150 วัตต์

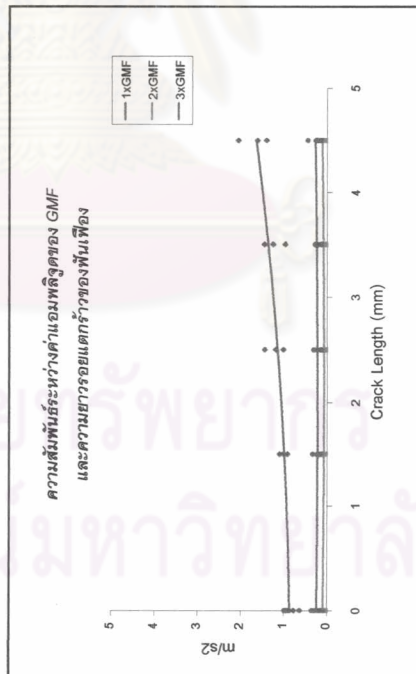


(ก) วัดสัญญาณแนวระดับ

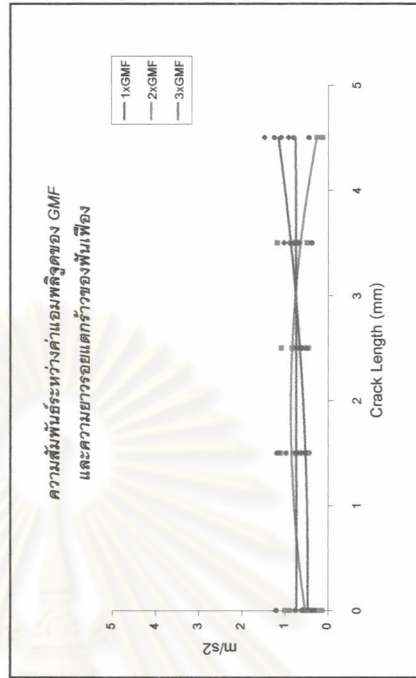


(ข) วัดสัญญาณแนวตั้ง

ภาระ 300 วัตต์



(ค) วัดสัญญาณแนวระดับ

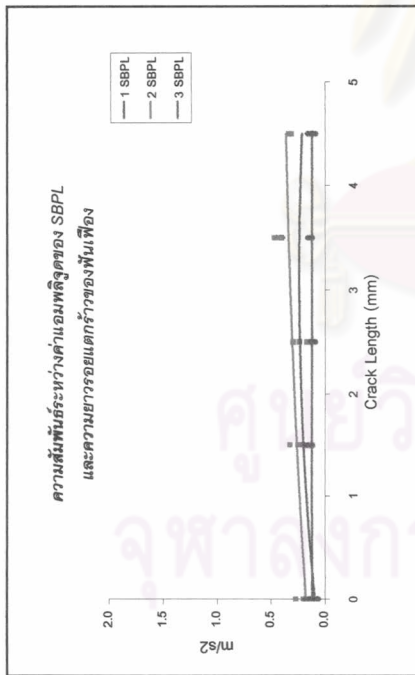


(ง) วัดสัญญาณแนวตั้ง

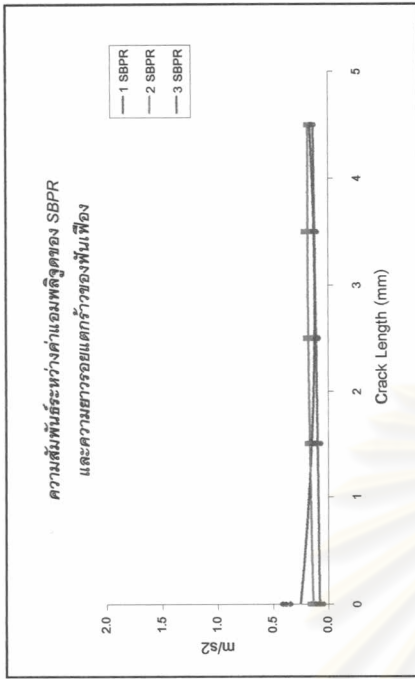
รูปที่ 5-12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ GMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพื่อ

: ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

ภาระ 150 วัตต์

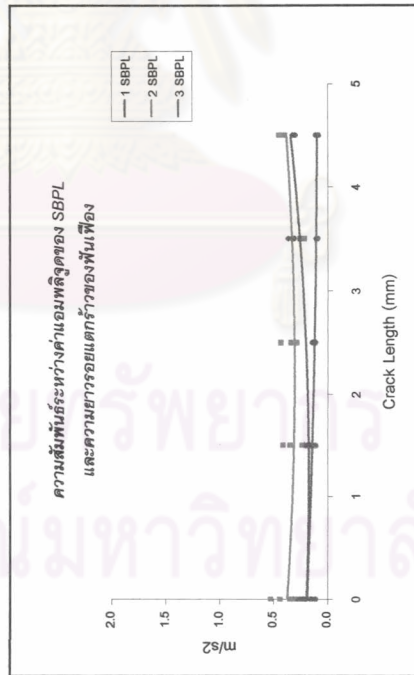


(ก) SBP ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

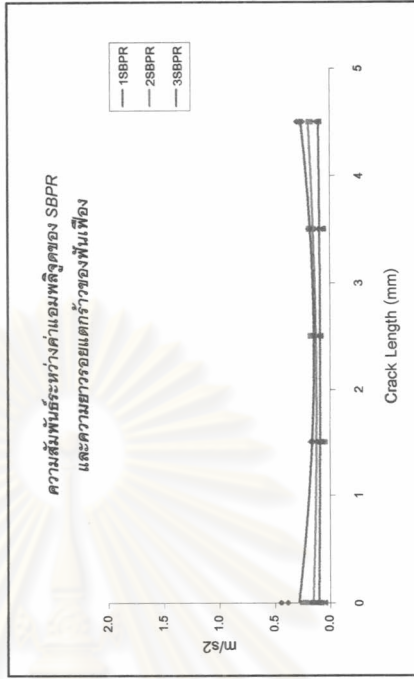


(ข) SBP ด้านความถี่สูงกว่า GMF

ภาระ 300 วัตต์



(ค) SBP ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

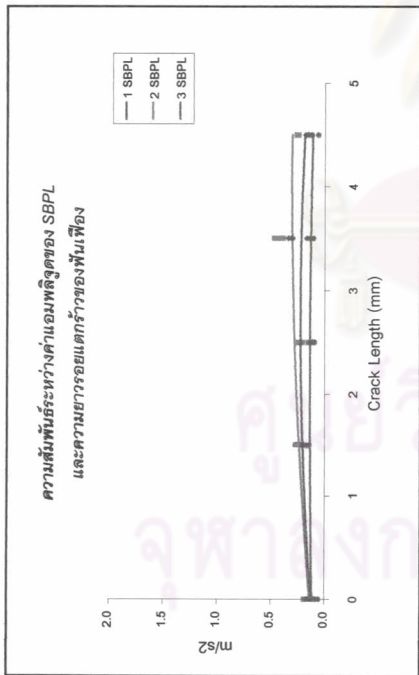


(ง) SBP ด้านความถี่สูงกว่า GMF

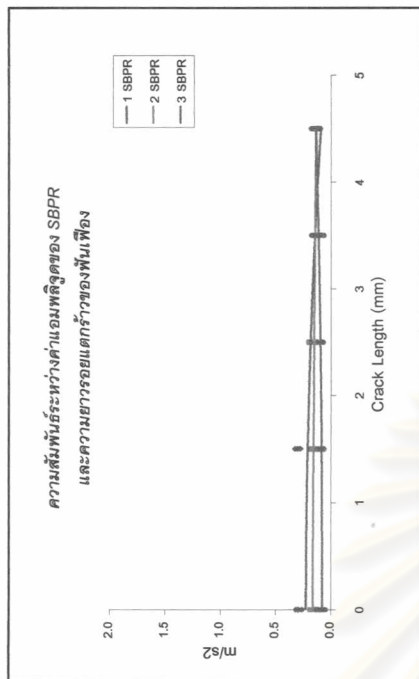
รูปที่ 5-13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ SBP 3 ภาระอินทิเกรตรอบ 1xGMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพื่อ

: ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging วัตถุประสงค์เน้นระดับ

ภาระ 150 วัตต์

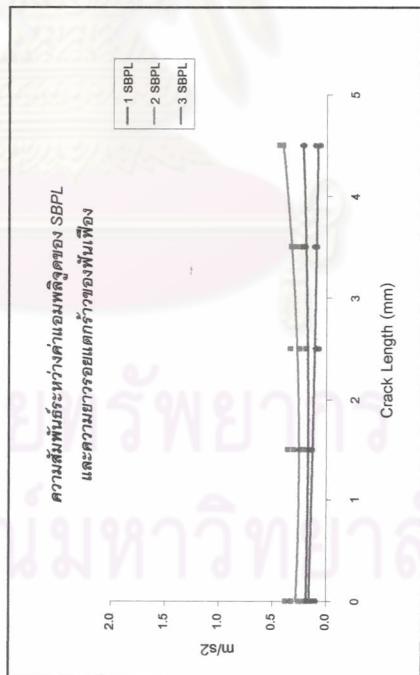


(ก) SBP ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

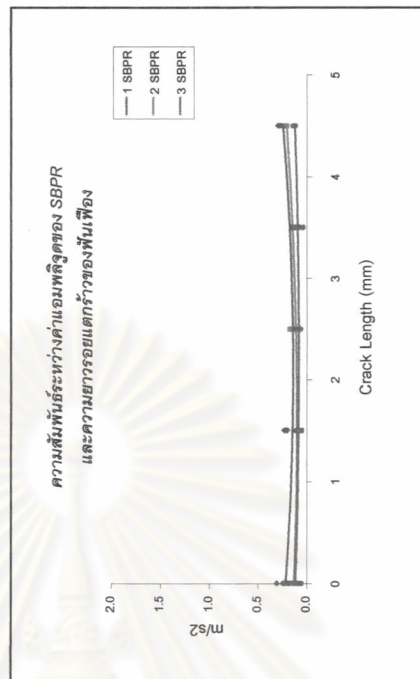


(ข) SBP ด้านความถี่สูงกว่า GMF

ภาระ 300 วัตต์



(ค) SBP ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

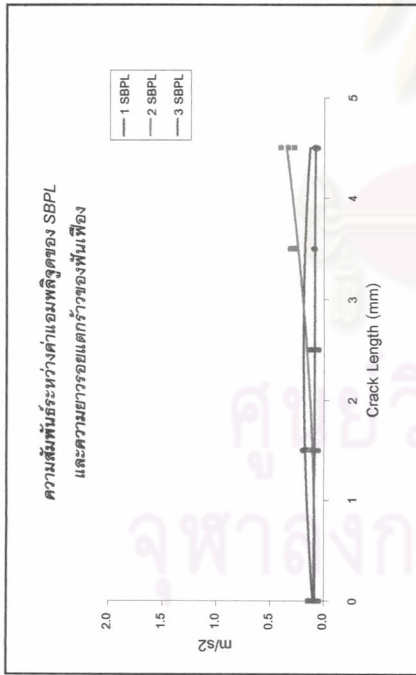


(ง) SBP ด้านความถี่สูงกว่า GMF

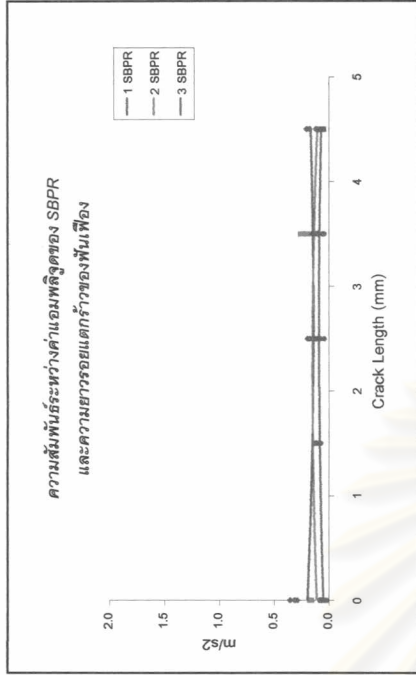
รูปที่ 5-14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ SBP 3 ฮาร์มอนิกแรกรอบ 1xGMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพื่ง

: ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging วัตถุประสงค์

ภาระ 150 วัตต์

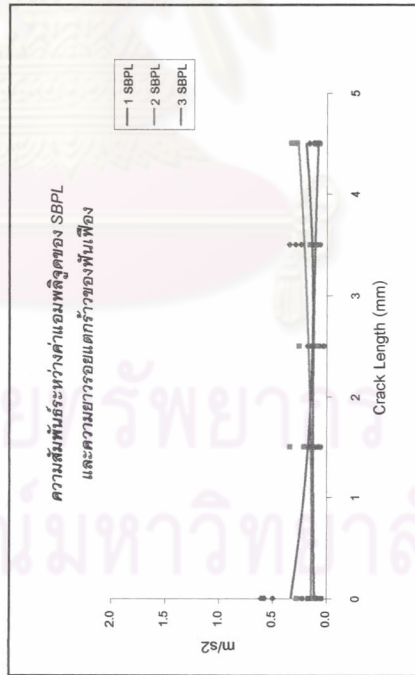


(ก) SBP ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

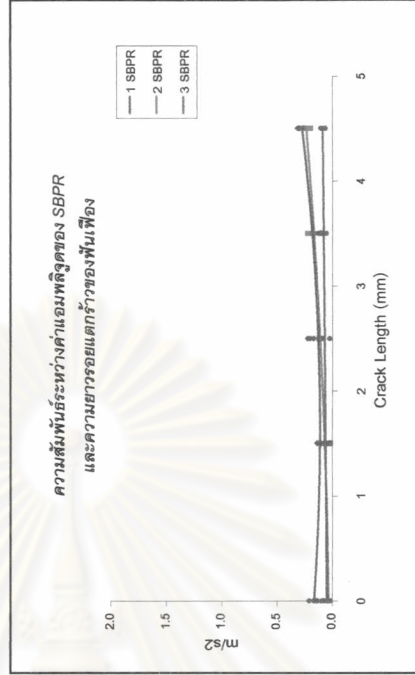


(ข) SBP ด้านความถี่สูงกว่า GMF

ภาระ 300 วัตต์



(ค) SBP ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

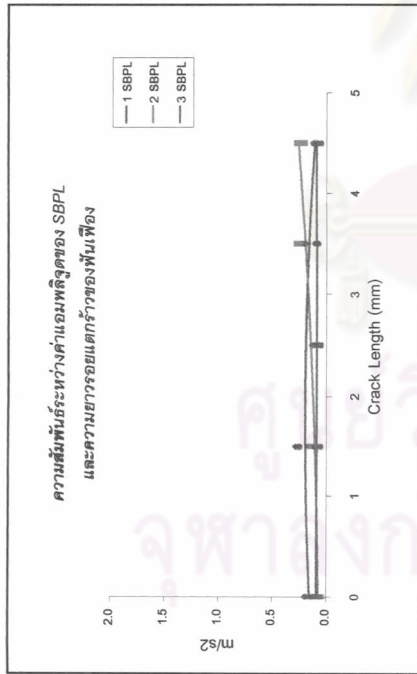


(ง) SBP ด้านความถี่สูงกว่า GMF

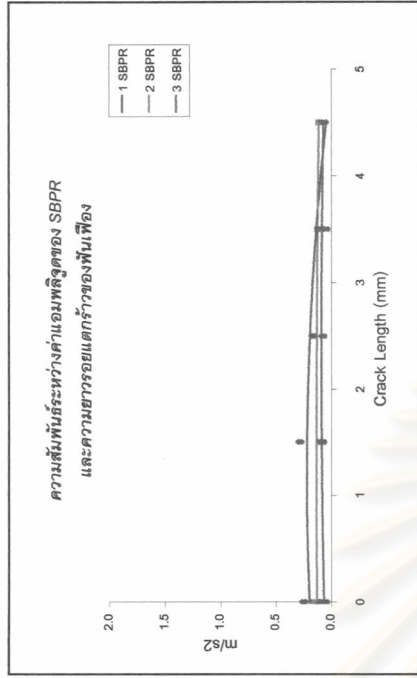
รูปที่ 5-15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ SBP 3 ยาร์มินิกแกลก รอบ 1xGMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพื่อ

: ความเร็ว 500 รอบต่อวินาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing รอบ 1xGMF วัดสัญญาณแนวระดับ

ภาระ 150 วัตต์

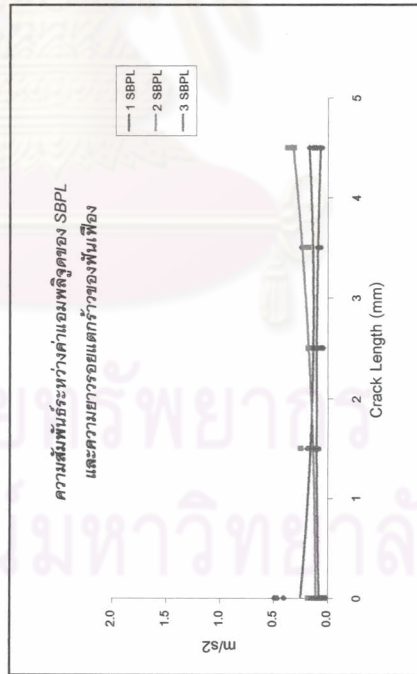


(ก) SBP ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

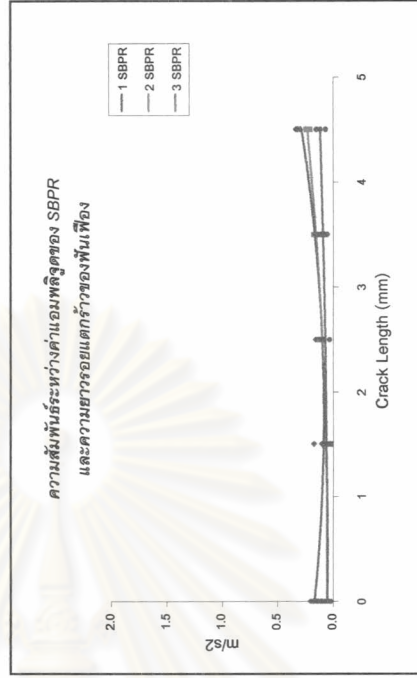


(ข) SBP ด้านความถี่สูงกว่า GMF

ภาระ 300 วัตต์



(ค) SBP ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

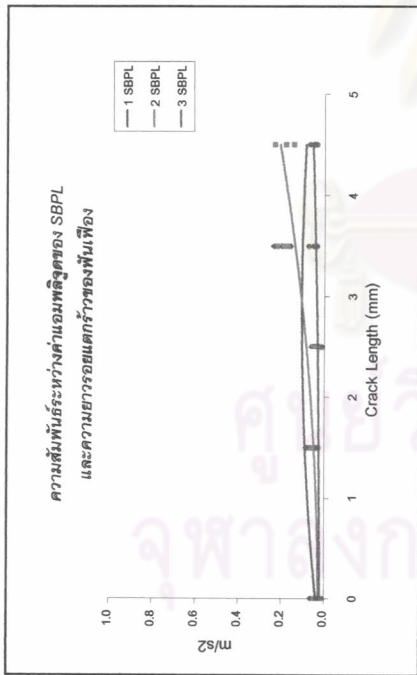


(ง) SBP ด้านความถี่สูงกว่า GMF

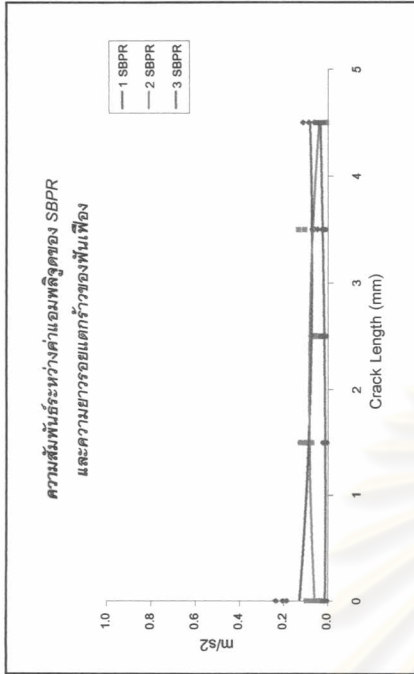
รูปที่ 5-16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ SBP 3 ยาร์โมนิกแรกรอบ 1xGMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพ็อง

: ความเร็ว 500 รอบต่อวินาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing รอบ 1xGMF วัตถุประสงค์

ภาระ 150 วัตต์

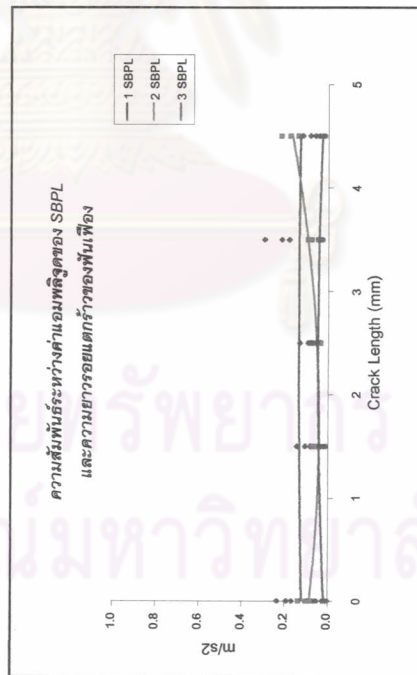


(ก) SBP ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

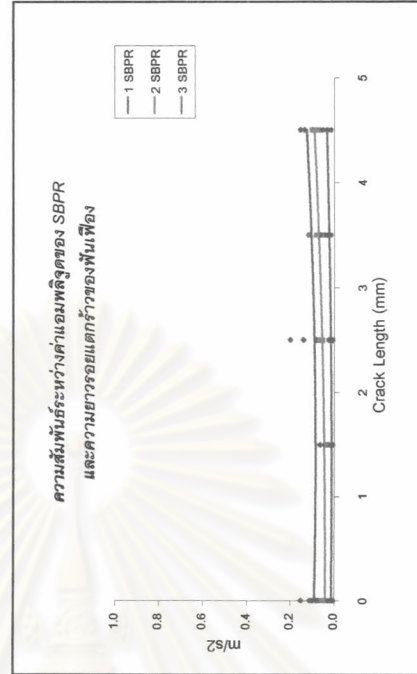


(ข) SBP ด้านความถี่สูงกว่า GMF

ภาระ 300 วัตต์



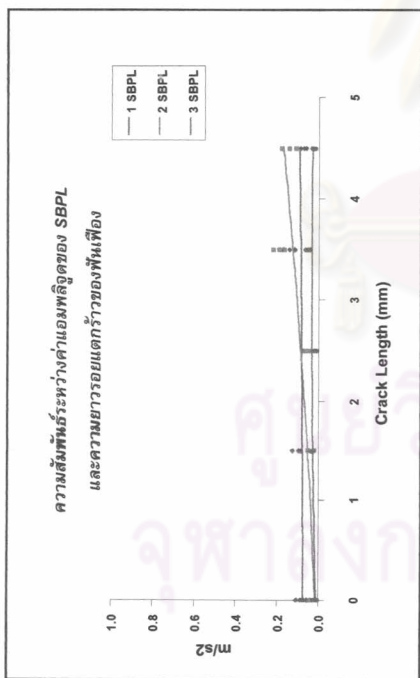
(ค) SBP ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF



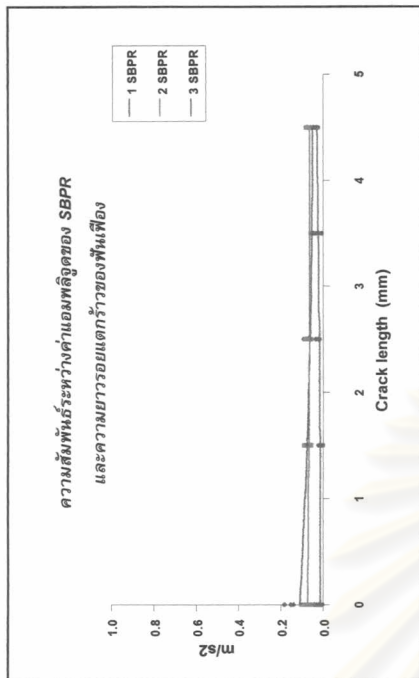
(ง) SBP ด้านความถี่สูงกว่า GMF

รูปที่ 5-17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ SBP 3 ยกเว้นนิกรแอมรอบ 1xGMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพียง
 : ความเร็ว 500 รอบต่อวินาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging วัดสัญญาณแนวระดับ

ภาระ 150 วัตต์

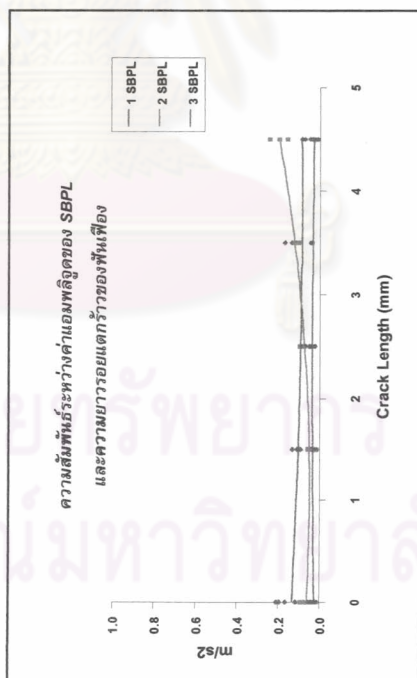


(ก) SBP ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

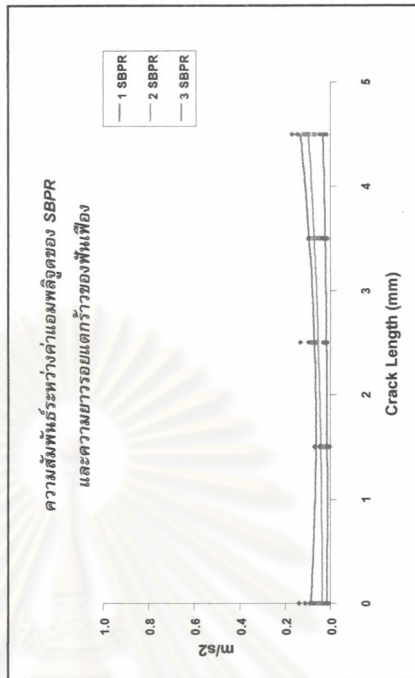


(ข) SBP ด้านความถี่สูงกว่า GMF

ภาระ 300 วัตต์



(ค) SBP ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

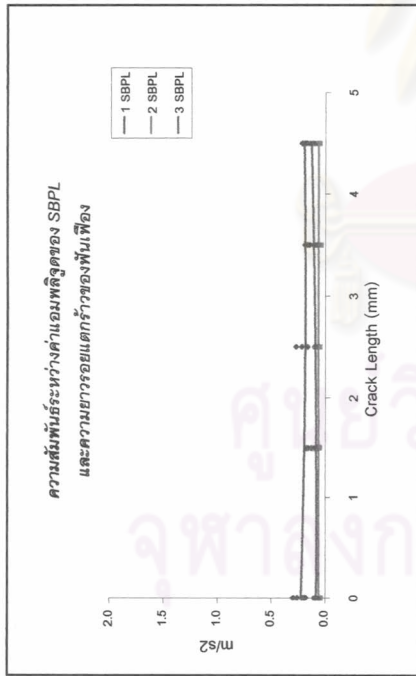


(ง) SBP ด้านความถี่สูงกว่า GMF

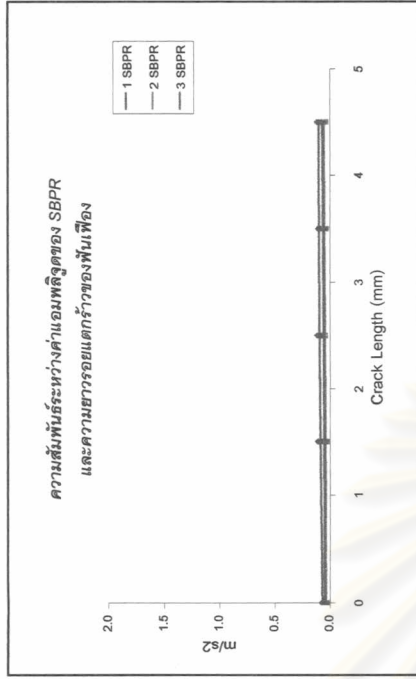
รูปที่ 5-18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ SBP 3 ฮาร์โมนิกแรกรอบ 1xGMF และความยาวรอยแตกร้าวของพื้นผนัง

: ความเร็ว 500 รอบต่อวินาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging วัตถุประสงค์สัญญาณแรงดึง

ภาระ 150 วัตต์

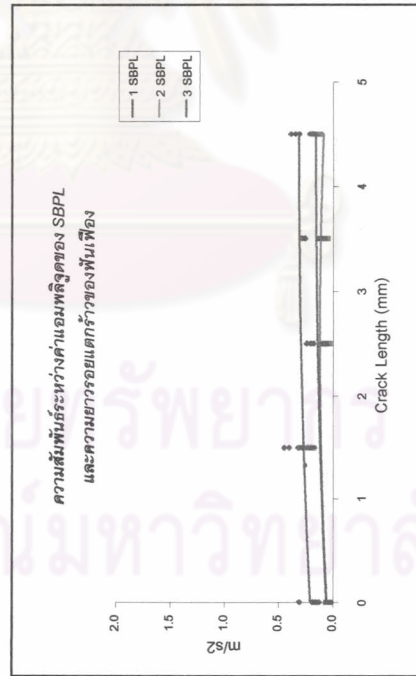


(ก) SBP ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

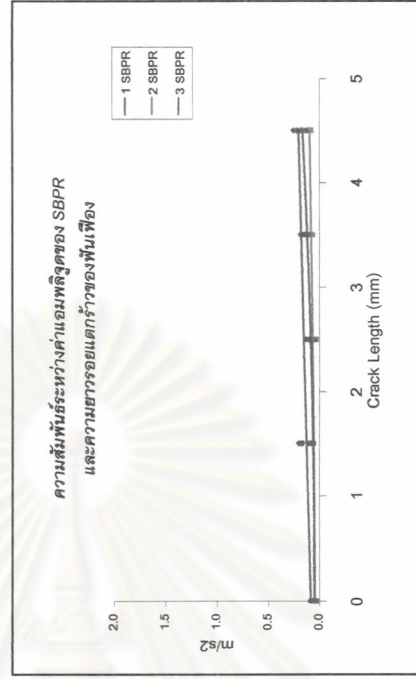


(ข) SBP ด้านความถี่สูงกว่า GMF

ภาระ 300 วัตต์



(ค) SBP ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

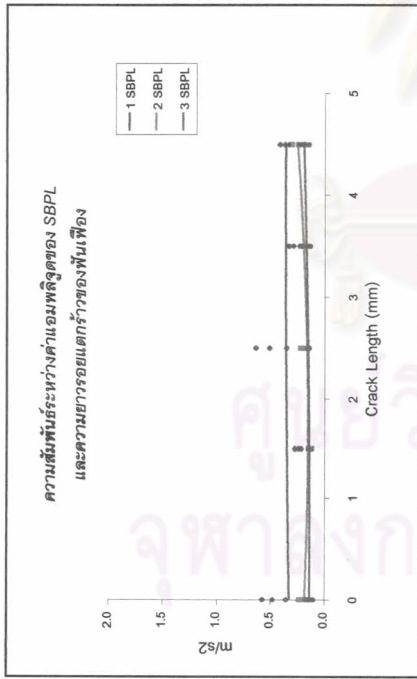


(ง) SBP ด้านความถี่สูงกว่า GMF

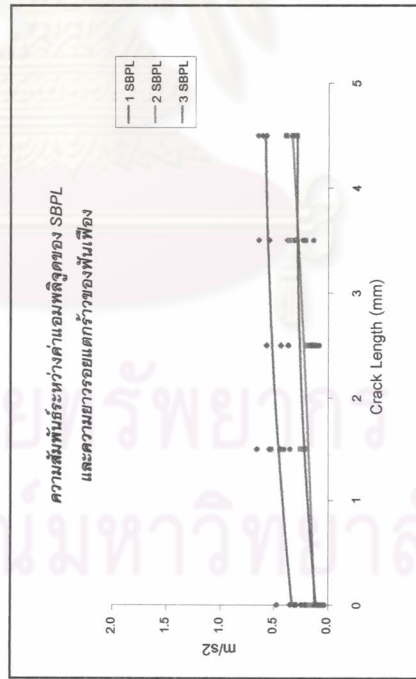
รูปที่ 5-19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ SBP 3 หารัมนิกแกกราบ 1xGMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพียง

: ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging วัดสัญญาณแนวระดับ

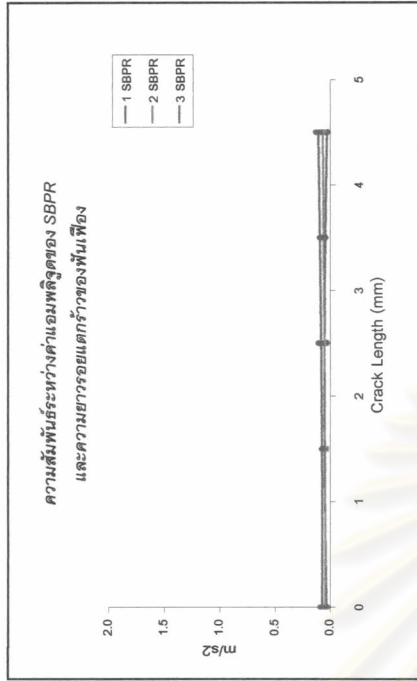
ภาวะ 150 วัตต์



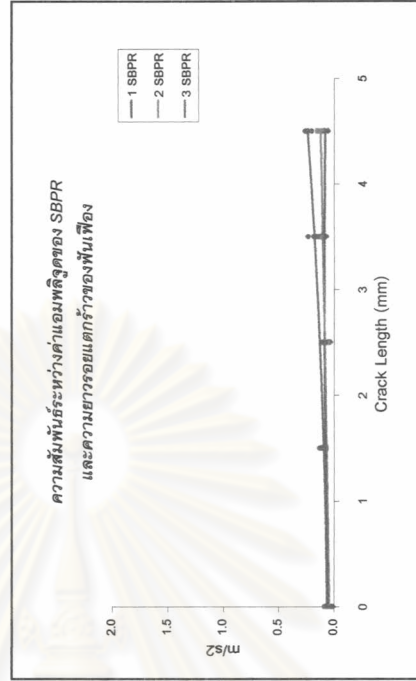
(ก) SBP ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF



(ค) SBP ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF



(ข) SBP ด้านความถี่สูงกว่า GMF

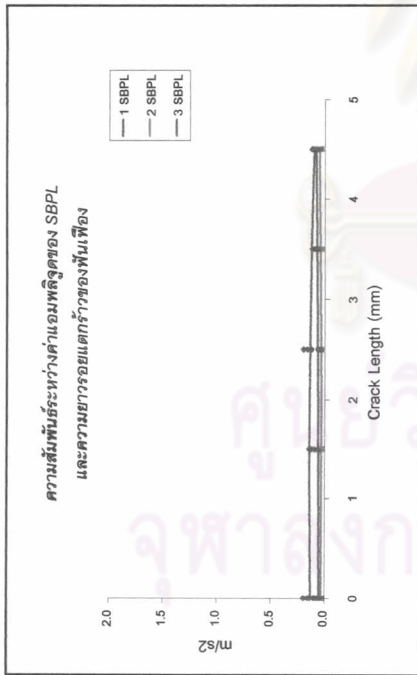


(ง) SBP ด้านความถี่สูงกว่า GMF

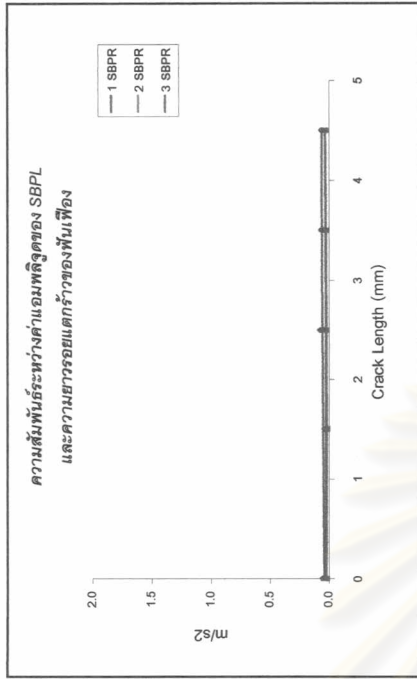
รูปที่ 5-20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ SBP 3 ฮาร์โมนิกแรกกับ 1xGMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพียง

: ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging วัตต์สัญญาณเฉลี่ย

ภาวะ 150 วัตต์

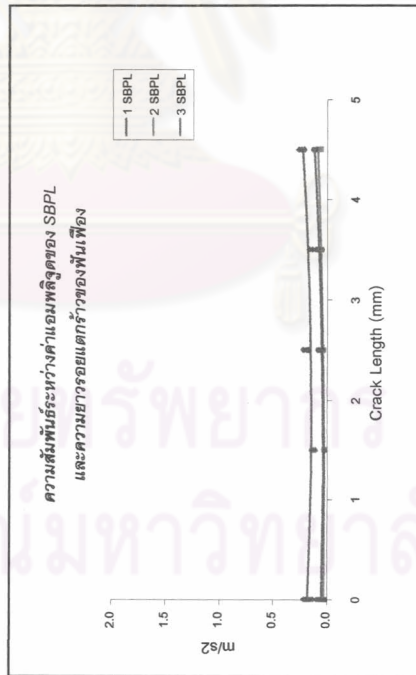


(ก) SBP ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

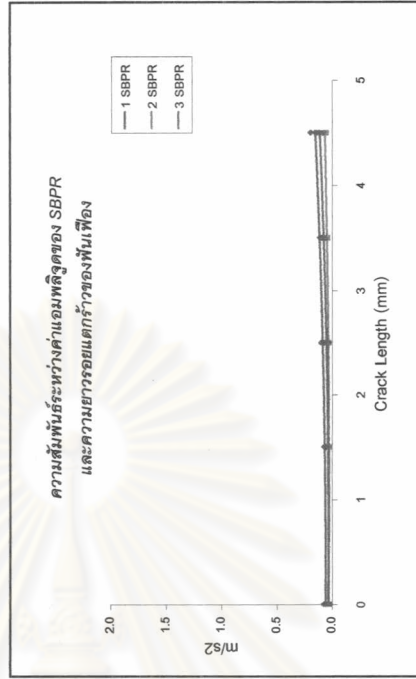


(ข) SBP ด้านความถี่สูงกว่า GMF

ภาวะ 300 วัตต์



(ค) SBP ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

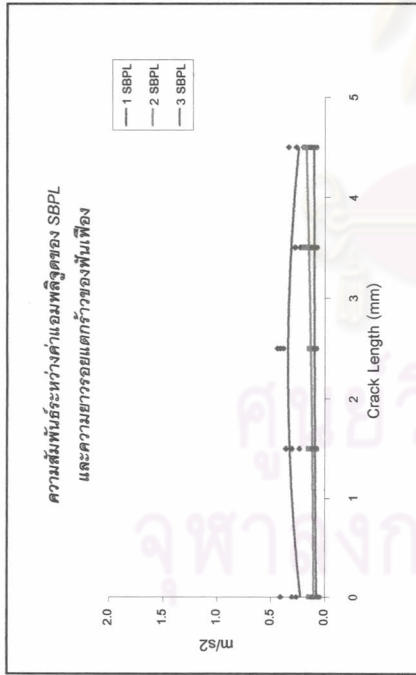


(ง) SBP ด้านความถี่สูงกว่า GMF

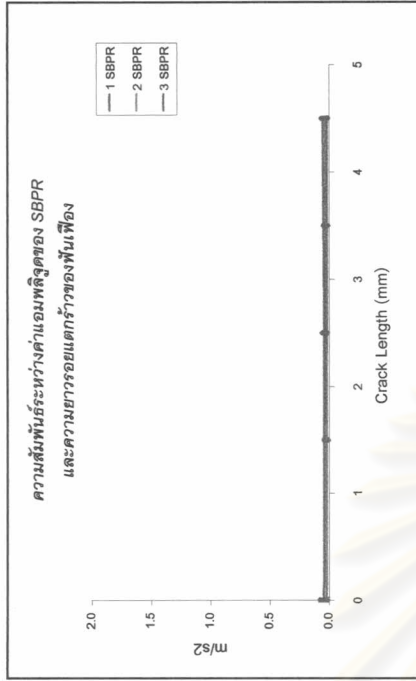
รูปที่ 5-21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ SBP 3 ยารมอินทิเกรตรอบ 1xGMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพ็อง

: ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing รอบ 1xGMF วัตต์สัญญาณแนวระดับ

ภาระ 150 วัตต์

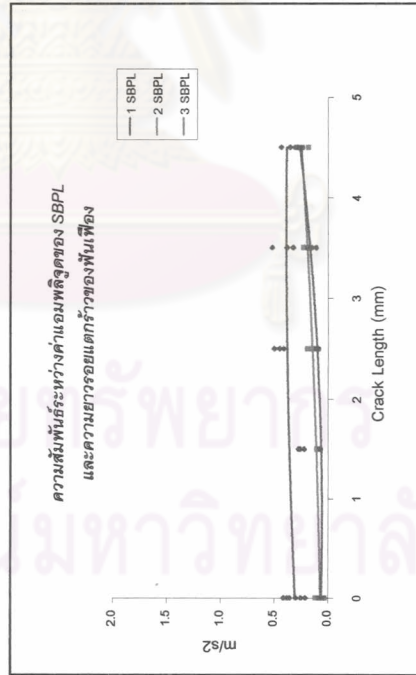


(ก) SBP ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

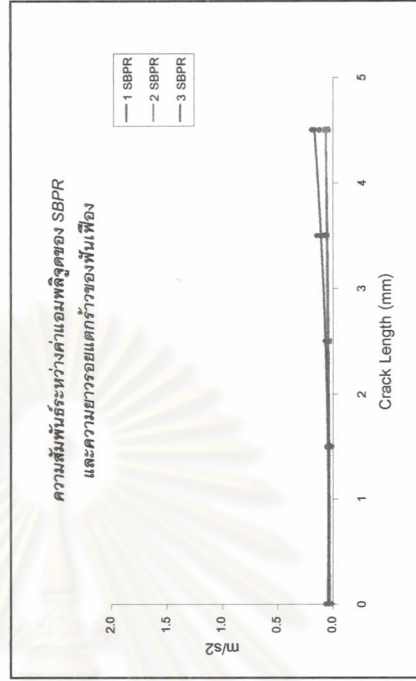


(ข) SBP ด้านความถี่สูงกว่า GMF

ภาระ 300 วัตต์



(ค) SBP ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

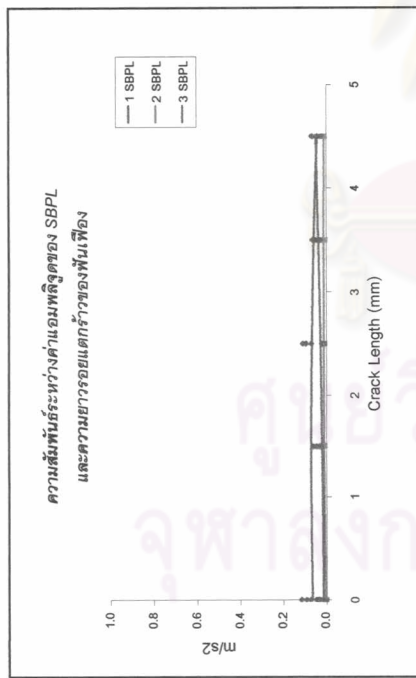


(ง) SBP ด้านความถี่สูงกว่า GMF

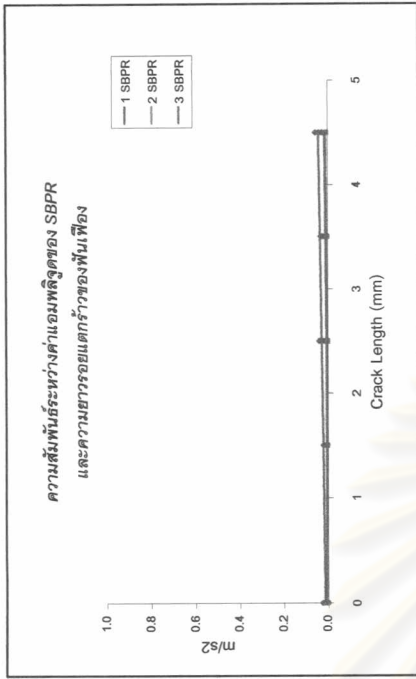
รูปที่ 5-22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ SBP 3 ฮาร์โมนิกแรกรอบ 1xGMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพื่อ

: ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing รอบ 1xGMF วัตถุประสงค์แนวดิ่ง

ภาระ 150 วัตต์

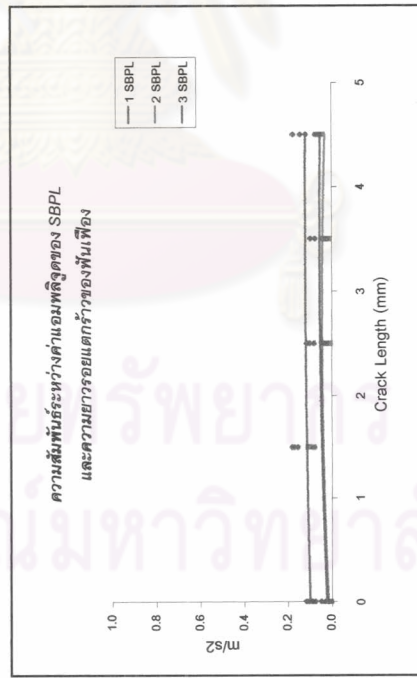


(ก) SBP ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

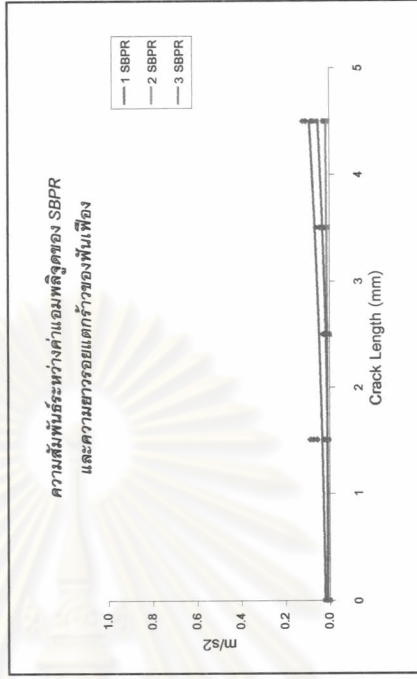


(ข) SBP ด้านความถี่สูงกว่า GMF

ภาระ 300 วัตต์



(ค) SBP ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

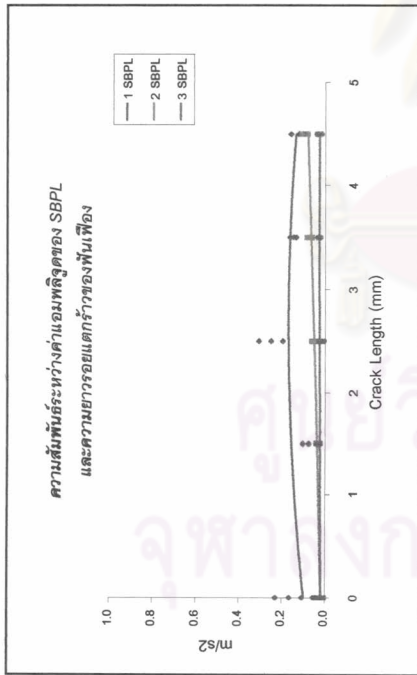


(ง) SBP ด้านความถี่สูงกว่า GMF

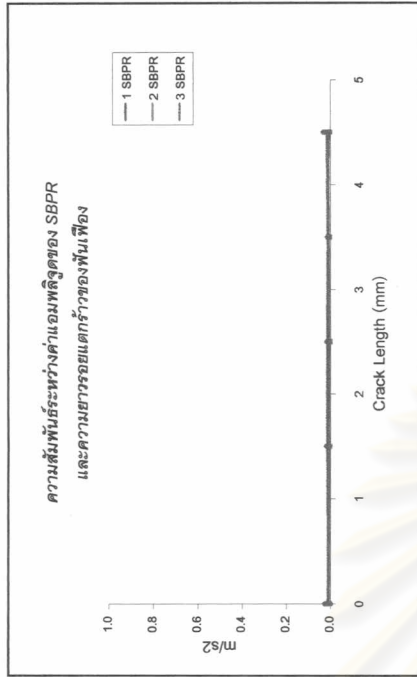
รูปที่ 5-23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ SBP 3 ฮาร์มอนิกแอมพลิจูดของ 1xGMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพื่อ

: ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging วัตต์สัญญาณแอมพลิจูด

ภาระ 150 วัตต์

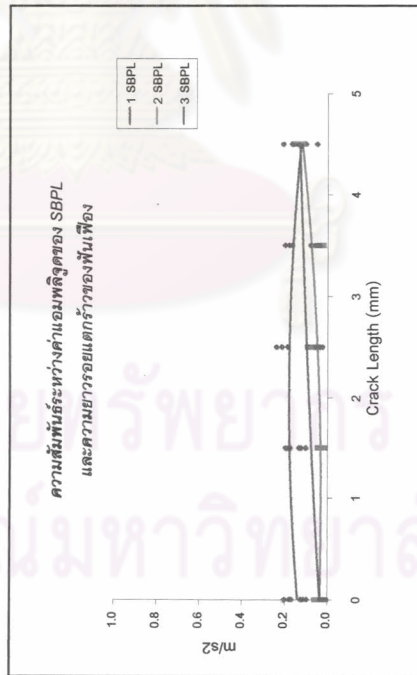


(ก) SBP ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

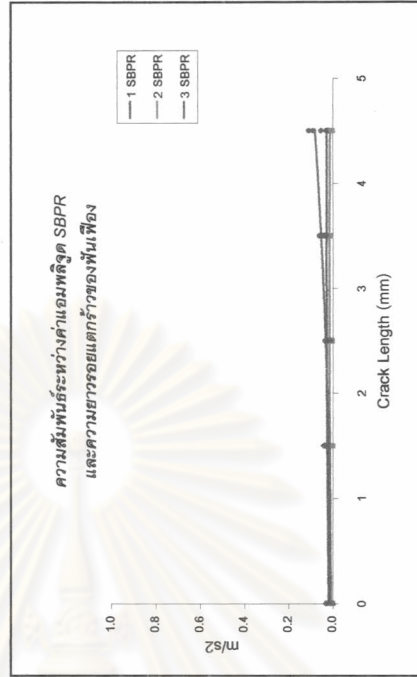


(ข) SBP ด้านความถี่สูงกว่า GMF

ภาระ 300 วัตต์



(ค) SBP ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

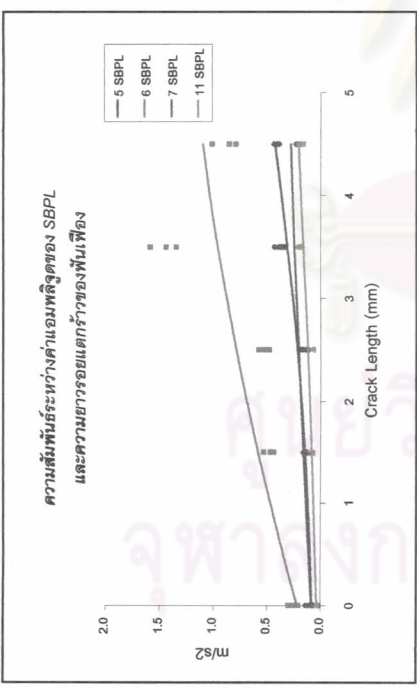


(ง) SBP ด้านความถี่สูงกว่า GMF

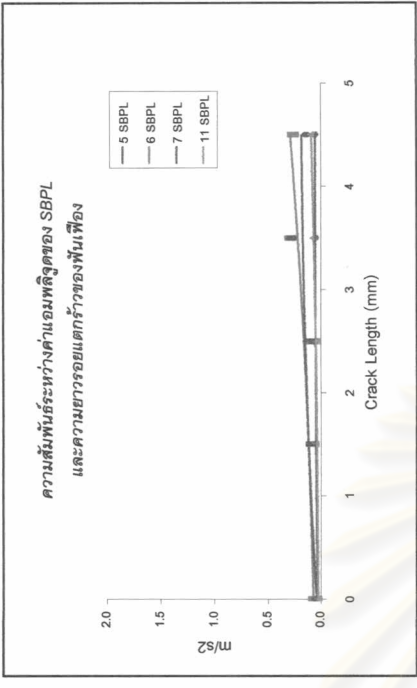
รูปที่ 5-24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ SBP 3 ฮาร์โมนิกแรกรอบ 1xGMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพียง

: ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging วัตต์สัญญาณแฉก

ภาระ 150 วัตต์

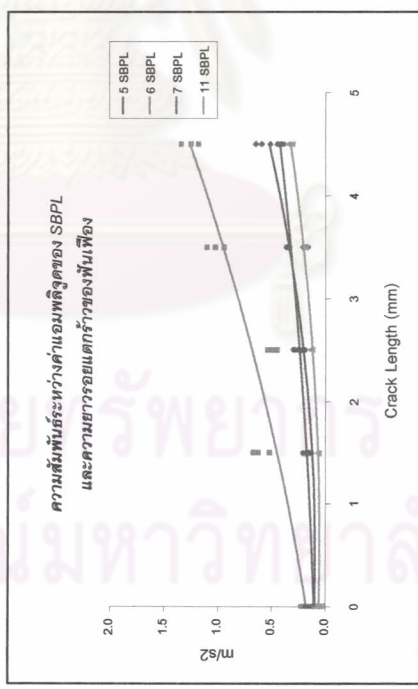


(ก) วัดสัญญาณแนวระดับ

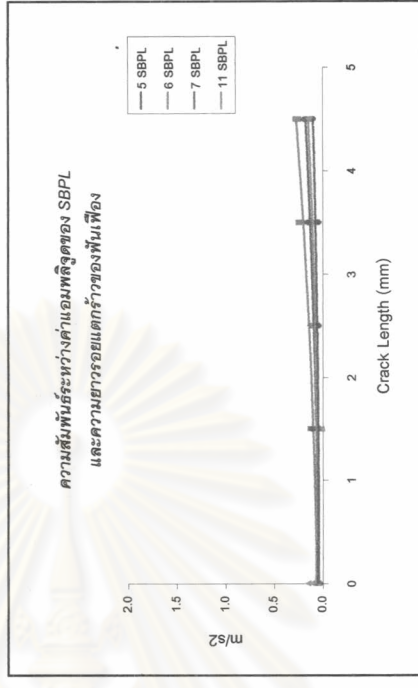


(ข) วัดสัญญาณแนวตั้ง

ภาระ 300 วัตต์



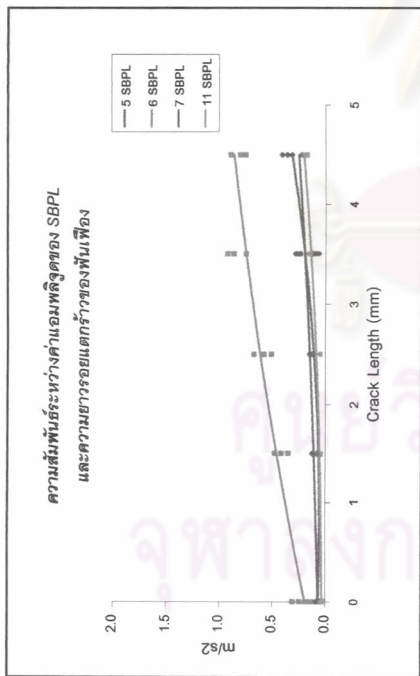
(ค) วัดสัญญาณแนวระดับ



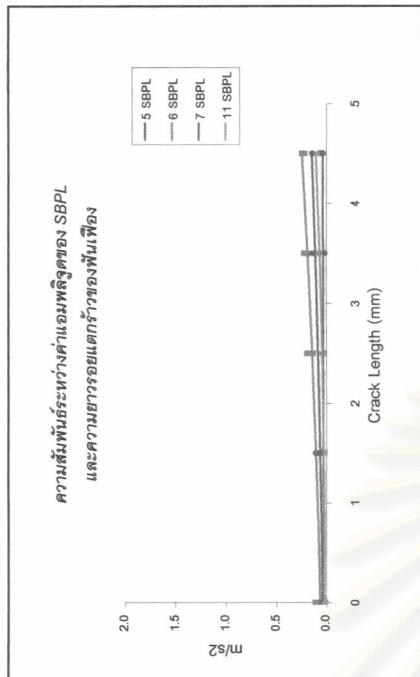
(ง) วัดสัญญาณแนวตั้ง

รูปที่ 5-25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ SBPL หารัณณิกที่ไกลออกไปทางด้านความถี่ต่ำกว่า 1xGMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพื่อ : ความเร็ว 500 รอบต่อวินาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

ภาระ 150 วัตต์

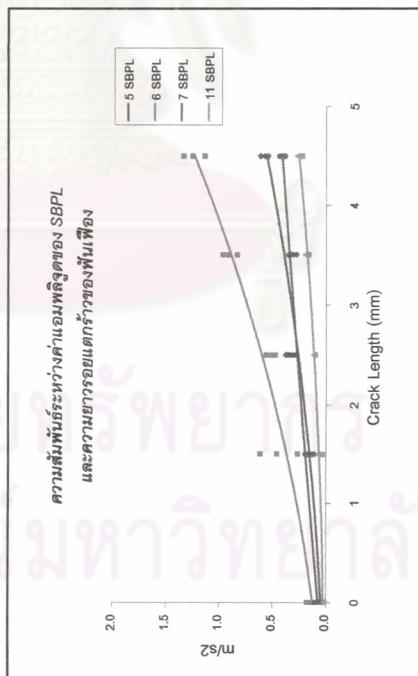


(ก) วัสดุสัญญาณแนวระดับ

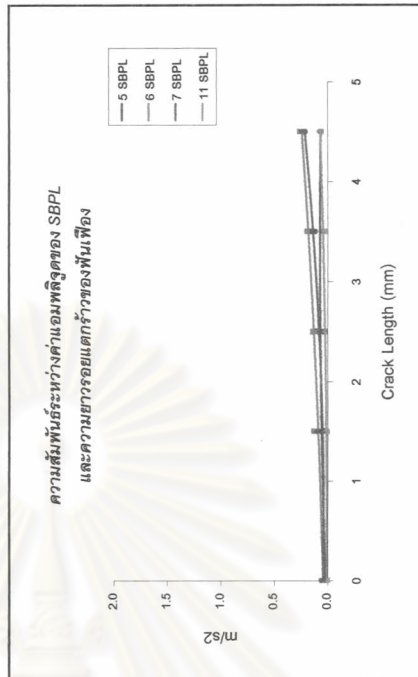


(ข) วัสดุสัญญาณแนวตั้ง

ภาระ 300 วัตต์



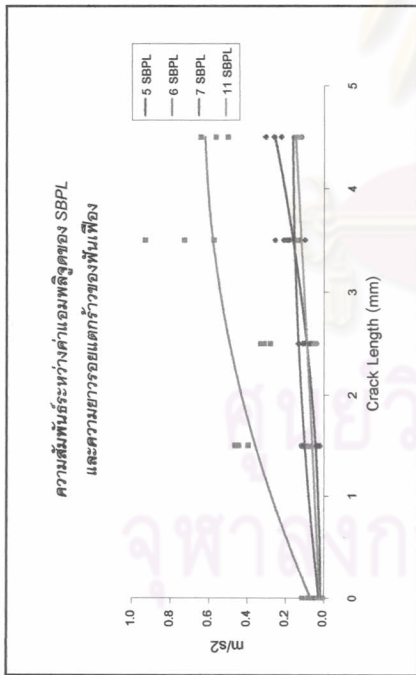
(ค) วัสดุสัญญาณแนวระดับ



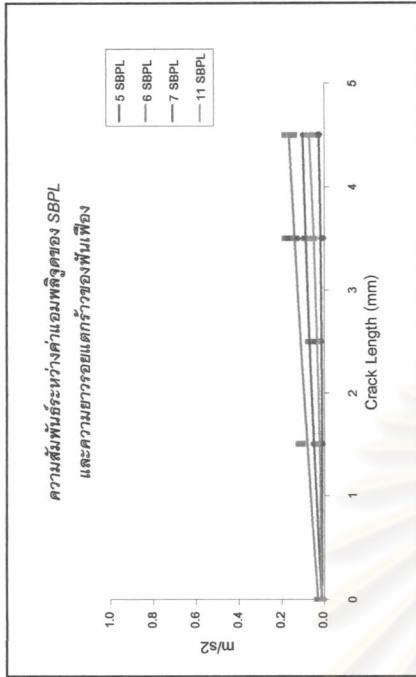
(ง) วัสดุสัญญาณแนวตั้ง

รูปที่ 5-26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ SBPL ขาโรมอนิที่ไหลออกไป ทางด้านความถี่ต่ำกว่า 1XGMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพียง : ความเร็วรอบ 500 รอบต่อวินาที เป็นสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing รอบ 1XGMF

ภาระ 150 วัตต์

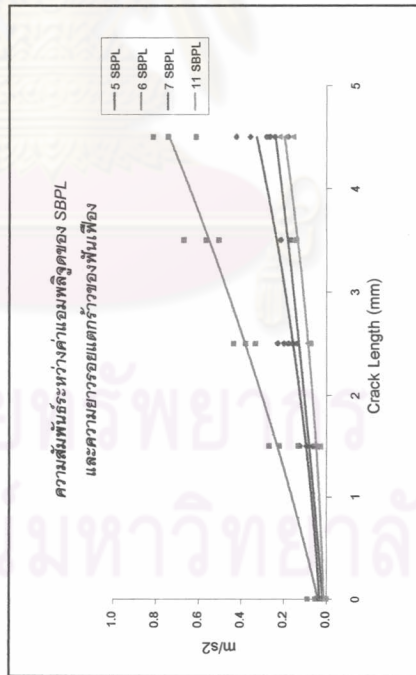


(ก) วัดสัญญาณแนวระดับ

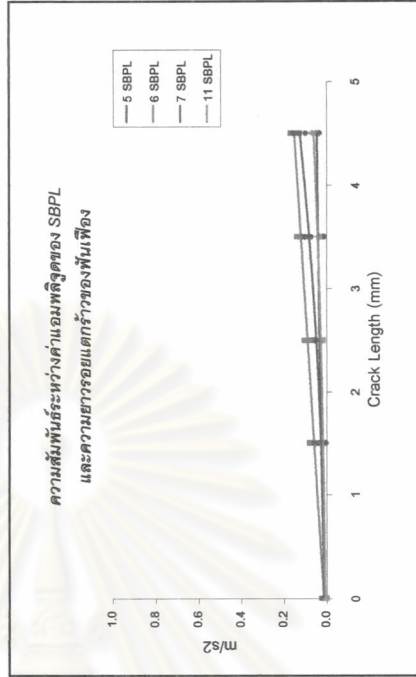


(ข) วัดสัญญาณแนวตั้ง

ภาระ 300 วัตต์



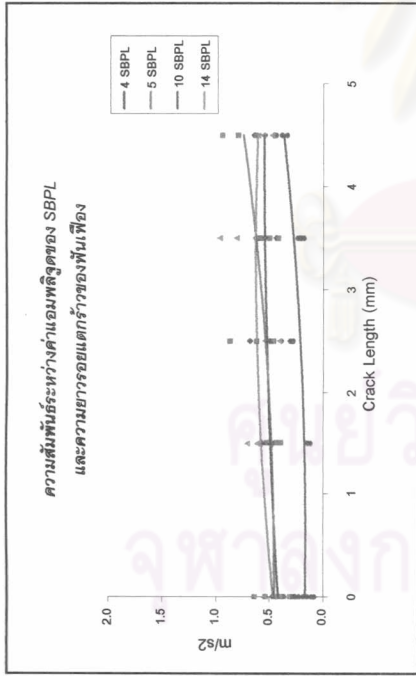
(ค) วัดสัญญาณแนวระดับ



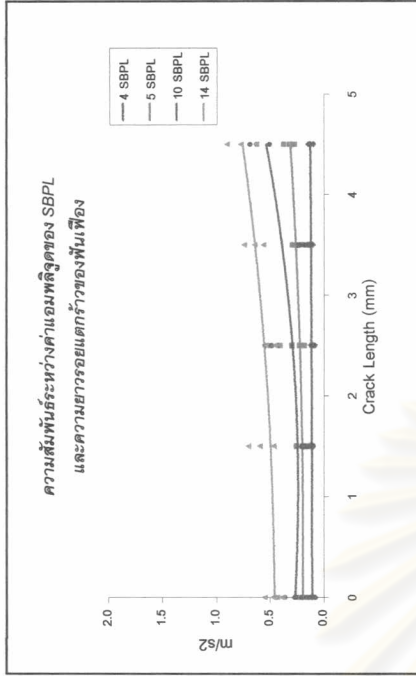
(ง) วัดสัญญาณแนวตั้ง

รูปที่ 5-27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ SBPL หารมณิกที่เกดออกไป ทางด้านความถี่ต่ำกว่า 1XGMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพียง : ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

ภาระ 150 วัตต์

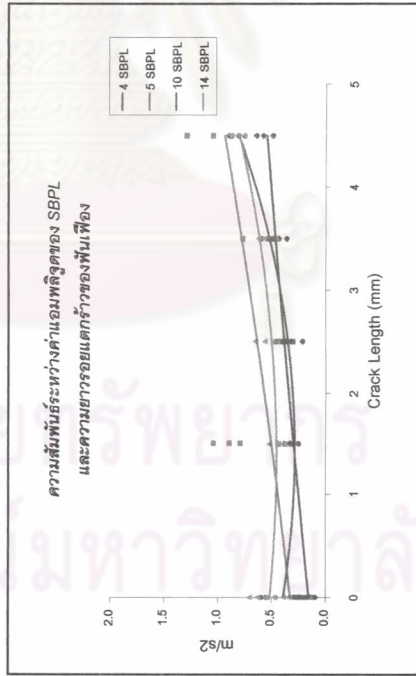


(ก) วัสดุสัญญาณแนวระดับ

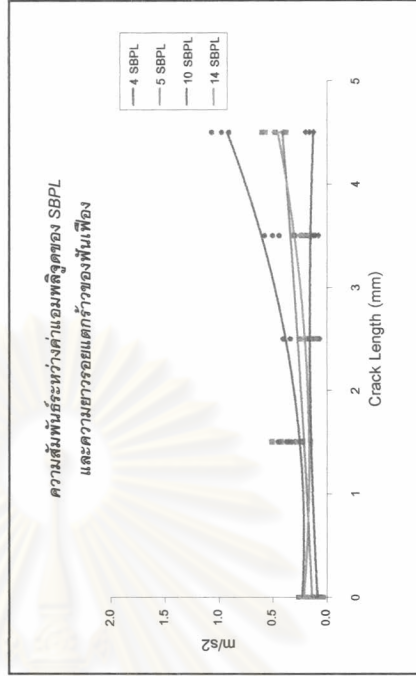


(ข) วัสดุสัญญาณแนวตั้ง

ภาระ 300 วัตต์



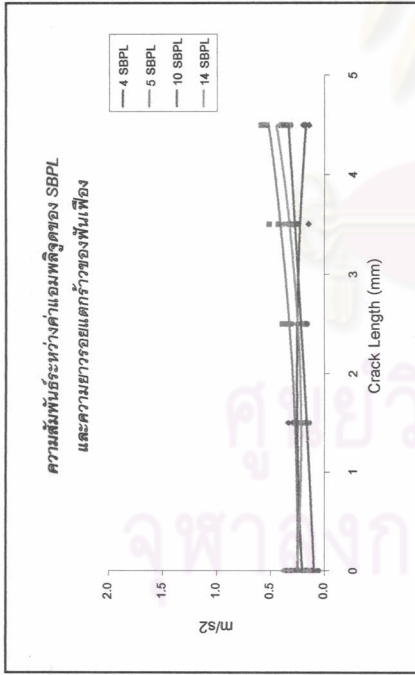
(ค) วัสดุสัญญาณแนวระดับ



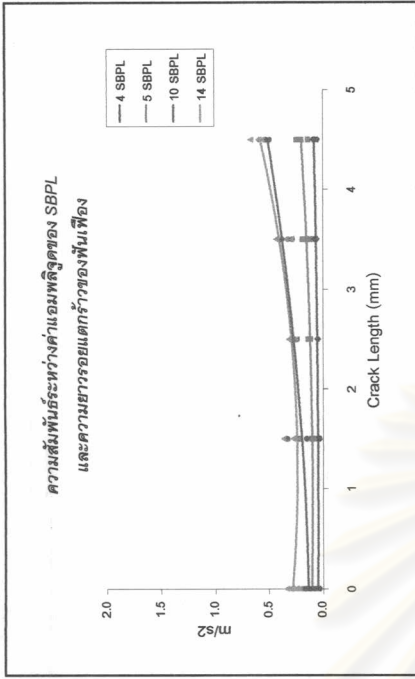
(ง) วัสดุสัญญาณแนวตั้ง

รูปที่ 5-28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ SBP ยารมณิกที่ไหลออกไป ทางด้านความถี่ต่ำกว่า 1xGMF และความยาวรอยแตกร้าวของพื้นเพื่อ : ความเร็วรอบ 800 รอบต่อวินาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

ภาวะ 150 วัดต์

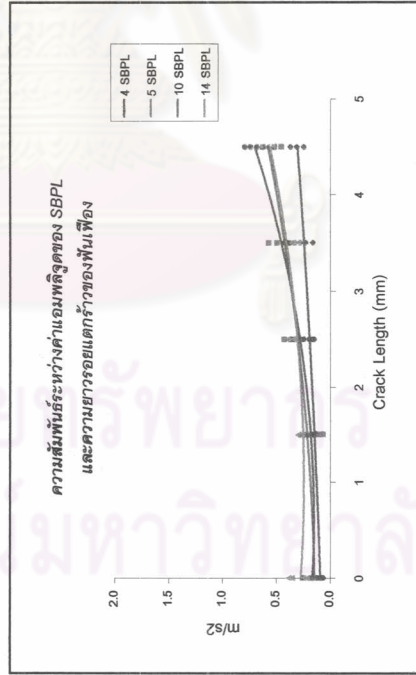


(ก) วัดสัญญาณแนวระดับ

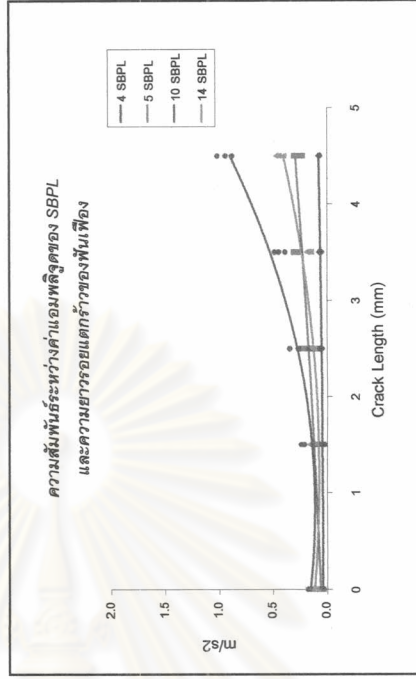


(ข) วัดสัญญาณแนวตั้ง

ภาวะ 300 วัดต์



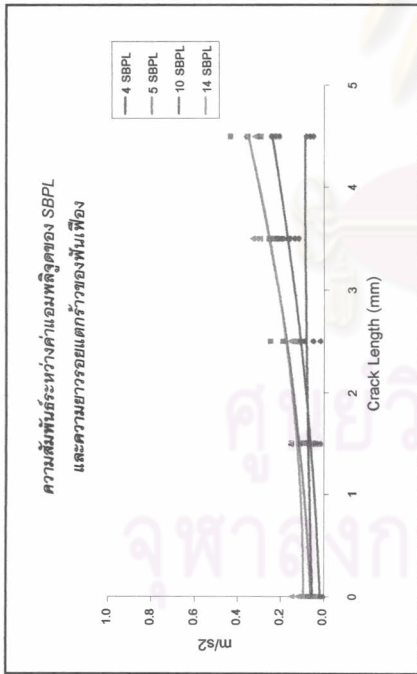
(ค) วัดสัญญาณแนวระดับ



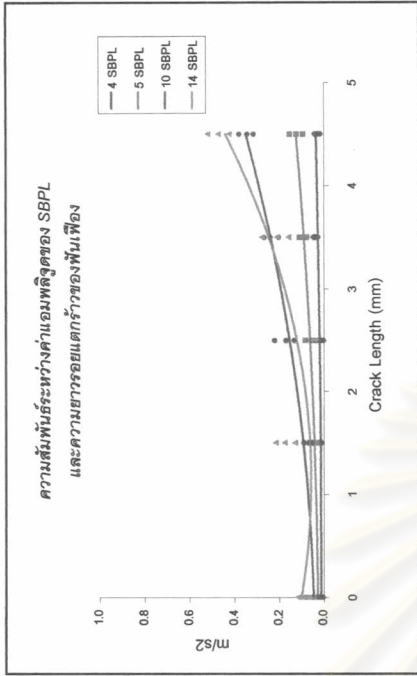
(ง) วัดสัญญาณแนวตั้ง

รูปที่ 5-29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ SBP ยารมณิกที่ไหลออกไปทางด้านความถี่ต่ำกว่า 1xGMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพื่อ : ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing รอบ 1xGMF

ภาระ 150 วัตต์

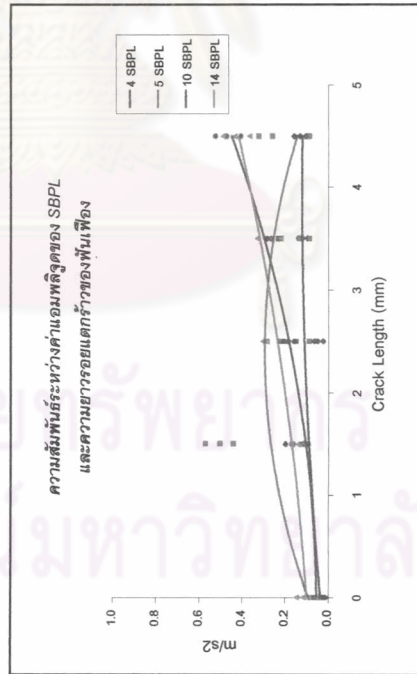


(ก) วัดสัญญาณแนวระดับ

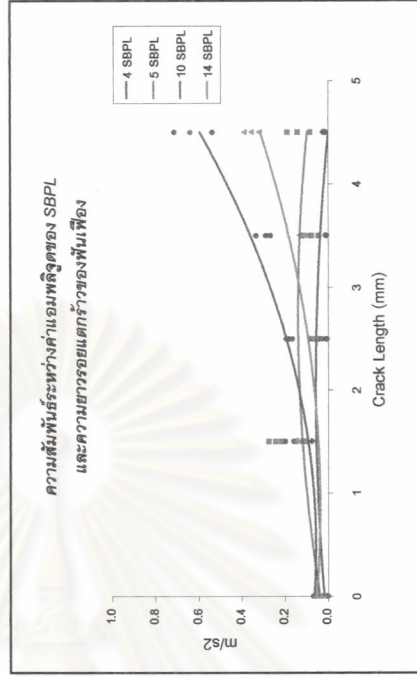


(ข) วัดสัญญาณแนวตั้ง

ภาระ 300 วัตต์



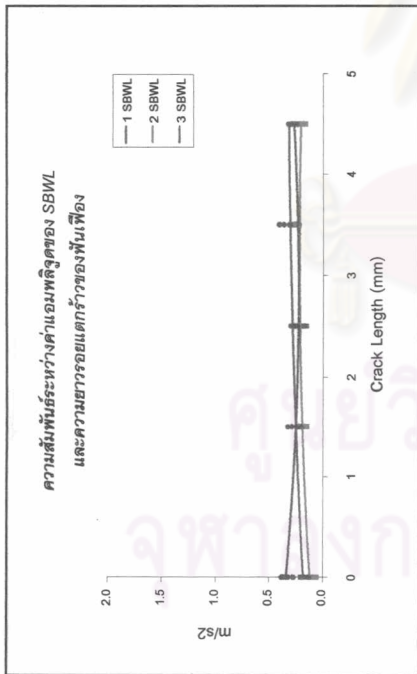
(ค) วัดสัญญาณแนวระดับ



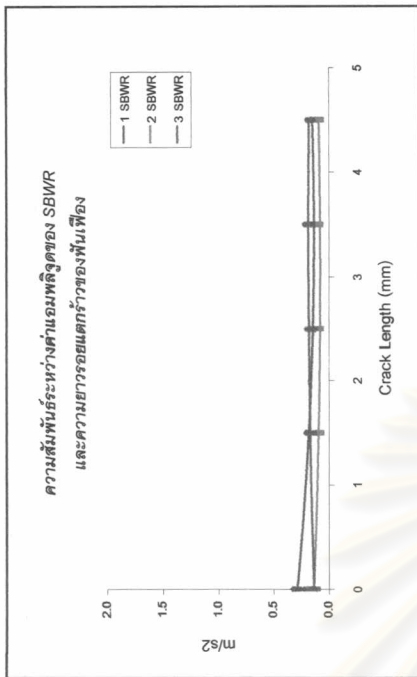
(ง) วัดสัญญาณแนวตั้ง

รูปที่ 5-30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ SBP ยกเว้นกรณีที่โอดออกไปทางด้านความถี่ต่ำกว่า 1xGMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพียง : ความเร็วรอบ 800 รอบต่อวินาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

ภาระ 150 วัตต์

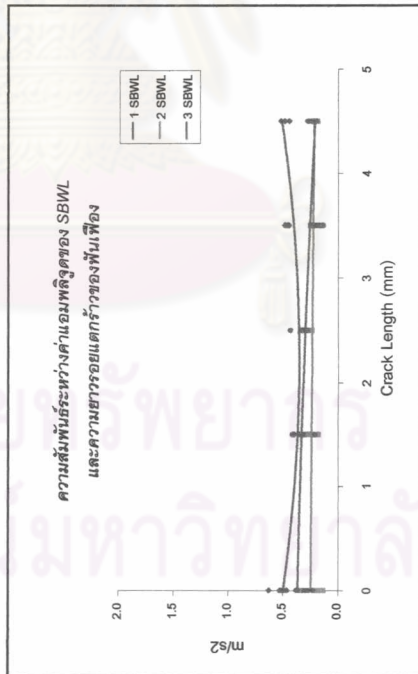


(ก) SBW ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

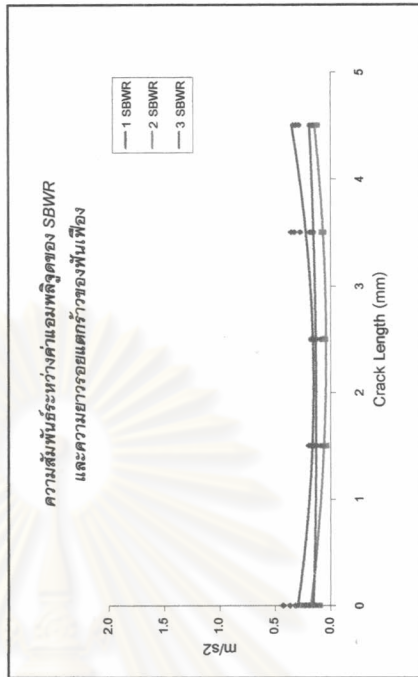


(ข) SBW ด้านความถี่สูงกว่า GMF

ภาระ 300 วัตต์



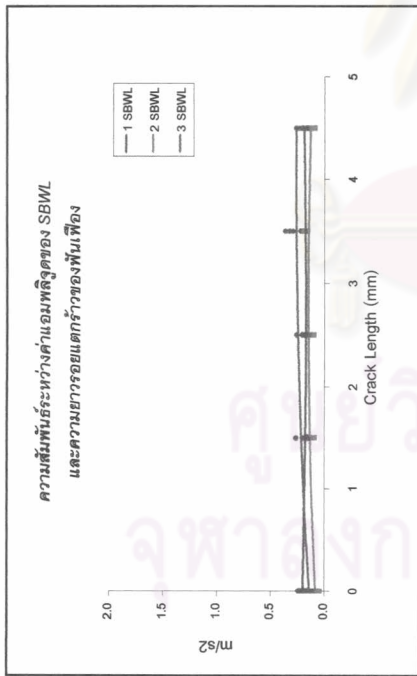
(ค) SBW ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF



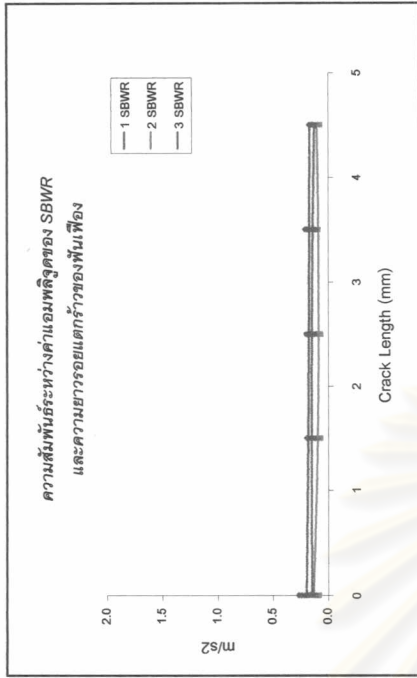
(ง) SBW ด้านความถี่สูงกว่า GMF

รูปที่ 5-31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ SBW 3 ฮาร์โมนิกแรกรอบ 1xGMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพ็อง
: ความเร็ว 500 รอบต่อวินาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging วัตต์สัญญาณแนวระดับ

ภาวะ 150 วิตัด

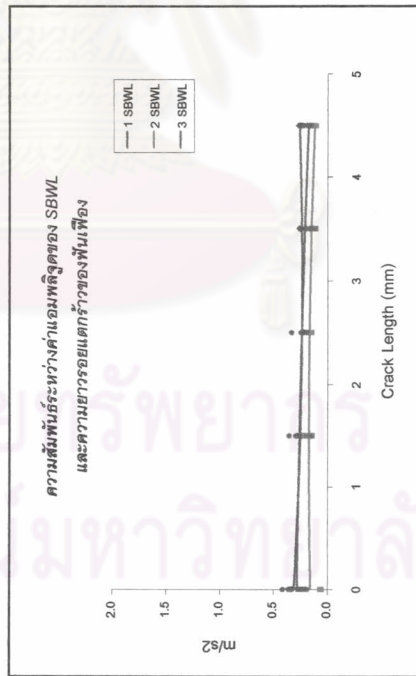


(ก) SBW ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

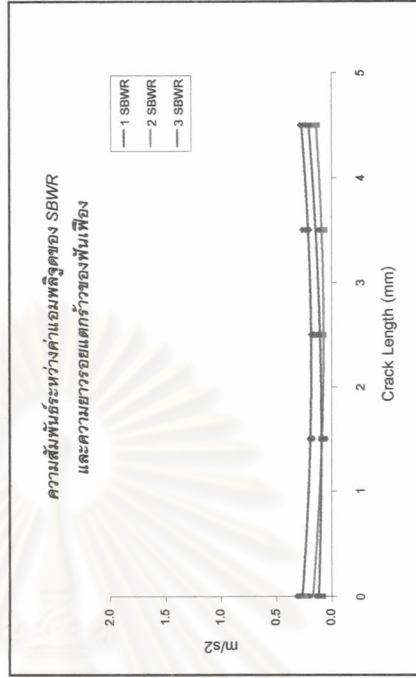


(ข) SBW ด้านความถี่สูงกว่า GMF

ภาวะ 300 วิตัด



(ค) SBW ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

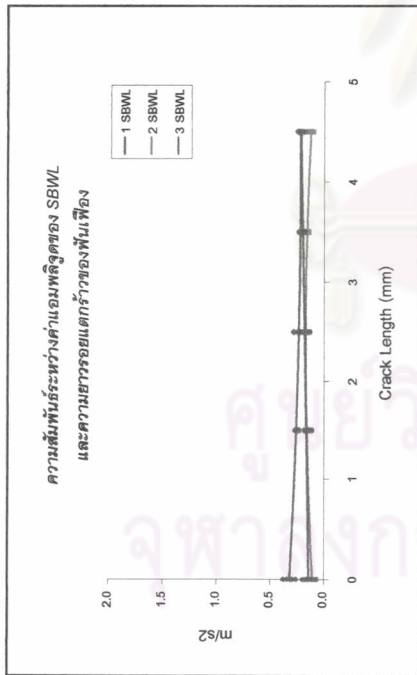


(ง) SBW ด้านความถี่สูงกว่า GMF

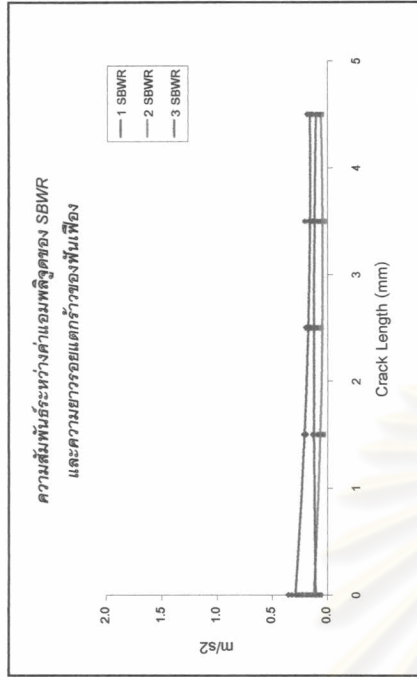
รูปที่ 5-32 ความสั่นพ้องระหว่างค่าแอมพลิจูดของ SBW 3 ยารมอิมูนิกเกรอบ 1xGMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพียง

: ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging วัตต์สัญญาณแฉวงดัง

ภาระ 150 วัตต์

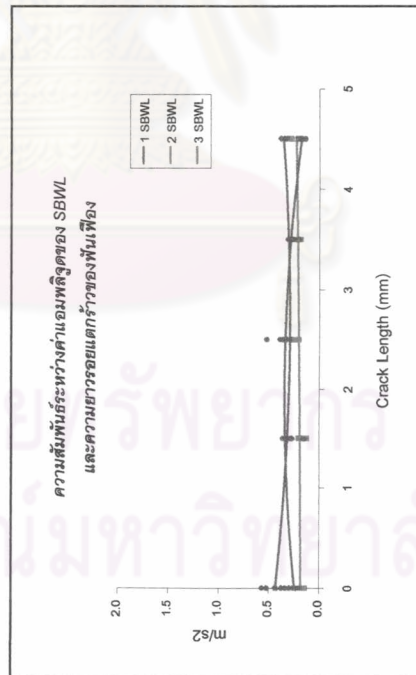


(ก) SBW ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

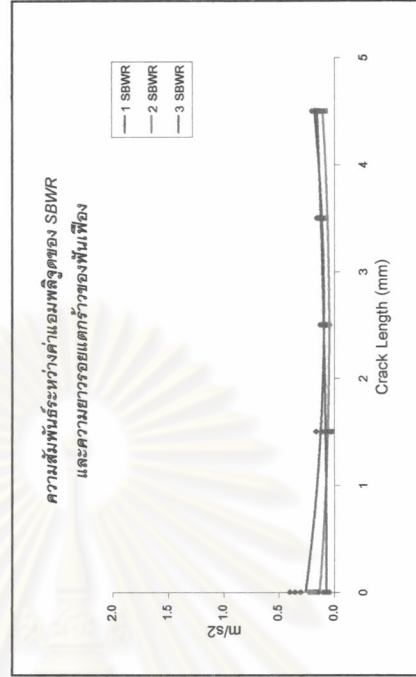


(ข) SBW ด้านความถี่สูงกว่า GMF

ภาระ 300 วัตต์



(ค) SBW ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

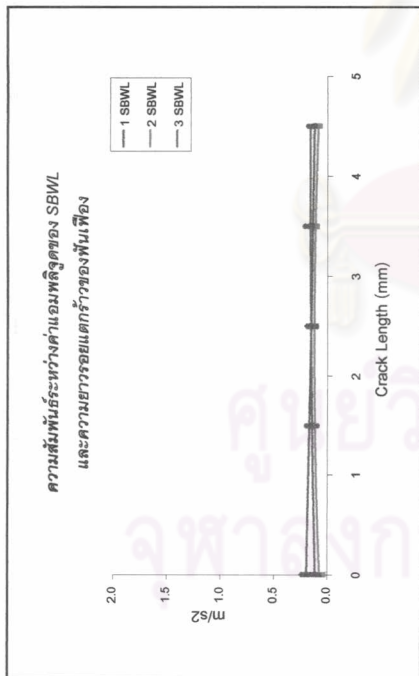


(ง) SBW ด้านความถี่สูงกว่า GMF

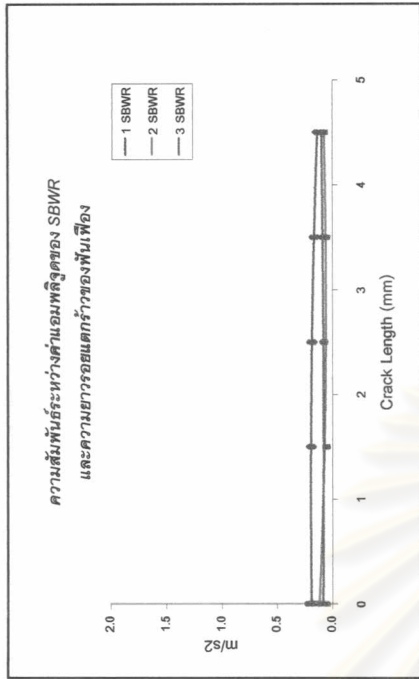
รูปที่ 5-33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ SBW 3 ยารมอินทิเกรตรอบ 1xGMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพียง

: ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing รอบ 1xGMF วัตถุประสงค์เน้นระดับ

ภาระ 150 วัตต์

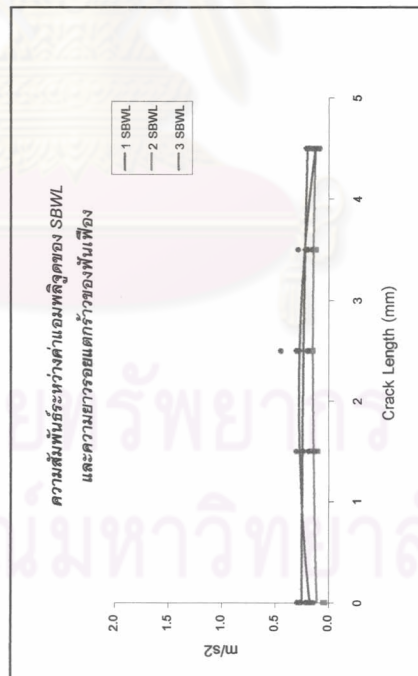


(ก) SBW ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

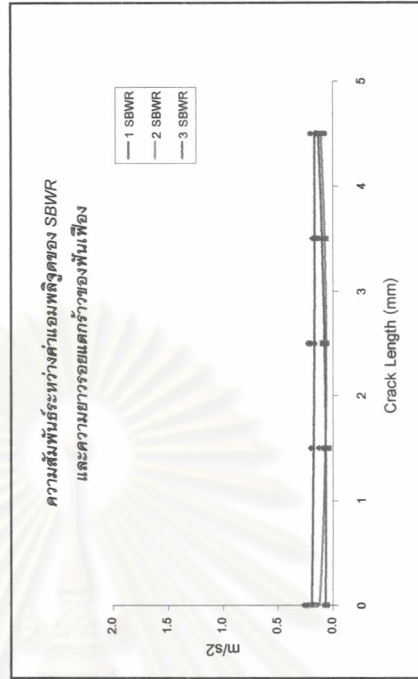


(ข) SBW ด้านความถี่สูงกว่า GMF

ภาระ 300 วัตต์



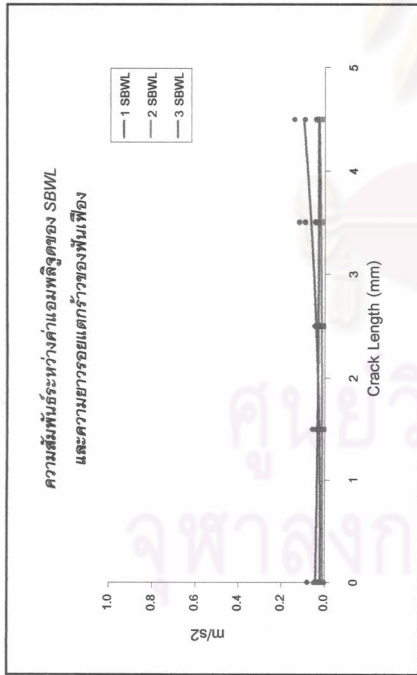
(ค) SBW ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF



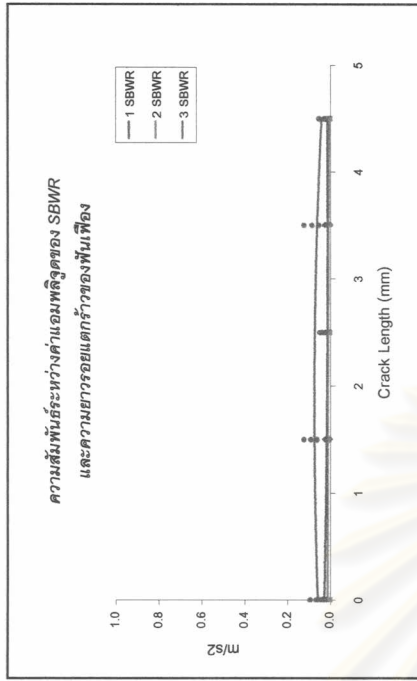
(ง) SBW ด้านความถี่สูงกว่า GMF

รูปที่ 5-34 ความสัมพันธะระหว่างค่าแอมพลิจูดของ SBW 3 ฮาร์โมนิกแรกของ 1xGMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพียง
: ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing รอบ 1xGMF วัดสัญญาณแรงดึง

ภาระ 150 วัตต์

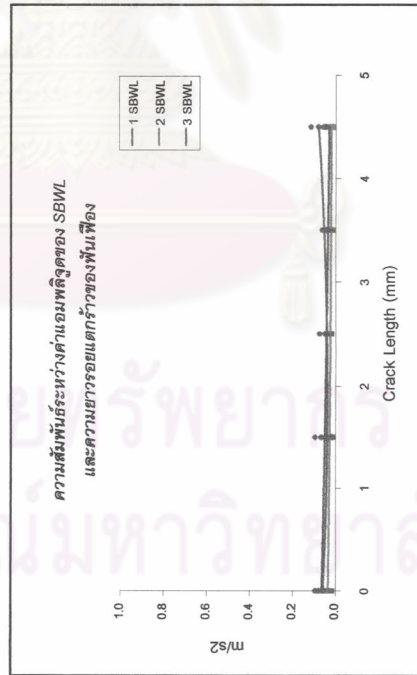


(ก) SBW ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

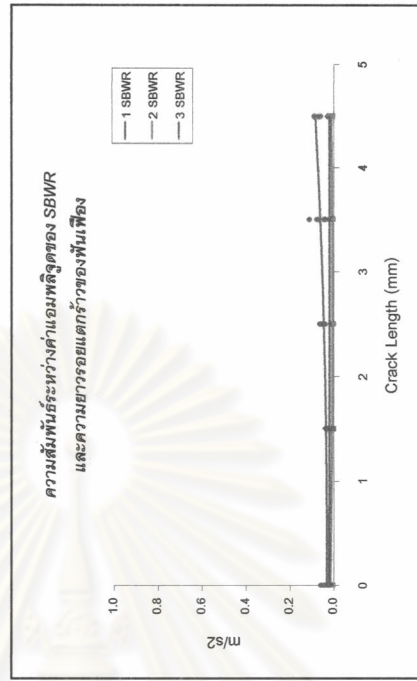


(ข) SBW ด้านความถี่สูงกว่า GMF

ภาระ 300 วัตต์



(ค) SBW ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

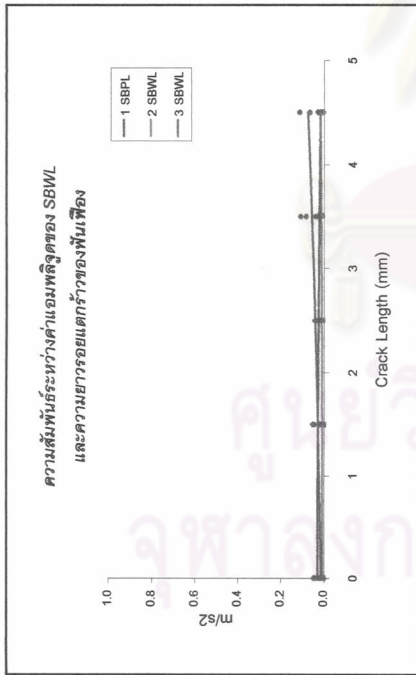


(ง) SBW ด้านความถี่สูงกว่า GMF

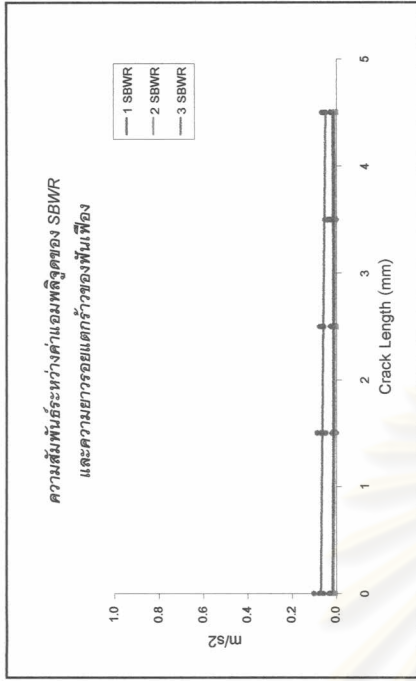
รูปที่ 5-35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ SBW 3 ยารมอินทิเกรต 1xGMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพ็อง

: ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging วัดสัญญาณแนวระดับ

ภาระ 150 วัตต์

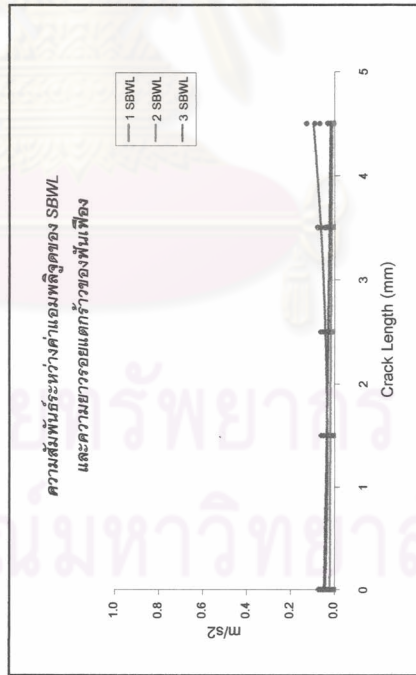


(ก) SBW ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

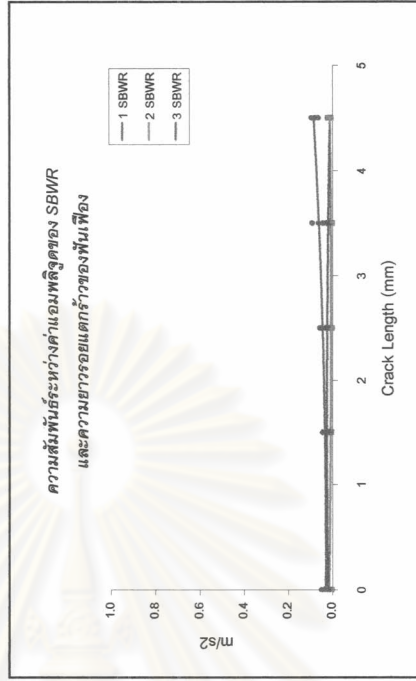


(ข) SBW ด้านความถี่สูงกว่า GMF

ภาระ 300 วัตต์



(ค) SBW ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

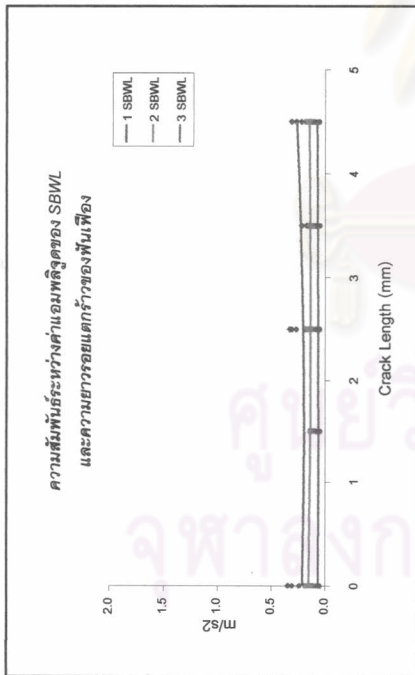


(ง) SBW ด้านความถี่สูงกว่า GMF

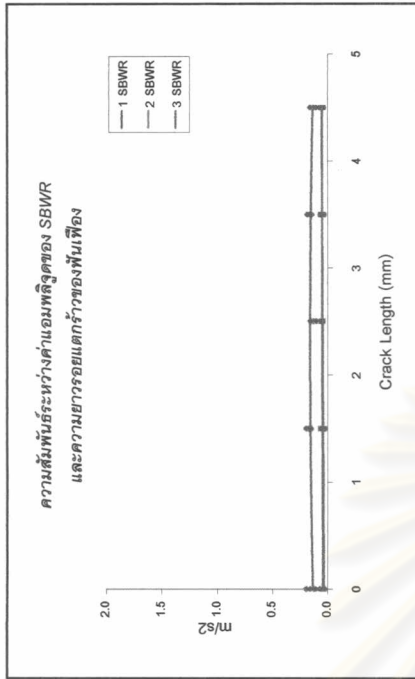
รูปที่ 5-36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ SBW 3 ยารีมอนิโทกรอบ 1xGMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพื่อ

: ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging วัดสัญญาณแนวตั้ง

ภาระ 150 วัตต์

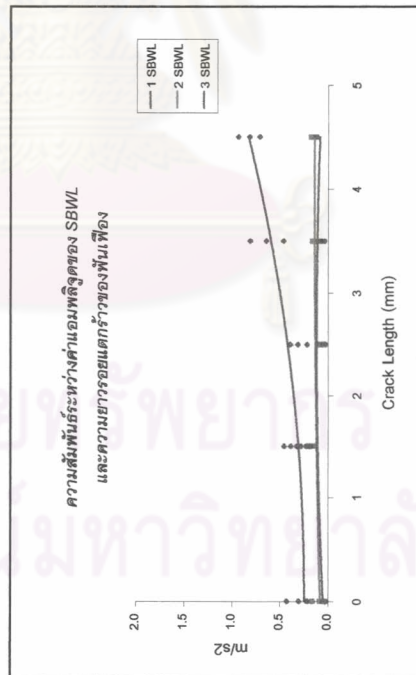


(ก) SBW ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

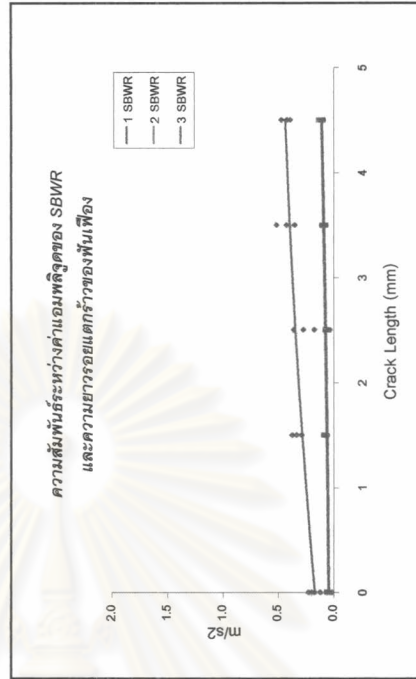


(ข) SBW ด้านความถี่สูงกว่า GMF

ภาระ 300 วัตต์



(ค) SBW ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

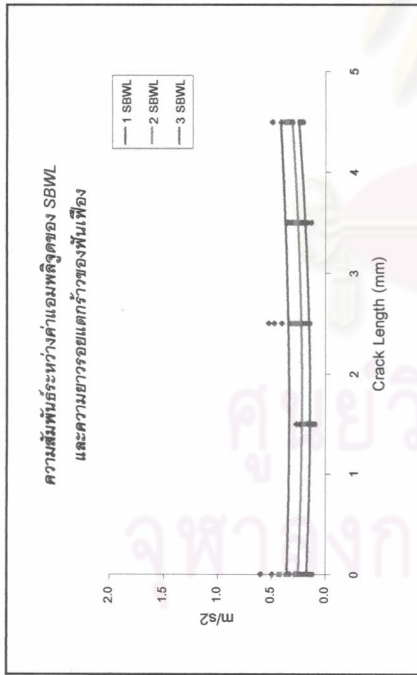


(ง) SBW ด้านความถี่สูงกว่า GMF

รูปที่ 5-37 ความสัมพันธระหวางค่าแอมพลิจูดของ SBW 3 ฮาร์โมนิกแรกรอบ 1xGMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพียง

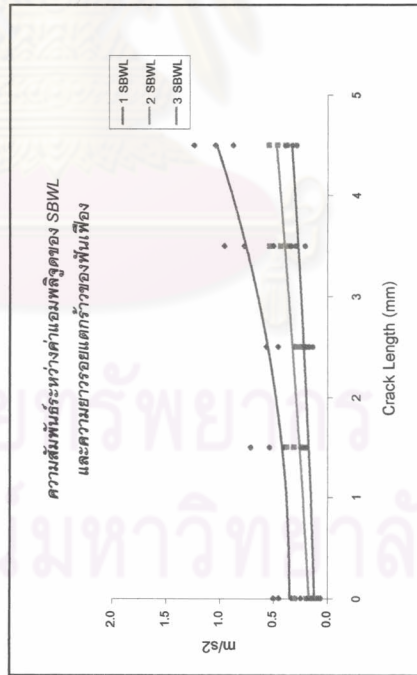
: ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging วัตต์สัญญาณแนวระดับ

ภาระ 150 วัตต์

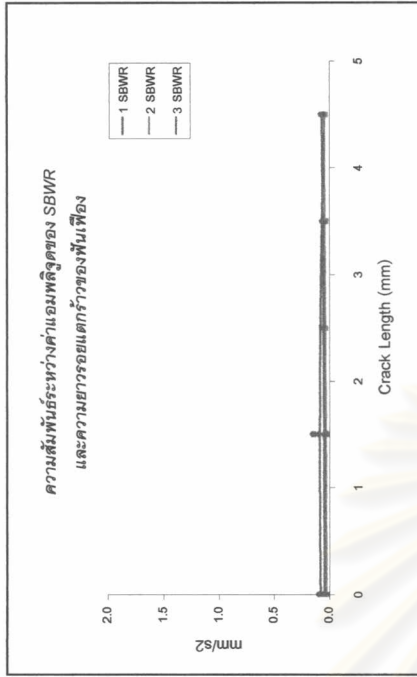


(ก) SBW ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

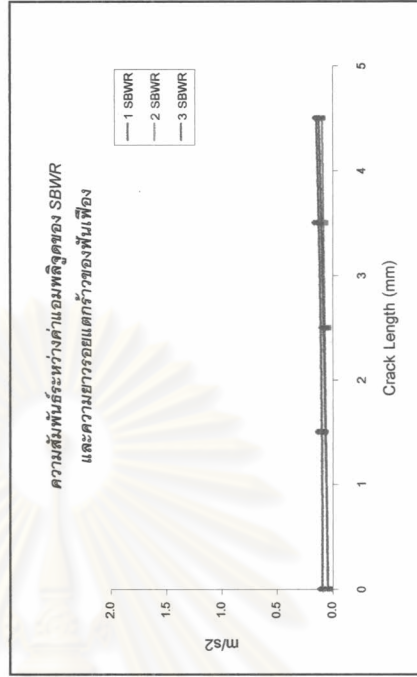
ภาระ 300 วัตต์



(ค) SBW ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF



(ข) SBW ด้านความถี่สูงกว่า GMF

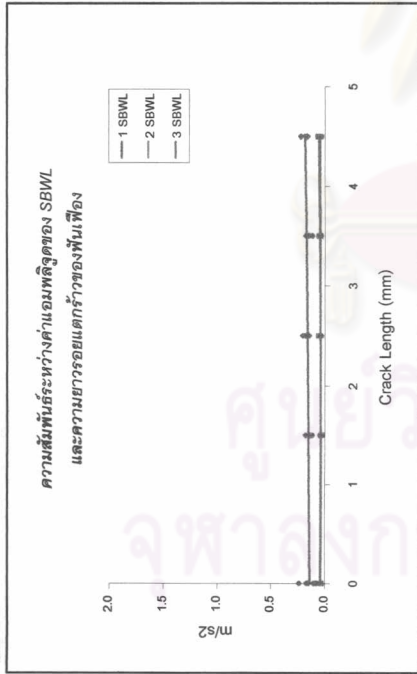


(ง) SBW ด้านความถี่สูงกว่า GMF

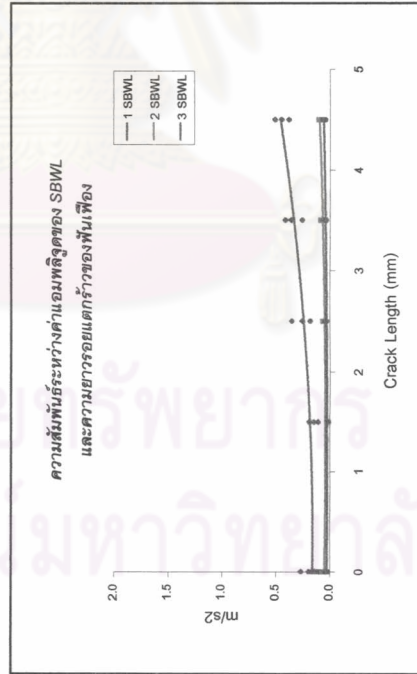
รูปที่ 5-38 ความถี่สัมพัทธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ SBW 3 ฮาร์โมนิกแรกกรอบ 1xGMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพียง

: ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging วัตต์สัญญาณแฉกดัง

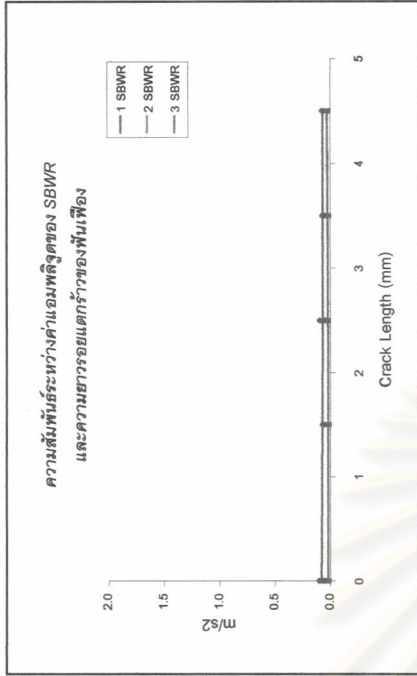
ภาระ 150 วัตต์



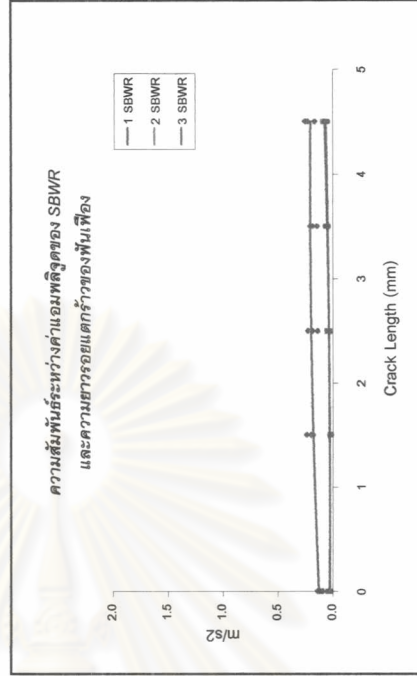
(ก) SBW ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF



(ค) SBW ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF



(ข) SBW ด้านความถี่สูงกว่า GMF

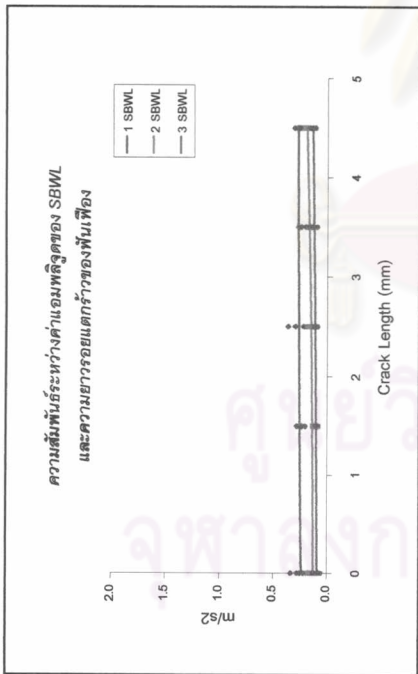


(ง) SBW ด้านความถี่สูงกว่า GMF

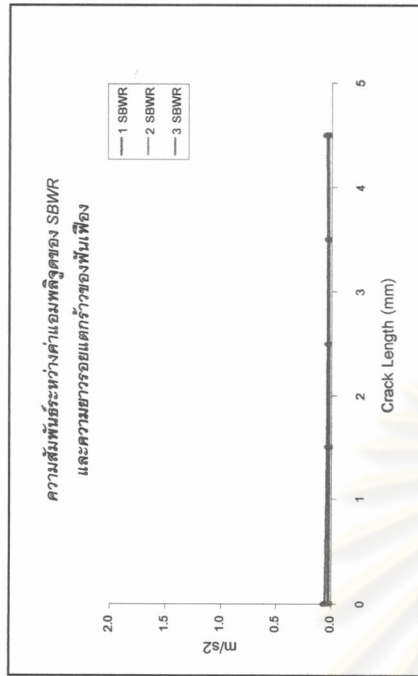
รูปที่ 5-39 ความล้มเหลวระหว่างค่าแอมพลิจูดของ SBW 3 ฮาร์มอนิกแรกรอบ 1xGMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพ็อง

: ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing รอบ 1xGMF วัดสัญญาณแนวระดับ

ภาระ 150 วัตต์

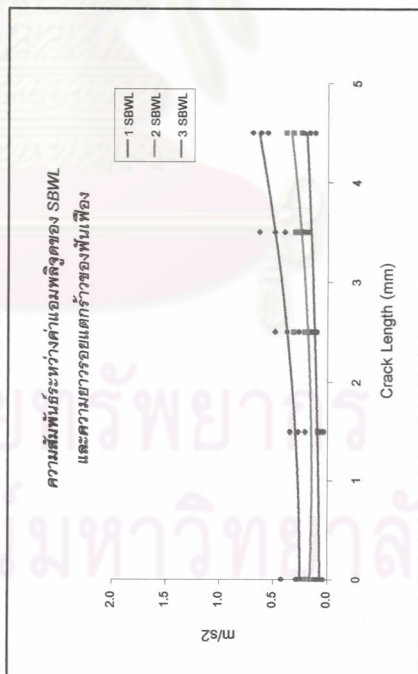


(ก) SBW ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

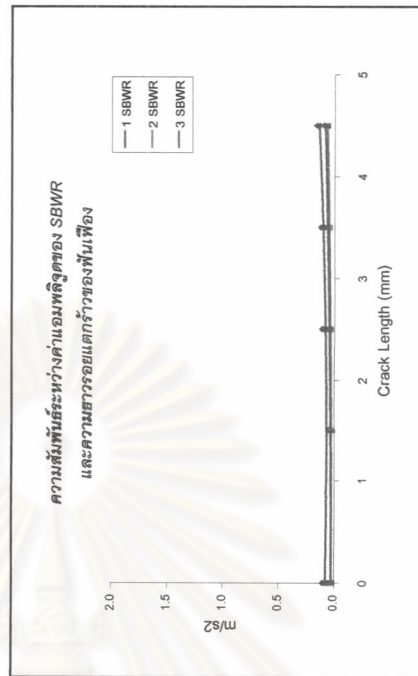


(ข) SBW ด้านความถี่สูงกว่า GMF

ภาระ 300 วัตต์



(ค) SBW ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

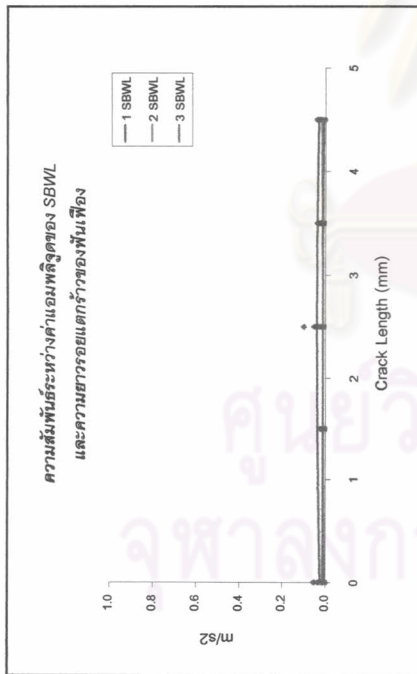


(ง) SBW ด้านความถี่สูงกว่า GMF

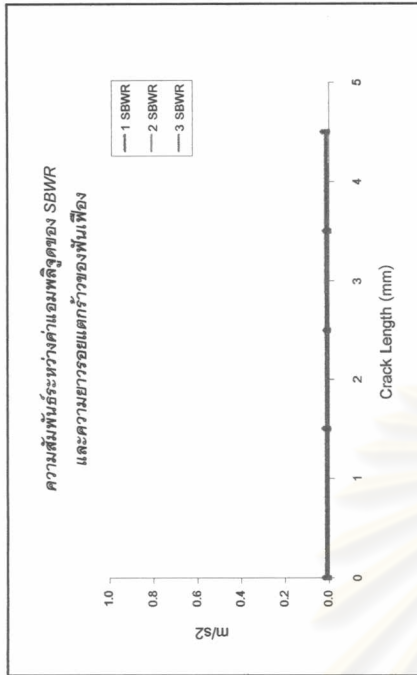
รูปที่ 5-40 ความถี่สัมพัทธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ SBW 3 ฮาร์โมนิกแรกของ 1xGMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพื่อ

: ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing รอบ 1xGMF วัดสัญญาณแนวตั้ง

ภาระ 150 วัตต์

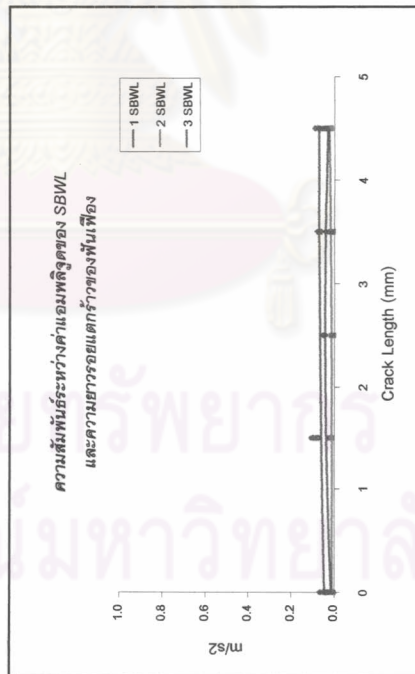


(ก) SBW ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

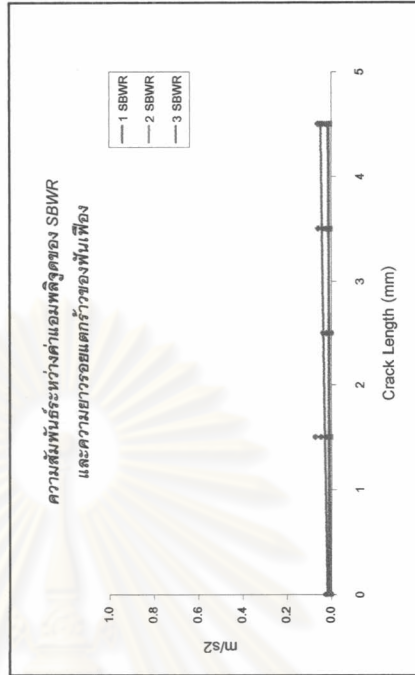


(ข) SBW ด้านความถี่สูงกว่า GMF

ภาระ 300 วัตต์



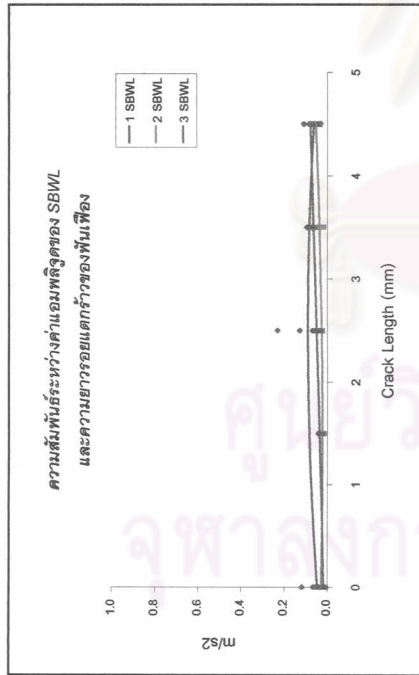
(ค) SBW ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF



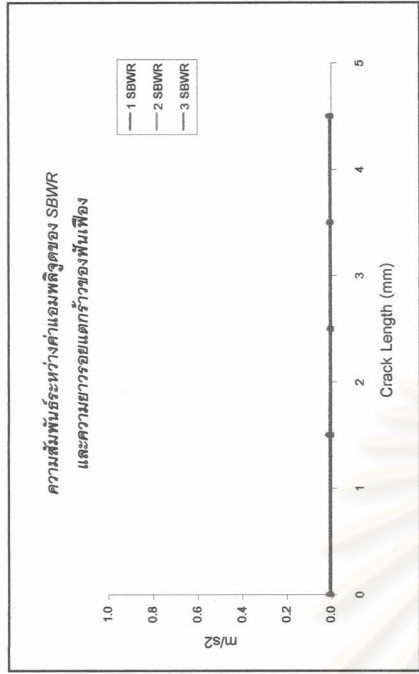
(ง) SBW ด้านความถี่สูงกว่า GMF

รูปที่ 5-41 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ SBW 3 ฮาร์มอนิกแรกของ 1xGMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพ็อง : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging วัตถุประสงค์ตามระดับ

ภาระ 150 วัตต์

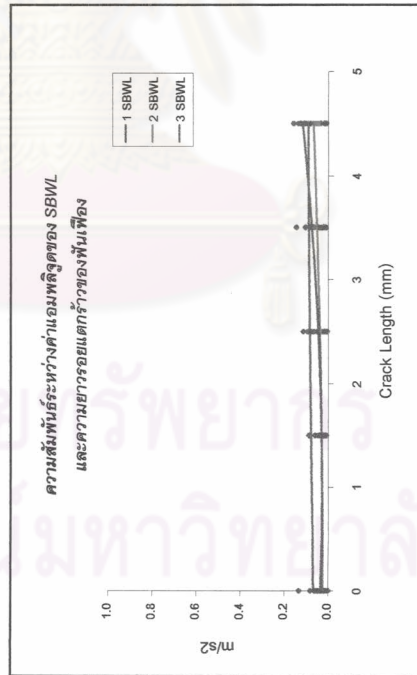


(ก) SBW ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF

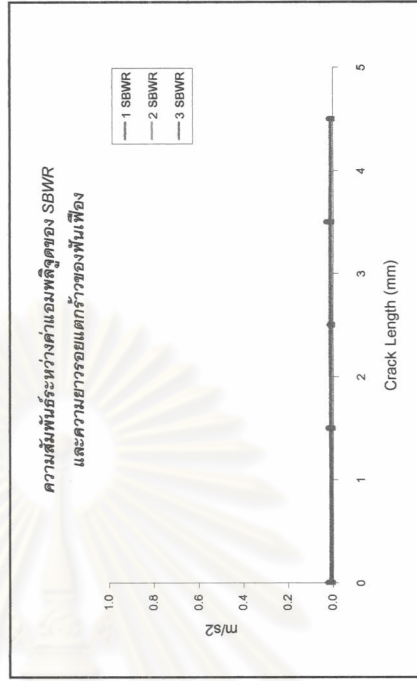


(ข) SBW ด้านความถี่สูงกว่า GMF

ภาระ 300 วัตต์



(ค) SBW ด้านความถี่ต่ำกว่า GMF



(ง) SBW ด้านความถี่สูงกว่า GMF

รูปที่ 5-42 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของ SBW 3 ฮาร์โมนิกแรกกับ 1xGMF และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพื่อ

: ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging วัดสัญญาณแนวตั้ง

5-2-2 ผลและการวิเคราะห์สัญญาณสเปกตรัม

1) แอมพลิจูดที่ความถี่ GMF

- 1.1) ในรูปที่ 5-9 และ 5-10 ที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที ภาวะ 300 วัตต์ เมื่อขนาดรอยแตกกว้างเพิ่มขึ้นแนวโน้มของค่าแอมพลิจูดที่ $1 \times \text{GMF}$ ลดลงทั้งสัญญาณที่วัดในแนวระดับและแนวตั้ง และมีแนวโน้มเช่นนี้เหมือนกันสำหรับการเก็บสัญญาณทั้ง 2 วิธี ค่าแอมพลิจูดของ $1 \times \text{GMF}$ ในการวัดสัญญาณทั้งสองทิศทางมีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นในกรณีเฟือง 01-0 ที่ไม่มีรอยแตกกว้าง ปรากฏว่าแอมพลิจูดของ $1 \times \text{GMF}$ ในแนวตั้งมีขนาดต่ำกว่าในแนวระดับมาก ในขณะที่สภาวะความเร็ว 500 รอบต่อนาที ภาวะ 150 วัตต์ วัดสัญญาณในแนวตั้ง สำหรับการเก็บสัญญาณทั้ง 2 วิธี แอมพลิจูดของ $1 \times \text{GMF}$ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามขนาดของรอยแตกกว้าง
- 1.2) ในรูปที่ 5-11 และ 5-12 ที่ความเร็ว 800 รอบต่อนาที ภาวะ 300 วัตต์ เมื่อขนาดรอยแตกกว้างเพิ่มขึ้นแนวโน้มของค่าแอมพลิจูดที่ $1 \times \text{GMF}$ จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยทั้งสัญญาณที่วัดในแนวระดับและแนวตั้ง และมีแนวโน้มเช่นนี้เหมือนกันสำหรับการเก็บสัญญาณทั้ง 2 วิธี โดยสัญญาณที่เก็บด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะมีอัตราการเพิ่มขึ้นมากกว่า สัญญาณที่เก็บด้วยการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่ ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณที่วัดในแนวตั้งต่ำกว่าแนวระดับเล็กน้อย ในขณะที่สภาวะความเร็ว 800 รอบต่อนาที ภาวะ 150 วัตต์ สำหรับการเก็บสัญญาณทั้ง 2 วิธี ค่าแอมพลิจูดของ $1 \times \text{GMF}$ มีแนวโน้มคงที่ทั้งสองทิศทาง และแอมพลิจูดทั้งสองทิศทางก็มีขนาดใกล้เคียงกัน
- 1.3) ค่าแอมพลิจูดที่ $2 \times \text{GMF}$ และ $3 \times \text{GMF}$ สำหรับสัญญาณที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที มีแนวโน้มคงที่เมื่อขนาดรอยแตกกว้างเพิ่มขึ้น การเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะทำให้แอมพลิจูดของพารามิเตอร์ทั้งสองลดต่ำลงมากจนมีค่าใกล้ศูนย์ ในขณะที่ความเร็ว 800 รอบต่อนาที ค่าแอมพลิจูดของพารามิเตอร์ทั้งสองมีแนวโน้มที่ค่อนข้างคงที่ แต่สำหรับภาวะ 300 วัตต์ วัดสัญญาณในแนวตั้ง แอมพลิจูดที่ $2 \times \text{GMF}$ มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย คาดว่าค่าแอมพลิจูดที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ของ $2 \times \text{GMF}$ และ $3 \times \text{GMF}$ ไม่ใช่ค่าที่เป็นแอมพลิจูดของฮาร์มอนิกของความถี่ GMF อย่างแท้จริง น่าจะเป็นเรโซแนนซ์ของความถี่ธรรมชาติของอุปกรณ์ทดลองทั้งหมดที่ติดตั้งบนแท่นชุดทดลอง ซึ่งจากภาพสัญญาณสเปกตรัมในรูปที่ 4-26 และ 4-27 จะเห็นได้ว่า

สเปกตรัมมีสัญญาณรบกวนช่วงความถี่กว้างที่มีแอมพลิจูดสูงในช่วงความถี่ 600 – 1,200 Hz และลดลงเป็นอย่างมากเมื่อเกิดสัญญาณด้วยการเคลื่อนบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะดังในรูปที่ 4-30 และ 4-31

- 1.4) สรุปได้ว่าค่าแอมพลิจูดที่ 1xGMF ไม่น่าเป็นพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กับขนาดของรอยแตกร้าว เนื่องจากการขบกันของเฟืองมีความผิดปกติเฉพาะเมื่อพื้นที่ที่แตกร้าวขบกันเท่านั้น การเปลี่ยนแปลงของขนาดการสั่นสะเทือนที่ความถี่นี้อาจจะมีผลมาจากคุณภาพการผลิตเฟืองและการติดตั้ง หรืออาจจะเป็นผลมาจากความคลาดเคลื่อนการส่งผ่านการเคลื่อนที่สถิตแบบอื่น ๆ ที่ยังไม่สามารถอธิบายได้
- 2) แอมพลิจูดของแถบความถี่ข้างจากความถี่เฟืองขับ 3 ฮาร์โมนิกแรกรอบ 1xGMF
- 2.1) ในรูปที่ 5-13 จนถึง 5-18 ความเร็ว 500 รอบต่อนาที ที่ภาระทั้ง 2 ระดับ พารามิเตอร์ที่สามารถสังเกตเห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าแอมพลิจูดคือ 2SBPL ทั้งสัญญาณที่วัดในแนวระดับและแนวตั้ง โดยที่สามารถเห็นแนวโน้มของค่าแอมพลิจูดที่เพิ่มขึ้นได้ชัดเจนในสัญญาณที่เก็บด้วยกระบวนการขยายความละเอียดของโดเมนความถี่และการเคลื่อนบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะ แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นนี้มีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น สำหรับการเก็บสัญญาณแต่ละวิธีเมื่อเปรียบเทียบผลของระดับภาระและทิศทางการวัดสัญญาณพบว่าแอมพลิจูดของพารามิเตอร์ทั้ง 6 ตัวมีค่าที่ใกล้เคียงกัน
 - 2.2) ในรูปที่ 5-19 จนถึง 5-24 ที่ความเร็ว 800 รอบต่อนาที พารามิเตอร์ที่สามารถเห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าแอมพลิจูดที่เพิ่มขึ้นทั้ง 2 ระดับภาระคือ 2 SBPL เช่นเดียวกับที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที แต่เฉพาะสัญญาณที่วัดในแนวตั้งเท่านั้น และที่ภาระ 150 วัตต์ เห็นการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมาก โดยที่สามารถเห็นแนวโน้มดังที่กล่าวมานี้ได้จากการเก็บสัญญาณทั้ง 3 วิธี นอกจากนี้ที่ภาระ 300 วัตต์ ยังพบว่าค่าแอมพลิจูดของ 3 SBPL มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นและแอมพลิจูดมีค่าใกล้เคียงกับแอมพลิจูดที่ 2 SBPL

3) แอมพลิจูดของแถบความถี่ข้างจากความถี่เฟืองขับ ฮาร์มอนิกที่ไกลออกไปทางด้านความถี่ต่ำกว่า $1 \times \text{GMF}$

- 3.1) ในรูปที่ 5-25 จนถึง 5-27 ที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที การเปลี่ยนแปลงของค่าแอมพลิจูดที่ 5 SBPL 6 SBPL 7 SBPL และ 11 SBPL มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดของรอยแตกร้าวอย่างเห็นได้ชัดเจนในสัญญาณที่วัดในแนวระดับทั้ง 2 ระดับภาวะ ไม่ว่าจะเก็บสัญญาณด้วยวิธีการใด โดยที่ 6 SBPL มีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าแอมพลิจูดมากที่สุด โดยที่เมื่อรอยแตกร้าวยาว 4.5 มม. แอมพลิจูดมีค่าสูงกว่าเมื่อไม่มีรอยแตกร้าวประมาณ 6 - 7 เท่า แอมพลิจูดที่ 6 SBPL ของสัญญาณในแนวตั้งก็มีการเพิ่มขึ้นบ้างเช่นกันแต่ไม่ชัดเจนเท่าสัญญาณในแนวระดับ เหตุที่ 6 SBPL มีการเปลี่ยนแปลงค่าแอมพลิจูดที่ชัดเจนเนื่องมาจากความถี่ของ 6 SBPL คือ 166.67 Hz ตรงกับความถี่ธรรมชาติใหม่หนึ่งของชุดทดลอง⁶ ซึ่งความถี่ธรรมชาตินี้มีแอมพลิจูดสูงเด่นเมื่อวัดในแนวระดับ เมื่อฟันแต่ละซี่เข้าขบกันการกระทบกันของคู่ฟันเพียงคล้ายกับการตีชุดทดลองด้วยค้อน พัลส์ที่เกิดขึ้นจึงไปกระตุ้นความถี่ธรรมชาติทุกโหมดเท่าที่พลังงานที่เกิดขึ้นจะทำได้ แต่เมื่อฟันซี่ที่แตกร้าวเข้าขบกันความสามารถในการส่งผ่านแรงของฟันซี่นี้จะลดลงจากฟันซี่อื่น ๆ ในขณะที่ภาวะที่ต้องส่งผ่านยังคงเดิม คล้ายกับการเอาค้อนตีบนฟันซี่ที่แตกร้าวให้แรงขึ้น ดังนั้นเมื่อขนาดรอยแตกร้าวโตขึ้นความรุนแรงของการกระทบกันจึงมากขึ้นทำให้แอมพลิจูดของความถี่ธรรมชาติที่ถูกกระตุ้นสูงขึ้น ประกอบกับจำนวนแถบความถี่ข้างจากเฟืองขับเพิ่มขึ้นเมื่อเกิดรอยแตกร้าวและเมื่อรอยแตกร้าวยาวมากขึ้น แถบความถี่ข้างบางฮาร์มอนิกจึงไปพ้องกับความถี่ธรรมชาตินี้ทำให้เกิดการเรโซแนนซ์ขึ้น จากรูปที่ 4-20 , 4-22 และ 4-24 จะเห็นได้ว่าสามารถพิจารณาสเปกตรัมที่ 6 SBPL หรือ 166.67 Hz เป็นสเปกตรัมของความถี่ธรรมชาติแทน และมีสเปกตรัมที่ 5 SBPL และ 7 SBPL เป็นชุดแถบความถี่ข้างจากเฟืองขับรอบความถี่ธรรมชาตินี้ ซึ่งตรงกับลักษณะที่ Technical Associates of Charlotte [20] ได้เสนอไว้
- 3.2) รูปที่ 5-28 จนถึง 5-30 ที่ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าแอมพลิจูดที่ 4 SBPL 5 SBPL 10 SBPL และ 14 SBPL พบว่า
- ค่าแอมพลิจูดที่ 4 SBPL มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดของรอยแตกร้าวเฉพาะ ในรูปที่ 5-28 (ค) เท่านั้น ค่าแอมพลิจูดที่ 5 SBPL มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดของรอย

⁶ ภาพสัญญาณสเปกตรัมจากการหาความถี่ธรรมชาติของชุดทดลองแสดงไว้ในภาคผนวก ง.

แตกร้าอย่างเห็นได้ชัดเจนเมื่อวัดสัญญาณในแนวระดับทั้ง 2 ระดับภาวะ ไม่ว่าจะเก็บสัญญาณด้วยวิธีใด ยกเว้นที่ภาวะ 300 วัดต์ เก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะ กราฟความสัมพันธ์มีลักษณะเพิ่มขึ้นแล้วลดลง ดังในรูปที่ 5-30 (ค) เนื่องจากเฟืองที่มีระดับความยาวรอยแตกร้า 1.5 มม. มีค่าแอมพลิจูดสูงกว่าเฟืองตัวอื่น ๆ จึงคาดว่าพารามิเตอร์ทั้งสองนี้ไม่เหมาะสมที่จะเลือกมาใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณสเปกตรัมและขนาดของรอยแตกร้า

- แอมพลิจูดที่ 10 SBPL และ 14 SBPL มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดของรอยแตกร้าในทุกสภาวะการทดลองและการวัดสัญญาณทั้ง 2 ทิศทาง ถ้าเก็บสัญญาณด้วยการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่สามารถเห็นแนวโน้มได้ชัดเจนเมื่อวัดสัญญาณในแนวตั้งที่ภาวะ 300 วัดต์ โดยที่ 10 SBPL มีอัตราการเพิ่มขึ้นที่มากกว่า 14 SBPL ถ้าเก็บสัญญาณด้วยกระบวนการขยายความละเอียดของโดเมนความถี่สามารถเห็นแนวโน้มได้ชัดเจนเมื่อวัดสัญญาณในแนวตั้ง ทั้ง 2 ระดับภาวะ ที่ภาวะ 300 วัดต์ 10 SBPL จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นที่สูงกว่า 14 SBPL เช่นเดียวกับการเก็บสัญญาณด้วยการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่ การเก็บสัญญาณด้วยการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะเห็นแนวโน้มได้ชัดเจนทั้ง 2 ระดับภาวะ และการวัดสัญญาณทั้ง 2 ทิศทาง
- 10 SBPL ตรงกับความถี่ 213.33 Hz ซึ่งไม่ตรงกับความถี่ธรรมชาติโหมดที่มีแอมพลิจูดสูงเด่นใด ๆ จึงไม่สามารถอธิบายได้ว่าเหตุใดค่าแอมพลิจูดของ 10 SBPL จึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ในขณะที่ 14 SBPL ตรงกับความถี่ 160 Hz ซึ่งใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติโหมดเดียวกันกับที่ถูกระตุ้นในกรณีความเร็ว 500 รอบต่อนาที แต่กลับพบว่าค่าแอมพลิจูดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งสองทิศทางใกล้เคียงกันทั้ง ๆ ที่ความถี่ธรรมชาติที่ความถี่นี้ในแนวตั้งมีค่าแอมพลิจูดต่ำกว่าในแนวระดับเป็นอย่างมาก

4) แอมพลิจูดของแถบความถี่ข้างจากความถี่ของเฟืองตาม 3 ฮาร์โมนิกแรกรอบ 1xGMF

- 4.1) ในรูปที่ 5-31 จนถึง 5-36 สัญญาณที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที ค่าแอมพลิจูดของชุดแถบความถี่ข้างจากความถี่ของเฟืองตามไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อรอยแตกร้ามีความยาวเพิ่มขึ้นถือได้ว่าอยู่ในระดับคงที่ แต่สำหรับการเก็บสัญญาณด้วยการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะปรากฏว่าค่าแอมพลิจูดที่ 3 SBW ทั้งสองข้างของ 1xGMF มีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยที่ความยาวรอยแตกร้า 3.5 มม. และ 4.5 มม. ในขณะที่

1 SBW และ 2 SBW มีแอมพลิจูดคงที่ที่ระดับต่ำกว่ามาก ทั้งนี้เนื่องจากการเก็บสัญญาณด้วยการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะทำให้ได้สัญญาณสเปกตรัมที่มีเฉพาะชุดแถบความถี่ข้างจากความถี่เฟืองขับเท่านั้น แต่ทว่าความถี่ของ 3 SBW ทั้งสองด้านอยู่ใกล้กับความถี่ของ 2 SBP มาก ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 5-1 ประกอบกับการใช้ฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักแบบแฮนนิ่งที่มี Noise Bandwidth เท่ากับ $1.5 \Delta f$ จึงมีการรั่วของสเปกตรัมที่ความถี่ 2 SBP มายังเส้นสเปกตรัมที่กำหนดให้เป็นตัวแทนของ 3 SBW

- 4.2) ในรูปที่ 5-37 จนถึง 5-42 สัญญาณที่ความเร็ว 800 รอบต่ออนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่ และกระบวนการขยายความละเอียดของโดเมนความถี่สามารถเห็นแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของค่าแอมพลิจูดที่ 1 SBWL ในสัญญาณที่วัดทั้ง 2 ทิศทาง สำหรับกรณีภาระ 300 วัตต์ เมื่อพิจารณาภาพสัญญาณในรูปที่ 4-26 ถึง 4-29 พบว่าไม่ปรากฏยอดสเปกตรัมที่เป็นแถบความถี่ข้าง 1 SBWL แต่มีลักษณะเป็นสัญญาณรบกวนช่วงความถี่กว้าง แอมพลิจูดที่เพิ่มขึ้นจึงเป็นผลมาจากการเพิ่มขนาดของสัญญาณรบกวนนี้ที่ความถี่ดังกล่าว การเพิ่มขึ้นของขนาดสัญญาณรบกวนนี้อาจจะเนื่องมาจาก $1 \times \text{GMF}$ มีความถี่ใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติใหม่ที่มีความถี่ประมาณ 330-338 Hz ซึ่งมีแอมพลิจูดสูงเด่นในแนวตั้งมากกว่าในแนวระดับ

สรุปได้ว่าปัญหาเรื่องการแตกร้าวของฟันเฟืองไม่สามารถวิเคราะห์แอมพลิจูดของ GMF เพื่อบ่งชี้ถึงความรุนแรงของปัญหาได้ ต้องอาศัยการพิจารณารูปแบบการเกิดชุดแถบความถี่ข้างประกอบ โดยสามารถสังเกตพบชุดแถบความถี่ข้างจากความถี่ของเฟืองตัวที่มีปัญหาได้ชัดเจน ถ้าความละเอียดของเส้นสเปกตรัมไม่เพียงพอต่อการแยกแยะแถบความถี่ข้างจากความถี่เฟืองแต่ละตัวออกจากกันได้ ควรใช้กระบวนการขยายความละเอียดของโดเมนความถี่เข้าช่วย ซึ่งนอกจากจะแยกแยะแถบความถี่ข้างได้ง่ายขึ้นแล้วยังช่วยให้สามารถเห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดได้ดีกว่าการเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่ ชุดแถบความถี่ข้างเหล่านี้เกิดขึ้นเนื่องจากการมอดูเลตสัญญาณที่มีความถี่ GMF ทั้งทางแอมพลิจูดและทางความถี่ด้วยสัญญาณที่มีความถี่เท่ากับความถี่ของเฟืองตัวที่มีปัญหา ซึ่งในการวิจัยนี้คือเฟืองขับ การพิจารณาค่าแอมพลิจูดของแถบความถี่ข้าง 3 ฮาร์มอนิกแรกรอบ $1 \times \text{GMF}$ ซึ่งสัมพันธ์กับการมอดูเลตทางแอมพลิจูดพบว่าการเปลี่ยนแปลงไม่มากเมื่อขนาดของรอยแตกร้าวเพิ่มขึ้น โดยในการวิจัยนี้พบการเปลี่ยนแปลงค่าแอมพลิจูดที่ 2 SBPL มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ เมื่อขนาดของรอยแตกร้าวเพิ่มขึ้นสามารถสังเกตเห็นแถบความถี่ข้างที่ฮาร์มอนิกสูง ๆ ชัดเจนขึ้น คาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากการมอดูเลตทางความถี่ที่เพิ่มขึ้นทำให้จำนวนฮาร์มอนิกของชุดแถบความถี่ข้าง

เพิ่มขึ้น บางฮาร์โมนิกของแถบความถี่ข้างที่เพิ่มขึ้นนี้ก็อาจจะไปตรงหรือใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของชุดทดลอง ซึ่งที่ความถี่นี้มีแอมพลิจูดที่สูงขึ้นอย่างชัดเจนตามขนาดรอยแตกร้าวที่เพิ่มขึ้น สำหรับในงานวิจัยนี้ ที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที สเปกตรัมที่ 6 SBPL มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าแอมพลิจูดมากที่สุด ในขณะที่ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที สเปกตรัมที่ 10 SBPL และ 14SBPL มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าแอมพลิจูดมากที่สุด แม้ว่าที่ 10 SBPL จะไม่ตรงกับความถี่ธรรมชาติที่มีแอมพลิจูดสูงเด่นใด ๆ ก็ตาม ดังนั้นในการเฝ้าตรวจการสั่นสะเทือนของชุดเฟืองจึงควรทำการหาความถี่ธรรมชาติก่อนทุกครั้ง ถ้าเครื่องวิเคราะห์สัญญาณสามารถเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะได้จะสามารถลดสัญญาณรบกวนลงได้เป็นอันมาก ซึ่งที่บางความเร็วรอบหมุนการสั่นสะเทือนของชุดเฟืองอาจทำให้สัญญาณรบกวนช่วงความถี่กว้างมีขนาดสูงจนบดบังชุดแถบความถี่ข้างได้ นอกจากนี้ยังสามารถขจัดชุดแถบความถี่ข้างจากความถี่เฟืองตัวอื่น ๆ ที่ไม่ใช่เฟืองที่อยู่บนเพลลาเดียวกันกับเพลลาที่ติดตั้งแทกโคมิเตอร์ออกไปได้ ดังนั้นการเฝ้าตรวจสภาพในทางปฏิบัติจึงต้องตั้งค่าค่านวนให้สัญญาณทริกเกอร์มีความถี่ตรงกับการหมุนของเพลลาอื่น ๆ ด้วย เนื่องจากยังไม่ทราบว่าเฟืองที่มีปัญหาคือเฟืองตัวใด

ในการวิจัยนี้ ที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที สามารถสังเกตเห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณสเปกตรัมตามขนาดของรอยแตกร้าวได้ดีกว่าที่ความเร็ว 800 รอบต่อนาที คงเป็นเพราะว่าความเร็วที่เพิ่มขึ้นทำให้การกระแทกของคู่ฟันเฟืองรุนแรงขึ้นเนื่องจากโมเมนต์ที่เพิ่มขึ้น การกระแทกที่รุนแรงกว่าจึงกระตุ้นสัญญาณรบกวนช่วงความถี่กว้างให้มีแอมพลิจูดสูงกว่าจนบดบังชุดแถบความถี่ข้าง ประกอบกับชุดทดลองที่ใช้วิจัยไม่มีการใช้สารหล่อลื่นในขณะที่ชุดเฟืองที่ใช้งานจริงมีการใช้สารหล่อลื่นเพื่อลดอัตราการสึกหรอ สัญญาณรบกวนช่วงความถี่กว้างนี้จึงน่าจะสามารถถูกลดขนาดลงได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5 – 3 สัญญาณเซปส์ตรัม

พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ คือ

- 1) เกมมิจูตของ 1/P 2/P และ 3/P คือ ค่าเกมมิจูตของยอดดส์สัญญาณเซปส์ตรัมที่คิวเฟรนซีเท่ากับ 1/(ความถี่เฟืองขับ) และ รัศมีมอริกที่ 2 และ 3 ตามลำดับ
- 2) เกมมิจูตของ 1/W คือ ค่าเกมมิจูตของยอดดส์สัญญาณเซปส์ตรัมที่คิวเฟรนซีเท่ากับ 1/(ความถี่เฟืองตาม)

คิวเฟรนซีของพารามิเตอร์แต่ละตัวได้แสดงไว้แล้วในตารางที่ 4-9 เนื่องจากความละเอียดของเซปส์ตรัมค่อนข้างมากและพารามิเตอร์แต่ละตัวอยู่ห่างกันสำหรับการเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่และการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะ จึงไม่ประสบปัญหาในการเลือกคิวเฟรนซีของพารามิเตอร์แต่ละตัว ในขณะที่การเก็บสัญญาณด้วยกระบวนการขยายความละเอียดของโดเมนความถี่ทำให้พิสัยของคิวเฟรนซีเพิ่มขึ้น 4 เท่า ความละเอียดของคิวเฟรนซีจึงลดลงและทำให้เกิดการรั่วของสัญญาณที่คิวเฟรนซีใกล้เคียงเข้ามาในคิวเฟรนซีของพารามิเตอร์ที่ต้องการวิเคราะห์ จึงเลือกใช้ค่าเกมมิจูตที่สูงที่สุดระหว่าง 2 จุดข้อมูลรอบ ๆ คิวเฟรนซีของแต่ละพารามิเตอร์

ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์แต่ละตัวและความยาวรอยแตกกว้างของฟันเฟือง ใช้ค่าเฉลี่ยของแต่ละพารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดสัญญาณ 5 ครั้งในแต่ละความยาวรอยแตกกว้าง แล้วหาความสัมพันธ์ด้วยวิธีการถดถอยเชิงพหุนามกำลังสอง แต่ละความยาวรอยแตกกว้างแสดงค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ ค่ามากที่สุด และค่าน้อยที่สุด เส้นกราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่มีต่อความยาวรอยแตกกว้างของฟันเฟือง

พารามิเตอร์ 1/P และรัศมีมอริก มีความสัมพันธ์กับชุดแถบความถี่ข้างจากความถี่เฟืองขับ ซึ่งเป็นเฟืองตัวที่ได้จำลองรอยแตกกว้างไว้จึงน่าจะมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของเกมมิจูตตามขนาดของรอยแตกกว้าง ในขณะที่พารามิเตอร์ 1/W ไม่น่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของเกมมิจูต แต่จากการศึกษาแบบจำลองคณิตศาสตร์ของสมชาย [6] พบว่า ถ้าการมอดูเลตทางแอมพลิจูดด้วยฟังก์ชันที่มีความถี่เท่ากับความถี่ของเฟืองขับมีขนาดมากขึ้น ในขณะที่การมอดูเลตทางแอมพลิจูดด้วยฟังก์ชันที่มีความถี่เท่ากับความถี่ของเฟืองตามมีขนาดเท่าเดิม จะทำให้เกมมิจูตของ 1/P เพิ่มขึ้นในขณะที่เกมมิจูตของ 1/W ลดลง แต่ถ้าเป็นการมอดูเลตทางความถี่ไม่ว่าจะด้วยฟังก์ชันที่มีความถี่ใดก็ตามเกมมิจูตของทั้ง 1/P และ 1/W จะลดลงเมื่อขนาดของการมอดูเลตเพิ่มขึ้น

5-3-1 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเซปส์ตรีมและความยาวรอยแตกร้าวของพื้นเพ็อง

ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเซปส์ตรีมและความยาวรอยแตกร้าวของพื้นเพ็องในแต่ละรูปประกอบด้วย 4 รูปย่อย ตามระดับภาระและทิศทางการวัดสัญญาณ โดยในแต่ละรูปย่อยเปรียบเทียบพารามิเตอร์ 1/P , 2/P , 3/P และ 1/W สัญญาณที่เก็บด้วยการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่และกระบวนการขยายความละเอียดของโดเมนความถี่แสดงด้วยค่าแกมมาสูงสุด 4 dB ในขณะที่สัญญาณที่เก็บด้วยการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะแสดงด้วยค่าแกมมาสูงสุด 8 dB รูปความสัมพันธ์เรียงตามลำดับดังต่อไปนี้

รูปที่ 5-43 : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

รูปที่ 5-44 : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

รูปที่ 5-45 : ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

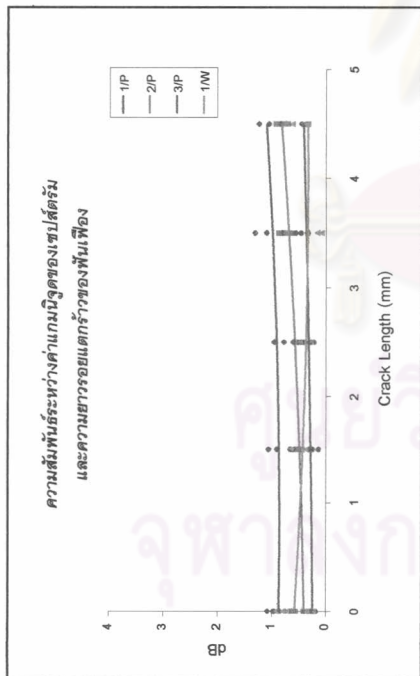
รูปที่ 5-46 : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

รูปที่ 5-47 : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing

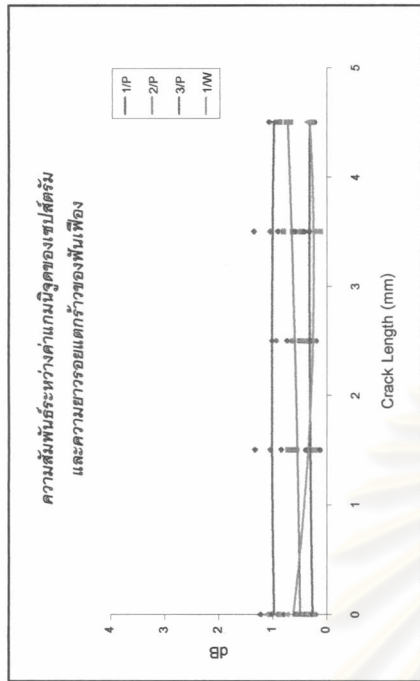
รูปที่ 5-48 : ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาระ 150 วัตต์

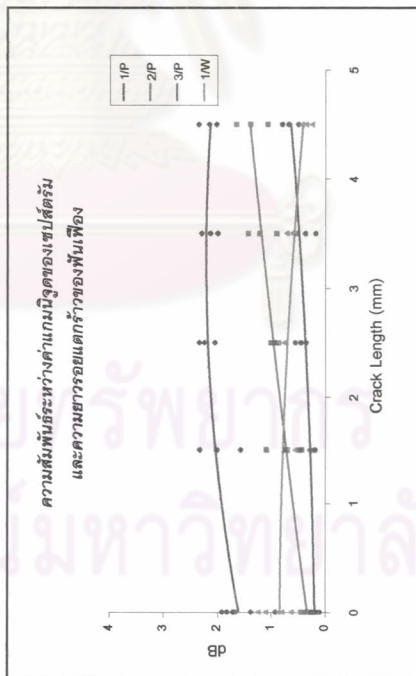


(ก) วัดสัญญาณแนวระดับ

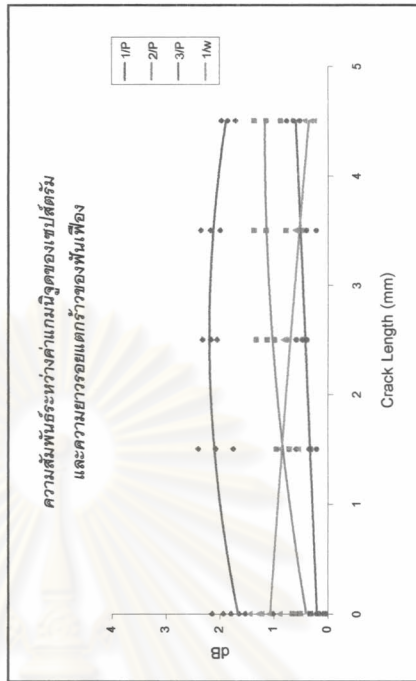


(ข) วัดสัญญาณแนวตั้ง

ภาระ 300 วัตต์



(ค) วัดสัญญาณแนวระดับ

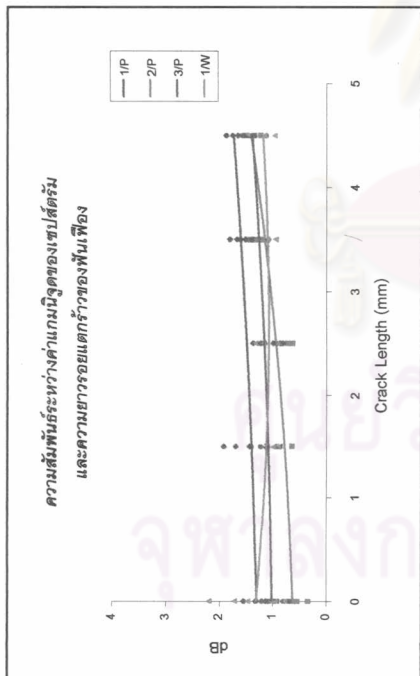


(ง) วัดสัญญาณแนวตั้ง

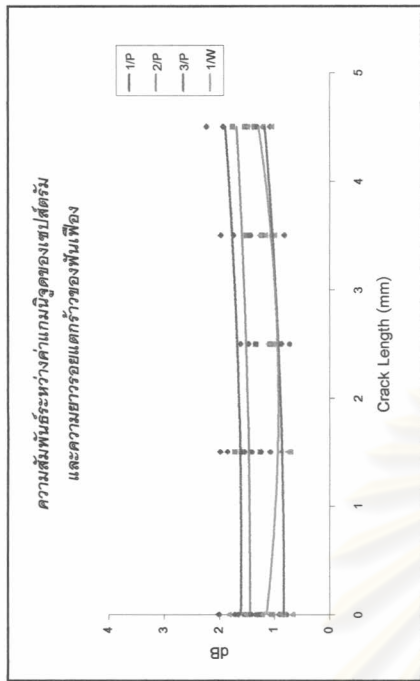
รูปที่ 5-43 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของเซปัสตรีม และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพ็อง

: ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

ภาวะ 150 วัดต์

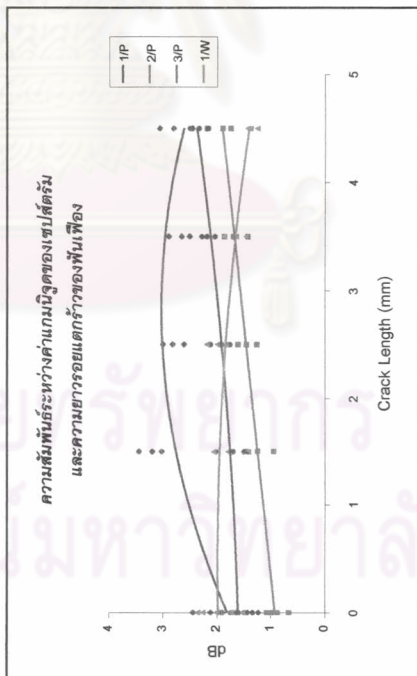


(ก) วัดสัญญาณแรงระดับ

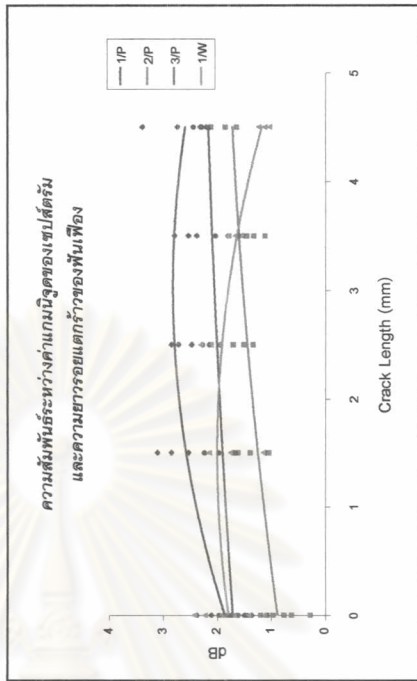


(ข) วัดสัญญาณแรงดึง

ภาวะ 300 วัดต์



(ค) วัดสัญญาณแรงระดับ

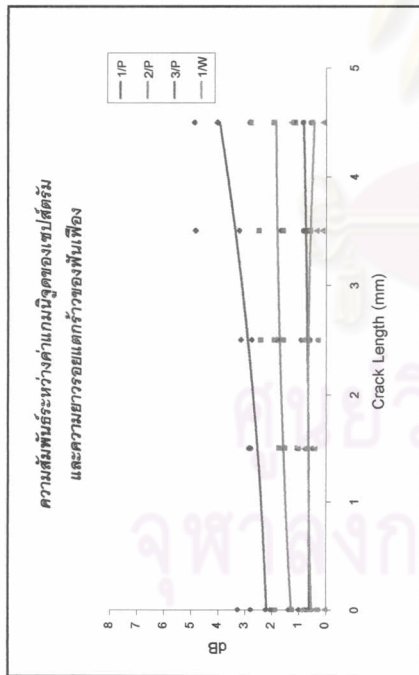


(ง) วัดสัญญาณแรงดึง

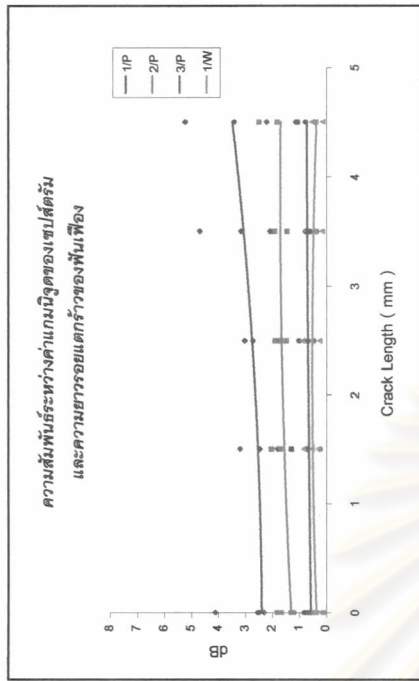
รูปที่ 5-44 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแกมมาจุดของเซปัสต์รั้มและความยาวรอยแตกกว้างของพื้นผิว

: ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing รอบ 1xGMF

ภาวะ 150 วัตต์

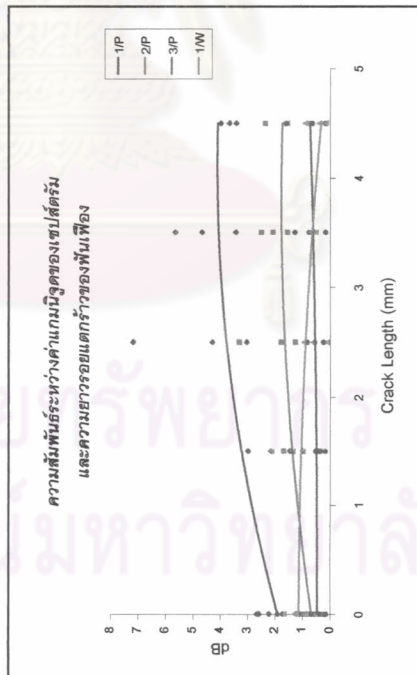


(ก) วัดสัญญาณแนวระดับ

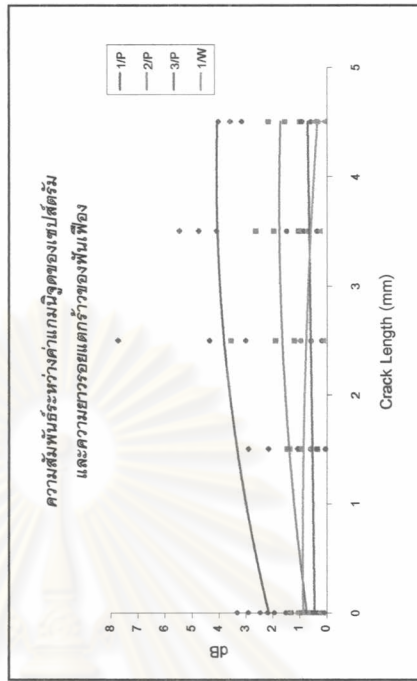


(ข) วัดสัญญาณแนวตั้ง

ภาวะ 300 วัตต์



(ค) วัดสัญญาณแนวระดับ

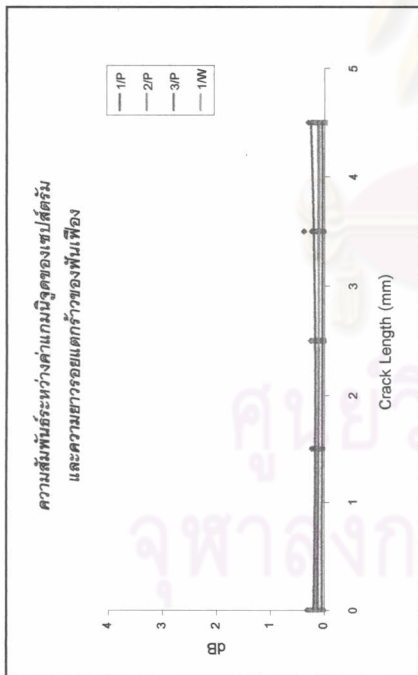


(ง) วัดสัญญาณแนวตั้ง

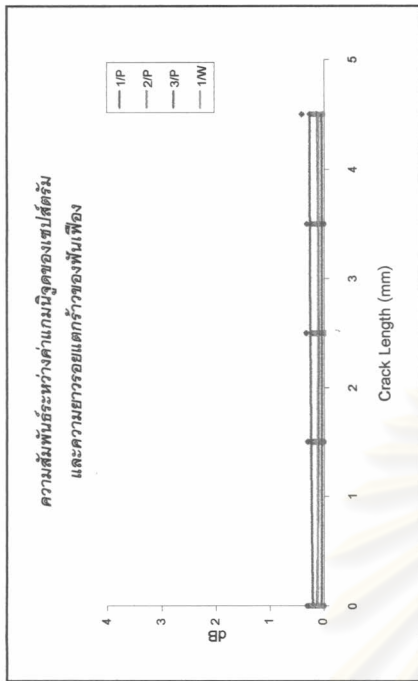
รูปที่ 5-45 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของเซปัสต์รั่มและความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพ็อง

: ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

ภาวะ 150 วัดด้

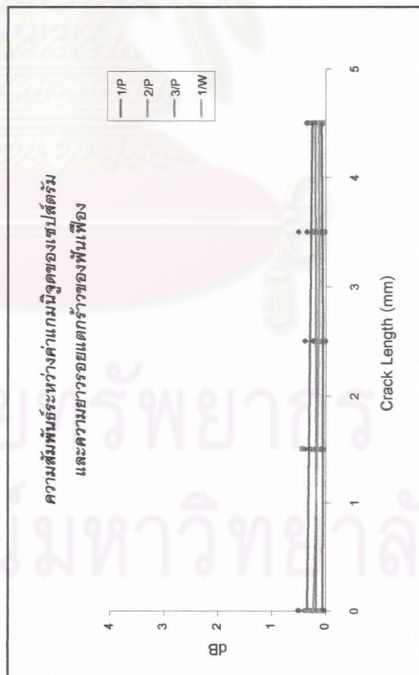


(ก) วัดสัญญาณแนวระดับ

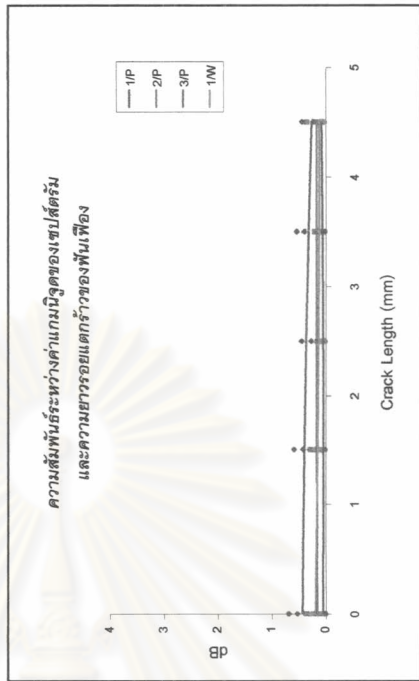


(ข) วัดสัญญาณแนวตั้ง

ภาวะ 300 วัดด้



(ค) วัดสัญญาณแนวระดับ

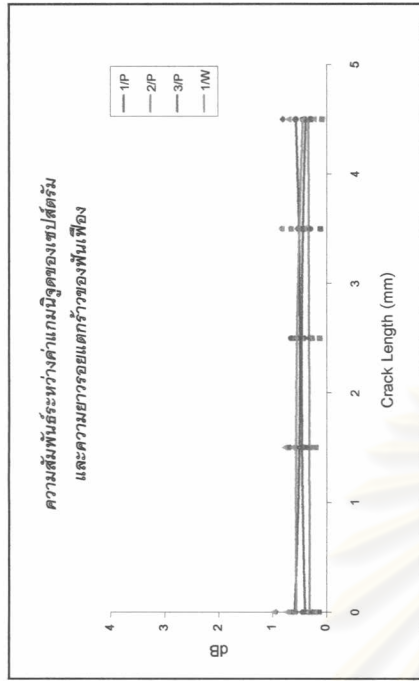
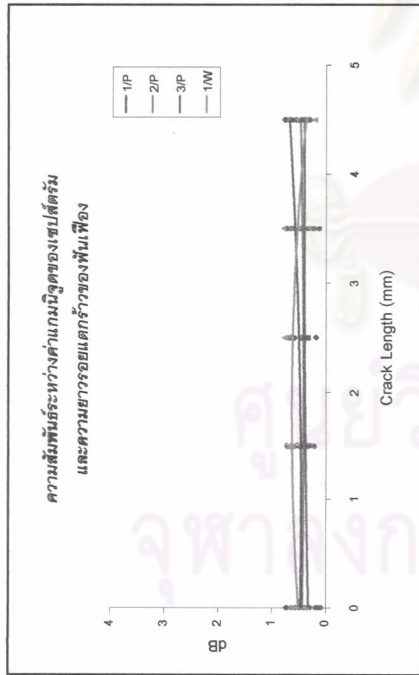


(ง) วัดสัญญาณแนวตั้ง

รูปที่ 5-46 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของซปัสตรัมและความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพื่อ

: ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Spectrum Averaging

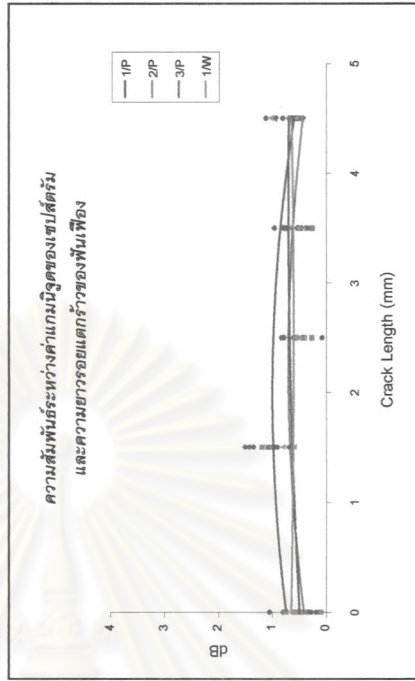
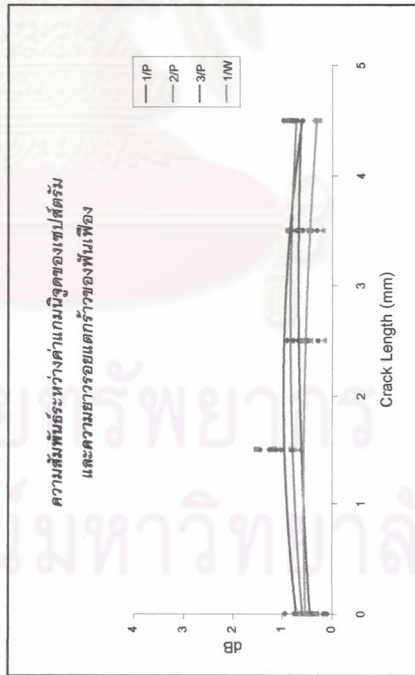
ภาระ 150 วัตต์



(ก) วัดสัญญาณแรงระดับ

(ข) วัดสัญญาณแรงดึง

ภาระ 300 วัตต์



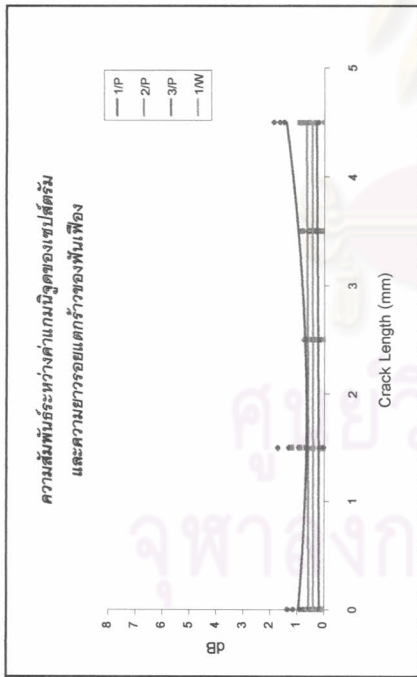
(ค) วัดสัญญาณแรงระดับ

(ง) วัดสัญญาณแรงดึง

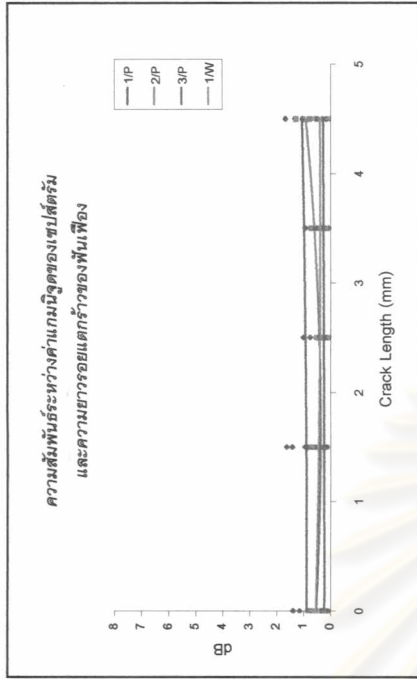
รูปที่ 5-47 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแกมมาจุดของเซปัสต์รั้ม

: ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Zoom Processing รอบ 1xGMF

ภาระ 150 วัตต์

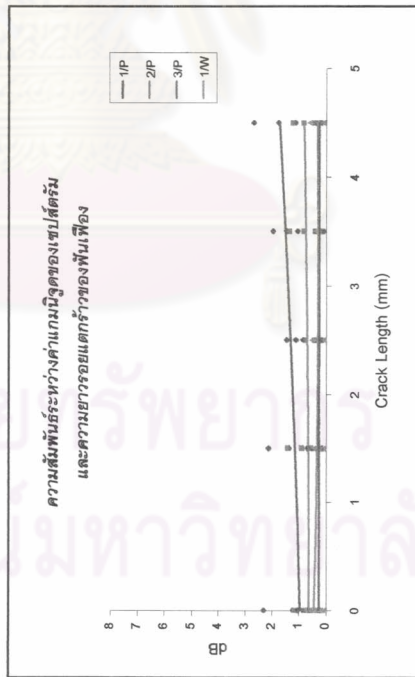


(ก) วัดสัญญาณแรงระดับ

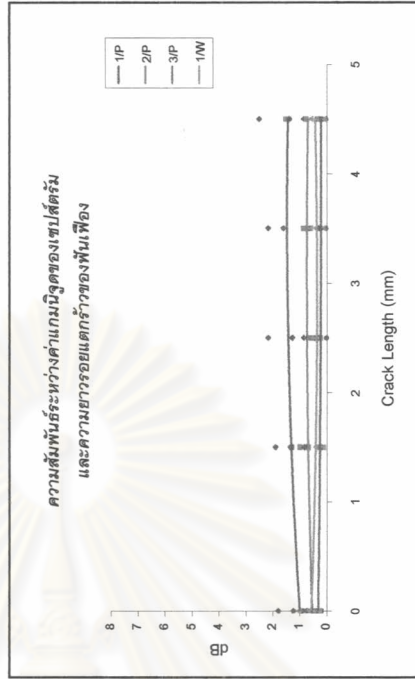


(ข) วัดสัญญาณแนวตั้ง

ภาระ 300 วัตต์



(ค) วัดสัญญาณแรงระดับ



(ง) วัดสัญญาณแนวตั้ง

รูปที่ 5-48 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดของเซปัสต์รึม และความยาวรอยแตกกว้างของพื้นเพื่อ

: ความเร็ว 800 รอบต่อวินาที เก็บสัญญาณด้วยวิธี Synchronous Time Averaging

5-3-2 ผลและการวิเคราะห์หัตถ์สัญญาณเซปส์ตรัม

- 1) การวัดสัญญาณที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที แกมมนิจจุดของแต่ละพารามิเตอร์มีขนาดสูงกว่าที่ความเร็ว 800 รอบต่อนาที และสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนกว่า แต่เมื่อพิจารณาที่ความเร็ว 800 รอบต่อนาที การเก็บสัญญาณด้วยการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่ที่แทบไม่พบยอดเซปส์ตรัมของพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ สอดคล้องกับลักษณะสัญญาณสเปกตรัมที่มีสัญญาณรบกวนช่วงความถี่กว้างบดบังจนไม่สามารถสังเกตเห็นชุดแถบความถี่ข้างได้ การเก็บสัญญาณด้วยกระบวนการขยายความละเอียดของโดเมนความถี่ พบว่าค่าแกมมนิจจุดของแต่ละพารามิเตอร์สูงขึ้นกว่าสัญญาณที่เก็บด้วยการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่ แต่ก็ยังมีแนวโน้มคงที่เมื่อความยาวรอยแตกกว้างเพิ่มขึ้น จากรูปที่ 4-40 และ 4-41 สามารถสังเกตเห็นยอดเซปส์ตรัมที่คิวเฟรนซี 1/P และราล์มอนิกได้เฉพาะกรณีความยาวรอยแตกกว้าง 1.5 มม. และ 4.5 มม. เท่านั้น เมื่อทำการเก็บสัญญาณด้วยการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะสามารถช่วยให้เห็นยอดเซปส์ตรัมที่คิวเฟรนซี 1/P ได้ชัดเจนขึ้นและมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามขนาดของรอยแตกกว้างสำหรับการวัดสัญญาณในแนวระดับ
- 2) ในรูปที่ 5-43 การวัดสัญญาณที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที ด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงค่าของแกมมนิจจุดได้เมื่อทดลองที่ระดับภาระ 300 วัตต์ โดยสัญญาณที่วัดจากทั้ง 2 ทิศทางมีแนวโน้มที่เหมือนกันและมีค่าใกล้เคียงกัน
 - 2.1) ค่าแกมมนิจจุดที่ 1/P มีค่าสูงกว่าพารามิเตอร์อื่น ๆ รวมทั้ง 1/W แม้ว่าเมื่อยังไม่มีรอยแตกกว้าง แสดงให้เห็นถึงขนาดการมอดูเลตด้วยสัญญาณที่มีความถี่เท่ากับเฟืองขับมีมากกว่าเฟืองตาม เมื่อขนาดรอยแตกกว้างโตขึ้น ค่าของ 1/P เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น ประมาณ 0.5 dB โดยมีค่าสูงสุดที่ความยาวรอยแตกกว้าง 2.5 มม. จากนั้นมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยโดยยังมีแกมมนิจจุดที่ความยาวรอยแตกกว้าง 4.5 มม. สูงกว่าเมื่อยังไม่มีรอยแตกกว้าง คาดว่าการเพิ่มขึ้นของแกมมนิจจุดที่ 1/P ในช่วงแรกน่าจะเพราะขนาดของการมอดูเลตทางแอมพลิจูดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อรอยแตกกว้างมีขนาดโตมากขึ้นทำให้ขณะฟันซี่ที่แตกกว้างนี้ขบกันมีระยะพิตช์เปลี่ยนไปเนื่องจากการโค้งตัวที่มากกว่าฟันซี่อื่น ๆ ประกอบกับฟันซี่ที่มีรอยแตกกว้างยาว 3.5 มม. และ 4.5 มม. มีการโย้ไปจากตำแหน่งปรกติจึงทำให้ระยะพิตช์ที่วัดจากฟันซี่ก่อนหน้ายาวมากขึ้น แต่ระยะพิตช์ที่วัดจากฟันซี่ที่แตกกว้างไปยังฟันซี่ถัดไปสั้นลง ระยะพิตช์ที่เปลี่ยนไปนี้จึงทำให้ขนาดการมอดูเลตทางความถี่มากขึ้น ค่าแกมมนิจจุดของ 1/P จึงลดลง [6]

- 2.2) เกมนิจุดของ 2/P และ 3/P มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามขนาดรอยแตกร้าว โดยที่ขณะเมื่อยังไม่มีรอยแตกร้าวเกมนิจุดมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ 2/P มีอัตราการเพิ่มขึ้นที่มากกว่า คาดว่าเกมนิจุดที่ทั้ง 2 ราช์มอนิกนี้น่าจะเป็นผลมาจากการมอดูเลตทางแอมพลิจูดเป็นส่วนใหญ่มากกว่าที่จะเป็นการมอดูเลตทางความถี่
- 2.3) เกมนิจุดของ 1/W มีการลดลงอย่างต่อเนื่อง คาดว่าเนื่องมาจากขนาดการมอดูเลตทางแอมพลิจูดจากความถี่เพียงขับเพิ่มขึ้นในขณะที่การมอดูเลตทางแอมพลิจูดจากความถี่เพียงตามคงที่ ประกอบกับการมอดูเลตทางความถี่ที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากระยะพิตช์ที่เปลี่ยนไปรอบ ๆ พันซีที่แตกร้าว
- 3) ในรูปที่ 5-44 การวัดสัญญาณที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที ด้วยกระบวนการขยายความละเอียดของโดเมนความถี่ ทำให้ได้เกมนิจุดของพารามิเตอร์เกือบทุกตัวมีค่าสูงกว่าการเก็บสัญญาณด้วยการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่ ยกเว้น 1/P ที่ภาวะ 300 วัตต์ที่มีเกมนิจุดใกล้เคียงกัน คาดว่าเป็นเพราะการเลือกวิเคราะห์สัญญาณสเปกตรัมในช่วงความถี่ 200 Hz รอบ 1xGMF ซึ่งทำให้เห็นลักษณะความเป็นคาบของชุดแถบความถี่ข้างได้ชัดเจน พารามิเตอร์ทุกตัวที่ภาวะ 300 วัตต์นี้ยังมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่ และ 1/P ยังมีเกมนิจุดสูงขึ้นในอัตราที่มากกว่า ที่ขนาดความยาวรอยแตกร้าว 2.5 มม. แต่พบว่าเกมนิจุดของ 3/P กลับสูงกว่า 2/P แม้ว่าเมื่อยังไม่มีรอยแตกร้าวก็ตาม นอกจากนี้ยังสามารถสังเกตเห็นแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของเกมนิจุด 1/P และ 2/P สำหรับภาวะ 150 วัตต์เมื่อวัดสัญญาณแนวระดับได้
- 4) ในรูปที่ 5-45 การวัดสัญญาณที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที ด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะ ในแต่ละระดับภาวะมีลักษณะแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าเกมนิจุดของแต่ละพารามิเตอร์สำหรับการวัดสัญญาณทั้ง 2 ทิศทางเหมือนกัน ค่าเกมนิจุดของ 1/P และ 2/P สูงกว่าการเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่
- 4.1) เกมนิจุดของ 1/P มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนทั้ง 2 ระดับภาวะ โดยที่ภาวะ 300 วัตต์ มีอัตราการเพิ่มขึ้นในช่วงความยาวรอยแตกร้าว 2.5 มม. แรกมากกว่าที่ 3.5 มม. และ 4.5 มม. ในขณะที่ภาวะ 150 วัตต์ มีอัตราการเพิ่มขึ้นในช่วงความยาวรอยแตกร้าว 2.5 มม. แรกน้อยกว่าที่ 3.5 มม. และ 4.5 มม.

- 4.2) ที่ภาวะ 300 วัตต์ เกมมิจุดของ 2/P มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยและมีลักษณะแนวโน้มที่คล้าย 1/P ส่วนเกมมิจุดของ 3/P มีแนวโน้มที่คงที่ ในขณะที่ภาวะ 150 วัตต์ เกมมิจุดของทั้ง 2/P และ 3/P มีแนวโน้มคงที่
- 4.3) ที่ภาวะ 300 วัตต์ เกมมิจุดของ 1/W มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ภาวะ 150 วัตต์ เกมมิจุดของ 1/W มีแนวโน้มคงที่ สำหรับการวัดสัญญาณทั้ง 2 ทิศทาง

การเก็บสัญญาณที่สภาวะความเร็ว 500 รอบต่อนาที ภาวะ 300 วัตต์ สามารถสังเกตเห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้วิเคราะห์สัญญาณเซปส์ตรัมได้ดีที่สุด คาดว่าถ้านำชุดเฟืองทดสอบไปใช้ภายใต้สภาวะการทำงานที่ระดับภาวะจริงตามทีออกแบบไว้ น่าจะเห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเกมมิจุดของพารามิเตอร์ได้ชัดเจนขึ้น ในขณะที่ความเร็ว 800 รอบต่อนาทีปรากฏสัญญาณรบกวนช่วงความถี่กว้างในสัญญาณสเปกตรัมบดบังชุดแถบความถี่ข้างจึงแทบไม่ปรากฏยอดสัญญาณเซปส์ตรัมของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์แนวโน้มได้ เมื่อเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะซึ่งช่วยลดขนาดของสัญญาณรบกวนช่วงความถี่กว้างลงไปได้บ้าง จึงสามารถช่วยให้เห็นยอดเซปส์ตรัมที่คิวเพอร์ซี 1/P ได้ชัดเจนขึ้นและมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามขนาดของรอยแตกร้าว คาดว่าถ้าทำการตรวจสอบชุดเฟืองที่มีการใช้สารหล่อลื่นน่าจะช่วยให้แต่ละพารามิเตอร์ในสัญญาณเซปส์ตรัมที่ความเร็ว 800 รอบต่อนาทีมีค่าเกมมิจุดที่สูงขึ้น และสามารถเห็นแนวโน้มความเปลี่ยนแปลงตามขนาดของรอยแตกร้าวที่ชัดเจนขึ้น เพราะความรุนแรงของการกระทบกันของคู่ฟันที่ขบกันจะลดลง น่าจะทำให้สัญญาณรบกวนช่วงความถี่กว้างที่มีแอมพลิจูดสูงบดบังชุดแถบความถี่ข้างลดขนาดลงได้

พารามิเตอร์ที่น่าจะนำไปใช้เฝ้าตรวจการสิ้นเสเทียนของชุดเฟืองสำหรับปัญหาการแตกร้าวได้คือ 1/P และ 1/W ในขั้นต้นที่ยังไม่ทราบว่าเป็นตัวใดมีปัญหาเกิดขึ้นสามารถใช้การสังเกตแนวโน้มของพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัว พารามิเตอร์ตัวใดมีเกมมิจุดที่สูงขึ้นแสดงว่าปัญหาเกิดขึ้นกับเฟืองตัวที่เกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์ตัวนั้น ในขณะที่พารามิเตอร์อีกตัวที่มีเกมมิจุดลดลงช่วยยืนยันความถูกต้องของการทำนาย โดยเกมมิจุดที่มีแนวโน้มสูงขึ้นตามขนาดของรอยแตกร้าวมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงความยาวรอยแตกร้าวระดับหนึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นอาจจะลดลงหรือมีแนวโน้มที่จะลดค่าเกมมิจุดลง คาดว่าเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนของระยะพิชท์ที่เพิ่มขึ้นทำให้การมอดูเลตทางความถี่มีขนาดมากขึ้น ซึ่งน่าจะใช้เป็นจุดสังเกตที่มีความสัมพันธ์กับความยาวรอยแตกร้าวได้ สำหรับในการวิจัยนี้คือรอยแตกร้าวยาว 2.5 ม.ม. เมื่อเปรียบเทียบกับค่า Kurtosis ที่ใช้ค่า 3 เป็นจุดสังเกต สำหรับในการวิจัยนี้รอยแตกร้าวยาว 3.5 ม.ม. จึงจะมีค่า

เกิน 3 และต้องทำการเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะซึ่งเครื่องวิเคราะห์สัญญาณส่วนใหญ่ไม่สามารถทำได้ จะเห็นได้ว่าเซปส์ตรัมสามารถเตือนให้ทราบได้เร็วกว่าการใช้ค่า Kurtosis โดยที่ไม่ต้องทำการเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะ แต่เป็นการดีที่สุดที่จะทำการเก็บสัญญาณด้วยกระบวนการขยายความละเอียดของโดเมนความถี่ควบคู่ไปกับการเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่ เพราะนอกจากจะได้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าแอมพลิจูดของพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์สัญญาณเซปส์ตรัมได้ชัดเจนแล้ว ยังช่วยให้การวิเคราะห์ชุดแถบความถี่ข้างในสัญญาณสเปกตรัมทำได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตามแม้ว่าสัญญาณเซปส์ตรัมจะช่วยให้วิเคราะห์ปัญหาที่เกี่ยวกับการมอดูเลตสัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดเฟืองได้ง่ายขึ้นเพราะลดพารามิเตอร์หลัก ๆ ที่ใช้พิจารณาให้เหลือเพียง 2 ตัวเท่านั้น แต่การจะระบุว่าปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นการแตกร้าวของฟันเฟืองคงทำไม่ได้ด้วยการวิเคราะห์สัญญาณเซปส์ตรัมเพียงอย่างเดียว ควรทำการสังเกตรูปแบบของสัญญาณบนโดเมนเวลา สังเกตการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดและรูปแบบการเพิ่มจำนวนขึ้นของชุดแถบความถี่ข้างรอบ $1 \times \text{GMF}$ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของความถี่ธรรมชาติและชุดแถบความถี่ข้างรอบความถี่ธรรมชาตินี้ น่าจะช่วยระบุได้ว่าเป็นปัญหาการแตกร้าวของฟันเฟือง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย