บทที่ 4

การทดสอบและผลการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลที่ได้จากการจำแนกความเสียหาย การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนจากการทดลอง ซึ่งจะประกอบไปด้วย การเปรียบเทียบระดับการสั่นสะเทือนของตลับลูกปืน Class ต่างๆ การวิเคราะห์ใน Time Domain และ Spectrums Domain การประเมินอายุการใช้งาน ผลการทดลองและวิจารณ์ผล ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการทดลองกับตลับลูกปืนจริง และผลที่ได้จากการออกแบบและคำนวณหาขนาดชิ้นส่วนในการสร้างเครื่องทดสอบลูกปืน

4.1 การจำแนกและวิเคราะห์ความเสียหายเพื่อประเมินหาอายุการใช้งานของตลับลูกปืน

4.1.1 การจำแนกตลับลูกปืน

จากการศึกษาตลับลูกปืนที่ผ่านการใช้งานมาแล้วและถึงระยะเวลาทำการบำรุงรักษาตามกำหนดของผู้ผลิต พบว่าสามารถที่จะแบ่งระดับของความเสียหายออกได้โดยอาศัยการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความเสียหายที่เกิดขึ้นบนหน้าสัมผัสตลับลูกปืนต่อพื้นที่ผิวที่รับภาระทั้งหมด สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ระดับคือระดับ A, B และ C โดยระดับ A ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความเสียหายต่อพื้นที่ผิวที่รับภาระอยู่ที่ 1-15% จะมีอายุการใช้งานได้อีกประมาณ 300,000-500,000 กิโลเมตร ระดับ B ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความเสียหายอยู่ที่ 15-30% จะมีอายุการใช้งานได้อีกประมาณ 200,000-300,000 กิโลเมตร และระดับ C ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความเสียหาย 30-50% จะมีอายุการใช้งานค่อนข้างน้อยจึงไม่นำไปใช้งานเนื่องจากไม่คุ้มค่ากับการบำรุงรักษา ตารางที่ 2 แสดงอายุการใช้งานที่เหลืออยู่หลังจากผ่านการบำรุงรักษา โดยในตารางนั้นจะบอกถึงอายุการใช้งานเป็นปี หรือระยะทางที่ใช้ได้อีกซึ่งเทียบมาจากใน 1 ปีรถไฟฟ้านั้นจะวิ่งได้ระยะทางประมาณ 100,000 กิโลเมตร

ตารางที่ 2 แสดงอายุการใช้งานที่เหลืออยู่หรือระยะทางที่ใช้ได้อีกหลังจากผ่านการบำรุงรักษา

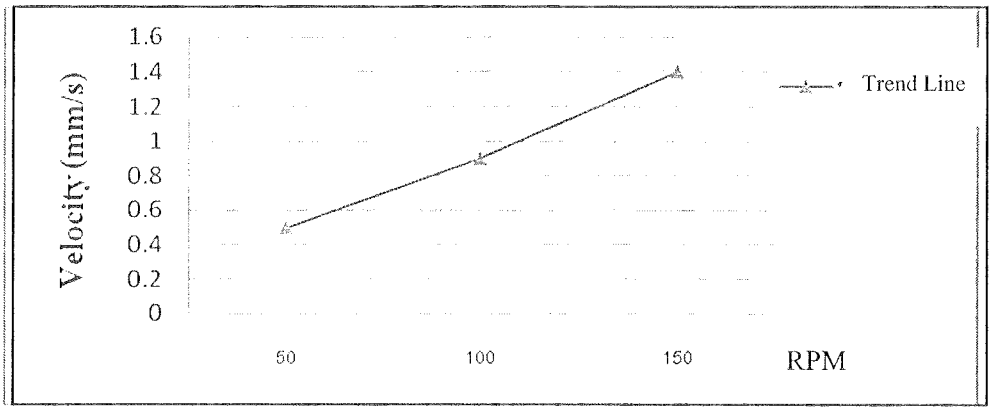
ระดับ (Class)	การใช้งานหลังจากผ่านการบำรุงรักษา	
	อายุการใช้งานที่เหลืออยู่ (ปี)	ระยะทางที่ใช้ได้อีก (กิโลเมตร)
A	3-5 ปี	300,000-500,000 km
B	2-3 ปี	200,000-300,000 km
C	ไม่แนะนำให้ใช้งาน	

4.1.2 ผลจากการวัดการสั่นสะเทือน

ในการวัดการสั่นสะเทือนนั้นได้มีการทดลองและวัดค่าตัวแปรต่างๆ ที่จะใช้ในการวิเคราะห์ความเสียหาย และอายุการใช้งานของตลับผู้ลูกปืน ดังนี้

1. ความเร็วรอบ

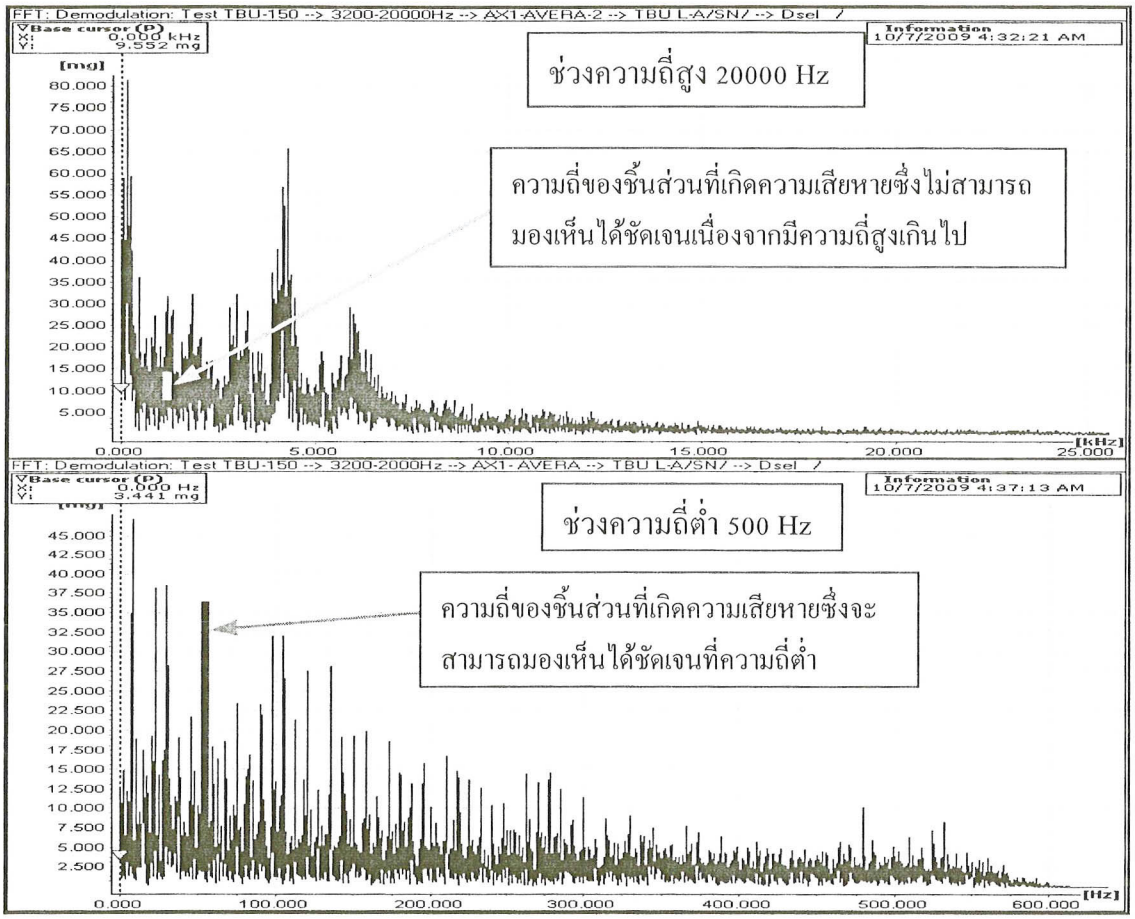
สำหรับความเร็วรอบที่ใช้ในการวัดนั้นมีอยู่ 3 ค่าคือ 50, 100 และ 150 รอบต่อนาที รูปที่ 41 แสดงความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าการสั่นสะเทือน โดยขึ้นกับขีดจำกัดของเครื่องกลึงล้อซึ่งเป็นต้นกำลังในการขับล้อให้หมุน จากผลที่ได้ในการวัดที่ความเร็วรอบต่างๆ นั้นจะเห็นถึงระดับการสั่นสะเทือนที่เพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้นโดยจะทำให้เห็นรายละเอียดในกราฟแสดงผลได้ชัดเจน ซึ่งส่งผลดีในการวิเคราะห์ความเสียหาย ในงานวิจัยนี้จะเน้นใช้ความเร็วรอบสูงสุดในการวิเคราะห์คือ 150 รอบต่อนาที ซึ่งเท่ากับความเร็ว 48 กิโลเมตรต่อชั่วโมงในขณะรถวิ่ง แต่ถึงกระนั้นถ้าหากทำได้ควรจะวัดที่ความเร็วรอบสูงกว่า หรือประมาณ 300 รอบต่อนาที หรือเท่ากับความเร็ว 96 กิโลเมตรต่อชั่วโมงในขณะรถวิ่ง ซึ่งจะใกล้เคียงกับความเร็วสูงสุดของตัวรถเพื่อให้ได้สัญญาณที่ชัดเจนมากขึ้นและง่ายต่อการวิเคราะห์ความเสียหาย



รูปที่ 41 แสดงความเร็วรอบที่มีผลต่อค่าการสั่นสะเทือน

2. ผลจากความถี่ที่ใช้ในการวัดค่าการสั่นสะเทือน

ซึ่งค่าความถี่ที่ใช้ในการวัดนั้นแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือที่ช่วงความถี่สูงและช่วงความถี่ต่ำรูปที่ 42 แสดงผลในช่วงความถี่สูงและช่วงความถี่ต่ำ โดยในช่วงความถี่สูงนั้นใช้สำหรับการวิเคราะห์ความเสียหายในช่วงเริ่มต้นที่ย่านความถี่เหนือเสียง (Ultrasonic) จากการวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่าการแยกแยะความถี่ของตลับลูกปืนที่เกิดความเสียหายทำได้ยากเนื่องจากมีสัญญาณรบกวนจำนวนมาก และประกอบกับความเร็วรอบที่ใช้ในการวัดค่อนข้างต่ำ ดังนั้นในการวิเคราะห์ความเสียหายจะเน้นวิเคราะห์ในช่วงความถี่ต่ำ ซึ่งจะมีความเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์และประเมินอายุก่อนที่ตลับลูกปืนนั้นจะเกิดความเสียหายขั้นรุนแรง



รูปที่ 42 แสดงผลในช่วงความถี่สูงและช่วงความถี่ต่ำ

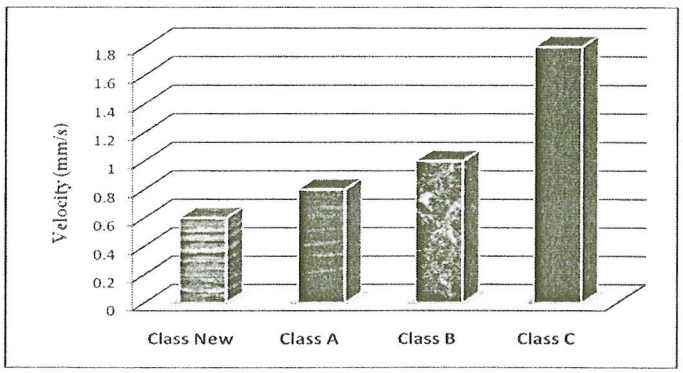
3. ผลจากการเปรียบเทียบระดับการสั่นสะเทือนของตลับลูกปืน Class ต่างๆ

ผลของการวัดการสั่นสะเทือนนั้น ได้มีการวัดอยู่หลายรูปแบบรวมถึงตัวแปรที่มีการกำหนดไว้ในตอนแรก เพื่อที่จะนำค่าต่างๆ มาใช้ในการวิเคราะห์ความเสียหาย อาทิเช่น ฟังก์ชันที่ใช้ในการวัด ความถี่ที่ใช้ ความเร็วรอบ ตำแหน่งที่ติดตั้งหัววัด ฯลฯ โดยข้อมูลดังกล่าวนั้นจะเป็นข้อมูลที่จะนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างของสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลง และแสดงให้เห็นถึงลักษณะความเสียหายที่เพิ่มขึ้นในหน่วยความเร็ว (mm/s) ตารางที่ 3 แสดงค่าการสั่นสะเทือนของตลับลูกปืน Class New Class B และ Class C สำหรับเพลาที่ 1 และ 2 ของรถไฟฟ้าชนงบที่ 1 โดยลักษณะของตัวรถ และการติดตั้งตลับลูกปืนนั้นสามารถดูได้จากรูปที่ 43 โดยที่ (R=ด้านซ้าย L=ด้านขาว) ที่ความเร็วรอบ 150 RPM

ตารางที่ 3. แสดงค่าการสั่นสะเทือนของตลับลูกปืนในหน่วยความเร็ว (mm/s) ของ Class ต่างๆ

เพลา / ขบวน		New		Class A			Class B		Class C
		1	2	1	2	1		2	1
1	L	0.53	0.60	0.90	0.82	1.20	1.25	1.52	1.35
	R	0.48	0.55	0.60	0.88	1.02	0.94	1.21	0.78

จากตารางที่ 3 แสดงค่าการสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็ว ตลับลูกปืนทั้ง 4 Class ซึ่งทำการวัดภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน โดยใช้ค่าการสั่นสะเทือนในมาตรฐาน ISO 10816 (10 - 1000 Hz) ในหน่วย mm/s (ค่าความเร็ว) เมื่อนำค่าที่ได้มาทำการพล็อตกราฟเพื่อเปรียบเทียบค่าการสั่นสะเทือนในหน่วย mm/s ของตลับลูกปืนแต่ละ Class และจะเห็นได้ว่า Class C มีระดับการสั่นสะเทือนสูงที่สุด ซึ่งเป็นตลับลูกปืนที่เกิดความเสียหายและไม่เหมาะ สมที่จะใช้งานต่อไปอีก ส่วน Class B และ A นั้นยังสามารถที่จะใช้งานต่อไปได้แต่จะต้องทำการตรวจวัดเป็นระยะ เพื่อประเมินอายุการใช้งานที่เหลืออยู่จากค่าที่ได้ในการวัดแต่ละครั้ง ทั้งนี้ค่าที่ได้ในรูปด้านล่างจะมีการเปลี่ยนแปลงถ้าหากทำการวัดภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่าง ซึ่งจะทำให้การประเมินมีความคาดเคลื่อนและไม่ตรงกับความเสียหายจริง ส่วนในเรื่องของวิธีการประเมินนั้นจะได้อธิบายต่อไปในหัวข้อการวิเคราะห์ความเสียหายและประเมินหาอายุการใช้งาน



รูปที่ 43 การเปรียบเทียบระดับการสั่นสะเทือนของตลับลูกปืนแต่ละ Class ที่ความเร็วรอบ 150 RPM

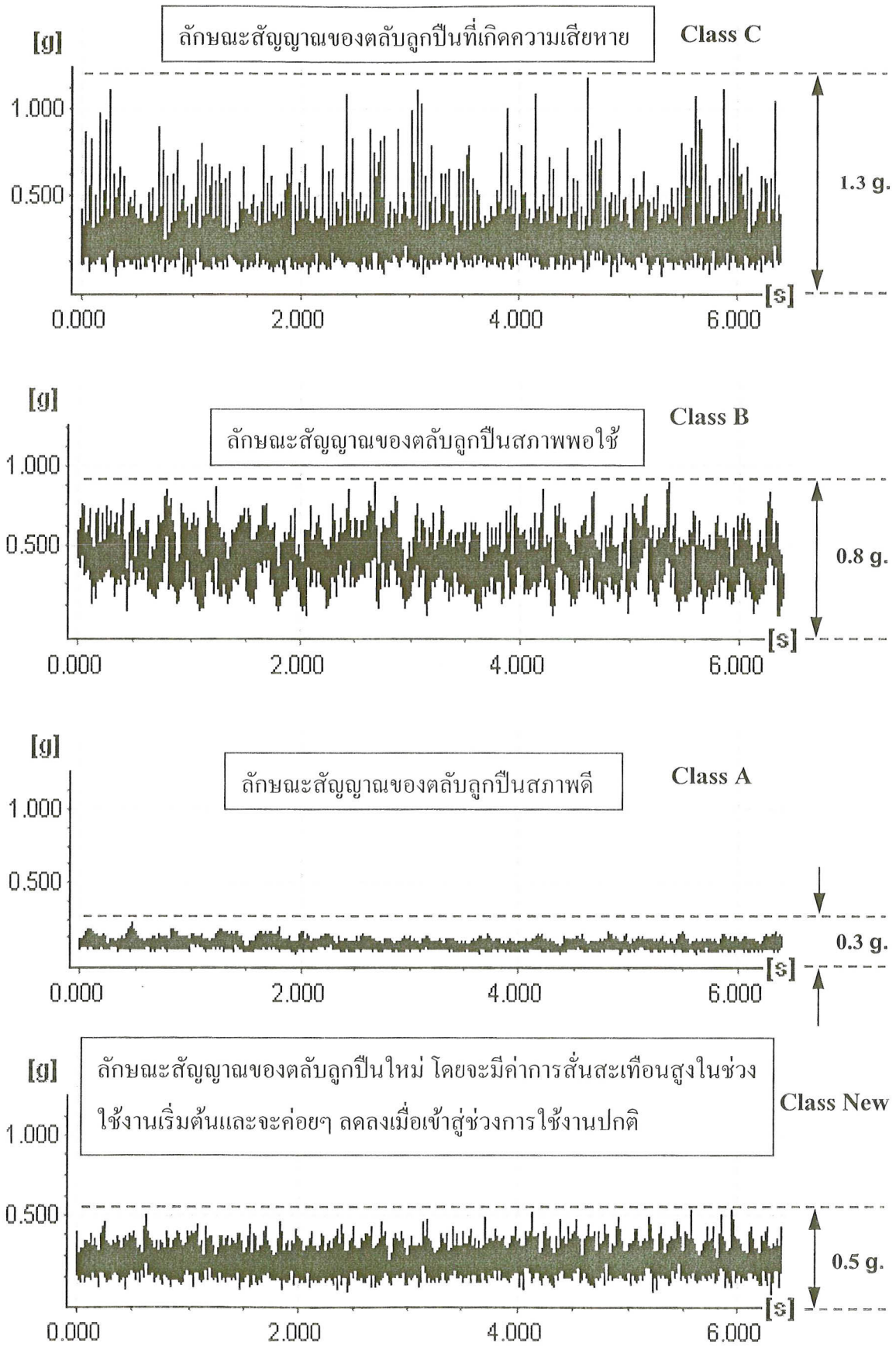
4.2 การวิเคราะห์ความเสียหายและประเมินหาอายุการใช้งาน

ในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนตามมาตรฐาน ISO 10816 นั้น เป็นการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนแบบโดยรวม (Overall Vibration) ซึ่งจะไม่ระบุสาเหตุที่ชัดเจนของความเสียหาย เป็นเพียงการตรวจ สอบสภาพโดยรวมของตลับลูกปืนทั้งลูก และจะตรวจพบก็ต่อเมื่อตลับลูกปืนเกิดความเสียหายในระดับที่สูงแล้ว ดังนั้นในการวิเคราะห์ความเสียหายจำเป็นที่ต้องใช้วิธีการวิเคราะห์

แบบเจาะจงลงไปที่ชิ้นส่วนต่างๆ สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้ได้มีการวัดด้วยฟังก์ชันหลักๆ 3 ฟังก์ชัน ด้วยกันคือ Velocity, Acceleration และ Demodulation แต่จะเน้นเฉพาะการวิเคราะห์ด้วยฟังก์ชัน Demodulation เป็นหลัก เนื่องจากเป็นการปรับแต่งสัญญาณความเสียหายของตลับลูกปืนที่มีขนาดต่ำให้มีขนาดสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้เห็นสัญญาณความเสียหายได้ชัดเจนยิ่งขึ้น และในฟังก์ชันก็จะประกอบไปด้วยกราฟต่างๆ อาทิเช่น กราฟแนวโน้ม (Trend Line) กราฟความถี่ในโดเมนเวลา (Time Domain) กราฟความถี่ในโดเมนสเปกตรัม (Spectrums Domain) โดยการวิเคราะห์ความถี่การสั่นสะเทือนผิดปกติของตลับลูกปืน เป็นการวิเคราะห์สาเหตุที่เป็นจุดเริ่มต้นและที่มาของความเสียหาย ว่ามาจากชิ้นส่วนใดของตลับลูกปืนส่วนระดับความรุนแรงนั้นจะดูได้จาก Time Domain และ จำนวน Harmonics ใน Spectrums Domain ซึ่งจะสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

4.2.1 การวิเคราะห์ใน Time Domain

เป็นวิธีการตรวจวัดการสั่นสะเทือนโดยดูลักษณะการเปลี่ยนแปลงขนาดการสั่นในเวลาหนึ่งๆ ซึ่งเป็นสัญญาณการสั่นจริงตามลักษณะสภาพตลับลูกปืน รูปที่ 44 แสดงกราฟความถี่ในโดเมนเวลาของตลับลูกปืนแต่ละ Class ที่ความเร็วรอบ 150 RPM ซึ่งจะเห็นว่าตลับลูกปืนใน Class C นั้นจะมีคลื่นเวลาของการสั่นที่มีการกระแทกในบางขณะระหว่างเม็ดลูกปืนกับบริเวณที่เกิดความเสียหาย ซึ่งจะมีระดับการสั่นสะเทือนที่สูงโดยมีค่าประมาณ 1.3 g ส่วน Class B นั้นจะเป็นตลับลูกปืนสภาพพอใช้ โดยมีค่าการสั่นสะเทือนในระดับปานกลางประมาณ 0.8 g และ Class A จะมีสัญญาณการสั่นสะเทือนที่น้อย ซึ่งเป็นตลับลูกปืนสภาพดีโดยมีค่าประมาณ 0.3 g สำหรับ Class New นั้นจะเป็นตลับลูกปืนใหม่ที่ยังไม่มีการใช้งานมาก่อน โดยจะมีค่าการสั่นสะเทือนสูงในช่วงการใช้งานเริ่มต้นและจะค่อยๆ ลดลงเมื่อเข้าสู่ช่วงการใช้งานปกติ ซึ่งระดับความรุนแรงนั้นดูได้จากค่า Amplitude หน่วยเป็น g หรือ mg (ค่าความเร่ง) ในแนวแกนตั้ง โดยสัญญาณใน Time Domain นั้นจะเป็นความถี่จากการวัดที่ยังไม่ได้มีการปรับปรุงสัญญาณ ซึ่งเป็นความถี่โดยรวมของตลับลูกปืน



รูปที่ 44 กราฟความถี่ใน Time Domain ของตลับลูกปืนแต่ละ Class ที่ความเร็วรอบ 150 RPM

4.2.2 การวิเคราะห์ใน Spectrums Domain

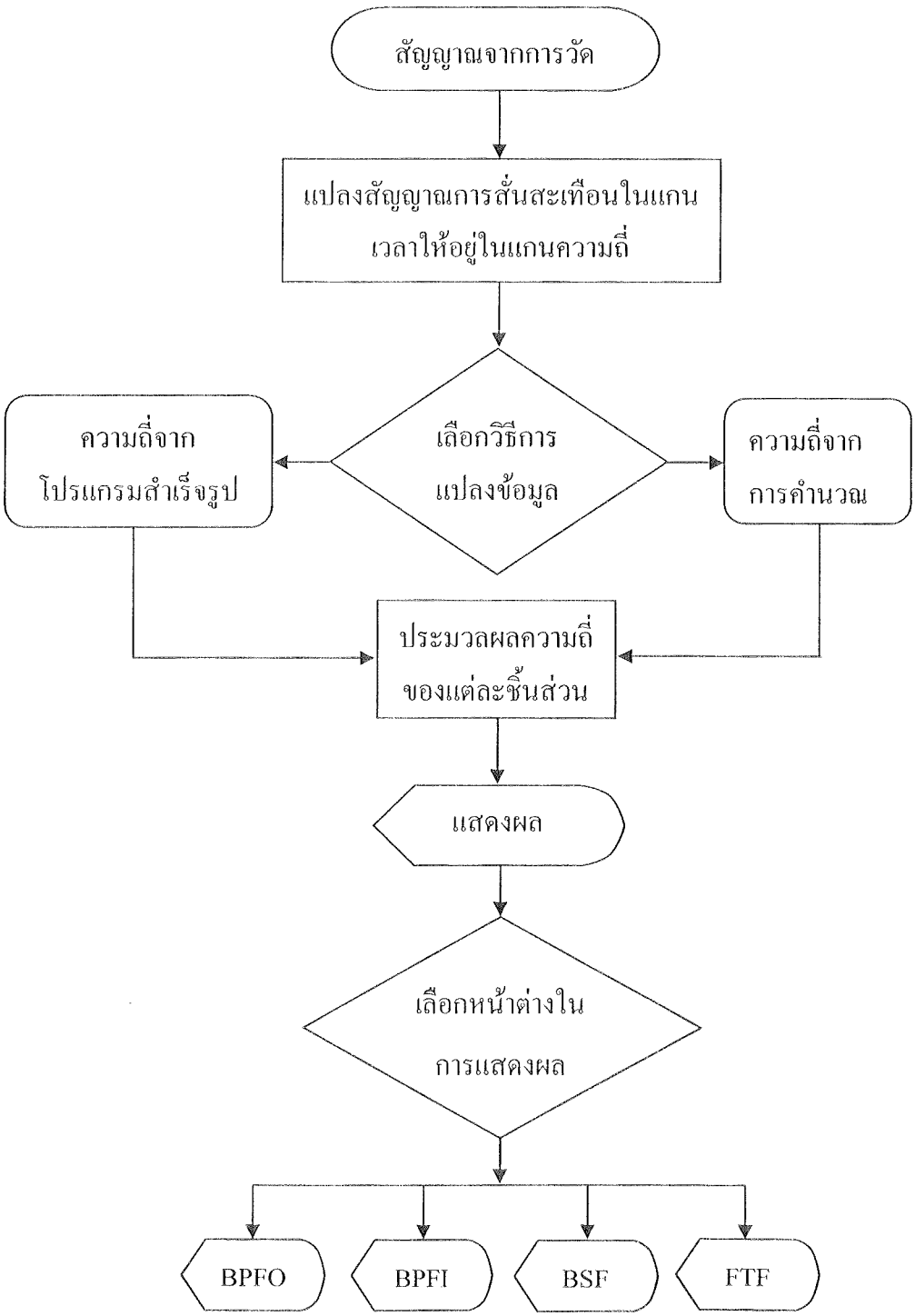
เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดการสั่นสะเทือนกับความถี่แต่ละตำแหน่ง โดยการจำแนกสัญญาณคลื่นความถี่ที่เกิดขึ้นจากการสั่นสะทือนในส่วนประกอบต่างๆ ของตลับลูกปืนจากคลื่นไซน์ไปเป็นสเปกตรัมตามวิธีการของ FFT Demodulation และสำหรับชิ้นส่วนในตลับลูกปืนประกอบไปด้วย แหวนนอก แหวนใน เม็ดลูกปืน และรัง โดยการวิเคราะห์ชิ้นส่วนสำหรับตลับลูกปืนที่ใช้อยู่ในล้อรถไฟฟ้านั้น เราจะให้ความสำคัญกับตัวแหวนนอกก่อนเนื่องมาจากแหวนนอกจะยึดอยู่กับที่ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดความเสียหายบริเวณที่รับภาระเฉพาะจุด ตามด้วยตัวแหวนใน เม็ดลูกปืน และรัง ตามลำดับ จากชิ้นส่วนต่างๆ ที่ได้กล่าวมานั้นจะมีความถี่เฉพาะของแต่ละชิ้นส่วนซึ่งจะทำให้เราสามารถทราบว่าชิ้นส่วนไหนเกิดความเสียหาย โดยบริเวณที่เกิดความเสียหายนั้นจะส่งสัญญาณการสั่นสะเทือนจากการกระแทกกันระหว่างเม็ดลูกปืนที่วิ่งผ่านบริเวณที่เกิดความเสียหาย ออกมากระตุ้นให้เกิดการเรโซแนนซ์ (Resonance) ของชิ้นส่วนนั้นๆ และสามารถที่จะตรวจจับด้วยเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือน โดยความเสียหายของแต่ละชิ้นส่วนจะหาได้จากความถี่เฉพาะคูณด้วยความเร็วรอบ

ตางรางที่ 4 แสดงการคำนวณหาค่าความถี่ของชิ้นส่วนต่างๆ ในตลับลูกปืนโดยการทดลองที่ความเร็วรอบ 150 RPM ส่วนค่าตัวประกอบต่างๆที่อยู่ในตารางนั้น ได้มาจากบริษัทผู้ผลิตตลับลูกปืน

ตารางที่ 4 การคำนวณหาค่าความถี่ในชิ้นส่วนต่างๆของตลับลูกปืน

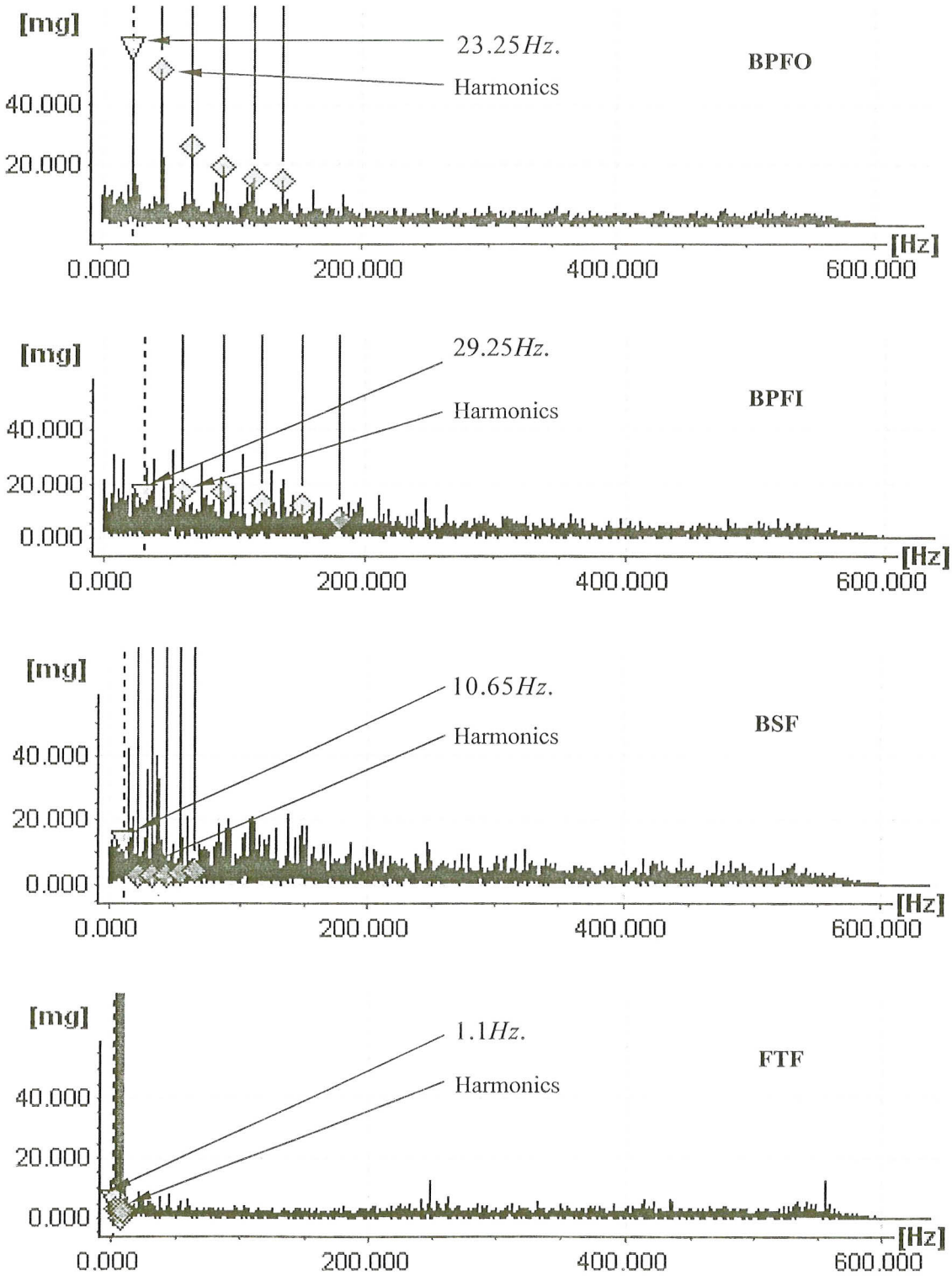
หัวข้อ	ความถี่ในชิ้นส่วนต่างๆของตลับลูกปืน			
	ค่า BPFO	**ค่า BPFI**	**ค่า BSF**	**ค่า FTF**
1. สมการที่ใช้ในการคำนวณ	$BPFO=\frac{N_b}{2}\left(1-\frac{B_d}{P_c}\cos\theta\right)RPM$	$BPFI=\frac{N_b}{2}\left(1+\frac{B_d}{P_c}\cos\theta\right)RPM$	$BSF=\frac{P_d}{2B_d}\left(1-\left(\frac{B_d}{P_c}\right)^2\cos^2\theta\right)RPM$	$FTF=\frac{1}{2}\left(1-\frac{B_d}{P_c}\cos\theta\right)RPM$
2. ค่าตัวประกอบความถี่ธรรมชาติ	แหวนนอก (9.30)	แหวนใน (11.70)	การหมุนเม็ดลูกปืน (4.26)	รังพื้นฐาน (0.44)
3. การคำนวณ	$BPFO=\frac{(9.30)150}{60}$	$BPFI=\frac{(11.70)150}{60}$	$BSF=\frac{(4.26)150}{60}$	$FTF=\frac{(0.44)150}{60}$
4. ค่าที่ได้	$=23.25Hz$	$=29.25Hz$	$=10.65Hz$	$=1.1Hz$

การวิเคราะห์ใน Spectrums Domain นั้น จะอาศัยโปรแกรมสำเร็จรูปซึ่งจำเป็นที่จะต้องใส่ค่าความถี่ของชิ้นส่วนต่างๆเข้าไป รูปที่ 45 แสดงขั้นตอนการวัดและการเลือกรูปแบบการแสดงผลของค่าความถี่ของการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนต่างๆ



รูปที่ 45 ขั้นตอนในการแสดงความถี่ของชิ้นส่วน

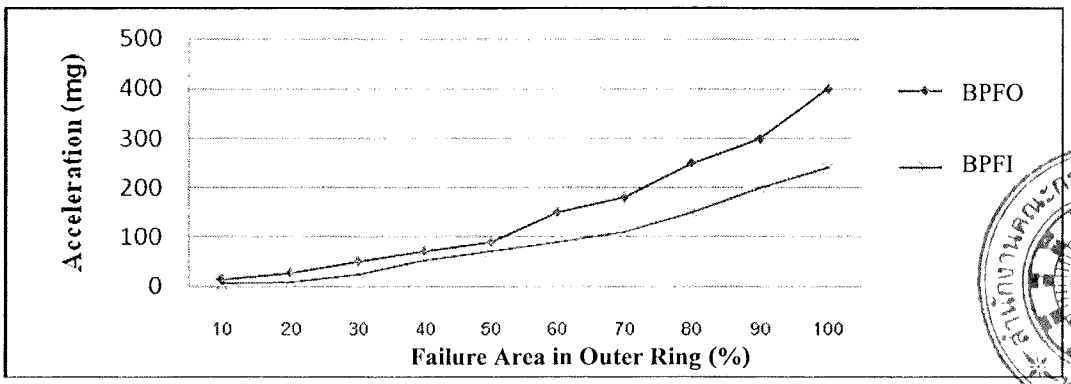
รูปที่ 46 แสดงกราฟความถี่เฉพาะใน Spectrums Domain ของชิ้นส่วนต่างๆ นอกจากนี้ยังแสดงจำนวน Harmonics ของตลับลูกปืนที่เกิดความเสียหาย ความถี่เฉพาะของ BPFO และ BPFT นั้นสามารถสังเกตเพิ่มได้ ในขณะที่ความถี่ BSF และ FTF จะมีค่าน้อยมากที่ระดับความเสียหายเดียวกัน



รูปที่ 46 กราฟความถี่ใน Spectrums Domain ของชิ้นส่วนต่างๆ ที่ความเร็วรอบ 150 RPM

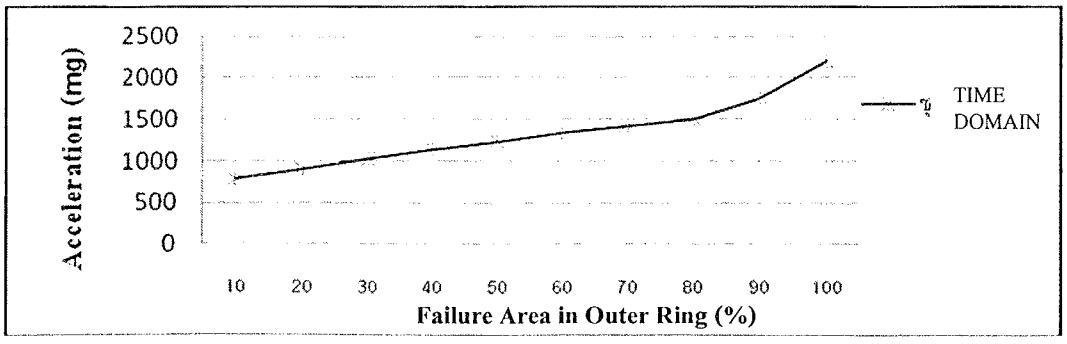
4.2.3 การประเมินอายุการใช้งาน

ผลจากการวิเคราะห์ในวิธีข้างต้นสามารถที่จะนำมาเปรียบเทียบค่าสัญญาณของความเสียหายที่เพิ่มขึ้นกับอายุการใช้งานที่เหลืออยู่ โดยจะมีค่าที่นำมาประเมินอยู่ 3 ค่าหลักๆ คือค่า BPFO, BPFI และ Time Domain สาเหตุที่นำเฉพาะค่าเหล่านี้มาประเมินจากค่าทั้งหมดที่ได้กล่าวมานั้นเป็นเพราะว่าค่า BPFO จะเกิดการเสียหายมากที่สุด และค่า BPFI จะเสียหายรองลงมาประมาณครึ่งหนึ่งของ BPFO ส่วน Time Domain นั้นจะเป็นตัวบ่งบอก Class ของตลับลูกปืน ซึ่งการใช้งานตลับลูกปืนในล้อรถไฟฟ้านั้นจะตั้งค่าความปลอดภัยไว้ที่ประมาณ 50,000 กิโลเมตร ก่อนที่ตลับลูกปืนจะเกิดความเสียหายขั้นรุนแรง คือมีความเสียหายต่อพื้นที่ผิวที่รับภาระเลย 50% ขึ้นไป รูปที่ 47 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของชิ้นส่วนกับพื้นที่ความเสียหายบริเวณผิวที่รับภาระ (Load Zone) จากรูปจะแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของชิ้นส่วนที่เพิ่มขึ้นกับพื้นที่ความเสียหายที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของบริเวณผิวที่รับภาระ โดยค่าความถี่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 30% ของพื้นที่ความเสียหาย และจะเป็นระดับของตลับลูกปืน Class C ซึ่งมีอายุการใช้งานค่อนข้างน้อยและไม่ควรใช้งานตลับลูกปืนอีกต่อไป และรูปที่ 48 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ใน Time Domain กับพื้นที่ความเสียหายบริเวณผิวที่รับภาระ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์ในลักษณะเช่นเดียวกันกับกราฟความถี่ของชิ้นส่วนโดยเมื่อมีพื้นที่ความเสียหายมากขึ้นค่าสัญญาณใน Time Domain ก็จะสูงขึ้นตาม ซึ่งเป็นความถี่โดยรวมของตลับลูกปืนทั้งลูก



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รูปที่ 47 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของชิ้นส่วนกับพื้นที่ความเสียหายบริเวณผิวที่รับภาระ



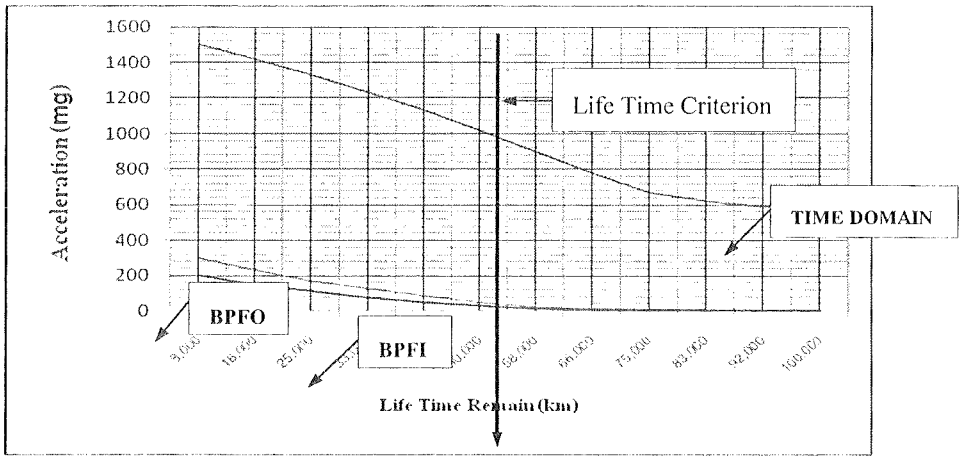
รูปที่ 48 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ใน Time Domain กับพื้นที่ความเสียหายบริเวณผิวที่รับภาระ

การวัดการสั่นสะเทือนของตลับลูกปืนจะกระทำใน 2 ลักษณะ คือ การวัดค่าการสั่นสะเทือนของตลับลูกปืนที่ไม่ผ่านการบำรุงรักษาจนกระทั่งเกิดความเสียหาย และการวัดค่าการสั่นสะเทือนของตลับลูกปืนที่ได้ผ่านการบำรุงรักษาจนกระทั่งเกิดความเสียหาย ซึ่งความเสียหายแบ่งเป็น 2 ระดับ คือ ระดับที่มีอายุการใช้งาน 50,000 กิโลเมตร หรือ 6 เดือน ซึ่งเป็นระดับที่ตั้งไว้เป็นเกณฑ์ในการวัดว่าตลับลูกปืนเกิดความเสียหายขึ้น และระดับที่มีอายุการใช้งาน 100,000 กิโลเมตร หรือ 1 ปี ซึ่งเป็นระดับที่เกิดความเสียหายอย่างรุนแรง สำหรับการประเมินจะแบ่งเป็นช่วงการวัดก่อนถึงเกณฑ์และหลังเกณฑ์ที่ตั้งเอาไว้ สำหรับก่อนถึงเกณฑ์จะวัดทุกๆ 3 เดือน และสำหรับหลังเกณฑ์นั้นจะวัดทุกๆ 1 เดือน โดยค่าต่างๆ นั้นจะคิดมาจากแผนในการบำรุงรักษาหลักของตัวรถไฟฟ้า และความเหมาะสมในด้านความคุ้มค่าของการใช้งานตลับลูกปืนรวมทั้งด้านความปลอดภัยด้วย ตารางที่ 5 แสดงค่าจากการวัดการสั่นสะเทือนของตลับลูกปืนที่มีหน่วยเป็น mg (หน่วยความเร่ง) ซึ่งจะเห็นว่าค่าความเสียหายก่อนการบำรุงรักษาจะสูงกว่า เนื่องมาจากสภาพของจาระบีที่ใช้งานมานานกว่า โดยค่าที่ได้นั้นจะนำไปพล็อตกราฟเพื่อประเมินหาอายุการใช้งาน

ตารางที่ 5 ค่าจากการวัดการสั่นสะเทือนของตลับลูกปืนที่เกิดความเสียหายก่อนและหลังการบำรุงรักษาโดยมีหน่วยเป็น mg (หน่วยความเร่ง)

ตัวแปรหลักในการประเมิน / ลำดับความเสียหาย	อายุที่เหลือ (km)	BPFO (mg)		BPFI (mg)		Time Domain (mg)	
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
เริ่มเกิดความเสียหายขั้นรุนแรง โดยจะมีความเสียหายต่อพื้นที่ผิวที่รับภาระเลย 50% ขึ้นไป	8,000	380	300	230	200	1840	1500
	16,000	245	230	170	150	1750	1420
	25,000	196	170	130	110	1590	1330
ช่วงเตรียมการและบำรุงรักษา	33,000	150	125	82	75	1430	1230
	42,000	92	87	57	52	1360	1130
เกณฑ์ที่ตั้งไว้	50,000	63	45	32	22	1250	1020
ใช้งานได้ตามปกติ	58,000	31	26	29	10	1120	900
	66,000	19	14	15	8	980	780
	75,000	15	10	9	6	820	670
	83,000	10	9	8	5	710	600
	92,000	9	7	8	4	630	580
	100,000	7	6	6	3	520	480

จากตารางก่อนและหลังการบำรุงรักษาซึ่งมีค่าการสั่นสะเทือนที่เป็นไปในทิศทางเดียวกันโดยทำการเฉลี่ยจากค่าความเสียก่อนและหลังการบำรุงรักษารวมทั้งจากประสบการณ์ในการใช้งาน ผลที่ได้คือค่าความถี่ของแหวนนอก (BPFO) จะต้องมีค่าไม่เกิน 50 mg และค่าความถี่ของแหวนใน (BPFI) จะต้องมีค่าไม่เกิน 25 mg ส่วนค่าสัญญาณใน Time Domain นั้นถ้ามีค่าตั้งแต่ 1000 mg ขึ้นไปจะจัดให้ตลับลูกปืนนี้อยู่ในระดับของ Class C ซึ่งเป็นตลับลูกปืนที่เกิดความเสียและไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน จากความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้สามารถที่จะพล็อตกราฟประเมินอายุการใช้งานได้ ด้านล่าง รูปที่ 49 แสดงกราฟประเมินอายุการใช้งาน (Life Time Criterion, km) จากกราฟจะแสดงให้เห็นว่าตลับลูกปืนจะมีอายุการใช้งานอีกประมาณ 50,000 กิโลเมตร ก่อนที่ตลับลูกปืนนั้นจะเกิดความเสียหายขั้นรุนแรง ซึ่งก็คือ 100,000 กิโลเมตร



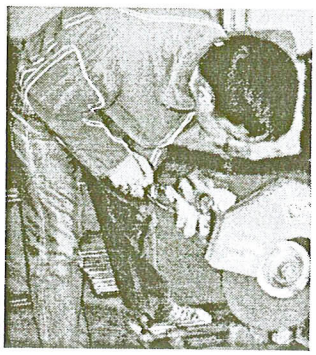
รูปที่ 49 กราฟประเมินอายุการใช้งาน

4.3 ขั้นตอนการจัดทำเครื่องทดสอบตลับลูกปืน

4.3.1 ขั้นตอนการสร้าง

รูปที่ 50-53 แสดงภาพการทำงานอย่างคร่าวๆในการสร้างเครื่องทดสอบลูกปืนที่มีแรงกระทำ 2 แนวตั้งแต่เริ่มสร้างจนกระทั่งสำเร็จโดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาการทำงานของระบบนิวแมติกส์ และไฟฟ้าจากคู่มือและแคทล็อกของบริษัทผู้ผลิต
2. จัดซื้ออุปกรณ์นิวแมติกส์และอุปกรณ์ไฟฟ้า
3. ทำการเชื่อมประกอบโครงสร้าง
4. ติดตั้งอุปกรณ์นิวแมติกส์และอุปกรณ์ไฟฟ้า
5. ทดลองและปรับแต่ง



รูปที่ 50 แสดงการตัดเหล็กโครงสร้าง

รูปที่ 51 แสดงการประกอบคัปปลิ้ง

รูปที่ 52 แสดงการประกอบชุดสวิทช์ไฟฟ้า

รูปที่ 53 แสดงการประกอบกระบอกนิวแมติกส์

4.3.2 วิธีการทดลอง

1. นำตลับลูกปืนที่จะทดสอบคือ ตลับลูกปืนเบอร์ 32208 ประกอบเข้าเครื่องทดสอบให้เรียบร้อย

2. ต่อระบบไฟฟ้าและระบบลมจากแหล่งจ่ายเข้ากับเครื่อง

3. เปิดสวิทย์โซลินอยด์วาล์ว 5/2 , 220V (ปุ่ม Start) ของกระบอกนิวแมติกส์ แรงที่กระทำด้านหน้าของตลับลูกปืน

4. เปิดสวิทย์โซลินอยด์วาล์ว 5/2 , 220V (ปุ่ม Start) ของกระบอกนิวแมติกส์ แรงที่กระทำด้านบนของตลับลูกปืน

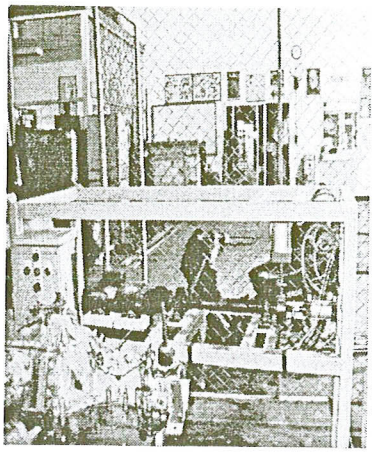
5. เปิดสวิทย์ ON ของมอเตอร์

หมายเหตุ ในขั้นตอนการปิดเครื่องนั้นมีขั้นตอนดังนี้

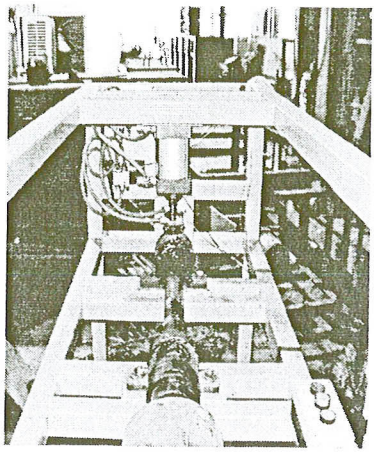
1. ปิดสวิทย์ OFF ของมอเตอร์

2. ปิดสวิทย์ STOP ของกระบอกนิวแมติกส์แรงที่กระทำด้านบนของตลับลูกปืน

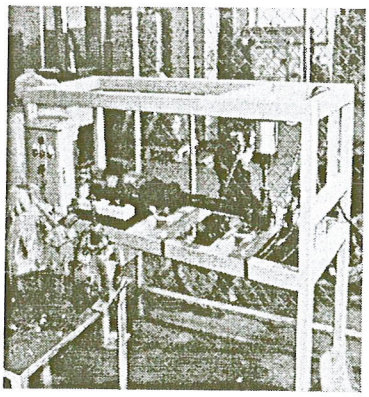
3. ปิดสวิทย์ STOP ของกระบอกนิวแมติกส์แรงที่กระทำด้านหน้าของตลับลูกปืน



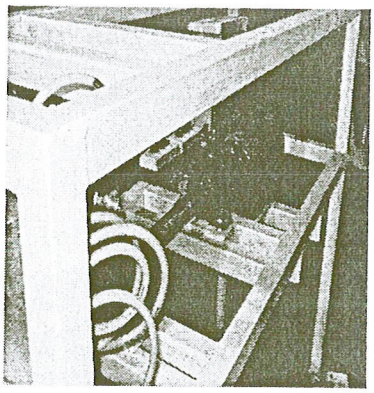
รูปที่ 54 แสดงการทดสอบด้านข้าง



รูปที่ 55 แสดงการทดสอบด้านบน



รูปที่ 56 แสดงการทดสอบด้านเอียงซ้าย



รูปที่ 57 แสดงการทดสอบด้านเอียงขวา

ตารางที่ 6 ค่าที่ได้จากการทดลองเครื่องทดสอบตลับลูกปืนแบบรับแรงกระทำในแนวรัศมี และแรงกระทำในแนวแกนที่ค่าคงที่ 1,000 นิวตัน

แรงกระทำในแนวรัศมี (N)	ความเร็วรอบ (RPM)	การโก่งของเพลา (mm)	การกินกระแสไฟฟ้า (A)
1,000	148.5	0.19	0.25
2,000	148.5	0.27	0.25
3,000	148.1	0.39	0.26

ตารางที่ 6 ค่าที่ได้จากการทดลองเครื่องทดสอบตลับลูกปืนที่มีการเปลี่ยนแปลงแรงกระทำในแนวรัศมี จำนวน 3 ระดับคือ 1,000 2,000 และ 3,000 นิวตัน จากตารางจะเห็นได้ว่า ค่าความเร็วรอบเฉลี่ยได้ใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดไว้ที่ 150 รอบต่อนาที โดยที่ระยะโก่งและการกินไฟสูงสุดอยู่ที่ 0.39 มิลลิเมตร และ 0.26 แอมป์ ตามลำดับ