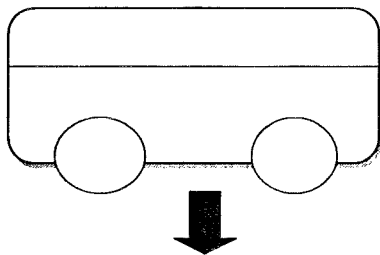


บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

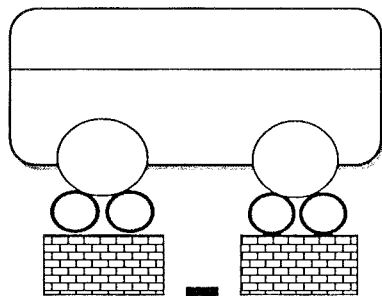
ในงานวิจัยนี้ จะแบ่งเป็น 2 ส่วนหลักคือ ส่วนที่ 1 จะเป็นการวิเคราะห์หารูปแบบและวิธีการประเมินอายุการใช้งานของตลับลูกปืนจริงในล้อรถไฟฟ้าโดยอาศัยเทคนิคการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน ส่วนที่ 2 จะเป็นการศึกษาหารูปแบบของเครื่องทดสอบตลับลูกปืนที่สามารถรับแรงทั้งในแนวแกนและแนวรัศมี รูปที่ 21 แสดงภาพรวมของการดำเนินงานวิจัยทั้งสองส่วน

งานส่วนที่ 1

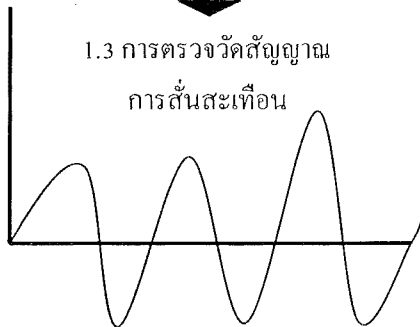
1.1 รูปรถไฟฟ้าที่ติดตั้งตลับลูกปืน
ที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว 9 ปี



1.2 รถไฟฟ้าขึ้นบนแท่นกลิ้งล้อเพื่อ
จำลองการวิ่ง



1.3 การตรวจวัดสัญญาณ
การสั่นสะเทือน



1.4 คำนวณที่ผลต่ออายุการใช้งาน

$$A = BX$$

งานส่วนที่ 2

2.1 ข้อกำหนดเบื้องต้นในการจำลองการทำงานของ
ตลับลูกปืนภายใต้แรงกระทำใน 2 แนวแกน

ตลับลูกปืน

2.2 การออกแบบเครื่องทดสอบ
ตลับลูกปืน

ร่างแบบของเครื่อง
ทดสอบตลับลูกปืน

2.3 เครื่องทดสอบตลับลูกปืน ที่
สามารถรับแรงในแนวแกน
และแนวรัศมี

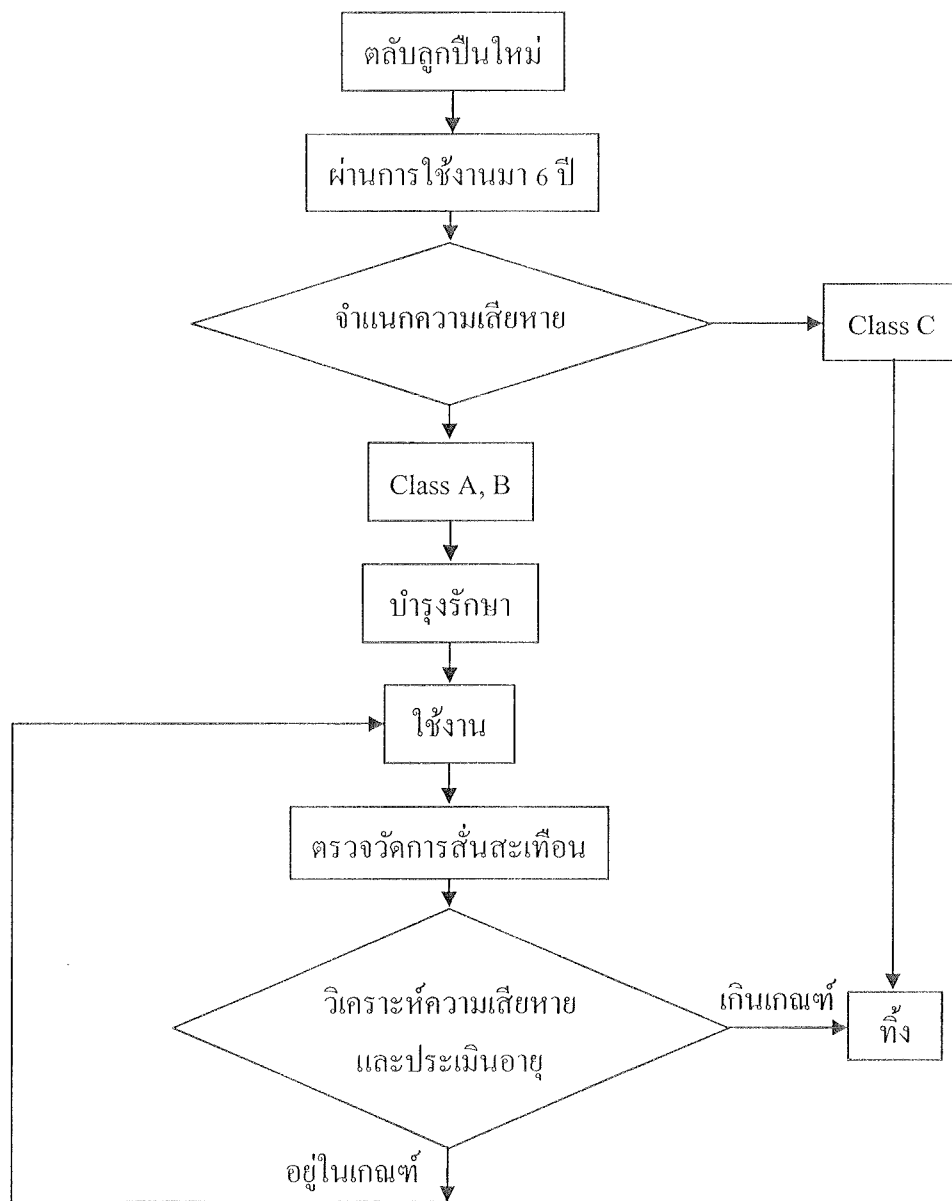
เครื่องทดสอบ
ตลับลูกปืน

2.4 ข้อเสนอแนะในการปรับปรุง
เครื่องทดสอบ (ตลับลูกปืนใหม่)

รูปที่ 21 แสดงภาพรวมของการดำเนินงานวิจัยที่แบ่งเป็น 2 ส่วน

3.1 การจำแนกและวิเคราะห์ความเสียหายเพื่อประเมินหาอายุการใช้งานของตลับลูกปืน

จากวัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัยนี้ จะดำเนินงานวิจัย โดยเริ่มต้นจากการจำแนกความเสียหายของตลับลูกปืน การวิเคราะห์ความเสียหายด้วยการสันสະเทือนเพื่อประเมินหาอายุการใช้งานของตลับลูกปืน และวิเคราะห์หาตัวแปรสำคัญที่มีอิทธิพลต่ออายุการใช้งาน รวมทั้งสร้างเครื่องทดสอบตลับลูกปืนภายใต้สภาวะการทำงานจำลองที่รับแรง ได้ทั้งแนวแกนและแนวรัศมี



รูปที่ 22 แสดงขั้นตอนการจำแนกและวิเคราะห์ความเสียหายเพื่อประเมินอายุการใช้งาน

3.2 การจำแนกระดับความเสียหาย

รถไฟฟ้าที่ผ่านการใช้งานมาแล้วในระยะเวลาหนึ่งจำเป็นจะต้องทำการบำรุงรักษาเพื่อให้การ
ใช้งานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และรักษามาตรฐานความปลอดภัยของรถไฟฟ้า ซึ่งรถไฟฟ้า
BTS ได้มีการบำรุงรักษาและการตรวจสอบสภาพอยู่เสมอแล้วนั้น เมื่อระยะเวลาการใช้งานถึง 6
ปี จะต้องมีการบำรุงรักษาครั้งใหญ่ (Overhaul) เนื่องจากชิ้นส่วนบางชิ้นอาจเกิดข้อบกพร่อง หรือ
ชำรุดก่อนเวลาอันควร หรือจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนเพราะถึงระยะเวลาที่ผู้ผลิตได้แนะนำเอาไว้ ดังนั้น
จึงจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาเพื่อที่จะจำแนกความเสียหาย และหาช่วงอายุการใช้งานของคลัทช์
ลูกปืน ซึ่งคลัทช์ลูกปืนลื่อนนั้นจะต้องมีการตรวจสอบเมื่อถึงระยะเวลาที่กำหนด ก่อนที่จะนำกลับไปใช้
งานอีกครั้ง ในการจำแนกความเสียหายนั้นจากการศึกษาข้อมูลที่ได้จากเอกสารของผู้ผลิตคลัทช์
ลูกปืน (Friedrich Fischer, FAG) พบว่าได้มีการแบ่งแยกระดับความเสียหายออกเป็น 3 ระดับ คือ
Class A, B และ C ซึ่งในระดับต่างๆ ได้ระบุอายุการใช้งานไว้ดังนี้ Class A มีอายุการใช้งานได้อีก
ประมาณ 1-3 ปี Class B มีอายุการใช้งานประมาณ 6 เดือนถึง 1 ปี ส่วน Class C นั้นไม่นำมาใช้งาน
ในงานวิจัยชิ้นนี้จะได้นำวิธีการดังกล่าวมาวิเคราะห์คลัทช์ลูกปืนที่ใช้ในรถไฟฟ้าของประเทศไทยใน
การจำแนกระดับความเสียหายและหาอายุการใช้งาน นอกจากนี้ยังมีวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติที่
เกี่ยวข้อง โดยอาศัยการเก็บข้อมูลการชำรุดที่ซ้ำ ๆ กัน (Repetitive Failures) มาทำการวิเคราะห์

- การหาค่าเฉลี่ยของการชำรุดแต่ละครั้ง (Mean Time Between Failures: MTBF)

$$MTBF = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{n} \quad (8)$$

t_1 คือเวลาการใช้งานที่บันทึกไว้ก่อนที่ชิ้นส่วนจะเกิดการชำรุดครั้งที่ 1

t_2 คือเวลาการใช้งานที่บันทึกไว้ก่อนที่ชิ้นส่วนจะเกิดการชำรุดครั้งที่ 2

t_n คือเวลาการใช้งานที่บันทึกไว้ก่อนที่ชิ้นส่วนจะเกิดการชำรุดครั้งที่ n

n คือจำนวนครั้งในการบันทึก

- การกระจายทางสถิติแบบไวบูลล์เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อกำหนดรูปแบบการชำรุดว่า
เป็นช่วงเริ่มต้น ช่วงใช้งาน หรือเป็นช่วงการสึกหรอ รูปที่ 23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการชำรุด
และเวลาการใช้งาน โดยจะสังเกตเห็นว่าถ้าค่า x ที่คำนวณได้น้อยกว่า 1 ซึ่งบ่งบอกว่าเป็นการชำรุด
ในช่วงการใช้งานเริ่มต้น ถ้าค่า x ที่คำนวณได้เท่ากับ 1 จะเป็นช่วงใช้งานปกติ และถ้าค่า x ที่คำนวณได้มี
ค่ามากกว่า 1 ซึ่งจะเป็นช่วงการสึกหรอ โดยสมการที่ 9 เป็นการกระจายทางสถิติแบบไวบูลล์

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\beta}{\alpha}\right)^\gamma} \quad (9)$$

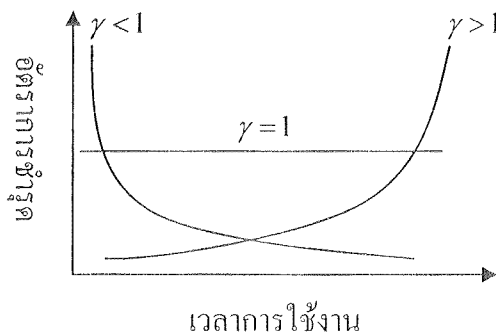
$F(t)$ คือเปอร์เซ็นต์สะสมการชำรุด

t คือเวลาการใช้งานจนถึงงานชำรุด

α คือ Scale Parameter หรือ MTBF (มาจากสมการที่ 3.1)

β คือ Location Parameter หรือค่าเวลาปลอดการชำรุด

γ คือ Shape Parameter หรือ Weibull Index



$\gamma > 1$ $F(t)$ = จะเป็นฟังก์ชันเพิ่ม

$\gamma < 1$ $F(t)$ = จะเป็นฟังก์ชันลด

$\gamma = 1$ $F(t)$ = จะเป็นฟังก์ชันคงที่

รูปที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการชำรุดและเวลาการใช้งาน

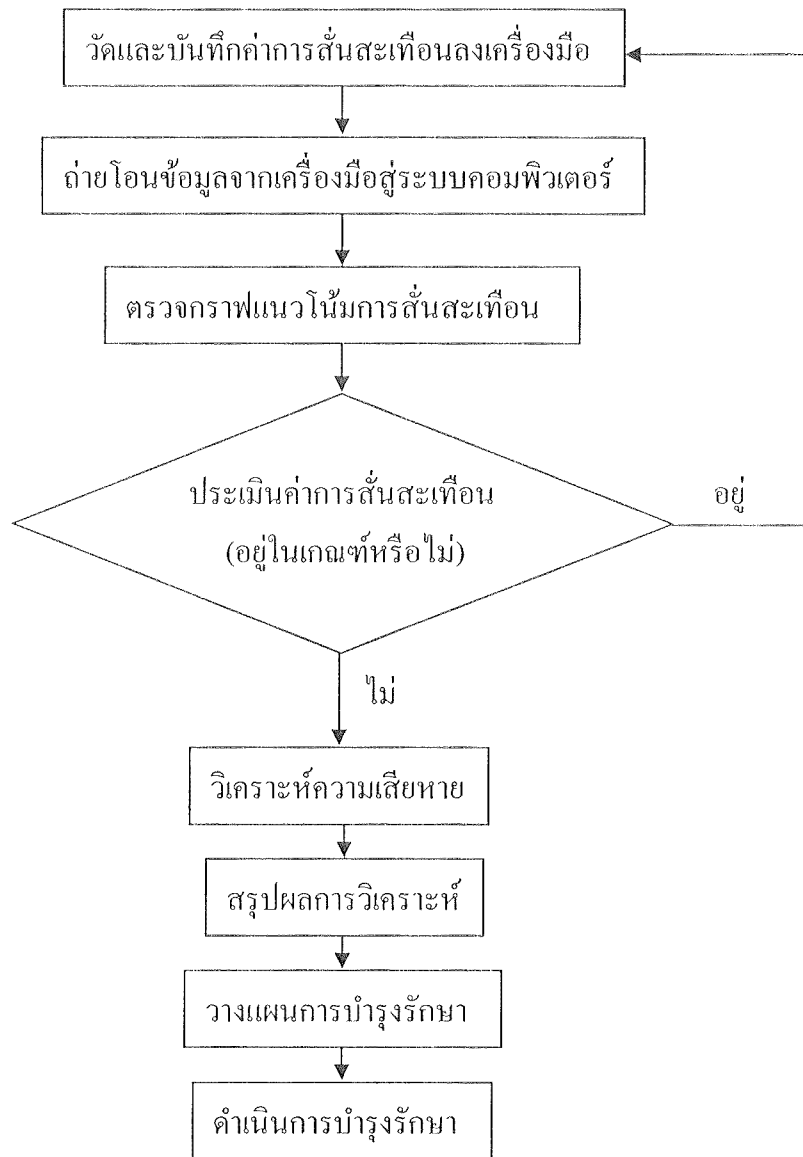
ในกรณีที่ชิ้นส่วนนั้นไม่มี Shape Life หรือช่วงเวลาปลอดการซ่อมบำรุงรักษา เมื่อนำมาใช้งานจะมีการชำรุดได้ทันที $t = 0$ และ β จะเท่ากับ 0

3.3 วิธีการดำเนินงานในการจำแนกความเสียหาย

สำหรับขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยนั้นได้แบ่งเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้โดยเริ่มจาก (1) การวิเคราะห์สภาพความเสียหายเบื้องต้น เพื่อที่จะหาว่าความเสียหายส่วนใหญ่มีลักษณะใดบ้าง (2) การตรวจวัดค่าเคิลียร์เร็นซ์ เป็นการวัดค่าการสึกหรอของชุดคาลิปเปอร์ (3) การตรวจสอบโดยการขยายภาพ เพื่อที่จะดูบริเวณความเสียหายโดยการขยายภาพเพื่อวิเคราะห์ดูในระดับโครงสร้าง (4) การจำแนกระดับความเสียหาย เป็นการจำแนกลักษณะความเสียหายโดยอาศัยการระบุเป็นเปอร์เซ็นต์

3.4 การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน (Vibration Analysis)

สำหรับขั้นตอนในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนนั้น จะแสดงดังรูปที่ 24



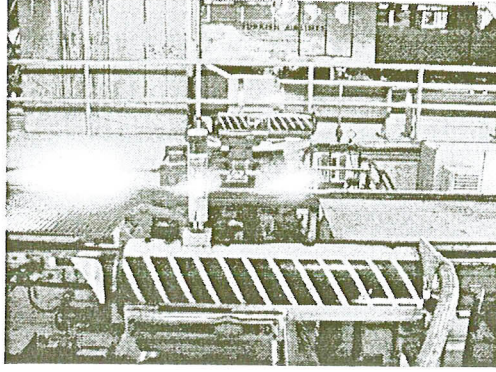
รูปที่ 24 แสดงขั้นตอนในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน

3.5 วิธีดำเนินการจัดการสั่นสะเทือน

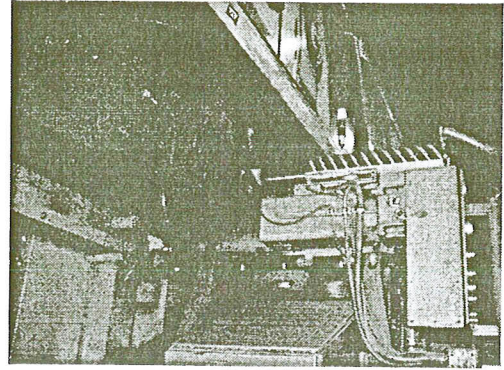
สำหรับวิธีดำเนินการจัดการสั่นสะเทือนในหัวข้อนี้ ซึ่งในการทดลองนั้นจะประกอบไปด้วย เครื่องมือ อุปกรณ์ และขั้นตอนในการทดลอง ตามขอบเขตและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ซึ่งจะแสดงรายละเอียดต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.5.1 เครื่องกลึงล้อ (Under Floor Wheel Lathe)

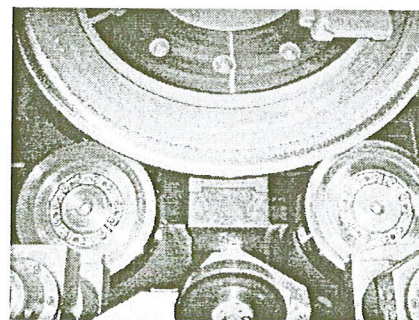
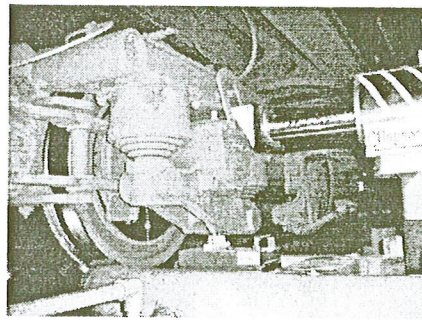
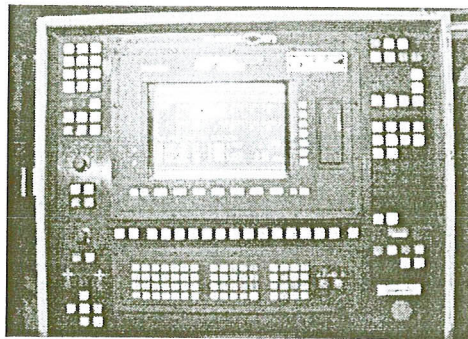
การจัดการสั่นสะเทือนในงานวิจัยนี้ซึ่งจะทำการวัดและทดสอบภายในโรงซ่อมบำรุงโดยใช้เครื่องกลึงล้อ รูปที่ 25 แสดงเครื่องกลึงล้อ (Under Floor Wheel Lathe) เป็นต้นกำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนล้อให้หมุนเพื่อวัดค่าการสั่นสะเทือน โดยที่ไม่ต้องถอดล้อออกมาวัดภายนอก ซึ่งจะทำให้ลักษณะการรับภาระมีความใกล้เคียงกับการใช้งานจริง รูปที่ 26 แสดงชุดต้นกำลังในการขับเคลื่อน และรูปที่ 27 แสดงชุดอุปกรณ์ในการควบคุมเครื่องกลึงล้อ



รูปที่ 25 เครื่องกลึงล้อ (Under Floor Wheel Lathe)



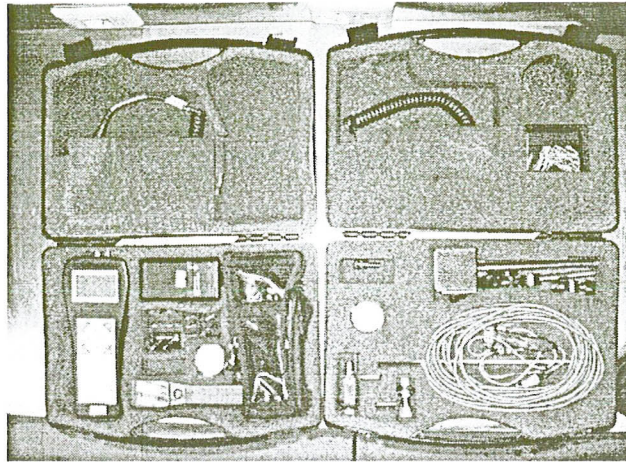
รูปที่ 26 ชุดต้นกำลังในการขับเคลื่อน



รูปที่ 27 ชุดอุปกรณ์ในการควบคุมเครื่องกลึงล้อ

3.5.2 เครื่องมือวัดค่าการสั่นสะเทือน

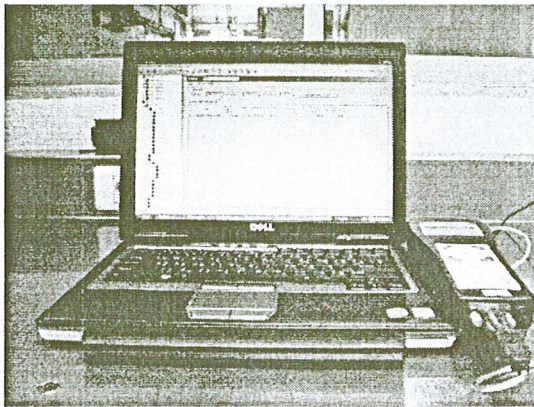
เครื่องมือวัดและบันทึกผลการสั่นสะเทือน ยี่ห้อ FAG รุ่น Detector III ซึ่งประกอบด้วย อุปกรณ์ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 28



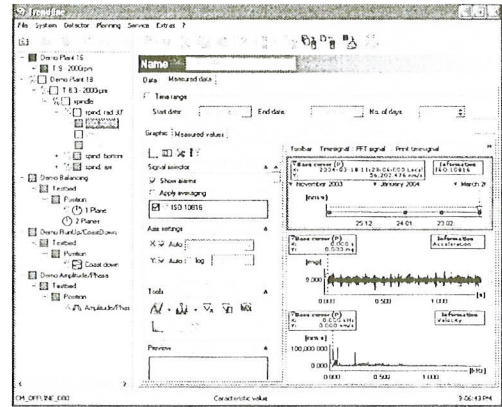
รูปที่ 28 เครื่องมือวัดและบันทึกผลการสั่นสะเทือน

3.5.3 คอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ในการวิเคราะห์

โดยจะทำหน้าที่รับข้อมูลจากเครื่องมือวัดและบันทึกผล ซึ่งสามารถที่จะวิเคราะห์ผลในภายหลังได้ รูปที่ 29 แสดงคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย และรูปที่ 30 แสดงซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลของ FAG Detector III ชื่อ โปรแกรม Trendline เวอร์ชัน 3.4.0.25



รูปที่ 29 คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 30 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล

3.6 การวัดการสั่นสะเทือน

โดยจะเริ่มจากการกำหนดจุดวัดในตำแหน่งที่มีการส่งผ่านสัญญาณการสั่นสะเทือนได้ดีที่สุด จากนั้นทำความเข้าใจความสะอาดบริเวณที่จะติดตั้งหัววัด และติดตั้งหัววัดแบบความเร่งโดยยึดติดแบบแม่เหล็กที่ตำแหน่งฝาครอบและเสื้อคลับลูกปืน รูปที่ 33 แสดงการติดตั้งหัววัดในแนวแกนและแนวรัศมี (Axial, Radial) รูปที่ 31 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งคลับลูกปืนในขบวนรถ ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลที่ใช้วัด

- ก. การกำหนดจุดวัด (Measurement Point) แนวแกนและแนวรัศมี (Axial, Radial)
- ข. ทำความสะอาดบริเวณที่จะติดตั้งหัววัด
- ง. ติดตั้งหัววัดแบบความเร่งโดยยึดติดแบบแม่เหล็ก
- จ. ความเร็วรอบที่ใช้ในการวัด 50, 100, 150 รอบต่อนาที
- ฉ. กำหนดช่วงความถี่ในการวัด 2 ช่วง

การวัดในช่วงความถี่ต่ำ

- ในฟังก์ชัน Velocity ช่วงความถี่ที่ทำการวัดคือ 10 - 1000 Hz
- ในฟังก์ชัน Acceleration ช่วงความถี่ที่ทำการวัดคือ 0.6 - 2000 Hz
- ในฟังก์ชัน Demodulation ช่วงความถี่ที่ทำการวัดคือ 0.3 - 500 Hz

การวัดในช่วงความถี่สูง

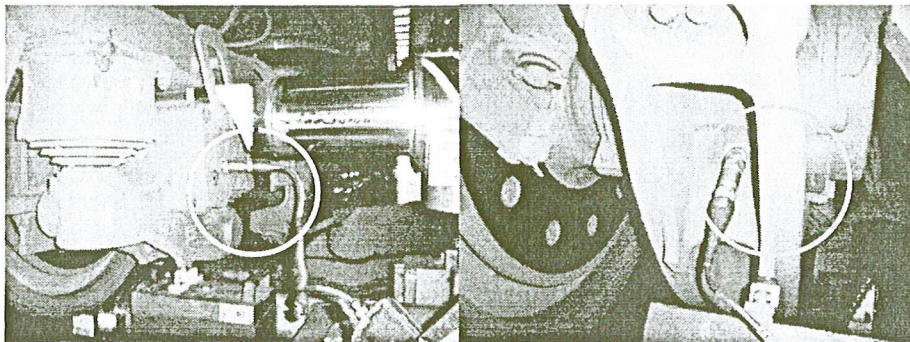
- ในฟังก์ชัน Velocity ช่วงความถี่ที่ทำการวัดคือ 37.5 - 20000 Hz
- ในฟังก์ชัน Acceleration ช่วงความถี่ที่ทำการวัดคือ 12.5 - 20000 Hz
- ในฟังก์ชัน Demodulation ช่วงความถี่ที่ทำการวัดคือ 12.5 - 20000 Hz

ข. กำหนดความละเอียดในการแสดงผลของความถี่ในกราฟ 1600 และ 3200 Lines

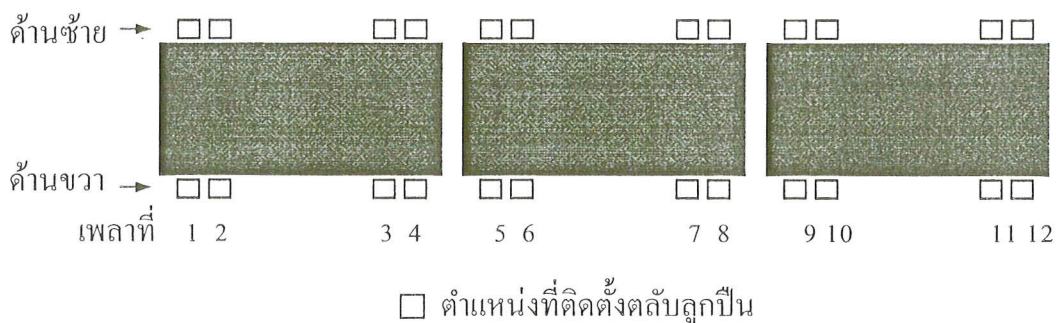
ข. กำหนดค่าเฉลี่ยในการวัดของฟังก์ชัน Averaging 2 ครั้ง และไม่ต้อง Averaging

ฉ. ดำเนินการทดสอบกับรถไฟฟ้าจำนวน 10 ขบวน

ญ. เก็บสัญญาณของตลับลูกปืนที่ยังไม่มีการสึกหรอ และตลับลูกปืนที่สึกหรอ



รูปที่ 31 การติดตั้งหัววัดในแนวแกนและแนวรัศมี (Axial, Radial)



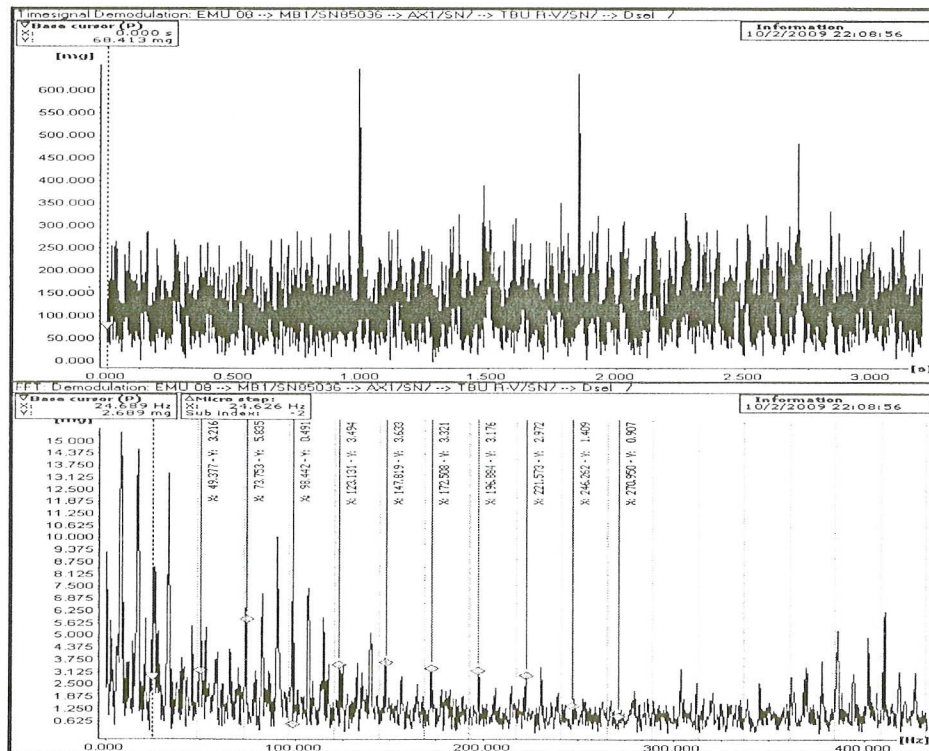
รูปที่ 32 ตำแหน่งที่ติดตั้งตลับลูกปืนในขบวนรถ

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่ใช้ในการวัดคลื่นลูกปืน

ฟังก์ชัน	ความถี่ (Hz)	ความเร็วรอบ (RPM)	ความละเอียดในการแสดงผล (Lines)	จุดวัด
Velocity	10-1000 37.5-20000	150	3200	Axial
		100	1600	Radial
		50		
Acceleration	0.6-2000 12.5-20000	150	3200	Axial
		100	1600	Radial
		50		
Demodulation	0.3-500 12.5-20000	150	3200	Axial
		100	1600	Radial
		50		

3.7 สัญญาณความถี่จากการวัด

การสั่นสะเทือนเกิดขึ้นเมื่อเครื่องจักรนั้นมีการหมุน ซึ่งทำให้เกิดสัญญาณความถี่ของชิ้นส่วนภายใน และความถี่ของการเสียหายในรูปแบบต่างๆ รูปที่ 33 แสดงความถี่จากการวัด



รูปที่ 33 ความถี่จากการวัด

3.8 การวิเคราะห์ความเสียหาย

การวิเคราะห์ความเสียหายของดัลบูลูกปืนในที่นี้จะทำการวิเคราะห์ความเสียหายโดยมุ่งเน้นการวิเคราะห์ในรูปแบบของกราฟโดเมนความถี่ (Frequency Analysis) หรือการแสดงผลในรูปแบบของกราฟสเปกตรัม (Spectrum Plot) โดยแกนตั้งจะเป็นขนาดของการสั่นสะเทือน (Amplitude) โดยจะใช้หน่วยวัดแบบระยะทาง ความเร็ว หรือความเร่ง และแกนนอนจะแสดงค่าความถี่ (Frequency) ของการสั่นสะเทือนที่เกิดจากดัลบูลูกปืนนั้น ในการวิเคราะห์แบบกราฟสเปกตรัมนี้ สามารถแปลความหมายโดยแกนตั้งจะบ่งบอกถึงความรุนแรงของการสั่นสะเทือน ส่วนแกนนอนจะบอกถึงลักษณะปัญหาหรือแหล่งที่มาของการสั่นสะเทือนนั้นว่าอยู่ตรงตำแหน่งไหนของดัลบูลูกปืน และอาจจะมีการวิเคราะห์ในรูปแบบกราฟอื่นๆ เพิ่มเติม เพื่อหาความสัมพันธ์ของสัญญาณการสั่นสะเทือนและระดับการสึกหรอของดัลบูลูกปืน

3.9 การออกแบบเครื่องทดสอบดัลบูลูกปืนแบบรับแรงในแนวรัศมีและแนวแกน[4]

3.9.1 ข้อกำหนด (Specification)

- รับแรงในแนวรัศมีได้ไม่เกิน 3000 นิวตัน
- รับแรงในแนวแกนได้ไม่เกิน 1000 นิวตัน
- ความเร็วรอบรอบไม่เกิน 150 รอบต่อนาที
- ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกสูบไม่เกิน 0.01 เมตรต่อวินาที

3.9.2 เงื่อนไข (Condition)

- มอเตอร์ไฟฟ้าแบบ 220 โวลต์ 1 เฟส
- ดัลบูลูกปืนที่สามารถรับแรงได้สองแนว คือ แนวแกนและแนวรัศมี
- แรงที่กดบนดัลบูลูกปืนใช้ระบบนิวแมติกส์

3.9.3 การคำนวณระบบนิวแมติกส์

3.9.3.1 แรงในแนวรัศมี เนื่องจากแรงที่จะใช้ทดสอบในแนวรัศมีสูงสุดคือ 3000 N ถึงเก็บความดันที่ใช้อยู่ที่ 6 บาร์ และเลือกใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกระบอกสูบขนาด 80 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางก้านสูบขนาด 25 มิลลิเมตร สามารถคำนวณหาแรงที่กระทำได้ดังนี้

$$\text{จากสูตร} \quad P = \frac{F}{A} \quad \text{N/m}^2, \quad A = \frac{F}{P} \quad \text{m}^2$$

$$\text{หาพื้นที่ด้านก้านสูบจาก} \quad A = \frac{\pi(D^2 - d^2) \times 10^{-4}}{4} \quad \text{m}^2$$

$$\text{จะได้} \quad A = \frac{\pi \times (8^2 - 2.5^2) \times 10^{-4}}{4} = 0.0045356 \quad \text{m}^2$$

ดังนั้นแรงในแนวรัศมีที่คำนวณได้ทางทฤษฎีขณะลูกสูบเคลื่อนที่ออก

จากสูตร	$F_h = A \times P$	m^2
จะได้	$= 0.0045356 \times 6 \times 10^5 = 2721.36$	N.
แต่แรงเสียดทานมีค่า 10% ของแรงทางทฤษฎี		
ค่าแรงเสียดทาน	$= 2721.36 \times \frac{10}{100} = 272.136$	N
แรงที่ได้จริง	$F_n = 2721.36 - 272.136 = 2449.224$	N

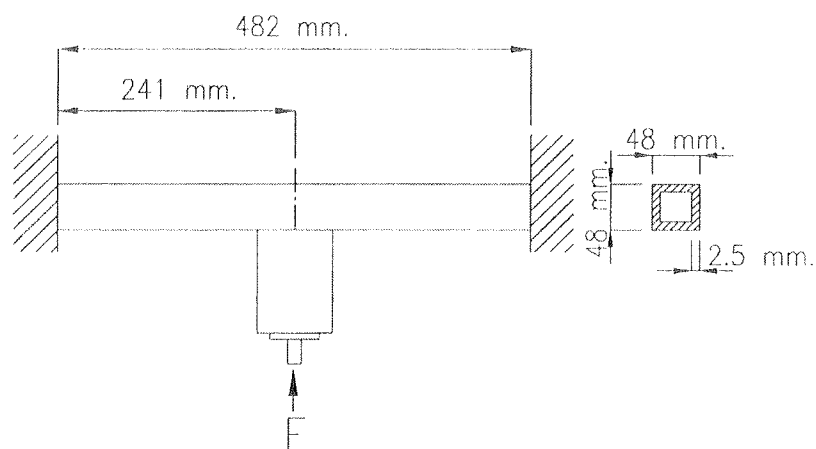
3.9.3.2 แรงในแนวแกน เนื่องจากแรงที่จะใช้ทดสอบในแนวแกนสูงสุดคือ 1000 N ถึงเก็บความดันที่ใช้อยู่ที่ 6 บาร์ และเลือกใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกระบอกสูบขนาด 50 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางก้านสูบขนาด 16 มิลลิเมตร สามารถคำนวณหาแรงที่กระทำได้ดังนี้

จากสูตร	$P = \frac{F}{A}$	N/m^2	, $A = \frac{F}{P}$	m^2
หาพื้นที่ด้านก้านสูบจาก	$A' = \frac{\pi(D^2 - d^2) \times 10^{-4}}{4}$			m^2
จะได้	$A' = \frac{\pi \times (5^2 - 1.6^2) \times 10^{-4}}{4} = 0.0017624$			m^2

ดังนั้นแรงในแนวรัศมีที่คำนวณได้ทางทฤษฎีขณะลูกสูบเคลื่อนที่ออก

จากสูตร	$F_h = A \times P$	m^2
จะได้	$= 0.0019635 \times 6 \times 10^5 = 1178.1$	N
แต่แรงเสียดทานมีค่า 10% ของแรงทางทฤษฎี		
ค่าแรงเสียดทาน	$= 1178.1 \times \frac{10}{100} = 117.810$	N
แรงที่ได้จริง	$F_n = 1178.1 - 117.81 = 1060.29$	N

3.9.4 การคำนวณการโค้งงอของจตุรกรรับกระบอกนิวแมติกส์



รูป 34 ลักษณะการรับแรงของจตุรกรรับกระบอกนิวแมติกส์

จากลักษณะการจับยึดจะเห็นว่าแรงที่เกิดขึ้นกับคานจะเพิ่มขึ้นที่คาน 2 อัน แต่ในการวิเคราะห์ เราจะวิเคราะห์การโก่งที่เกิดขึ้นเพียงคานเดียวเท่านั้น โดยกำหนดการโก่งไม่เกิน 1 mm.

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร} \quad \delta &= FL^3/48EI \\ \text{โดยกำหนด} \quad \delta &= \text{ระยะโก่งสูงสุดของคาน} < 1 \text{ mm.} \\ F &= \text{แรงที่กระทำกับคานเท่ากับ} 3000 \text{ N} \\ E &= \text{ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กคือ} 200 \times 10^3 \text{ N/mm}^2 \\ I &= \text{โมเมนต์อินเนอร์เชียร์ของเหล็ก} \\ L &= \text{ระยะความยาวของคานเท่ากับ} 482 \text{ mm.} \\ I &= \left(\frac{1}{2} \times 48 \times 48^3 \right) - \left(\frac{1}{12} \times 43 \times 43^3 \right) \\ &= \end{aligned}$$

$$157468 \quad \text{mm}^4$$

แทนค่าในสูตร

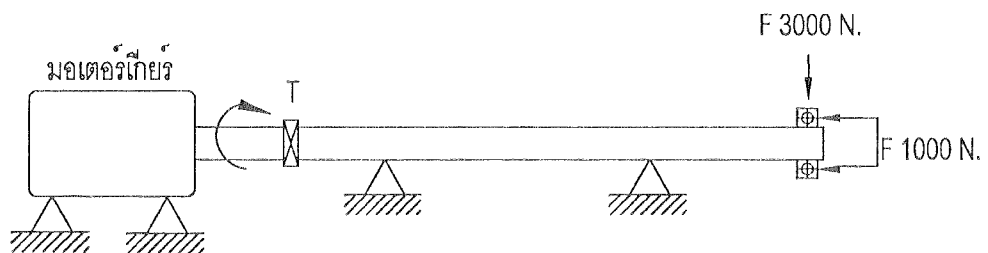
$$\begin{aligned} \delta &= \left(\frac{3000 \times 482^3}{48 \times 200 \times 10^3 \times 157468} \right) \\ &= 0.222 \quad \text{mm} \end{aligned}$$

∴ แสดงว่าถ้าใช้คานนี้รับแรงจะทำให้เกิดระยะโก่งของคาน เท่ากับ 0.222 mm แต่ถ้าเราใช้การเพิ่มจำนวนคานในการรับแรงเป็น 2 จะทำให้ระยะโก่งของคานเป็น

$$\frac{0.222}{2} = 0.111 \quad \text{mm}$$

แสดงว่าเหล็กนี้ใช้ในการทำคานได้

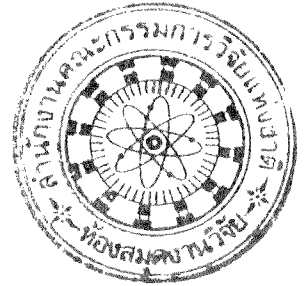
3.9.5 การหาขนาดของมอเตอร์



รูป 35 ลักษณะการส่งกำลังของมอเตอร์

จากข้อกำหนดต้องการแรงที่ 3000 นิวตัน และความเร็วรอบที่ 150 รอบต่อนาที จึงทดลองคำนวณมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า หรือ 746 วัตต์

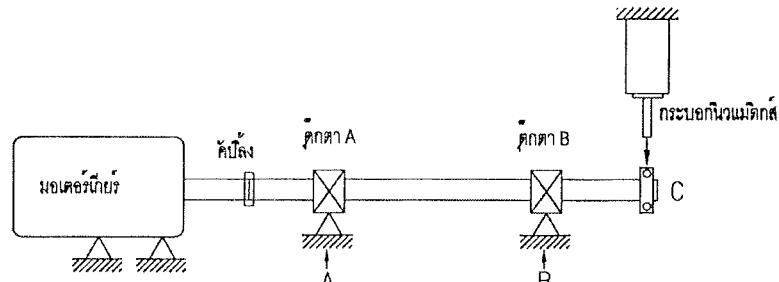
$$\text{จากสูตร} \quad P_w = \frac{2\pi NT}{60}$$



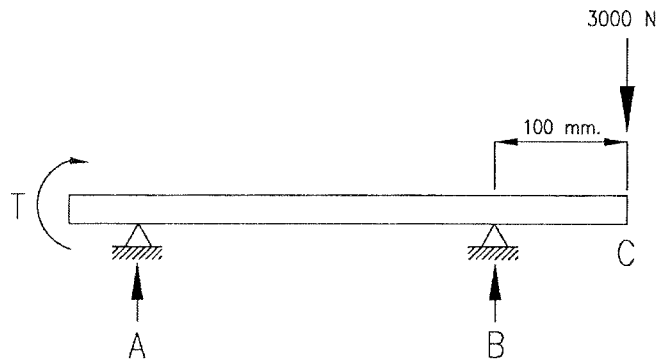
$$\begin{aligned}
 T &= \frac{(P_w)(60)}{2\pi N} \\
 &= \frac{746 \times 60}{2\pi \times 150} \\
 T &= 407.5 \quad N.m.
 \end{aligned}$$

∴ แสดงว่าแรงบิดสูงสุดของมอเตอร์ที่เราจะใช้ คือ 47.5 N.m.

3.9.6 การหาขนาดของเพลา

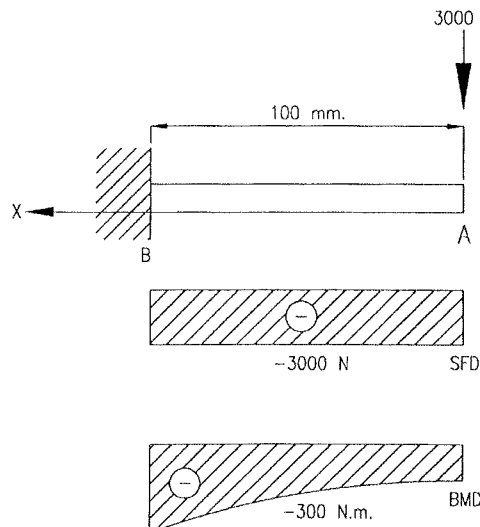


รูป 36 ลักษณะการรับแรงของเพลา

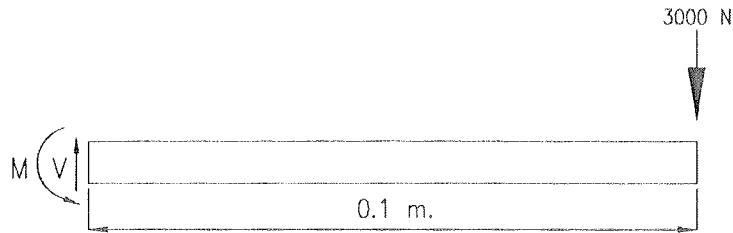


รูป 37 จุดการรับแรงของเพลา

ในการหาขนาดของเพลาเมื่อทราบแรงบิดสูงสุดของเพลาที่จะได้รับและเพลาที่ใช้งานมีลักษณะเป็นคานยื่น ดังนั้นจึงจะต้องคำนวณหาโมเมนต์ดัดสูงสุดของเพลาโดยวิธีการดังนี้



รูป 38 การรับแรงในลักษณะคานยื่น



รูป 39 แสดงระยะในการรับแรงของคาน

จากรูปจะได้ว่า

$$\begin{aligned}
 V &= -3000 \quad N \\
 M &= -3000 \times 0.1 \quad N.m \\
 &= -300 \quad N.m
 \end{aligned}$$

∴ แรงเฉือนสูงสุดเท่ากับ -3000 N กระทำที่จุดยึดแน่น
 โมเมนต์สูงสุดเท่ากับ -300 N.m กระทำที่จุดยึดแน่น
 เมื่อเราทราบ

$$\begin{aligned}
 T &= 48000 \quad N.m \\
 M_{\max} &= -30000 \quad N.m
 \end{aligned}$$

จะนั้นสามารถแทนค่าลงในสูตรการหาขนาดของเพลาดังนี้

$$d^3 = \frac{16}{\tau \pi d} \sqrt{(C_s T)^2 + (C_m M)^2} \quad \text{เมื่อ}$$

c_s คือ ตัวประกอบ ความล้าเนื่องจากการบิด

เท่ากับ 1.0

c_m คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัดเท่ากับ 1.5

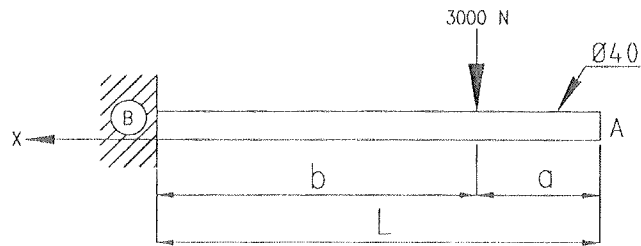
τ คือ ค่าความเค้นเฉือนใช้งานสำหรับเพล่าที่ไม่มีลิ้มเท่ากับ 55 N/mm^2

แทนค่า

$$\begin{aligned}
 d^3 &= \frac{16}{55\pi} \sqrt{(1.0 \times 48000)^2 + (1.5 \times (-3 \times 10^5))^2} \\
 d &= \sqrt[3]{0.09248 \times 452552.75} \\
 d &= 34.72 \quad mm.
 \end{aligned}$$

∴ จึงเลือกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพล่าเท่ากับ 40 มม.

3.9.7 การหาระยะโก่งของเพลลา



รูป 40 แสดงลักษณะการโก่งของเพลลา

ในการหาระยะการโก่งสูงสุดของเพลลาจากรูปจะเห็นว่าที่จุดรับแรง 3000N นั้นจะมีลักษณะเหมือนคานยื่นซึ่งมีสูตรในการคำนวณ คือ

$$\delta = \frac{F}{6EI} (2L^3 - 3aL^2 + a^3)$$

โดยกำหนด

$$\delta = \text{ระยะการโก่งสูงสุดของเพลลา}$$

$$E = 200 \times 10^3 \quad N/mm^2$$

$$L = 100 \quad mm$$

$$a = 18 \quad mm$$

$$I = (40)^4 \quad mm^4$$

แทนค่า

$$\delta = \frac{3000}{6(2000 \times 10^3 \times 40^4)} (2 \times 10^3 - 3(18)(100)^2 + 18^3)$$

$$\delta = 0.0291 \quad mm$$

∴ แสดงว่าระยะการโก่งสูงสุดของเพลลาเท่ากับ 0.0291 มม. ซึ่งเป็นระยะโก่งที่เกิดขึ้นในระบบที่สร้างขึ้นมาเพื่อทดสอบการทำงานของดรัมลูกปืน