บทที่ 5

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

เพื่อที่จะศึกษาระบบส่งกำลังและคลัตช์ชนิดลูกปืนของรถไถพรวนดินขนาดเล็ก จึงได้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วน คือ การทดลองวัดแรงเสียดทานสถิตภายในห้องส่งกำลัง การทดลองวัดกำลังสูญเสียภายในระบบส่งกำลัง การทดลองวัดประสิทธิภาพการส่งกำลัง และการทดลองวัดแรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยว

5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสามารถแบ่งตามวิธีการทดลองได้ ดังนี้

5.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวัดแรงเสียดทานสถิตภายในห้องส่งกำลัง

1. รถไถพรวนดินรุ่น FA500 ของบริษัทเอเชี่ยนฮอนด้ามอเตอร์ จำกัด
2. แท่นยึดรถไถพรวนดิน
3. Dial gauge
4. ตุ้มน้ำหนัก ขนาด 0.0625 0.125 0.25 0.5 1 2 และ 5 N
5. ที่แขวนตุ้มน้ำหนักขนาด 1 N
6. Thermocouple ชนิด K
7. เครื่องแสดงอุณหภูมิ

5.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวัดกำลังสูญเสียภายในระบบส่งกำลัง

1. รถไถพรวนดินรุ่น FA500 ของบริษัทเอเชี่ยนฮอนด้ามอเตอร์ จำกัด
2. แท่นยึดรถไถพรวนดิน
3. เครื่อง Data logger
4. เครื่อง Torque transducer สำหรับวัดแรงบิดเครื่องยนต์
5. เครื่อง Strain amplifier
6. หม้อแปลงไฟฟ้า 12 V
7. เครื่องวัดความเร็วรอบหมุน (Digital tachometer)
8. อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง
9. นาฬิกาจับเวลา

5.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวัดประสิทธิภาพการส่งกำลัง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้จะเหมือนกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวัดกำลังสูญเสียภายในระบบส่งกำลัง โดยมีอุปกรณ์เพิ่มเติม ดังนี้

1. เครื่อง Torque transducer สำหรับวัดแรงบิดที่เพลาล้อทั้ง 2 ข้าง
2. เครื่อง Digital strain bridge 2 เครื่อง

5.1.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวัดแรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยว

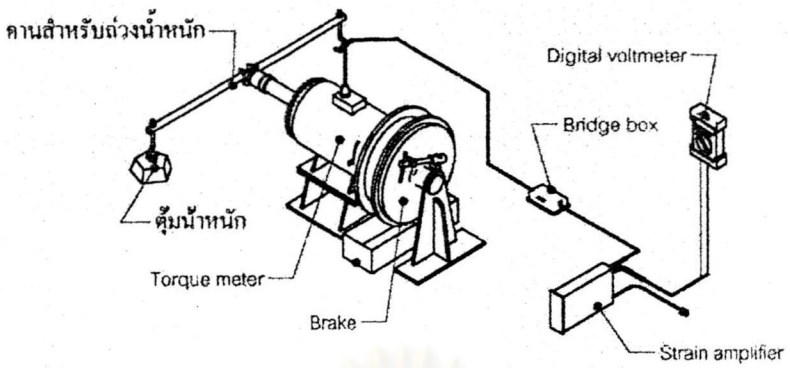
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้จะเหมือนกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวัดประสิทธิภาพการส่งกำลัง โดยมีอุปกรณ์เพิ่มเติม ดังนี้

1. ตุ้มน้ำหนัก ขนาด 0.05 0.1 0.2 0.5 1 2 และ 5 kg
2. ที่แขวนตุ้มน้ำหนัก ขนาด 580.4 และ 358.7 g สำหรับคันคลัตช์บังคับเลี้ยวข้างซ้ายและข้างขวา ตามลำดับ
3. ชุดรอกสำหรับแขวนตุ้มน้ำหนัก 2 ชุด
4. ที่จับยึดคันคลัตช์บังคับเลี้ยว 2 ชุด

5.2 วิธีการปรับเทียบและผลการปรับเทียบเครื่องมือวัด

ในการทดลองเพื่อวัดกำลังสูญเสียภายในระบบส่งกำลัง วัดประสิทธิภาพการส่งกำลัง และวัดแรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวนั้น จำเป็นต้องทำการวัดแรงบิดที่ออกจากเครื่องยนต์ และแรงบิดที่เพลาล้อทั้งสองข้างของรถไถพรวนดิน โดย Torque transducer สำหรับวัดแรงบิดที่ออกจากเครื่องยนต์และที่เพลาล้อทั้งสองข้าง จะวัดค่าแรงบิดออกมาในรูปของแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) ซึ่งไม่สามารถทราบได้ว่า ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้านั้นมีขนาดแรงบิดเป็นเท่าไร ดังนั้นจึงต้องทำการเทียบมาตรฐานเพื่อที่จะได้สมการสำหรับแปลงค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้านั้นให้เป็นค่าของแรงบิดในหน่วยที่ต้องการแล้วนำไปคำนวณค่าอื่นๆ ต่อไป

การปรับเทียบนี้ทำได้โดยนำตุ้มน้ำหนักมาตรฐานมาแขวนที่ปลายคานซึ่งยึดติดกับเพลาของ Torque transducer ซึ่งแรงบิดที่เกิดขึ้นจะสามารถคำนวณได้ จากขนาดของน้ำหนักคูณด้วยระยะจากตำแหน่งที่แขวนตุ้มน้ำหนักถึงกึ่งกลางคาน ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ณ แรงบิดค่าหนึ่งๆ จะนำไปสร้างกราฟการปรับเทียบ (Calibration curve) เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับแรงบิด โดยอาศัยทฤษฎีการถดถอยแบบกำลังสองน้อยสุด (Least-square regression) ต่อไป



รูปที่ 5.1 ตัวอย่างการปรับเทียบอุปกรณ์วัดแรงบิดที่เพลาล้อ [11]

ทฤษฎีที่ใช้อ้างอิงสำหรับการปรับเทียบอุปกรณ์วัดแรงบิดนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วนใหญ่ๆ คือ

1. การหาค่าแรงบิดจากการถ่วงน้ำหนัก โดย

แรงบิด = น้ำหนัก x ระยะทางระหว่างจุดถ่วงน้ำหนักกับจุดกึ่งกลางของคาน (5.1)

เนื่องจากการติดตั้งคานถ่วงน้ำหนักอยู่ในลักษณะสมดุลรอบจุดหมุน จึงไม่ต้องนำค่าน้ำหนักของคานเข้ามาเกี่ยวข้องในการคำนวณหาค่าแรงบิด

2. การหาสมการเชิงเส้นจากข้อมูลการปรับเทียบอุปกรณ์วัดแรงบิด

จากผลการปรับเทียบ เราสามารถสร้างกราฟการปรับเทียบ โดยมีค่าแรงบิดเป็นตัวแปรอิสระอยู่ในแกน X และค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็นตัวแปรตามอยู่ในแกน Y การหาสมการมาแทนข้อมูลที่ได้จากการปรับเทียบดังกล่าว อาศัยหลักเกณฑ์การถดถอยแบบกำลังสองน้อยสุด โดยถือว่าเป็นสมการเส้นตรง (Linear equation) ซึ่งอยู่ในรูป y = mx แต่เนื่องจากในการปรับเทียบ เมื่อทำการปรับค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่อุปกรณ์ขยายสัญญาณในขณะที่ยังไม่มีแรงบิดให้เป็นศูนย์แล้ว ปรากฏว่าเครื่อง Data logger ที่ใช้ในการแสดงและบันทึกผลข้อมูลกลับแสดงค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ไม่ใช่ศูนย์ออกมา ทำให้ต้องเลือกใช้สมการเส้นตรง ซึ่งอยู่ในรูป

$$y = mx + c \qquad (5.2)$$

โดย y = ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า (V) ที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดแรงบิด

x = ค่าแรงบิด (kN-m)

m = ค่าความชันของสมการเส้นตรง

c = จุดตัดแกน Y ของกราฟ

จากหลักเกณฑ์การถดถอยแบบกำลังสองน้อยสุด จะสามารถหาค่า m และ c ได้ จากสมการ

$$m = \frac{N(\Sigma xy) - (\Sigma x)(\Sigma y)}{N(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2} \qquad (5.3)$$

และ

$$c = \frac{(\Sigma y)(\Sigma x^2) - (\Sigma xy)(\Sigma x)}{N(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2} \qquad (5.4)$$

โดย N = จำนวนของข้อมูลทั้งหมด

ค่าที่ใช้บอกความเชื่อถือได้ของสมการการปรับเทียบด้วยหลักเกณฑ์การถดถอยแบบกำลังสองน้อยสุด คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, R) โดย

$$R^2 = \frac{\Sigma(y(x_i) - y_m)^2}{S^2 + \Sigma(y(x_i) - y_m)^2} \qquad (5.5)$$

โดย

$$y_m = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i$$

และ

$$S^2 = \sum_{i=1}^{n}(y_i - y(x_i))^2$$

ถ้าค่า $0.8 < R^2 < 1$ หรือ $|R| > 0.9$ แสดงว่าสมการเส้นตรงที่ได้จากการถดถอยแบบกำลังสองน้อยสุดสามารถเชื่อถือได้ หรือจุดข้อมูลเหล่านั้นมีการเบี่ยงเบนจากเส้นสมการที่คำนวณได้อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ ถ้าค่า R มีค่าน้อยๆ แสดงว่าเราไม่สามารถแทนข้อมูลก่อนการทดลองเหล่านั้นด้วยสมการเส้นตรงได้ และสามารถหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของค่า m และ c ที่คำนวณได้จาก

$$S_m^2 = \frac{N.S_y^2}{N(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2} \qquad (5.6)$$

$$s_c^2 = \frac{s_y^2 . \Sigma x^2}{N(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2} \qquad (5.7)$$

เมื่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า y คือ

$$s_y^2 = \frac{1}{N}\Sigma(mx + c - y)^2 \qquad (5.8)$$

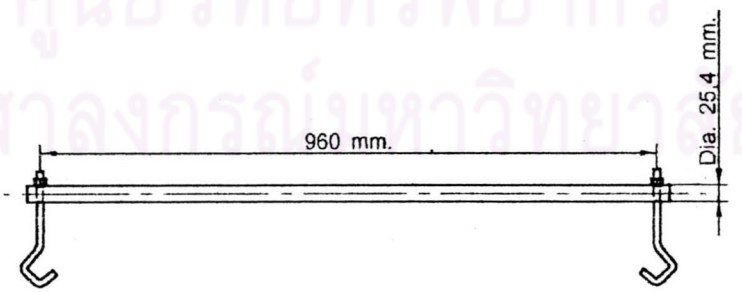
ดังนั้นถ้าสมมุติให้ข้อมูลที่วัดได้มีการกระจายแบบปกติ (Normal distribution) จะสามารถกำหนดขอบเขตความผิดพลาดของค่า m, c และ y ที่หาได้จากหลักเกณฑ์การถดถอยแบบกำลังสองน้อยสุดเป็น $m \pm 3s_m$, $c \pm 3s_c$ และ $y \pm 3s_y$ ตามลำดับ เมื่อเราทำการวัดแรงบิด ค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์วัด คือ ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า (y) แต่ค่าที่เราต้องการเพื่อนำไปใช้งาน คือ ค่าแรงบิด (x) ดังนั้นเราจะสามารถหาค่าแรงบิดได้โดยการจัดรูปสมการที่ 5.2 ใหม่เป็น

$$x = \frac{y - c}{m} \qquad (5.9)$$

5.2.1 การปรับเทียบอุปกรณ์วัดแรงบิดที่เพลาเครื่องยนต์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับเทียบ

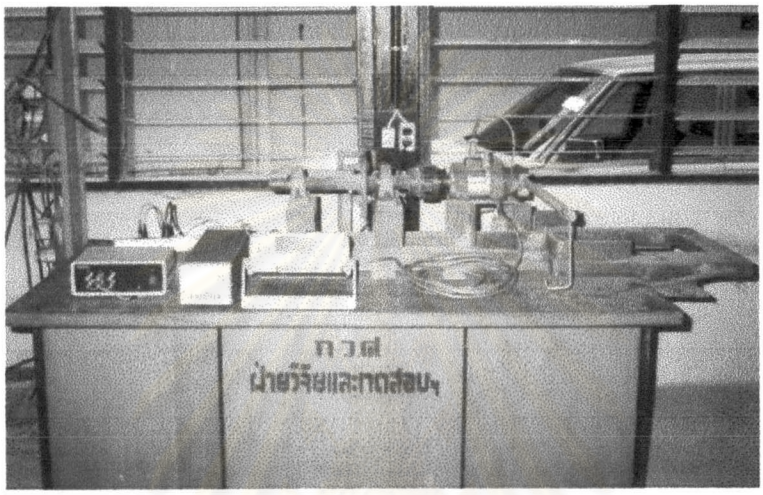
1. Torque transducer สำหรับวัดแรงบิดเครื่องยนต์
2. คาน (Beam) มีขนาดและมิติ ดังแสดงในรูปที่ 5.2
3. ตุ้มน้ำหนัก ขนาด 1 2 และ 5 kg
4. ที่แขวนตุ้มน้ำหนัก (Hook) ดังแสดงในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 คานและที่แขวนตุ้มน้ำหนักที่ใช้ในการปรับเทียบ [11]

วิธีการปรับเทียบ

1. ประกอบ **Torque transducer** เข้ากับแท่นดังแสดงในรูปที่ 5.3 เชื่อมคานเข้ากับคัปปลิงของ **Torque transducer** ทางด้านที่จะนำไปต่อเข้ากับเพลาเครื่องยนต์ ส่วนอีกด้านหนึ่งให้ยึดให้อยู่กับที่
2. ต่อสายสัญญาณจาก **Torque transducer** เข้ากับเครื่อง **Strain amplifier** จากนั้นจึงต่อสายสัญญาณจากเครื่อง **Strain amplifier** เข้ากับเครื่อง **Data logger** เพื่อแสดงค่าสัญญาณแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างการปรับเทียบ



รูปที่ 5.3 การปรับเทียบ **Torque transducer** สำหรับวัดแรงบิดเครื่องยนต์

3. ทำการปรับเทียบโดยบันทึกค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่อ่านได้จาก **Data logger** ขณะที่ไม่ได้แขวนตุ้มน้ำหนักหรือขณะแรงบิดเท่ากับศูนย์ จากนั้นเริ่มแขวนตุ้มน้ำหนักขนาด 1 กิโลกรัม อ่านและบันทึกค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า
4. เพิ่มขนาดน้ำหนักขึ้นทีละ **1 kg** อ่านและบันทึกค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าไปเรื่อยๆ จนถึงขนาดน้ำหนัก **9 kg**
5. จากน้ำหนัก 9 กิโลกรัม ให้ลดน้ำหนักลงครั้งละ **1 kg** พร้อมทั้งอ่านและบันทึกค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าจาก **Data logger** ไปเรื่อยๆ จนขนาดน้ำหนักเหลือ **0 kg**
6. ทำการปรับเทียบซ้ำอีก 2 ครั้ง นำค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าในขณะเพิ่มน้ำหนักทั้งสามครั้งมาหาค่าเฉลี่ย
7. คำนวณแรงบิดที่เกิดจากการถ่วงน้ำหนักขนาดต่างๆ
8. นำค่าแรงบิดที่คำนวณได้กับค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จากการปรับเทียบมาเขียนกราฟการปรับเทียบ และหาสมการถดถอยแบบกำลังสองน้อยสุดเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับแรงบิด สมการที่ได้นี้จะนำไปใช้ในการคำนวณในการทดลองจริง

ผลการปรับเทียบ Torque transducer สำหรับวัดแรงบิดเครื่องยนต์ แสดงดังตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.4 ส่วนสมการถดถอยที่สร้างได้จากการปรับเทียบ คือ

$$T_1 = \frac{E_1}{28.936} \qquad (5.10)$$

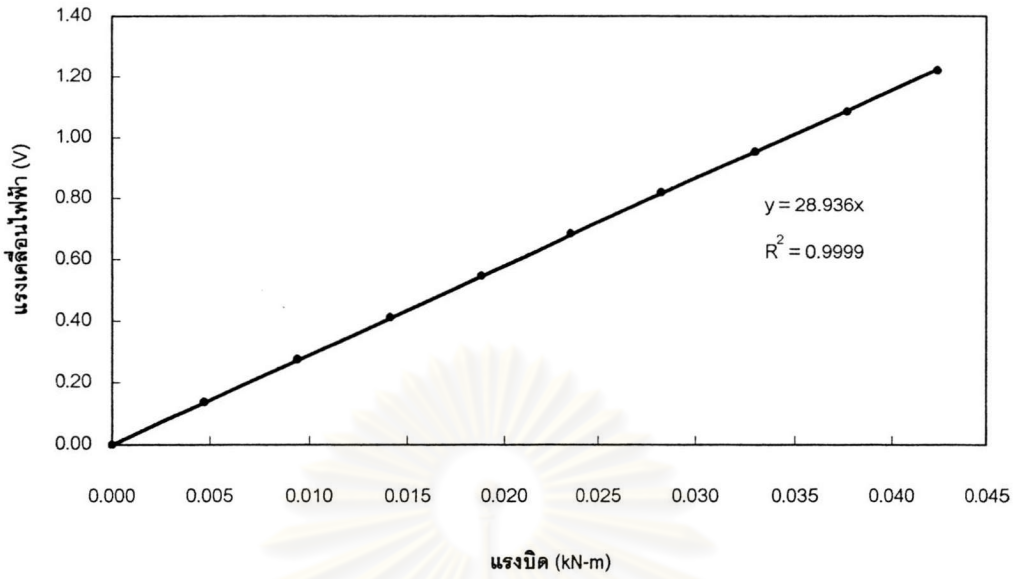
โดย E_1 = แรงเคลื่อนไฟฟ้าจากการปรับเทียบอุปกรณ์วัดแรงบิดที่เครื่องยนต์ (V)

T_1 = แรงบิดจากการปรับเทียบอุปกรณ์วัดแรงบิดที่เครื่องยนต์ (kN-m)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) จากรูปที่ 5.4 คำนวณได้เท่ากับ 0.9999 มีค่ามากกว่า 0.9 ดังนั้นสมการเส้นตรงที่คำนวณได้จึงสามารถแทนความสัมพันธ์ของข้อมูลดังกล่าวได้

ตารางที่ 5.1 การปรับเทียบ Torque transducer สำหรับวัดแรงบิดเครื่องยนต์

ขนาดของตุ้มน้ำหนัก (kg)	แรงบิด (kN-m)	ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้ (V)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0.000000	0.000000	0.000550	0.000520	0.000357
1	0.004707	0.138390	0.138380	0.138380	0.138383
2	0.009414	0.275830	0.275670	0.275860	0.275787
3	0.014122	0.411950	0.411750	0.411750	0.411817
4	0.018829	0.549650	0.545250	0.546150	0.547017
5	0.023536	0.684850	0.684850	0.684650	0.684783
6	0.028243	0.820250	0.819350	0.819750	0.819783
7	0.032950	0.955150	0.954050	0.953950	0.954383
8	0.037658	1.085650	1.086350	1.085050	1.085683
9	0.042365	1.223050	1.222250	1.220450	1.221917



รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าของอุปกรณ์วัดแรงบิดเครื่องยนต์

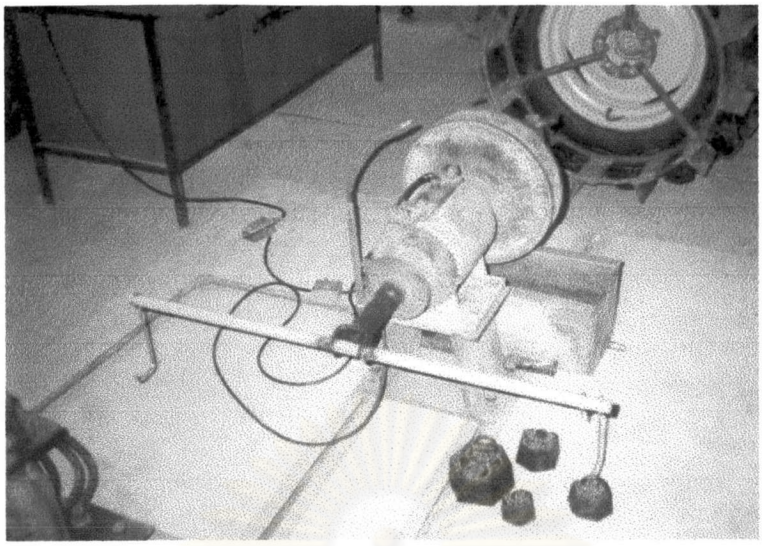
5.2.2 การปรับเทียบอุปกรณ์วัดแรงบิดที่เพลาล้อ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับเทียบ

1. Torque transducer สำหรับวัดแรงบิดเครื่องยนต์
2. คาน (Beam) มีขนาดและมิติ ดังแสดงในรูปที่ 5.2
3. ตุ้มน้ำหนัก ขนาด 1 2 และ 5 kg
4. ที่แขวนตุ้มน้ำหนัก (Hook) ดังแสดงในรูปที่ 5.2

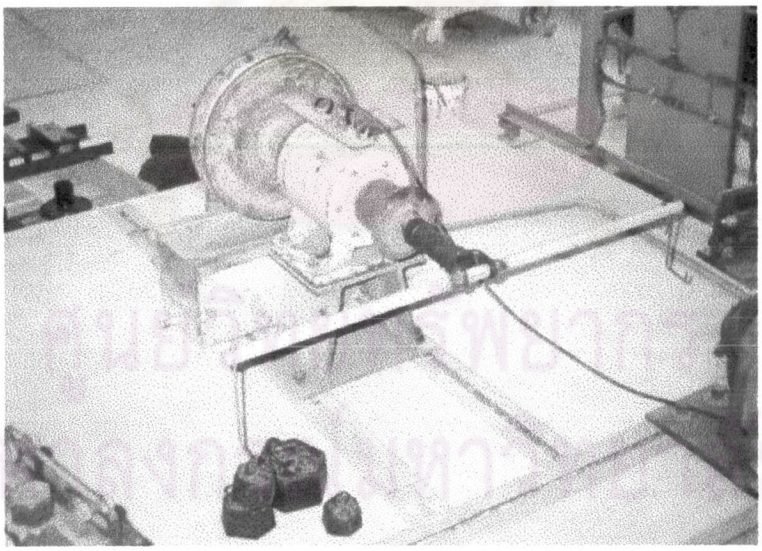
วิธีการปรับเทียบ

1. เชื่อมคานเข้ากับเพลาของ Torque transducer ทางด้านที่จะต่อเข้ากับเพลาล้อ ส่วนด้านที่เป็นเบรกชนิดก้ามปูนั้น ให้ขันสลักเกลียวให้แน่น ดังแสดงในรูปที่ 5.5 และ 5.6
2. ต่อสายสัญญาณจาก Torque transducer เข้ากับเครื่อง Digital strain bridge ปรับค่าต่างๆ ของ Digital strain bridge และทำการปรับศูนย์
3. ต่อสายสัญญาณจากเครื่อง Digital strain bridge เข้ากับเครื่อง Data logger เพื่อบันทึกค่าสัญญาณแรงเคลื่อนไฟฟ้าระหว่างการปรับเทียบ
4. อ่านและบันทึกค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าขณะไม่ได้แขวนตุ้มน้ำหนัก หรือขณะที่แรงบิดเท่ากับศูนย์ จากนั้นเริ่มแขวนตุ้มน้ำหนักขนาด 1 กิโลกรัม อ่านและบันทึกค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า



รูปที่ 5.5 การปรับเทียบ **Torque transducer** สำหรับวัดแรงบิดที่เพลาล้อข้างซ้าย

5. เพิ่มขนาดน้ำหนักขึ้นทีละ 1 กิโลกรัม พร้อมทั้งอ่านและบันทึกค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าไปเรื่อยๆ จนถึงขนาดน้ำหนัก 9 กิโลกรัม
6. จากน้ำหนัก 9 กิโลกรัม ให้ลดน้ำหนักลงครั้งละ 1 kg พร้อมทั้งอ่านและบันทึกค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าจาก **Data logger** ไปเรื่อยๆ จนขนาดน้ำหนักเหลือ 0 kg



รูปที่ 5.6 การปรับเทียบ **Torque transducer** สำหรับวัดแรงบิดที่เพลาล้อข้างขวา

7. ทำการปรับเทียบซ้ำอีก 2 ครั้ง นำค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าในขณะเพิ่มน้ำหนักทั้งสามครั้งมาหาค่าเฉลี่ย
8. คำนวณแรงบิดที่เกิดจากการถ่วงน้ำหนักขนาดต่างๆ

9. นำค่าแรงบิดที่คำนวณได้กับค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จากการปรับเทียบมาเขียนกราฟการปรับเทียบ และหาสมการถดถอยแบบกำลังสองน้อยสุดเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับแรงบิด สมการที่ได้นี้จะนำไปใช้ในการคำนวณในการทดลองจริง

ผลการปรับเทียบ **Torque transducer** สำหรับวัดแรงบิดที่เพลาล้อซ้าย แสดงดังตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.7 ส่วนสมการถดถอยที่สร้างได้จากการปรับเทียบ คือ

$$T_2 = \frac{E_2 - 0.2473}{63.719} \qquad (5.11)$$

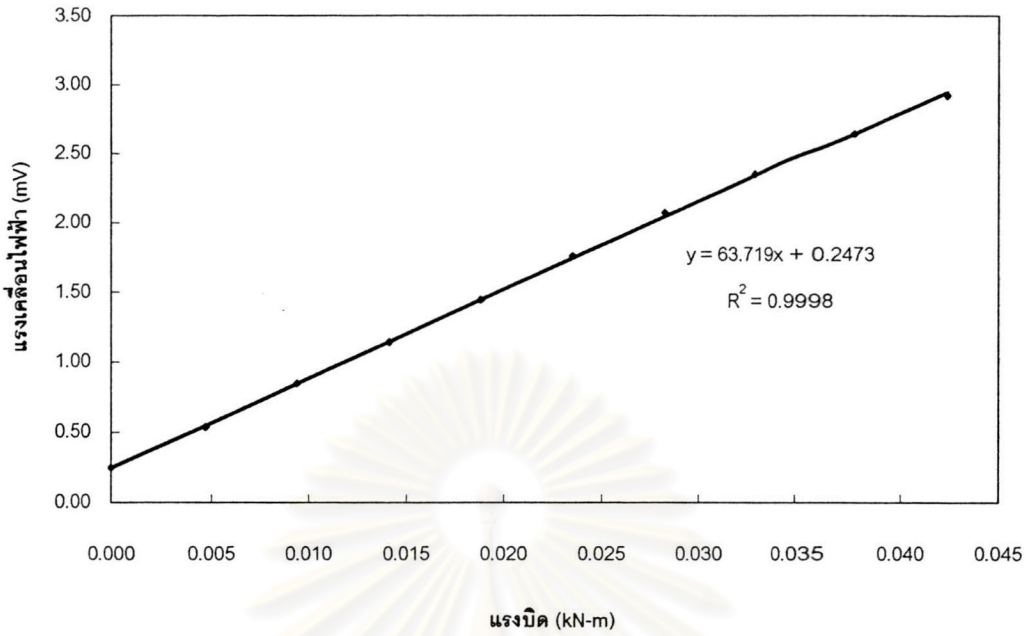
โดย E_2 = แรงเคลื่อนไฟฟ้าจากการปรับเทียบอุปกรณ์วัดแรงบิดที่เพลาล้อซ้าย (mV)

T_2 = แรงบิดจากการปรับเทียบอุปกรณ์วัดแรงบิดที่เพลาล้อซ้าย (kN-m)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) จากรูปที่ 5.7 คำนวณได้เท่ากับ 0.9998 มีค่ามากกว่า 0.9 ดังนั้นสมการเส้นตรงที่คำนวณได้จึงสามารถแทนความสัมพันธ์ของข้อมูลดังกล่าวได้

ตารางที่ 5.2 การปรับเทียบ **Torque transducer** สำหรับวัดแรงบิดที่เพลาล้อซ้าย

ขนาดของตุ้มน้ำหนัก (kg)	แรงบิด (kN-m)	ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้ (mV)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0.000000	0.3100	0.2300	0.2000	0.2467
1	0.004707	0.5800	0.5300	0.5000	0.5367
2	0.009414	0.9000	0.8400	0.8000	0.8467
3	0.014122	1.2000	1.1500	1.0800	1.1433
4	0.018829	1.5000	1.4300	1.4000	1.4433
5	0.023536	1.8000	1.7600	1.7200	1.7600
6	0.028243	2.1200	2.0800	2.0100	2.0700
7	0.032950	2.3900	2.3700	2.3000	2.3533
8	0.037658	2.6800	2.6600	2.6000	2.6467
9	0.042365	2.9400	2.9500	2.8800	2.9233



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าของอุปกรณ์วัดแรงบิดที่เพลาล้อซ้าย

ผลการปรับเทียบ Torque transducer สำหรับวัดแรงบิดที่เพลาล้อขวา แสดงดังตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.8 ส่วนสมการถดถอยที่สร้างได้จากการปรับเทียบ คือ

$$T_3 = \frac{E_3 - 0.4742}{66.556} \qquad (5.12)$$

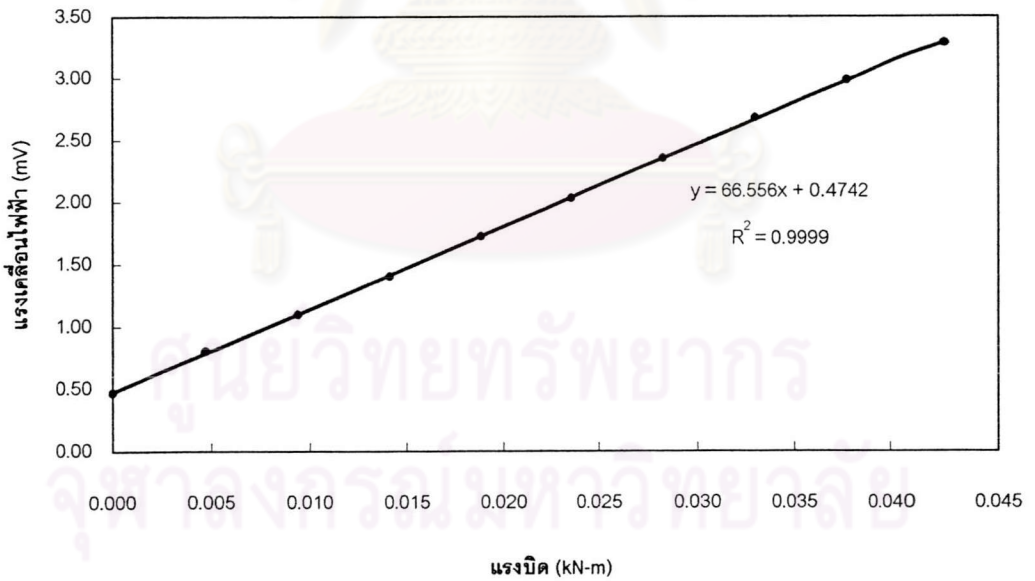
โดย E_3 = แรงเคลื่อนไฟฟ้าจากการปรับเทียบอุปกรณ์วัดแรงบิดที่เพลาล้อขวา (V)

T_3 = แรงบิดจากการปรับเทียบอุปกรณ์วัดแรงบิดที่เพลาล้อขวา (kN-m)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) จากรูปที่ 5.8 คำนวณได้เท่ากับ 0.9999 มีค่ามากกว่า 0.9 ดังนั้นสมการเส้นตรงที่คำนวณได้จึงสามารถแทนความสัมพันธ์ของข้อมูลดังกล่าวได้

ตารางที่ 5.3 การปรับเทียบ Torque transducer สำหรับวัดแรงบิดที่เพลาล้อขวา

ขนาดของตุ้มน้ำหนัก (kg)	แรงบิด (kN-m)	ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้ (mV)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0.000000	0.5100	0.4700	0.4300	0.4700
1	0.004707	0.8900	0.7700	0.7500	0.8033
2	0.009414	1.1400	1.0800	1.0700	1.0967
3	0.014122	1.4500	1.3900	1.3800	1.4067
4	0.018829	1.7800	1.7100	1.6900	1.7267
5	0.023536	2.0800	2.0200	1.9900	2.0300
6	0.028243	2.4000	2.3500	2.3100	2.3533
7	0.032950	2.7500	2.6700	2.6200	2.6800
8	0.037658	3.0200	2.9700	2.9700	2.9867
9	0.042365	3.3500	3.2400	3.2700	3.2867



รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าของอุปกรณ์วัดแรงบิดที่เพลาล้อขวา

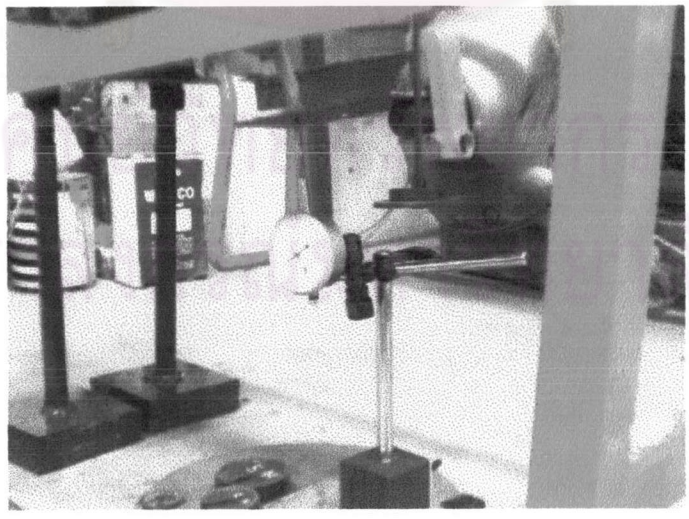
5.3 วิธีการทดลอง

5.3.1 การทดลองวัดแรงเสียดทานสถิตภายในห้องส่งกำลัง

1. ถอดล้อยางทั้งสองข้างและสกีหลังของรถไถพรวนดินออก
2. ประกอบรถไถเข้ากับแท่นยึดรถไถ ปรับตำแหน่งให้ได้แนวระดับ ขันสลักเกลียวให้แน่นทุกตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 5.9

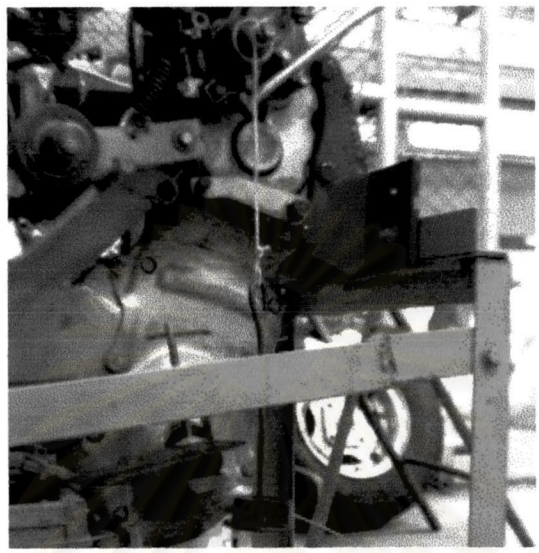
รูปที่ 5.9 การทดลองวัดแรงเสียดทานสถิต

3. ติดตั้ง **Dial gauge** เข้าที่เพลาล้อข้างหนึ่ง โดยยึดแผ่นเหล็กบางเข้ากับเพลาล้อของรถไถพรวนดินด้วยอุปกรณ์จับยึด **(Clamp)** แล้วให้มาสัมผัสกับ **Dial gauge** ดังแสดงในรูปที่ 5.10



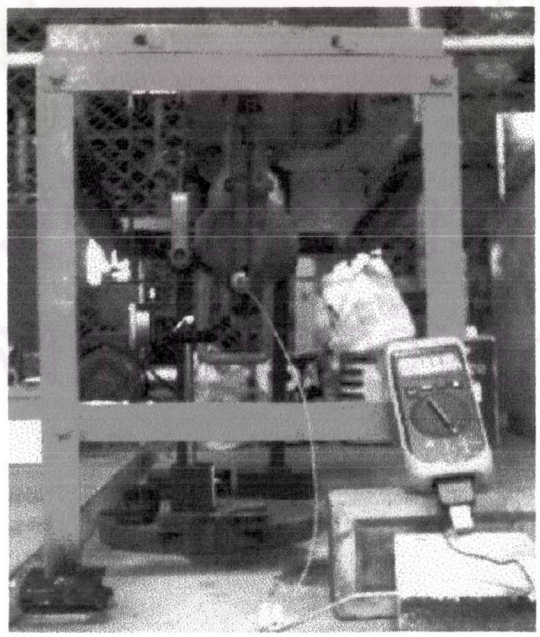
รูปที่ 5.10 การติดตั้ง **Dial gauge** เพื่อตรวจสอบการหมุนของเพลาล้อ

4. ถอดสายพานและมู่เล่ที่เพลาเข้าห้องส่งกำลังออก ติดตั้งที่แขวนตุ้มน้ำหนักเข้ากับเพลาเข้าห้องส่งกำลัง โดยนำเชือกมาผูกกับที่แขวนตุ้มน้ำหนัก ส่วนปลายเชือกอีกข้างหนึ่งให้นำไปพันไว้กับเพลาเข้าห้องส่งกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 การติดตั้งที่แขวนตุ้มน้ำหนักที่เพลาเข้าห้องส่งกำลัง

5. ติดตั้ง Thermocouple และเครื่องแสดงอุณหภูมิเข้าที่ช่องสำหรับถ่ายน้ำมันออกของห้องส่งกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 5.12

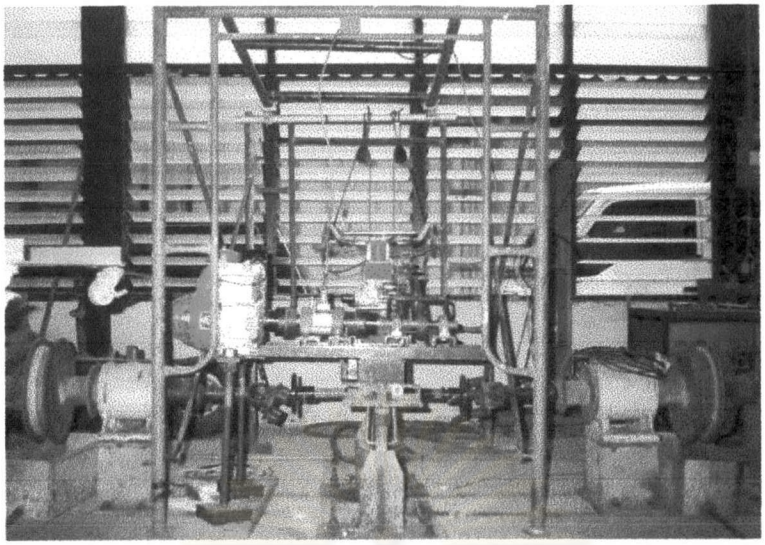


รูปที่ 5.12 การวัดอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นภายในห้องส่งกำลัง

6. ให้ทำการทดลองเบื้องต้น 2-3 ค่าในแต่ละเกียร์ เพื่อตรวจสอบข้อผิดพลาด และเป็นการกำหนดตำแหน่งของน้ำหนักที่ทำให้เพลาล้อเริ่มหมุนโดยประมาณก่อนทดลองจริง
7. เข้าเกียร์ 1 เพิ่มตุ้มน้ำหนักที่เพลาเข้าห้องส่งกำลังทีละน้อย สังเกตเข็มบนหน้าปัดของ Dial gauge ถ้าเข็มเริ่มขยับให้หยุดถ่วงน้ำหนักเพิ่ม จดบันทึกน้ำหนักที่ทำให้เพลาล้อเริ่มหมุน และค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นภายในห้องส่งกำลังขณะนั้น
8. ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย จากนั้นจึงเปลี่ยนเกียร์และทำการทดลองซ้ำจนครบทั้ง 6 เกียร์
9. ถอดที่แขวนตุ้มน้ำหนักออกจากเพลาเข้าห้องส่งกำลัง และย้าย Dial gauge ออกจากเพลาล้อ จากนั้นให้ใส่มู่เล่ที่เพลาเข้าห้องส่งกำลังและสายพานเข้าตำแหน่งเดิม
10. เริ่มเดินเครื่องยนต์ ตั้งความเร็วรอบเครื่องยนต์ให้สูงพอประมาณ จากนั้นจึงเข้าเกียร์ 5 หรือเกียร์ 6 คอยตรวจสอบค่าอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นภายในห้องส่งกำลัง จากเครื่องแสดงอุณหภูมิ
11. เมื่ออุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นภายในห้องส่งกำลังมีค่าประมาณ 50°C ให้ปลดคลัตช์หลักแล้วเข้าเกียร์ว่าง จากนั้นจึงดับเครื่องยนต์
12. ทำการถอดสายพานและมู่เล่ที่เพลาเข้าห้องส่งกำลัง แล้วติดตั้งที่แขวนตุ้มน้ำหนักเข้ากับเพลาเข้าห้องส่งกำลัง เริ่มทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง

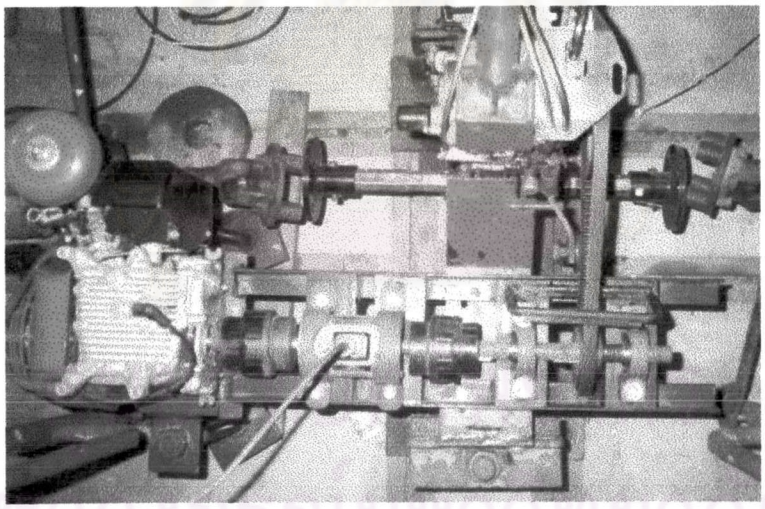
5.3.2 การทดลองวัดกำลังสูญเสียภายในระบบส่งกำลัง

1. ถอดเครื่องยนต์ออกจากโครงรถไถพรวนดิน
2. ถอดล้อทั้งสองข้างและสกีหลังของรถไถออก ประกอบอุปกรณ์จับยึดรถไถกับแท่นทดลอง จากนั้นจึงนำรถไถขึ้นติดตั้งกับแท่นทดลอง ปรับตำแหน่งให้อยู่ในแนวระดับ อนึ่งในการทดลองนี้ไม่ต้องต่อเบรกเข้าที่เพลาล้อทั้งสองข้าง
3. นำแท่นสำหรับวางเครื่องยนต์และ Torque transducer มาประกอบเข้ากับรถไถและแท่นทดสอบทางด้านหน้าของรถไถ ดังแสดงในรูปที่ 5.13 ตำแหน่งของมู่เล่และสายพานจะต้องอยู่ในตำแหน่งเช่นเดียวกันกับในขณะที่มีเครื่องยนต์ติดตั้งอยู่



รูปที่ 5.13 การติดตั้งชุดการทดลองวัดกำลังสูญเสียภายในระบบส่งกำลัง

4. นำเครื่องยนต์ที่ถอดไว้มาติดตั้งบนแท่นที่ประกอบไว้ ปรับตำแหน่งเพลาให้ตรงกัน และแท่นต้องอยู่ในแนวระดับ ขันสลักเกลียวทุกตำแหน่งให้แน่นดังแสดงในรูปที่ 5.14

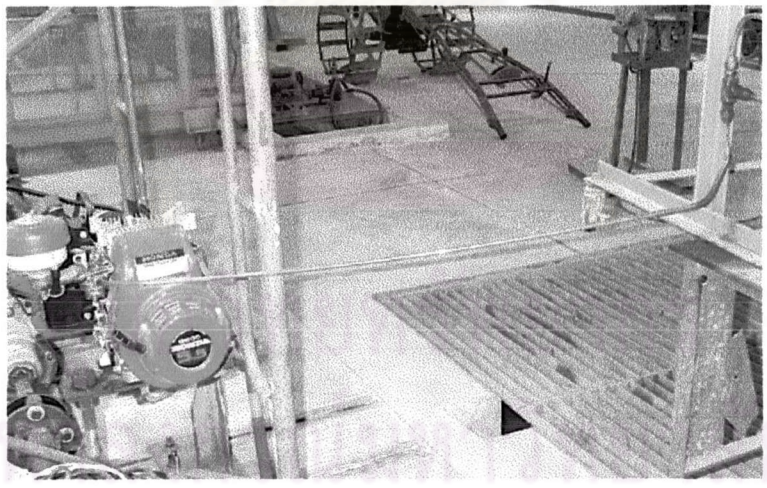


รูปที่ 5.14 การติดตั้งเครื่องยนต์และ **Torque transducer** บนแท่นทดลอง

5. ถอดถังน้ำมันออกจากเครื่องยนต์ นำไปติดตั้งบนชุดวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 5.15

รูปที่ 5.15 การติดตั้งถังน้ำมันเชื้อเพลิงเข้ากับชุดวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง

6. ต่อสายยางที่ออกจากชุดวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงเข้ากับเครื่องยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 5.16



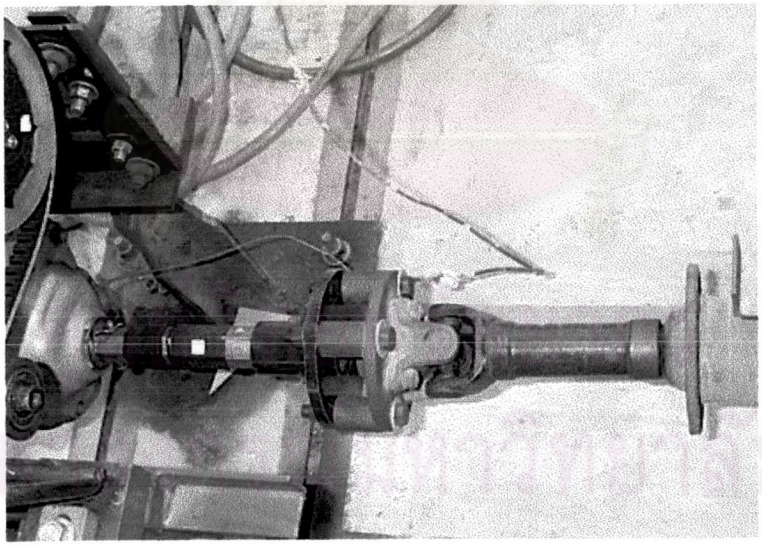
รูปที่ 5.16 การต่อสายยางจากชุดวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงเข้ากับเครื่องยนต์

7. ต่ออุปกรณ์วัดค่าต่างๆ เข้าสู่เครื่อง **Data logger** และทำการปรับตั้งค่าอุปกรณ์ต่างๆ ตามคู่มือให้พร้อมใช้งาน

8. เริ่มเดินเครื่องยนต์ ปรับความเร็วรอบให้สูงประมาณ 2500 รอบต่อนาที ทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที เพื่อเป็นการอุ่นเครื่องยนต์ให้รอบเครื่องยนต์เดินค่อนข้างคงที่เสียก่อน
9. เข้าเกียร์ 1 แล้วปรับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้ได้ 2800 รอบต่อนาที อ่านและบันทึกค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ ทำการวัดความเร็วรอบของมู่เล่เข้าห้องส่งกำลัง และความเร็วที่เพลาล้อ รวมทั้งจับเวลาที่น้ำมันเชื้อเพลิงไหลเป็นระยะทาง 5 ซม. ซึ่งเท่ากับปริมาตร 8.5 cc. บันทึกค่าต่างๆ
10. เปลี่ยนความเร็วรอบเครื่องยนต์เป็น 3000 3200 3400 และ3600 รอบต่อนาที ตามลำดับ ทำการทดลองซ้ำ จากนั้นจึงเปลี่ยนเกียร์และทำการทดลองซ้ำจนครบทั้ง 6 เกียร์
11. นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณเพื่อวิเคราะห์และสรุปต่อไป

5.3.3 การทดลองวัดประสิทธิภาพการส่งกำลัง

1. ใช้ชุดการทดลองรวมทั้งติดตั้งรถไถพรวนดินเช่นเดียวกับการทดลองวัดกำลังสูญเสียภายในระบบส่งกำลัง แต่จะต่อเพลาล้อทั้งสองข้างเข้ากับเบรกชนิดก้ามปูสำหรับเพิ่มภาระ ดังแสดงในรูปที่ 5.17 อนึ่งสลักเกลียวสำหรับขันเพื่อปรับภาระจะต้องคลายออกจนหมด



รูปที่ 5.17 การต่อเบรกเข้ากับเพลาล้อโดยใช้ Universal joint

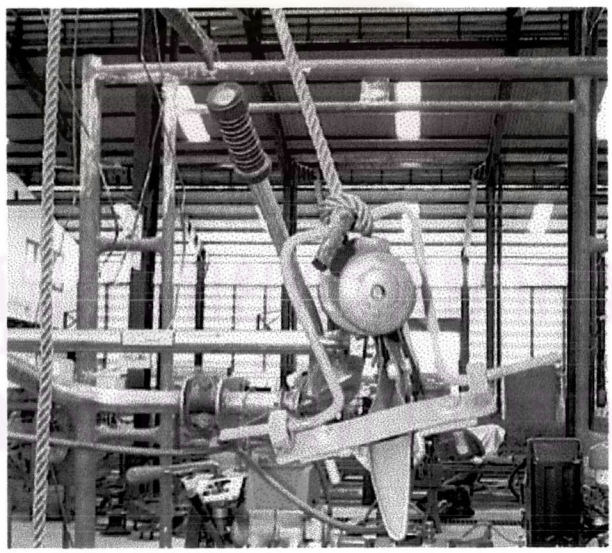
2. เริ่มเดินเครื่องยนต์ ปรับความเร็วรอบให้สูงประมาณ 2500 รอบต่อนาที ทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที เพื่อเป็นการอุ่นเครื่องยนต์ให้รอบเครื่องยนต์เดินค่อนข้างคงที่เสียก่อน

3. เข้าเกียร์ 1 แล้วปรับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้ได้ 2800 รอบต่อนาที ทำการเพิ่มภาระที่เพลาล้อทั้งสองข้างตามค่าที่คำนวณไว้ รายละเอียดเกี่ยวกับขนาดและการปรับเพิ่มภาระอยู่ในภาคผนวก ง จากนั้นให้บันทึกค่าแรงบิดของเครื่องยนต์และเพลาล้อทั้งสองข้าง ทำการวัดความเร็วรอบของมู่เล่เข้าห้องส่งกำลัง และความเร็วที่เพลาล้อ รวมทั้งจับเวลาที่น้ำมันเชื้อเพลิงไหลเป็นระยะทาง 5 ซม. ซึ่งเท่ากับปริมาตร 8.5 cc. บันทึกค่าต่างๆ
4. ทำการปรับเพิ่มภาระขึ้นอีก ทำการวัดและบันทึกค่าต่างๆ เช่นเดียวกับในข้อ 3 ทำเช่นนี้จนครบทุกภาระ
5. คลายสลักเกลียวของเครื่องเพิ่มภาระออกจนหมด จากนั้นทำการปรับความเร็วรอบหมุนของเครื่องยนต์เป็น 3000 3200 3400 และ 3600 รอบต่อนาทีตามลำดับ ทำการทดลองซ้ำ จากนั้นจึงเปลี่ยนเกียร์และทำการทดลองซ้ำจนครบทั้ง 6 เกียร์
6. นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณเพื่อวิเคราะห์และสรุปต่อไป

5.3.4 การทดลองวัดแรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยว

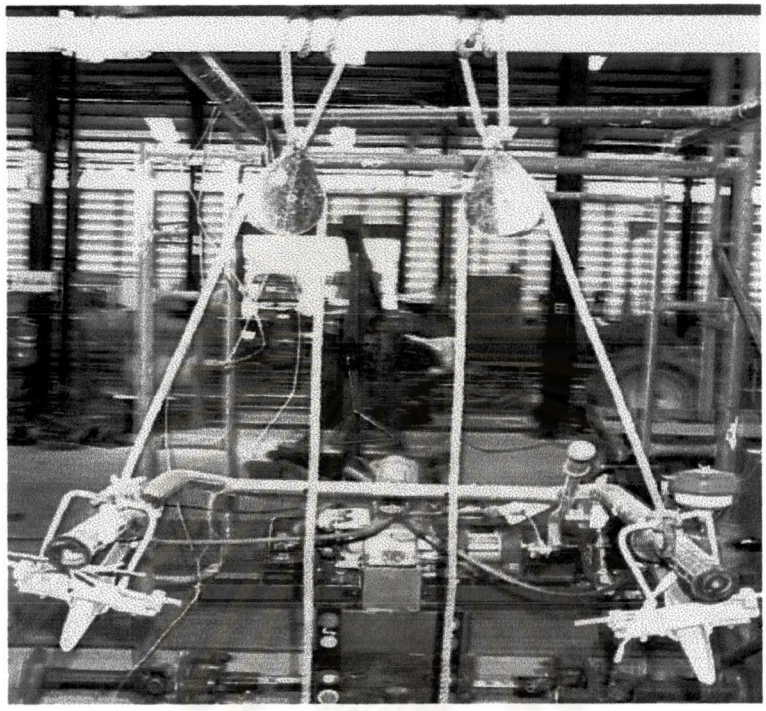
ในขณะทำการทดลองวัดกำลังสูญเสียในระบบส่งกำลังและวัดประสิทธิภาพการส่งกำลัง จะทำการทดลองวัดแรงบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวไปพร้อมๆ กัน โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. ติดตั้งอุปกรณ์จับยึดคันคลัตช์บังคับเลี้ยว ดังแสดงในรูปที่ 5.18



รูปที่ 5.18 อุปกรณ์จับยึดคันคลัตช์บังคับเลี้ยว

2. ใช้เชือกผูกกับอุปกรณ์จับยึดในข้อ 1 คล้องผ่านรอกดังแสดงในรูปที่ 5.19 โดยให้แนวของเชือกเอียงทำมุมเท่ากับมุมเอียงของคันคลัตช์บังคับเลี้ยว และปลายเชือกอีกข้างหนึ่งผูกกับที่แขวนตุ้มน้ำหนัก



รูปที่ 5.19 ชุดทดลองวัดแรงบีบคลัตช์บังคับเลี้ยว

3. ในการทดลองขณะไม่มีภาระที่เพลาล้อทั้งสองข้าง จะทดลองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์และเกียร์ความเร็วเช่นเดียวกับการทดลองวัดกำลังสูญเสียภายในระบบส่งกำลัง โดยในแต่ละเกียร์และความเร็วรอบเครื่องยนต์ จะทำการเพิ่มน้ำหนักเข้ากับที่แขวนตุ้มน้ำหนักทีละน้อยจนคันคลัตช์ถูกดึงเข้าไปถึงระดับหนึ่งที่ทำให้เพลาล้อหยุดหมุน จึงหยุดเพิ่มน้ำหนัก บันทึกค่า
4. จากนั้นค่อยๆ ลดน้ำหนักออกจนเพลาล้อหมุนอีกครั้ง จึงหยุดเอาน้ำหนักออก บันทึกค่า ทดลองซ้ำจนครบทั้ง 6 เกียร์
5. ในการทดลองขณะมีภาระที่เพลาล้อทั้งสองข้าง จะทดลองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์และเกียร์ความเร็วเช่นเดียวกับการทดลองวัดประสิทธิภาพการส่งกำลัง โดยในแต่ละเกียร์ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ และภาระที่เพลาล้อ จะทำการเพิ่มน้ำหนักเข้ากับที่แขวนตุ้มน้ำหนักทีละน้อยจนคันคลัตช์ถูกดึงเข้าไปถึงระดับหนึ่งที่ทำให้เพลาล้อหยุดหมุน จึงหยุดเพิ่มน้ำหนัก บันทึกค่า
6. จากนั้นค่อยๆ ลดน้ำหนักออกจนเพลาล้อหมุนอีกครั้ง จึงหยุดเอาน้ำหนักออก บันทึกค่า ทดลองซ้ำจนครบทั้ง 6 เกียร์

7. นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณเพื่อวิเคราะห์และสรุปต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย