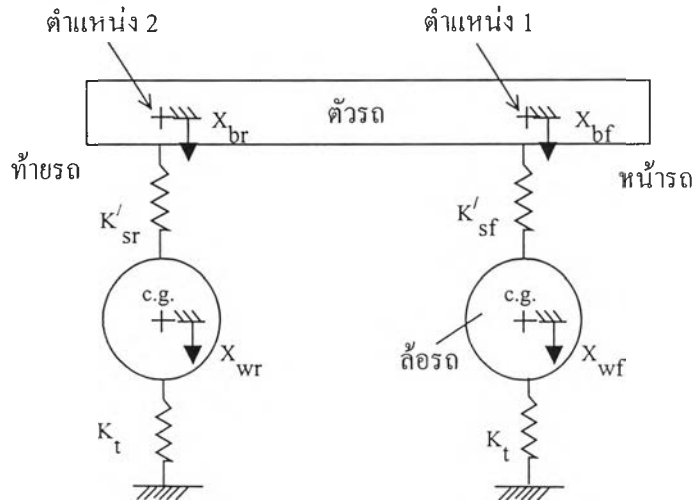


การทดลองศึกษาค่าพารามิเตอร์ของระบบแขวนและยางรถยนต์

4.1 การทดลองศึกษาค่าพารามิเตอร์ของระบบแขวนและยางรถยนต์



รูปที่ 4.1 แผนภาพการสั่นเนื่องจากระบบแขวนของรถยนต์เมื่อมองด้านข้าง 2 มิติ โดยพิจารณาการเคลื่อนที่ 4 ระดับชั้นเสรี และตัดผลของตัวหน่วง

รูปที่ 4.1 เป็นแผนภาพการสั่นเนื่องจากระบบแขวนของรถยนต์เมื่อมองด้านข้าง 2 มิติ โดยตัดผลของตัวหน่วง, ตำแหน่ง 1 เป็นตำแหน่งของจุดรองรับระบบแขวนด้านหน้า และตำแหน่ง 2 เป็นตำแหน่งของจุดรองรับระบบแขวนด้านหลัง โดยพิจารณาการเคลื่อนที่ 4 ระดับชั้นเสรี ดังนี้

- $X_{wf}$  การเคลื่อนที่ขึ้นลงของล้อหน้าทั้ง 2 ล้อ (ทิศลง +)
- $X_{wr}$  การเคลื่อนที่ขึ้นลงของชุดเหลาล้อหลัง (ทิศลง +)
- $X_{bf}$  การเคลื่อนที่ขึ้นลงของตัวรถด้านหน้า ณ ตำแหน่งรองรับสปริงระบบแขวน (ทิศลง +)
- $X_{br}$  การเคลื่อนที่ขึ้นลงของตัวรถด้านหลัง ณ ตำแหน่งรองรับสปริงระบบแขวน (ทิศลง +)

โดย  $K'_{sf} =$  ค่าความแข็งสปริงรวม ของระบบแขวนด้านหน้า (ผลรวมของสปริงระบบแขวนด้านหน้า 2 ข้างซ้ายขวา ต่อขนานกัน)

$$= 2 \times K_{sf} \quad (4.1)$$

$K'_{sr} =$  ค่าความแข็งสปริงรวม ของระบบแขวนด้านหลัง (ผลรวมของสปริงระบบแขวนด้านหลัง 2 ข้างซ้ายขวา ต่อขนานกัน)

$$= 2 \times K_{sr} \quad (4.2)$$

จากรูปที่ 4.1 หากออกแรงกด  $F$  กระทำที่ตำแหน่ง 1 พอดี สมมติว่าการเคลื่อนที่  $X_{wr}$  และ  $X_{br}$  มีค่าน้อยมาก (เข้าใกล้ 0) ดังนั้นค่า  $K'_{sf}$  สามารถประมาณได้จากผลหารของแรง  $F$  กับระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของตัวรถและล้อ ณ ตำแหน่งรองรับระบบแขวนด้านหน้า ตามสูตรดังนี้

$$K'_{sf} = \frac{F}{X_{br} - X_{wr}} \quad (4.3)$$

ทำนองเดียวกัน หากออกแรงกด  $F$  ที่ตำแหน่ง 2 พอดี สมมติว่าการเคลื่อนที่  $X_{wr}$  และ  $X_{br}$  มีค่าน้อยมาก (เข้าใกล้ 0) ดังนั้นค่า  $K'_{sr}$  สามารถประมาณได้จากผลหารของแรง  $F$  กับระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของตัวรถและล้อ ณ ตำแหน่งรองรับระบบแขวนด้านหลัง ตามสูตรต่อไปนี้

$$K'_{sr} = \frac{F}{X_{br} - X_{wr}} \quad (4.4)$$

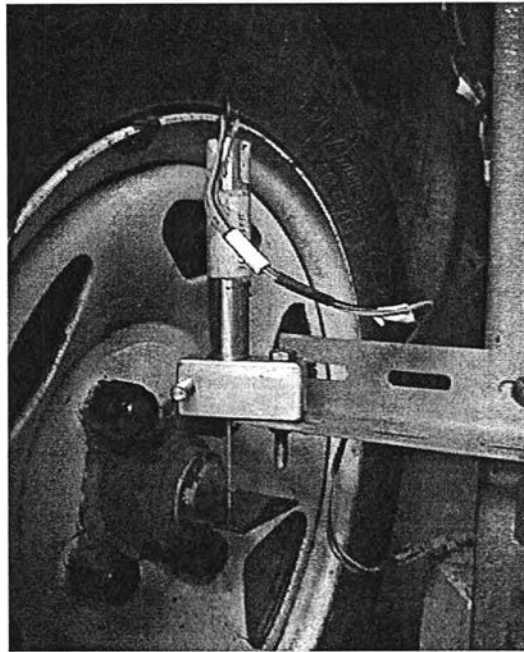
เมื่อรถยนต์มีผู้โดยสารหรือภาระบรรทุกจะเป็นผลให้ระบบแขวนของรถยนต์เปลี่ยนสภาวะการทำงาน (operating condition) การทดลองนี้จึงทำการหาค่าความแข็งสปริงของระบบแขวน ทั้งขณะที่รถไม่มีภาระบรรทุกและขณะที่มีภาระบรรทุกอยู่ที่ 180 kg (ประมาณ 20 % เมื่อเทียบกับน้ำหนักรถเดิม) เพื่อเปรียบเทียบผลของภาระบรรทุกที่มีต่อค่าความแข็งสปริงของระบบแขวน

#### อุปกรณ์การทดลอง

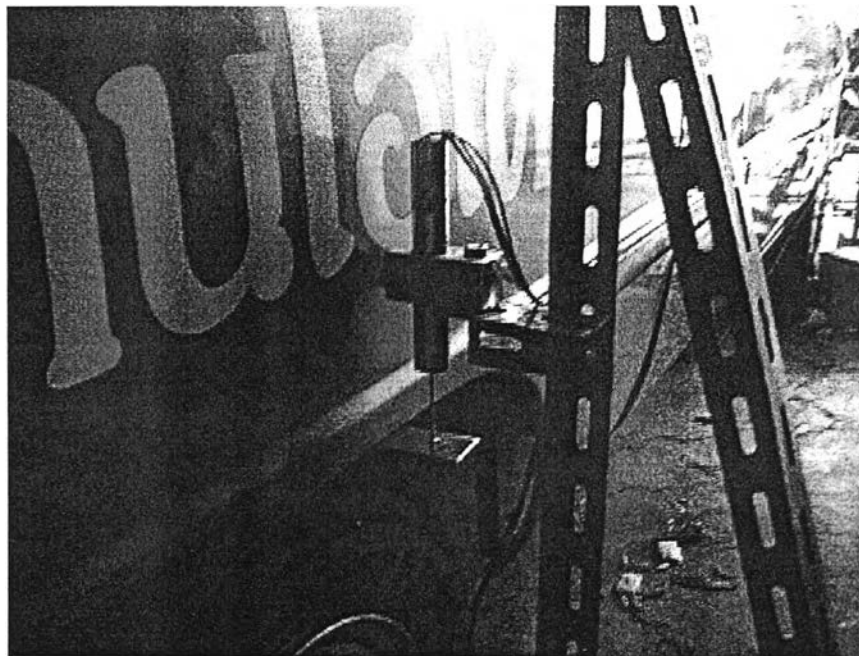
- 1) อุปกรณ์วัดระยะทาง LVDT 8 ตัว ที่มีค่าความไว (sensitivity) ประมาณ 300 mV/mm
- 2) โคร่งจับยึด LVDT จำนวน 8 ชุด
- 3) เกจบล็อกจากมาตรฐาน 1 มม. ถึง 5 มม.
- 4) ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (digital multimeter) ที่มีความละเอียด (resolution) 1 mV
- 5) แหล่งจ่ายไฟ 10 V
- 6) มวล 10 kg จำนวน 5 ก้อน
- 7) ก้อนอิฐและก้อนมวล แทนน้ำหนักบรรทุก 180 kg

#### ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ติดแผ่นเหล็กขนาดเล็กยื่นจากตัวรถและล้อเพื่อเป็นฐานรองเข็มของ อุปกรณ์วัดLVDT รวมทั้งสิ้น 8 ตำแหน่ง แบ่งเป็นตำแหน่งตรงกลางล้อทั้งสิ้น 4 ตำแหน่ง และตำแหน่งบนตัวรถเหนือล้อทั้งสิ้น อีก 4 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดการสั่น ณ จุดศูนย์กลางของล้อรถ



รูปที่ 4.3 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดการสั่น ณ ตัวรถ (มวลถูกแขวน)  
ซึ่งเป็นตำแหน่งเหนือจุดศูนย์กลางของล้อรถ

- 2) ติดตั้ง LVDT จำนวน 8 ตัว (จ่ายไฟเลี้ยง 10 โวลต์) โดยปรับเลื่อนความสูงของตัว LVDT ให้อ่านค่าสัญญาณออกได้ประมาณ 0 โวลต์ จากนั้นปรับเทียบอุปกรณ์วัด (calibrate) ด้วยเกจบล็อกมาตรฐาน เพื่อหาค่าความไว (sensitivity) ของอุปกรณ์วัดแต่ละตัว

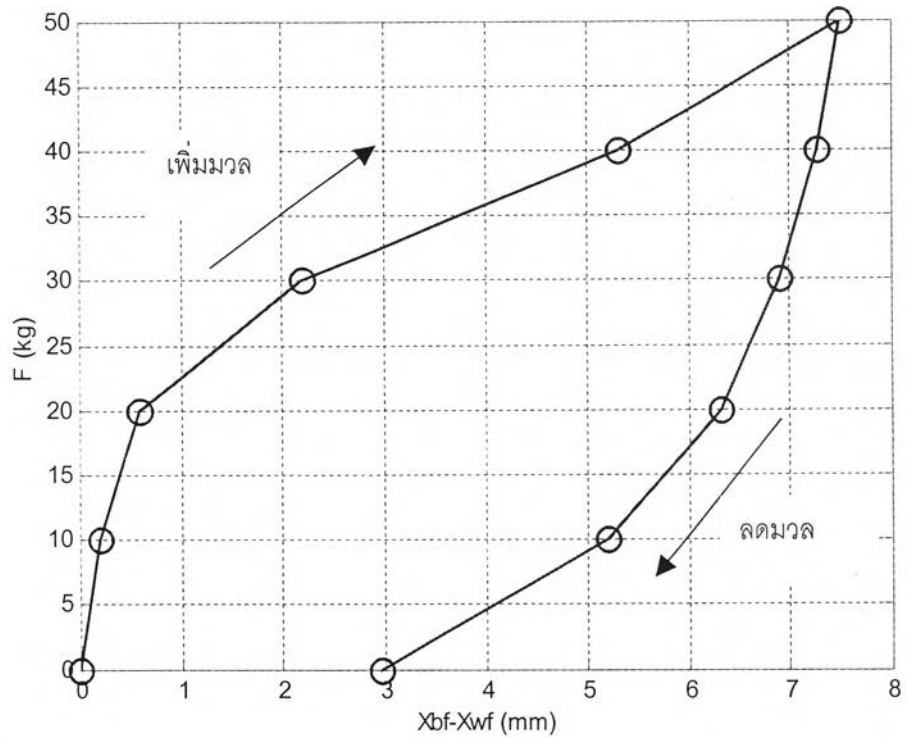
- 3) จุดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า (voltage) ของอุปกรณ์วัดทั้ง 8 ตัว เป็นค่าเริ่มต้น จากนั้นวางก้อนมวลบนกระป๋องหน้ารถ (วางตำแหน่งตรงกลางเมื่อมองทางด้านหน้ารถ และตรงกับตำแหน่งที่ 1 ดังรูปที่ 4.1) เริ่มที่ 10 kg จนถึง 50 kg โดยเพิ่มขึ้นทีละ 10 kg โดยจุดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าของอุปกรณ์วัดทั้ง 8 ตำแหน่ง สำหรับทุกค่าแรงต่างๆกัน จากนั้นทำการลดค่ามวลทีละ 10 kg จาก 50 kg จนถึง 0 kg โดยจุดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าทุกค่าแรงเช่นเดิม
- 4) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3) แต่เปลี่ยนตำแหน่งวางมวลเป็นท้ายกระบะหลังรถ (ตรงกับตำแหน่งที่ 2 ดังรูปที่ 4.1)
- 5) เพิ่มน้ำหนักบรรทุกทุกด้านหลัง 80 kg (วางบนกึ่งกลางท้ายกระบะ) และเพิ่มน้ำหนักบรรทุกด้านหน้า 100 kg (วางบนที่นั่งผู้โดยสารหน้ารถ ข้างละ 50 kg) และทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 2) ถึงข้อ 4) เพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งสปริง เมื่อมีภาระบรรทุกเพิ่มขึ้น

#### ผลการทดลอง

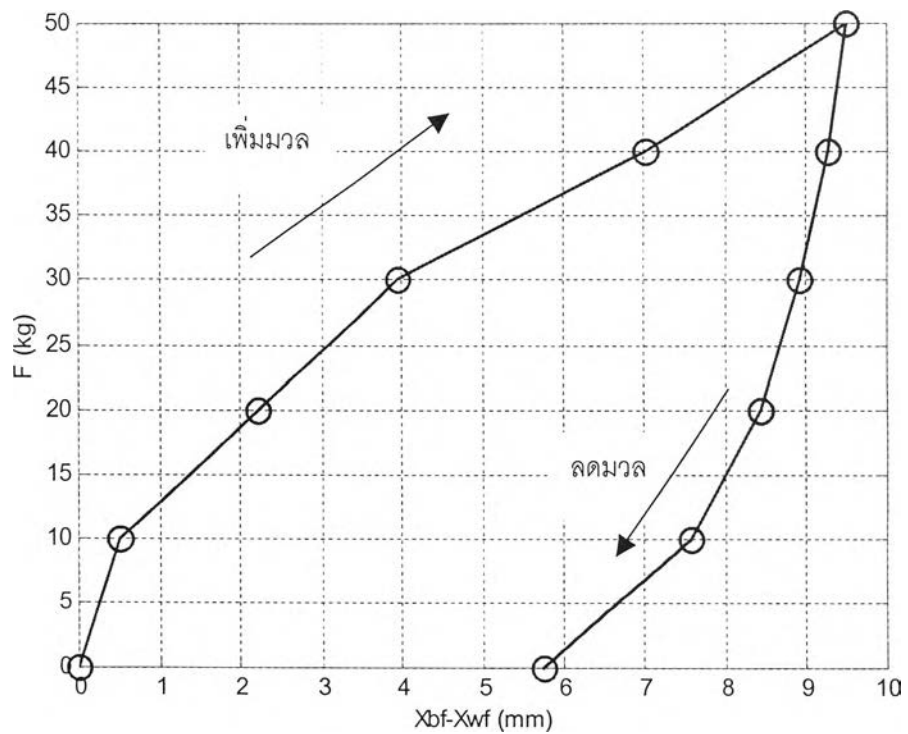
โดยการอิงแบบจำลองรูปที่ 4.1 การเคลื่อนที่  $X_{wf}$ ,  $X_{wr}$ ,  $X_{bf}$  และ  $X_{br}$  สามารถหาได้ดังนี้

- เฉลี่ยการเคลื่อนที่ของล้อหน้าซ้ายและล้อหน้าขวา กำหนดให้เป็น  $X_{wf}$
- เฉลี่ยการเคลื่อนที่ของตัวรถด้านหน้าซ้ายและขวา กำหนดให้เป็น  $X_{bf}$
- เฉลี่ยการเคลื่อนที่ของล้อหลังซ้ายและล้อหลังขวา กำหนดให้เป็น  $X_{wr}$
- เฉลี่ยการเคลื่อนที่ของตัวรถด้านหลังซ้ายและขวา กำหนดให้เป็น  $X_{br}$

จากการทดลองวางมวลที่ด้านหน้ารถ (ตำแหน่ง 1) การเคลื่อนที่ด้านหลังรถคือ  $X_{wr}$  และ  $X_{br}$  มีค่าไม่เกิน 0.02 mm ในทุกๆค่าแรง ซึ่งถือเป็นค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นด้านหน้ารถคือ  $X_{wf}$  และ  $X_{bf}$ , กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกด  $F$  ที่ตำแหน่งด้านหน้า กับระยะเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของตัวรถและล้อด้านหน้า  $X_{bf} - X_{wf}$  ทั้งการทดลองขณะไม่มีภาระบรรทุกและมีภาระบรรทุกแสดงดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ (ตารางข้อมูลแสดงในภาคผนวก ค)

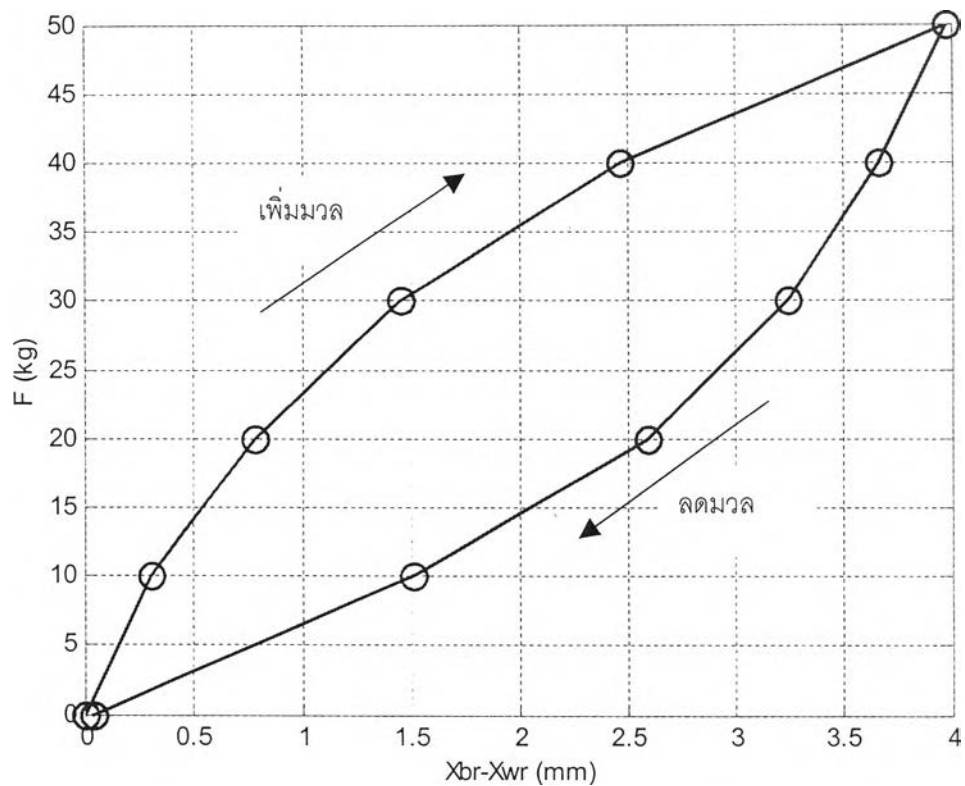


รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกด  $F$  เนื่องจากมวลถ่วงที่วางด้านหน้ารถ กับระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างตัวรถกับล้อรถด้านหน้า  $X_{bf}-X_{wf}$  (ขณะไม่มีภาระบรรทุก)

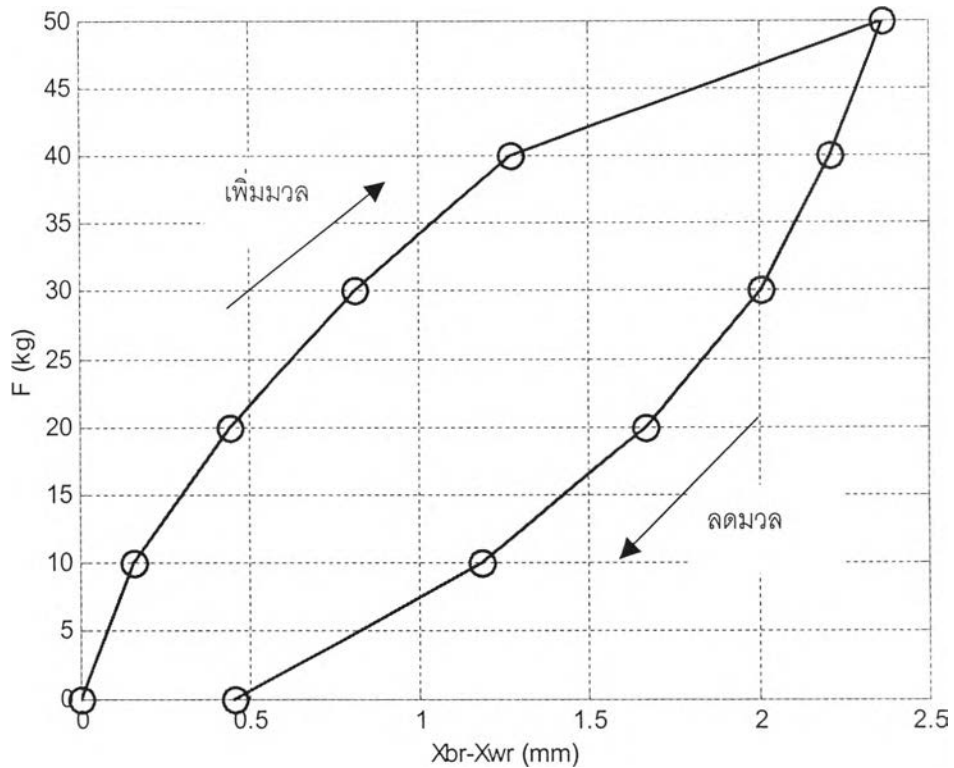


รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกด  $F$  เนื่องจากมวลถ่วงที่วางด้านหน้ารถ กับระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างตัวรถกับล้อรถด้านหน้า  $X_{bf}-X_{wf}$  (ขณะมีภาระบรรทุก 180 kg)

ในทำนองเดียวกัน การทดลองวางมวลที่ด้านหลังรถ (ตำแหน่ง 2) การเคลื่อนที่ด้านหน้ารถ คือ  $X_{wf}$  และ  $X_{bf}$  มีค่าไม่เกิน 0.03 mm ในทุกๆค่าแรง ซึ่งถือเป็นค่าที่น้อยมากเมื่อเทียบกับการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นด้านหลังรถคือ  $X_{wr}$  และ  $X_{br}$  , กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกด  $F$  ที่ตำแหน่งด้านหลังกับระยะเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของตัวรถและล้อด้านหลัง  $X_{br} - X_{wr}$  ทั้งการทดลองแบบไม่มีภาระบรรทุกและมีภาระบรรทุก ได้ผลดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ (ตารางข้อมูลแสดงในภาคผนวก ค)



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกด  $F$  เนื่องจากมวลถ่วงที่วางด้านหลังรถ กับระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างตัวรถกับล้อรถด้านหลัง  $X_{br} - X_{wr}$  (ขณะไม่มีภาระบรรทุก)



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกด  $F$  เนื่องจากมวลถ่วงที่วางด้านหลังรถ กับระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างตัวรถกับล้อรถด้านหลัง  $X_{br} - X_{wr}$  (ขณะมีภาระบรรทุก 180 kg)

#### อภิปรายผลการทดลอง

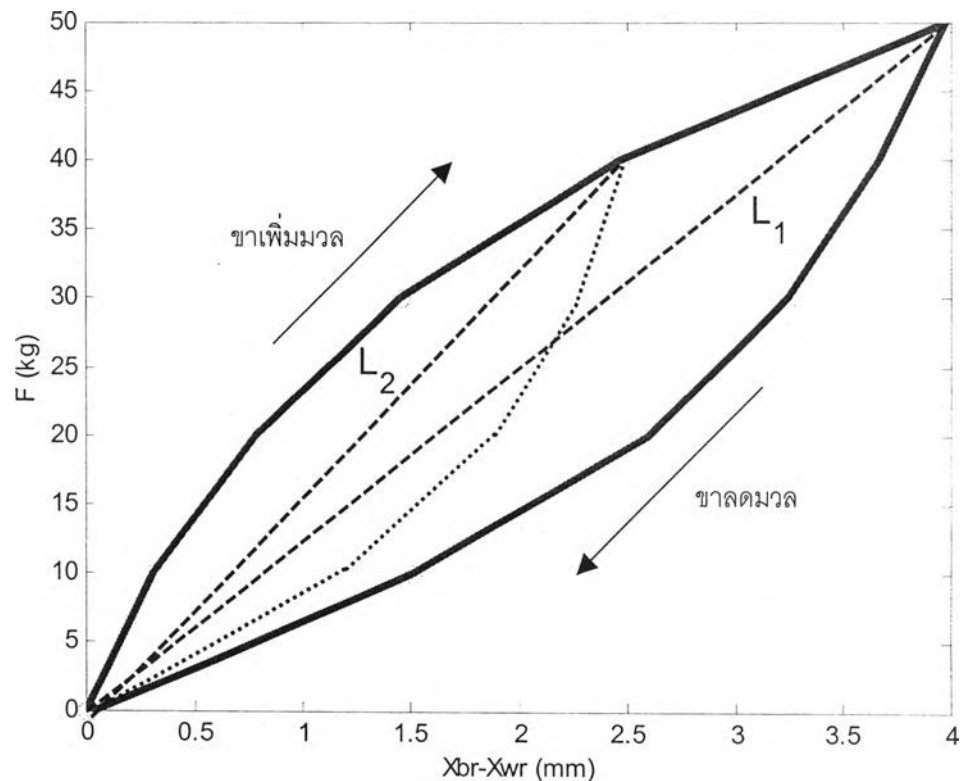
- 1) ค่าความแข็งสปริงของระบบแขวนไม่แสดงลักษณะของสปริงเชิงเส้น โดยสังเกตได้จากความชันของกราฟระหว่างแรงกดกับระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์มีค่าไม่คงที่ แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้จะสมมติว่าสปริงของระบบแขวนแสดงผลของสปริงเชิงเส้นภายในช่วงการใช้งานหนึ่ง และถูกเรียกว่าสปริงเชิงเส้นสมมูล (equivalent linear spring)
- 2) จากการพิจารณารูปที่ 4.4 – 4.7 มีลักษณะเป็นวงรอบ (loop) นั่นคือการเคลื่อนที่ตัวรถและล้อไม่กลับมายังตำแหน่งเดิม ณ ค่าแรงที่เท่ากัน ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ระบบแขวนประกอบไปด้วยส่วนประกอบกลไก (mechanism) ที่ทำงานร่วมกัน ซึ่งกลไกเหล่านี้ไม่กลับสู่ตำแหน่งเดิม โดยเฉพาะระบบแขวนด้านหน้าที่เป็นกลไกการทำงานของปีกนกบนล่าง จะมีผลในส่วนนี้เกิดขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งผลของกราฟในลักษณะวงรอบนี้ สามารถคำนวณผลเทียบเป็นผลของตัวหน่วงแบบวิสคัสได้ โดยถูกเรียกว่าตัวหน่วงแบบวิสคัสสมมูล (equivalent viscous damping) [11]

### การวิเคราะห์หาค่าความแข็งสปริงเฉลี่ยของระบบแขวน

กราฟในลักษณะวงรอบดังรูปที่ 4.4 - 4.7 เป็นกราฟที่มาจากการทดลองให้แรงกดสูงสุด 50 kg ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์หาค่าความแข็งสปริงเฉลี่ยที่สภาวะตำแหน่งแรงกดต่างๆกันได้ ยกตัวอย่างเช่น กราฟรูปที่ 4.6 สามารถหาค่าความแข็งสปริงเฉลี่ยที่ตำแหน่งแรงกด 50 kg ได้จากความชันของเส้นตรงระหว่างจุด 2 จุด คือจุดที่ตำแหน่งแรง 50 kg กับจุดที่ตำแหน่งแรง 0 kg (จุดกำเนิด) นั่นคือความชันของเส้นตรง  $L_1$  ดังรูปที่ 4.8

หากต้องการหาค่าความแข็งสปริงเฉลี่ยที่สภาวะตำแหน่งแรงกด 40 kg สมมติว่าทำการทดลองใหม่โดยให้แรงกดสูงสุดเพียงแค่ 40 kg จะได้กราฟการทดลองอีก 1 ชุดในลักษณะวงรอบที่เล็กกว่าเดิม ซึ่งมีข้อมูลการทดลองขาเพิ่มมวลใกล้เคียงกับข้อมูลการทดลองเดิมและมีข้อมูลการทดลองขาลดมวลดังเส้นไขว้ปลาในรูปที่ 4.8 โดยค่าความแข็งสปริงเฉลี่ยสามารถคำนวณได้จากความชันของเส้นตรง  $L_2$

ดังนั้นค่าความแข็งสปริงเฉลี่ยที่สภาวะตำแหน่งแรงกดต่ำกว่า 50 kg จึงสามารถคำนวณได้จากกราฟการทดลองแรงกดสูงสุด 50 kg โดยใช้จุดในการหาความชันคือข้อมูลการทดลองขาเพิ่มมวล



รูปที่ 4.8 ภาพแสดงวิธีการหาความชันเฉลี่ยที่ใช้ในการหาค่าความแข็งสปริงเฉลี่ยของระบบแขวน โดยยกตัวอย่างกราฟการทดลองรูปที่ 4.6



1) ค่าความแข็งสปริงด้านหน้า (ขณะรถไม่มีภาระบรรทุก)

โดยใช้สมการที่ (4.3) ค่าความแข็งสปริงรวมของระบบแขวนด้านหน้า ( $K'_{sf}$ ) สามารถหาได้จากความชันเฉลี่ยของกราฟรูปที่ 4.4 ส่วนค่าความแข็งสปริงของระบบแขวนด้านหน้า 1 ซ้าง ( $K_{sf}$ ) จะมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของความชันที่หาได้ ค่า  $K_{sf}$  ณ ตำแหน่งแรงกดต่างๆกันแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าความแข็งสปริงของระบบแขวนด้านหน้า 1 ซ้าง ( $K_{sf}$ ) ณ แรงกด (F) ต่างๆกัน

(ขณะรถไม่มีภาระบรรทุก)

แรงกด ขาเพิ่มมวล F (kg)	ระยะการเคลื่อนที่ สัมพัทธ์ด้านหน้ารถ $X_{bf} - X_{wf}$ (mm)	ค่าความแข็งสปริงระบบ แขวนด้านหน้า (1 ซ้าง) $K_{sf}$ (N/mm)
10	0.21	229
20	0.59	166
30	2.19	67
40	5.31	37
50	7.50	33

2) ค่าความแข็งสปริงด้านหน้า (ขณะรถมีภาระบรรทุกที่ 180 kg)

ด้วยวิธีการเดียวกับหัวข้อที่ผ่านมา ค่า  $K_{sf}$  ที่คำนวณจากความชันเฉลี่ยของกราฟรูปที่ 4.5 ณ ตำแหน่งแรงกดต่างๆกัน แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าความแข็งสปริงของระบบแขวนด้านหน้า 1 ซ้าง ( $K_{sf}$ ) ณ แรงกด (F) ต่างๆกัน

(ขณะรถมีภาระบรรทุกที่ 180 kg)

แรงกด ขาเพิ่มมวล F (kg)	ระยะการเคลื่อนที่ สัมพัทธ์ด้านหน้ารถ $X_{bf} - X_{wf}$ (mm)	ค่าความแข็งสปริงระบบ แขวนด้านหน้า (1 ซ้าง) $K_{sf}$ (N/mm)
10	0.51	96
20	2.22	44
30	3.95	37
40	7.02	28
50	9.51	26

3) ค่าความแข็งสปริงด้านหลัง (ขณะรถไม่มีภาระบรรทุก)

โดยใช้สมการที่ (4.4) ค่าความแข็งสปริงรวมของระบบแขวนด้านหลัง ( $K'_{sr}$ ) สามารถหาได้จากความชันเฉลี่ยของกราฟรูปที่ 4.6 ส่วนค่าความแข็งสปริงของระบบแขวนด้านหลัง 1 ซ้าง ( $K_{sr}$ ) จะมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของความชันที่หาได้ ค่า  $K_{sr}$  ณ ตำแหน่งแรงกดต่างๆกันแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าความแข็งสปริงของระบบแขวนด้านหลัง 1 ซ้าง ( $K_{sr}$ ) ณ แรงกด (F) ต่างๆกัน  
(ขณะรถไม่มีภาระบรรทุก)

แรงกด ขาเพิ่มมวล F (kg)	ระยะการเคลื่อนที่ สัมพัทธ์ด้านหลังรถ $X_{br} - X_{wr}$ (mm)	ค่าความแข็งสปริงระบบ แขวนด้านหลัง (1 ซ้าง) $K_{sr}$ (N/mm)
10	0.31	160
20	0.78	125
30	1.45	101
40	2.46	80
50	3.98	62

4) ค่าความแข็งสปริงด้านหลัง (ขณะรถมีภาระบรรทุก 180 kg)

ด้วยวิธีการเดียวกับหัวข้อที่ผ่านมา ค่า  $K_{sr}$  ที่คำนวณจากความชันเฉลี่ยของกราฟรูปที่ 4.7 ณ ตำแหน่งแรงกดต่างๆกัน แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าความแข็งสปริงของระบบแขวนด้านหลัง 1 ซ้าง ( $K_{sr}$ ) ณ แรงกด (F) ต่างๆกัน  
(ขณะรถมีภาระบรรทุก 180 kg)

แรงกด ขาเพิ่มมวล F (kg)	ระยะการเคลื่อนที่ สัมพัทธ์ด้านหลังรถ $X_{br} - X_{wr}$ (mm)	ค่าความแข็งสปริงระบบ แขวนด้านหลัง (1 ซ้าง) $K_{sr}$ (N/mm)
10	0.16	308
20	0.44	224
30	0.81	182
40	1.27	154
50	2.36	104

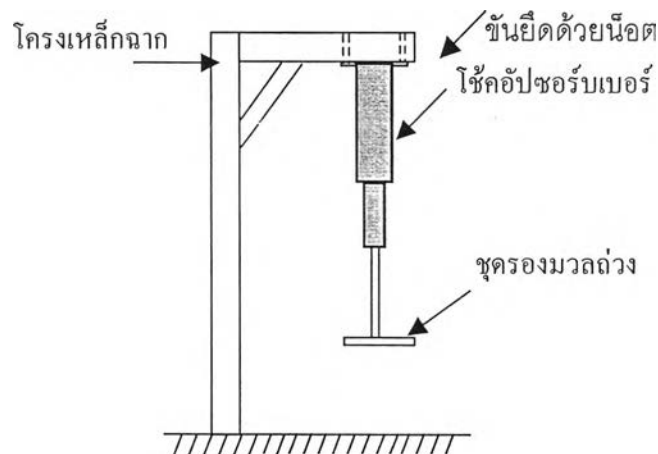
จากตารางที่ 4.1 – 4.4 สรุปผลได้ดังนี้

- 1) ในสภาวะทำงานที่มีการเคลื่อนที่น้อยค่าความแข็งแรงสปริงเฉลี่ยของระบบแขวนจะมีค่ามาก ในขณะที่สภาวะทำงานที่มีการเคลื่อนที่มาก ค่าความแข็งแรงสปริงเฉลี่ยของระบบแขวนจะลดลง
- 2) สำหรับทุกๆค่าแรงกดที่เท่ากัน,ระบบแขวนด้านหน้ายุบตัวได้มากกว่าระบบแขวนด้านหลัง นั้นแสดงว่าระบบแขวนด้านหน้าแสดงผลของสปริงที่อ่อนกว่าระบบแขวนด้านหลัง (ทั้งในขณะที่ไม่มีภาระบรรทุกและมีภาระบรรทุก) ซึ่งเป็นค่าที่ได้รับการออกแบบไว้แล้วเพื่อความสะดวกสบายสำหรับการขับขี่ [2]
- 3) เมื่อมีภาระบรรทุกเพิ่มขึ้น พบว่าระบบแขวนด้านหน้ามีผลของสปริงที่อ่อนลง ส่วนระบบแขวนด้านหลังมีผลของสปริงที่แข็งขึ้น ซึ่งเป็นผลเนื่องจากการเปลี่ยนตำแหน่งการทำงานของระบบแขวน (ข้อสรุปนี้อยู่ภายใต้เงื่อนไข ในสภาวะที่ทำการทดลอง)

#### 4.2 การทดลองศึกษาคุณลักษณะความหน่วงของใช้คอปซอร์บเบอร์

##### อุปกรณ์การทดลอง

- 1) ใช้คอปซอร์บเบอร์ของระบบแขวนด้านหน้า และระบบแขวนด้านหลัง
- 2) มวลถ่วง 10 kg จำนวน 2 ก้อน และมวลถ่วง 5 kg จำนวน 3 ก้อน
- 3) ชุดโครงเหล็ก สำหรับแขวนใช้คอปซอร์บเบอร์ พร้อมชุดรองมวลถ่วง
- 4) นาฬิกาจับเวลา



รูป 4.9 แผนภาพอุปกรณ์ในการทดสอบความหน่วงของใช้คอปซอร์บเบอร์

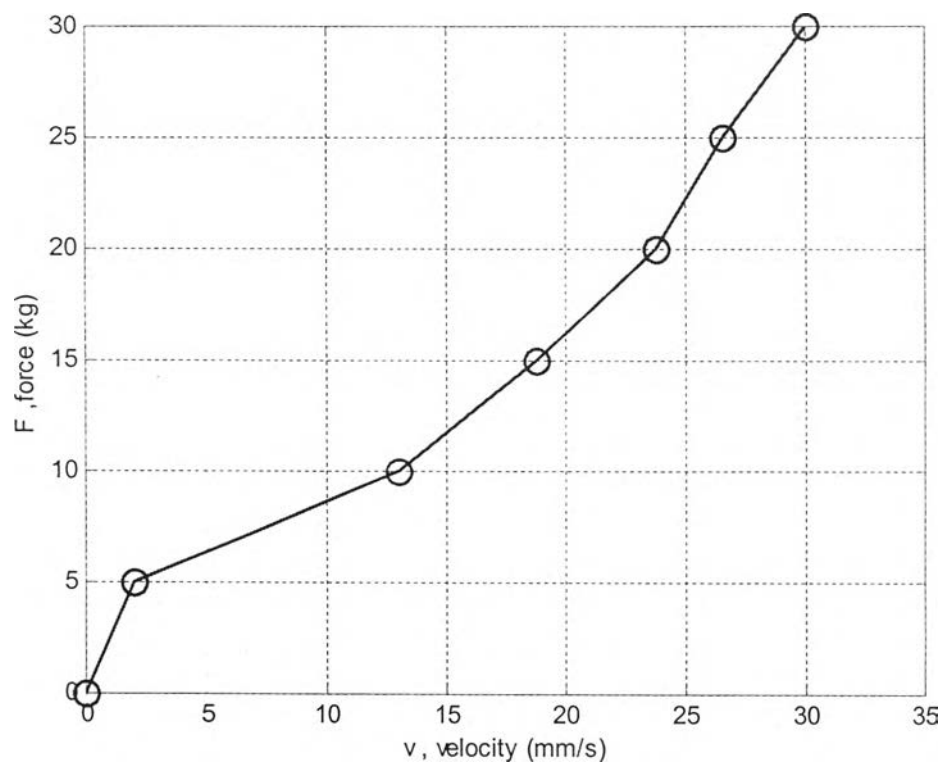
##### ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ติดตั้งชุดรองมวลถ่วงไว้ด้วยกันกับใช้คอปซอร์บเบอร์ของระบบแขวนด้านหน้า และนำไปแขวนเข้ากับชุดโครงเหล็ก โดยปลายต่ำสุดของชุดรองมวลถ่วง มีระยะห่างจากพื้น 11 cm

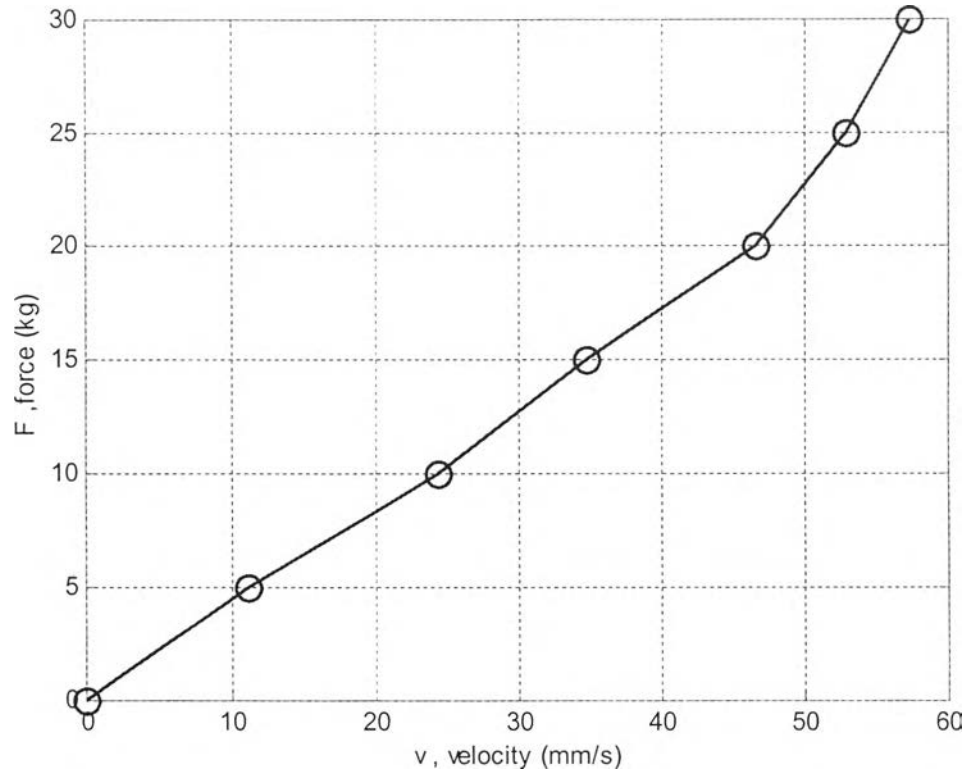
- 2) วางมวลถ่วง 5 kg บนชุดรอกมวลถ่วง พร้อมจับเวลาที่ใช้ ตั้งแต่ชุดรอกมวลถ่วงเริ่มเคลื่อนที่ จนแตะถึงพื้น โดยทดลอง 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้
- 3) ทำการทดลองซ้ำตาม ข้อ 2) โดยเพิ่มมวลทีละ 5 kg จนถึง 30 kg
- 4) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1) ถึงข้อ 3) กับใช้คอปซอร์บเบอร์ของระบบแขวนด้านหลัง โดยปลายต่ำสุดของชุดรอกมวลถ่วง มีระยะห่างจากพื้น 15 cm และวางมวลถ่วงเริ่มที่ 5 kg เพิ่มทีละ 5 kg จนถึง 30 kg

#### ผลการทดลอง

นำเวลาที่วัดได้ มาคำนวณหาความเร็วเฉลี่ยที่ใช้ในการเคลื่อนที่ สำหรับมวลถ่วงที่มีน้ำหนักต่างๆกัน สามารถเขียนกราฟระหว่างแรงถ่วง ( $F$ ) กับความเร็วเฉลี่ย ( $v$ ) ได้ดังรูป 4.10 และ 4.11 (ตารางข้อมูลแสดงในภาคผนวก ค)



รูปที่ 4.10 กราฟระหว่างแรงถ่วง ( $F$ ) กับความเร็วเฉลี่ย ( $v$ ) ที่แกนของใช้คอปซอร์บเบอร์ระบบแขวนด้านหน้าใช้ในการเคลื่อนที่ระยะทาง 11cm (จากการทดลองที่ถ่วงมวลต่างๆกัน)



รูปที่ 4.11 กราฟระหว่างแรงถ่วง (F) กับความเร็วเฉลี่ย (v) ที่แกนของใช้คอปซอร์บเบอร์ระบบ แขนงด้านหลังใช้ในการเคลื่อนที่ระยะทาง 15cm (จากการทดลองที่ถ่วงมวลต่างๆกัน)

#### อภิปรายผลการทดลอง

ใช้คอปซอร์บเบอร์ของระบบแขนงแสดงผลของความหน่วงที่ไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งสังเกตได้จากความชันของกราฟในรูปที่ 4.10 และ 4.11 มีค่าไม่คงที่ แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ จะสมมติให้ค่าความหน่วงของระบบแขนงทั้งหมด แสดงผลเป็นตัวหน่วงแบบวิสคัสสมมูล (equivalent viscous damping) ซึ่งค่าความหน่วงสมมูลนี้ เป็นผลมาจากใช้คอปซอร์บเบอร์ ร่วมกับผลของความหน่วงเนื่องจากสปริงของระบบแขนง (ในหัวข้อ 4.1) นั่นเอง

#### การวิเคราะห์หาค่าความหน่วงเฉลี่ยของใช้คอปซอร์บเบอร์

ตัวหน่วงแบบวิสคัส มีค่าความหน่วง (c) มีความสัมพันธ์กับแรงที่กระทำ (F) กับความเร็วในการเคลื่อนที่ (v) ตามสมการ  $F = cv$  ดังนั้นจากกราฟรูปที่ 4.10 และ 4.11 (ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง F กับ v) สามารถคำนวณหาค่าความหน่วงเฉลี่ยของใช้คอปซอร์บเบอร์ได้ โดยคำนวณความชันเฉลี่ยของกราฟที่ตำแหน่งแรงถ่วงต่างๆกัน ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.5 ค่าความหน่วงเฉื่อยของใช้คอปโซร์บเบอร์ด้านหน้า ณ แรงถ่วงต่างๆกัน

แรงถ่วง F (kg)	ความเร็วเฉลี่ย v (mm/s)	ค่าความหน่วงเฉื่อย c (kN-s/m)
10	13.03	7.53
15	18.80	7.83
20	23.86	8.22
25	26.57	9.23
30	30.05	9.79

ตารางที่ 4.6 ค่าความหน่วงเฉื่อยของใช้คอปโซร์บเบอร์ด้านหลัง ณ แรงถ่วงต่างๆกัน

แรงถ่วง F (kg)	ความเร็วเฉลี่ย v (mm/s)	ค่าความหน่วงเฉื่อย c (kN-s/m)
10	24.39	4.02
15	34.72	4.24
20	45.02	4.36
25	52.82	4.64
30	57.25	5.14

จากตารางที่ 4.5 และ 4.6 สรุปผลได้ดังนี้

- 1) ค่าความหน่วงของใช้คอปโซร์บเบอร์ มีค่าไม่คงที่ โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อแรงถ่วงมากขึ้น
- 2) ใช้คอปโซร์บเบอร์ของระบบแขนด้านหน้ามีความหน่วงมากกว่าใช้คอปโซร์บเบอร์ของระบบแขนด้านหลัง

#### 4.3 การทดลองศึกษาคุณลักษณะความแข็งของยางล้อรถ

##### อุปกรณ์การทดลอง

- 1) ชุดเครื่องทดสอบไดนามิกเซอร์โวเทสติงซิสเต็ม (dynamic servo testing system)
- 2) ล้อรถยนต์ ( ณ ความดันยาง 28 psi )

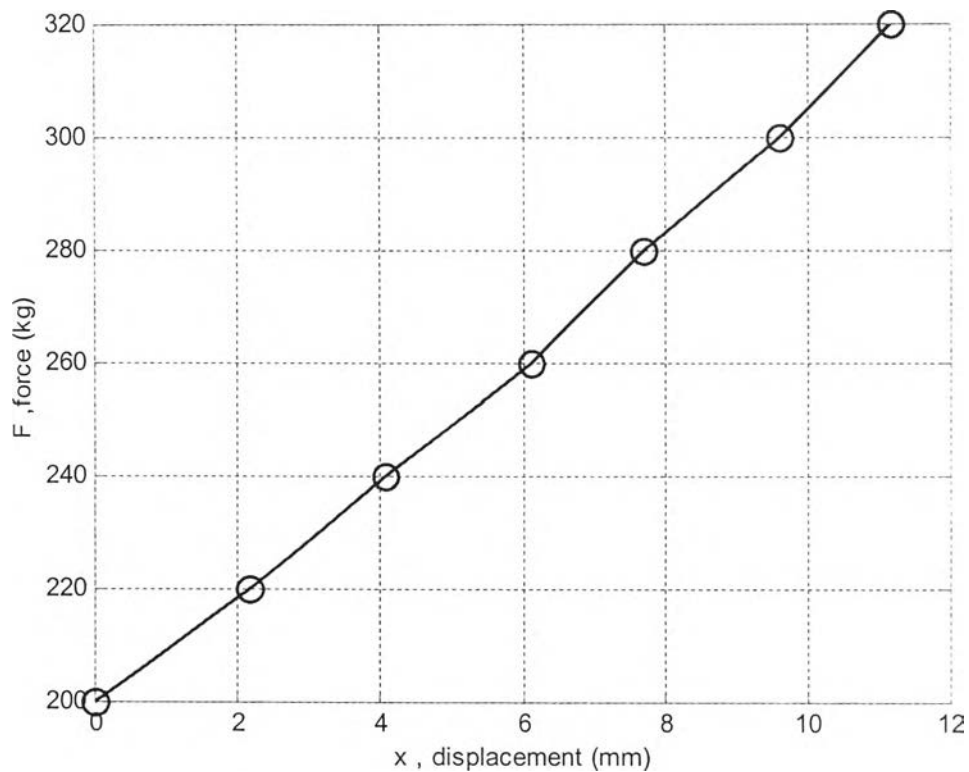
##### ขั้นตอนการทดลอง

- 1) วางล้อรถบนฐานทดสอบของเครื่องทดสอบ , ออกแรงกดตรงยางล้อด้านบนด้วยแรงเริ่มต้น 200 kg

- 2) กดด้วยแรงเพิ่มขึ้นทีละ 20 kg จนถึง 320 kg และจดบันทึกระยะทางที่กดลงไปได้ที่ตำแหน่งแรงต่างๆกัน

ผลการทดลอง

ความสัมพันธ์ของแรงที่กดยางล้อ ( $F$ ) , กับระยะทางที่ยางล้อถูกกดลงไปได้ ( $x$ ) เป็นดังรูป 4.12 (ตารางข้อมูลแสดงในภาคผนวก ค)



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กดด้านบนของยางล้อรถ ( $F$ ) กับระยะทางที่ยางถูกกดลงไปได้ ( $x$ )

#### การวิเคราะห์หาค่าความแข็งสปริงเฉลี่ยของยางล้อรถ

สปริงเชิงเส้น มีค่าความแข็งสปริง ( $k$ ) สัมพันธ์กับแรงกด ( $F$ ) กับระยะทางที่ถูกกดลงไปได้ ( $x$ ) เป็นไปตามสมการ  $F = kx$  ดังนั้นจากกราฟรูปที่ 4.12 สามารถคำนวณหาค่าความแข็งสปริงเฉลี่ยของยางล้อรถได้จากการหาความชันเฉลี่ยของกราฟ ซึ่งค่าความชันที่คำนวณได้คือค่าความแข็งสปริงเฉลี่ยของยางล้อรถในสภาพที่ทำการทดสอบ ซึ่งเป็นการออกแรงกดกระทำต่อยางด้านบนและด้านล่าง (เปรียบเสมือนสปริง 2 ตัว ต่ออนุกรมกัน) แต่สำหรับการใช้งานจริง รถจะส่งแรงกดล้อรถเฉพาะผลของยางด้านล่าง ค่าความแข็งสปริงของยางล้อรถในสภาพการทำงานจริง ( $k_p$ ) จึงมีค่าเป็น 2 เท่าของค่าความชันที่คำนวณได้จากความชันกราฟ

ตารางที่ 4.7 ค่าความแข็งสปริงเฉลี่ยของยางล้อรถ ( $k_t$ ) ณ แรงกดต่างๆกัน

แรงที่กด F (kg)	ระยะทางที่กดได้ x (mm)	ค่าความแข็งสปริงเฉลี่ยของยาง $k_t$ (kN/m)
220	2.18	180
240	4.08	192
260	6.12	192
280	7.71	204
300	9.61	204
320	11.18	211

จากตารางที่ 4.7 สรุปได้ว่า ค่าความแข็งของยางล้อรถมีค่าไม่คงที่ โดยถ้าล้อมีระยะการเคลื่อนที่น้อยค่าความแข็งสปริงของยางล้อจะต่ำ และค่าความแข็งสปริงจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะการเคลื่อนที่ของล้อมากขึ้น