

## บทที่ 7

### การวัดและปรับค่าพารามิเตอร์ของสมการพลศาสตร์ยานพาหนะแบบ 2 ล้อ

ในบทนี้จะกล่าวถึงขบวนการหา และวิธีการวัดค่าพารามิเตอร์ของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน สำหรับค่าพารามิเตอร์ของยานพาหนะจริงนั้นจะอ้างอิงข้อมูลจาก National Highway Transportation and Safety Administration(NHTSA)[7] ของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยทำการสำรวจจากยานพาหนะจริงทั้งหมดประมาณ 700 คัน ตั้งแต่ปีคริสต์ศักราช 1968-2002 ยานพาหนะที่ทดสอบจะมีทั้งแบบปีกอ๊อฟ แบบแก่ง ขับเคลื่อนสองล้อและสี่ล้อเป็นต้น สำหรับพารามิเตอร์ที่วัดนั้นจะบ่งบอกถึงลักษณะทางกายภาพ ตัวอย่างเช่น มวล โมเมนต์ความเฉื่อยของตัวยานพาหนะ รอบแกน Z และ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ยางล้อกระทำกับผิวถนน เป็นต้น ซึ่งจะนำข้อมูลเหล่านี้มาเปรียบเทียบกับยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนที่สร้างขึ้นมา ในส่วนที่จะให้ยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนมีความสมมูลกับยานพาหนะจริงทางด้านลักษณะคุณสมบัติและพฤติกรรมนั้น ต้องอาศัยสมการของกลุ่มตัวแปรไร้มิติเข้ามาเปรียบเทียบระหว่างยานพาหนะทั้งสอง เมื่อกลุ่มตัวแปรไร้มิติมีค่าแตกต่างกันจะต้องทำการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน เพื่อให้กลุ่มตัวแบบของยานพาหนะทั้งสองมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน หลังจากทำการปรับค่ากลุ่มตัวแปรไร้มิติเรียบร้อยแล้วจะนำยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนไปทดลองทางด้านพลศาสตร์ต่อไป

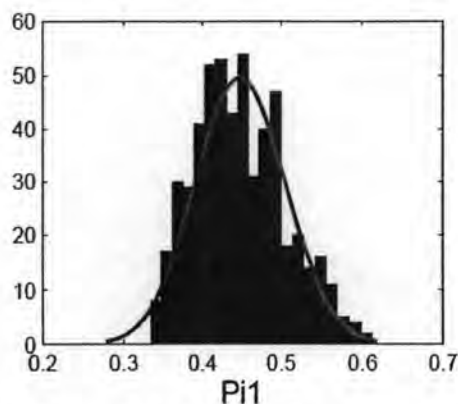
#### ขบวนการวัดและปรับค่าพารามิเตอร์ของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน

หลังจากที่ทำการหาและจัดกลุ่มตัวแปรไร้มิติออกมาแล้ว จะต้องทำการหาค่าของตัวแปรเหล่านี้ออกมา เพื่อจะได้ทำการเปรียบเทียบคุณลักษณะระหว่างยานพาหนะจริงและยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน โดยตัวแปรที่ต้องหา มีดังนี้ มวล จุดศูนย์กลางถ่วงของยานพาหนะ โมเมนต์ความเฉื่อยของตัวยานพาหนะรอบแกน z และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ยางล้อกระทำกับผิวถนน กลุ่มตัวแปรทั้งหมดจะมี 5 กลุ่มด้วยกัน โดยรายละเอียดมีดังต่อไปนี้

$$\Pi_1 = \frac{a}{L}, \Pi_2 = \frac{b}{L}, \Pi_3 = \frac{C_{af}L}{mU^2}, \Pi_4 = \frac{C_{ar}L}{mU^2}, \Pi_5 = \frac{I_z}{mL^2} \quad (7.1)$$

#### 7.1 การหาจุดศูนย์กลางถ่วงของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน

จากกลุ่มตัวแปรไร้มิติในสมการ (7.1) จะเห็นว่ากลุ่มที่เกี่ยวข้องคือ  $\Pi_1 = \frac{a}{L}$  และ  $\Pi_2 = \frac{b}{L}$  และจากข้อมูลจากยานพาหนะจริงดังรูปที่ 7.1 จะเห็นว่าช้อกลุ่มตัวแปรไร้มิติกลุ่มที่ 1 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 0.4431 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของยานพาหนะจริงส่วนใหญ่



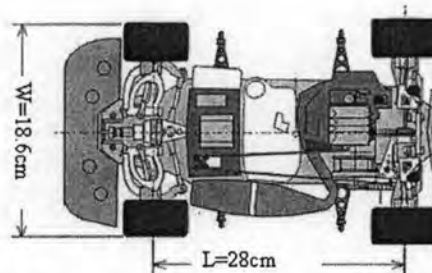
รูปที่ 7.1 ข้อมูลกลุ่มตัวแปรไร้มิติกลุ่มที่ 1 ของยานพาหนะจริง [23]

จากรูปที่ 7.1 แกนแนวตั้งบอกถึงจำนวนของยานพาหนะและแกนแนวนอนบอกถึงอัตราส่วนของค่ากลุ่มตัวแปรไร้มิติกลุ่มที่ 1 ของยานพาหนะจริงแต่ละคัน และจากข้อมูลยานพาหนะจริงทำการแยกออกมาพิจารณา โดยสามารถที่จะปรับยานพาหนะจริงแบบย่อยส่วน ให้มีความสมมูลกับยานพาหนะจริงต้นแบบตามที่ต้องการได้

ตารางที่ 7.1 ข้อมูลยานพาหนะจริงสำหรับกลุ่มตัวแปรไร้มิติ กลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2[23]

Descriptions	a(m)	b(m)	L(m)	$\Pi_1 = a/L$	$\Pi_2 = b/L$
Ford Taurus – Empty	0.930	1.760	2.690	0.3457	0.65428
Ford Taurus - Driver only	0.950	1.740	2.690	0.3532	0.64684
Ford Taurus - Driver + 3 Passengers	1.070	1.620	2.690	0.3978	0.60223
Ford Taurus - Driver + 3 Passengers + Rear Cargo	1.170	1.520	2.690	<u>0.4349</u>	<u>0.56506</u>
Chevrolet C-10 pickup,PU,0 passengers, RWD,fuel tank: F	1.445	1.908	3.353	0.4310	0.56904
Chevrolet C-10 pickup,PU,1 passengers, RWD,fuel tank: E	1.360	1.625	2.985	0.4556	0.54439
Chevrolet C-15 pickup,PU,NaN passengers, RWD tank: F	1.440	1.913	3.353	0.4295	0.57053
Chevrolet C-15 pickup,PU,0 passengers, RWD,fuel tank: F	1.403	1.950	3.353	0.4184	0.58157
Chevrolet C-20 pickup,PU,1 passengers, RWD,fuel tank: F	1.543	1.784	3.327	0.4638	0.53622
Chevrolet C-20 pickup,PU,1 passengers, RWD,fuel tank: F	1.540	1.800	3.340	0.4611	0.53892
Ford E150,VN,8 passengers, RWD,fuel tank: ½	1.678	1.834	3.512	0.4778	0.52221
Ford E150,VN,1 passengers, RWD,fuel tank: F	1.662	1.856	3.518	0.4724	0.52757
Ford F100,PU,0 passengers, RWD,fuel tank: F	1.265	1.720	2.985	0.4238	0.57621
Ford F150,PU,1 passengers, RWD,fuel tank: F	1.465	2.052	3.517	0.4165	0.58345

จากตารางที่ 7.1 ทำการเลือกยานพาหนะจริงต้นแบบที่ต้องการปรับให้ยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนสมมูลกับยานพาหนะจริง โดยทำการเลือก Ford Taurus - Driver + 3 Passengers + Rear Cargo เนื่องจาก ยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนที่สร้างขึ้นมา มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมหลักไว้ที่ด้านหลังของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน ดังนั้นจะต้องมีค่าใกล้เคียงกับยานพาหนะจริงที่มีการบรรจุทุกสิ่งของ ขั้นตอนในการหาและปรับจุดศูนย์ถ่วงของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนโดย เริ่มจากวัดค่าความยาวระหว่างเพลาล้อหน้าและเพลาล้อหลัง (L) หลังจากได้ค่ามาแล้วทำการคูณกับค่ากลุ่มตัวแปรไร้มิติกลุ่มที่ 1 ของยานพาหนะจริงต้นแบบที่เลือกไว้

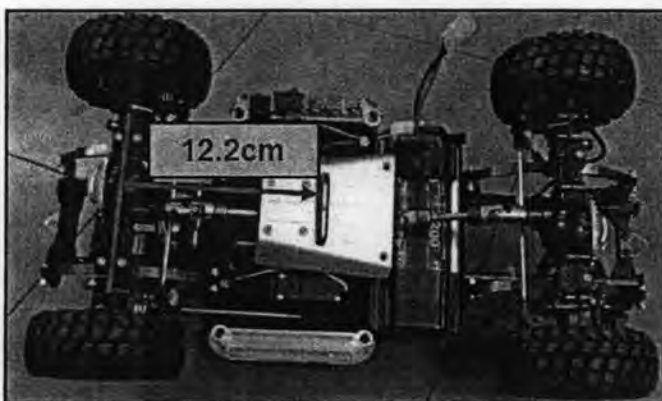


รูปที่ 7.2 ตำแหน่งของความยาวระหว่างเพลาล้อหน้าและเพลาล้อหลัง (L)

จะได้  $L=28$  cm นำค่า  $L$  ไปคูณกับค้ายานพาหนะจริงที่เลือกไว้ จะได้จุดศูนย์ถ่วงของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนเป็นดังนี้

$$\Pi_{Scale} = 28 \times 0.4349 = 12.18 \text{ cm} \quad (7.2)$$

เมื่อได้ค่าความยาวจากเพลาล้อหน้าถึงจุดศูนย์ถ่วงยานพาหนะแล้วทำการกำหนดจุดศูนย์ถ่วงให้กับยานพาหนะสำหรับนำไปเขavnดังรูปที่ 7.3



(ก) ความยาวจากเพลาล้อหน้าถึงจุดศูนย์ถ่วงยานพาหนะ



(ข) ติดตั้งอุปกรณ์เขavnมวล

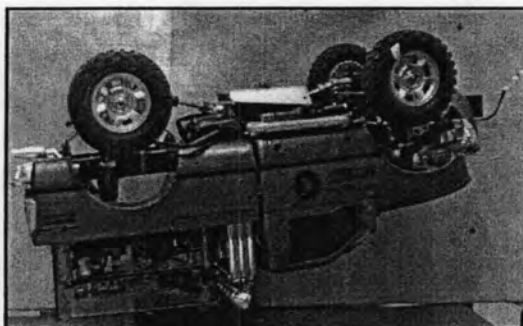
รูปที่ 7.3 กำหนดตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของยานพาหนะ

หลังจากที่กำหนดจุดศูนย์ถ่วงของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนแล้วทำการแขวนด้วยเชือก เพื่อดูจุดศูนย์ถ่วงตามที่กำหนดดังรูปที่ 7.4



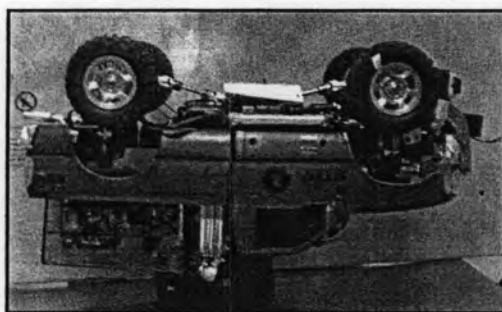
รูปที่ 7.4 การแขวนจุดศูนย์ถ่วงตามที่กำหนด

จากรูปที่ 7.4 จะเห็นว่ายานพาหนะไม่ได้มีจุดศูนย์ถ่วงตามที่ต้องการ ทำการปรับแต่งโดยย้ายมวล ในที่นี้ทำการย้ายแหล่งพลังงานไปด้านหน้าตามรูปที่ 7.5



รูปที่ 7.5 การแขวนจุดศูนย์ถ่วงหลังจากย้ายอุปกรณ์

จากรูปที่ 7.5 จะเห็นว่ายานพาหนะมีจุดศูนย์ถ่วงใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการมากขึ้น แต่ยังไม่ตรงกับค่าที่ต้องการ ทำการปรับแต่งโดยเพิ่มมวลไปด้านหน้าดังรูปที่ 7.6



รูปที่ 7.6 การแขวนจุดศูนย์ถ่วงหลังจากเพิ่มมวลไปด้านหน้า

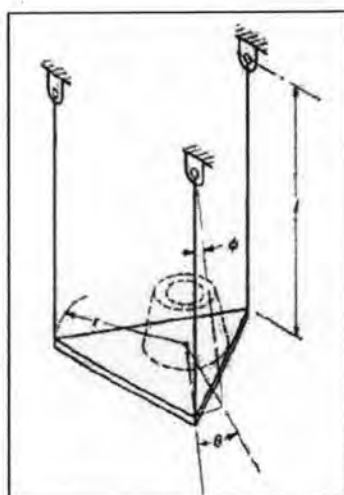
ผลจากการปรับค่าจุดศูนย์ถ่วงทำให้ตอนนี้ยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนมีความสมมูลกับยานพาหนะจริงในส่วนของจุดศูนย์ถ่วงยานพาหนะเป็นที่เรียบร้อย สำหรับค่าตัวแปรไร้มิติกลุ่มที่ 2 สามารถหาได้จาก  $b = 1 - \Pi_1$  ฉะนั้นจากตารางที่ 7.2 จะพบว่าค่ากลุ่มตัวแปรไร้มิติกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ของยานพาหนะจริงต้นแบบและยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนมีค่าใกล้เคียงกันมาก

ตารางที่ 7.2 เปรียบเทียบความสมมูลของตัวแปรไร้มิติกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2

Description	a(m)	b(m)	L(m)	$\Pi_1 = a/L$	$\Pi_2 = b/L$
A Scaling Vehicle for Dynamic Simulation	0.1212	0.1588	0.280	0.4329	0.56714
Ford Taurus - Driver + 3 Passengers + Rear Cargo	1.1700	1.5200	2.690	0.4349	0.56506

## 7.2 การหาและปรับแต่งค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของตัวยานพาหนะรอบแกน Z

การหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของตัวยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนรอบแกน Z ใช้หลักการจากหนังสือ Theory of Machines and Mechanisms[8] ของ Joseph E. Shigley และ John J. Uicker Jr โดยหลักการมีชื่อว่า Trifilar pendulum คือ การนำวัตถุที่ต้องการหาโมเมนต์ความเฉื่อยไปวางไว้บนอุปกรณ์ทดลองที่แขวงด้วยเชือกมวลเบาสามเส้นแล้วแกว่งหาคาบที่เกิดขึ้นไปแทนในสมการแล้วจะได้ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุนั้น ขั้นตอนแรกเริ่มจากการสร้างอุปกรณ์วางและอุปกรณ์แขวนยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน โดยใช้แผ่นพลาสติกอะคริลิกสำหรับวางยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนและใช้เชือกมวลเบาแขวนอุปกรณ์วัด อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นสำหรับหาโมเมนต์ความเฉื่อยของตัวยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนรอบแกน z ดังรูปที่ 7.7(ข)



(ก) อุปกรณ์ตามทฤษฎี



(ข) อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมา

รูปที่ 7.7 อุปกรณ์หาค่าโมเมนต์ความเฉื่อย

จากรูปที่ 7.7(ก) จะได้สมการในการคำนวณดังนี้

$$\sum M_z : -r(m_{sc} + m_p)g \sin \phi = (I_p + I_p)\ddot{\theta} \quad (7.3)$$

การทดลองกำหนดให้มุมเชือกมีค่าน้อยเพื่อความเป็นเชิงเส้นในการทดลองกำหนดให้

$$\phi = \frac{r}{l}\theta \quad (7.4)$$

แทนค่าสมการ (7.4) ในสมการ (7.3) จะได้

$$\ddot{\theta} + \frac{(m_{sc} + m_p)gr^2}{(l_o + l_p)l}\theta = 0 \quad (7.5)$$

จากความสัมพันธ์ของคาบในการแกว่งจะได้สมการ

$$l_{sc} + l_p = \frac{(m_{sc} + m_p)r^2 g}{l} \left(\frac{\tau}{2\pi}\right)^2 \quad (7.6)$$

จากสมการ (7.6) ตัวแปรที่มีความหมายดังนี้

$m_{sc}$  = มวลของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน

$m_p$  = มวลของแผ่นอุปกรณ์ทดลอง

$I_{sc}$  = โมเมนต์ความเฉื่อยของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน

$I_p$  = โมเมนต์ความเฉื่อยของแผ่นอุปกรณ์ทดลอง

$r$  = ระยะระหว่างจุดศูนย์ถ่วงแผ่นอุปกรณ์ทดลองไปยังเชือก

$\theta$  = มุมของการเคลื่อนที่แผ่นอุปกรณ์ทดลอง

$L$  = ความยาวเชือก

$\phi$  = มุมเชือกที่เคลื่อนที่

$\tau$  = คาบในการแกว่ง

### 7.2.1 การทดลองในกรณีไม่มียานพาหนะจริงแบบบนอุปกรณ์วัด

ก่อนการทดลองได้ตรวจสอบความถูกต้องของอุปกรณ์วัดที่สร้างขึ้นมา โดยทำการทดลองหาโมเมนต์ความเฉื่อยของอุปกรณ์เทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณตามสมการดังนี้

$$I_p = \frac{1}{2} m_p r_p^2 \quad (7.7)$$

ทำการแทนค่ามวลและรัศมีของแผ่นอะคริลิกในสมการ (7.7) จะได้ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของอุปกรณ์เท่ากับ 0.2166 ในการติดตั้งอุปกรณ์ได้ใช้ที่วัดระดับน้ำเข้ามาช่วยในการติดตั้งเพื่อให้ทุกจุดบนแผ่นอะคริลิกมีระดับเดียวกัน สำหรับเงื่อนไขในการทดลองต้องทำการหมุนมุมแผ่นอุปกรณ์วัดไม่เกิน 5 องศา ตามสมการ (7.6) เพื่อให้อยู่ในช่วงสมการเชิงเส้นในการพิจารณา



รูปที่ 7.8 แสดงมุมวัดในการทดลอง

#### ผลการทดลอง

ตารางที่ 7.3 ผลการทดลองโดยแกว่ง 9.50 ครั้ง

ทดลองครั้งที่	จำนวนครั้ง	เวลา	คาบ	$I_p$ (วัด)	$I_p$ (คำนวณ)	ค่าความผิดพลาด
1	9.50	9.041	0.9774054	0.241875687	0.2166	11.66929202
2	9.50	9.189	0.9934054	0.24985945	0.2166	15.35524005
3	9.50	9.249	0.9998919	0.25313304	0.2166	16.86659296
4	9.50	9.193	0.9938378	0.250077026	0.2166	15.45569089
5	9.50	9.050	0.9783784	0.242357484	0.2166	11.89172844
ค่าเฉลี่ย		9.144	0.9885838	0.247460537	0.2166	14.24770887

ตารางที่ 7.4 ผลการทดลองโดยแกว่ง 14.50 ครั้ง

ทดลองครั้งที่	จำนวนครั้ง	เวลา	คาบ	$I_p$ (วัตต์)	$I_p$ (ค่านวน)	ค่าความ ผิดพลาด
1	14.50	14.127	0.9913684	0.248835824	0.2166	14.88265171
2	14.50	14.053	0.9861754	0.24623575	0.2166	13.68224816
3	14.50	14.113	0.990386	0.24834287	0.2166	14.65506479
4	14.50	14.220	0.9978947	0.252122849	0.2166	16.40020731
5	14.50	14.003	0.9826667	0.244486673	0.2166	12.87473368
ค่าเฉลี่ย		14.103	0.9896982	0.248004793	0.2166	14.49898113

ตารางที่ 7.5 ผลการทดลองโดยแกว่ง 19.50 ครั้ง

ทดลองครั้งที่	จำนวนครั้ง	เวลา	คาบ	$I_p$ (วัตต์)	$I_p$ (ค่านวน)	ค่าความ ผิดพลาด
1	19.50	18.941	0.9839481	0.245124704	0.2166	13.16930015
2	19.50	19.218	0.9983377	0.252346713	0.2166	16.50356102
3	19.50	18.872	0.9803636	0.243342032	0.2166	12.34627511
4	19.50	19.047	0.9894545	0.247875976	0.2166	14.43950895
5	19.50	19.103	0.9923636	0.249335677	0.2166	15.11342437
ค่าเฉลี่ย		19.036	0.9888935	0.247605021	0.2166	14.31441392

จากตารางที่ 7.3-7.5 ได้มีการทดลองจับจำนวนครั้งในการแกว่งที่แตกต่างกันคือ 9.50 14.50 และ 19.50 ครั้ง สังเกตเห็นได้ว่าผลของจำนวนครั้งในการแกว่งไม่ค่อยมีผลกระทบกับค่าคาบที่เกิดขึ้น ในส่วนของการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดระหว่างค่าที่คำนวณได้จากสูตร กับค่าที่ได้จากการทดลองจะเห็นว่ามีความผิดพลาดประมาณ 14% ซึ่งถือว่าไม่ดีพอ สาเหตุเนื่องมาจากเชือกที่ใช้เป็นเชือกชนิดที่เรียกว่าเส้นเอ็น ซึ่งเป็นเชือกสำหรับตกปลาที่มีความทนต่อน้ำหนักถึง 40kg แต่คุณสมบัติของเชือกชนิดนี้ถึงแม้จะรับน้ำหนักได้มาก แต่เกิดความยืดหยุ่นในเส้นเชือกส่งผลให้มีค่าความผิดพลาดสะสมเกิดขึ้น โดยวิธีแก้ไข ได้ทำการเปลี่ยนชนิดของเชือกโดยชนิดเชือกที่เลือกใช้เรียกว่าลวดสลิง คุณสมบัติของเชือกชนิดนี้คือรับน้ำหนักได้มากมีน้ำหนักเบา และไม่เกิดการยืดหยุ่นเมื่อนำยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนไปทดลอง เมื่อทำการทดลองใหม่จะได้ผลดังนี้



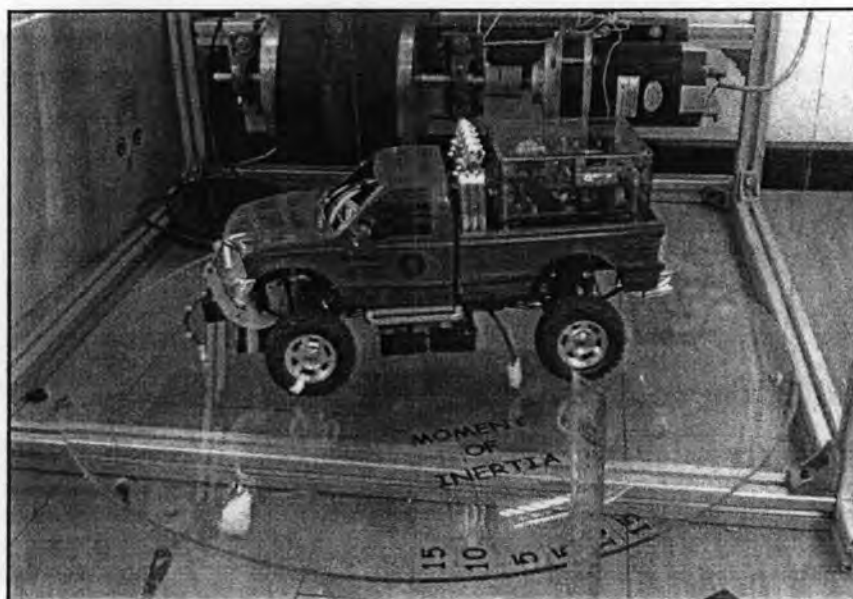
ตารางที่ 7.6 ผลการทดลองโดยเปลี่ยนชนิดของเชือก

ทดลองครั้งที่	จำนวนครั้ง	เวลา	คาบ	$I_p$ (วัด)	$I_p$ (คำนวณ)	ค่าความผิดพลาด
1	20	25.910	1.2955	0.234539385	0.2166	8.282264418
2	20	26.270	1.3135	0.24110216	0.2166	11.31216989
3	20	25.684	1.2842	0.230465689	0.2166	6.40151844
4	20	26.169	1.30845	0.239251798	0.2166	10.45789374
5	20	26.204	1.3102	0.239892205	0.2166	10.75355744
ค่าเฉลี่ย		26.047	1.30237	0.237050247	0.2166	9.441480784

จากตารางที่ 7.6 จะเห็นได้ว่าเมื่อเปลี่ยนชนิดของเชือกใหม่ทำให้ได้ข้อมูลที่มีค่าความผิดพลาดลดลง โดยมีค่าประมาณอยู่ที่ 9% ซึ่งค่าความผิดพลาดนี้ถือเป็นที่ยอมรับได้ในการสร้างเครื่องมือวัดค่าโมเมนต์ความเฉื่อยขึ้นมาเอง

#### 7.2.2 การทดลองในกรณีมียานพาหนะบนอุปกรณ์วัด

ในการทดลองหาโมเมนต์ความเฉื่อยของตัวยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนรอบแกน z จำเป็นต้องให้จุดศูนย์กลางระหว่างแผ่นอุปกรณ์ทดลอง และยานพาหนะมีความสอดคล้องกันของจุดศูนย์กลางโดยให้จุดทั้งสองอยู่ตำแหน่งเดียวกันบนระนาบ x-y ทั้งสองดังรูปที่ 7.9



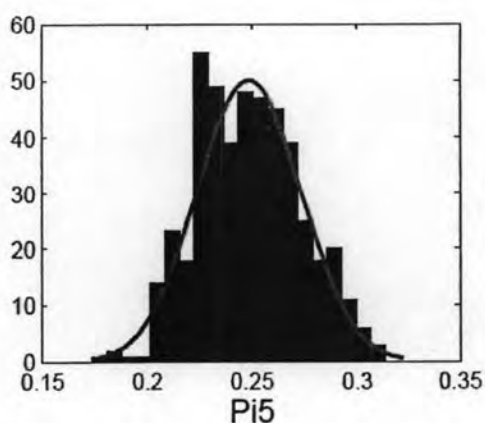
รูปที่ 7.9 การทดลองหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน

## ผลการทดลอง

ตารางที่ 7.7 ผลการทดลองยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนก่อนปรับแต่ง

ทดลองครั้งที่	จำนวนครั้ง	เวลา	คาบ	$I_{sc}$ 20 ครั้ง	$\Pi_{Scale}$
1	20	19.075	0.95375	0.118882609	0.28080737
2	20	19.200	0.96	0.123562807	0.29186226
3	20	19.181	0.95905	0.122849447	0.29017726
4	20	19.066	0.9533	0.118546815	0.28001421
5	20	19.106	0.9553	0.120040448	0.28354225
ค่าเฉลี่ย		19.126	0.95628	0.120776425	0.28528067

จากตารางที่ 7.7 เมื่อนำค่าเฉลี่ยของคาบของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน ไปแทนลงในสมการ (7.6) จะได้ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของตัวยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนรอบแกน z แล้วนำค่าไปแทนสมการ (7.1) ในกลุ่มตัวแปรไร้มิติกลุ่มที่ 5 ได้ค่าตามตารางที่ 7.7 หลังจากได้กลุ่มตัวแปรไร้มิติกลุ่มที่ 5 แล้วนำไปเทียบกับข้อมูลยานพาหนะจริง



รูปที่ 7.10 ข้อมูลกลุ่มตัวแปรไร้มิติกลุ่มที่ 5 ของยานพาหนะจริง [23]

จากรูปที่ 7.10 จะเห็นว่าค่ากลุ่มตัวแปรไร้มิติกลุ่มที่ 5 ของยานพาหนะจริงนั้นมีค่าอยู่ระหว่าง 0.175-0.325 แสดงว่ายานพาหนะจริงแบบย่อส่วนที่สร้างขึ้นมามีค่าอยู่ในช่วงของยานพาหนะจริงแต่เนื่องจากได้เลือกยานพาหนะจริงต้นแบบ โดยมีค่าตามตารางที่ 7.8

ตารางที่ 7.8 ข้อมูลยานพาหนะจริงสำหรับกลุ่มตัวแปรไร้มิติ กลุ่มที่ 5

Description	$m$ (kg)	$I_z$ (kg.m <sup>2</sup> )	L(m)	$\Pi_5$
Ford Taurus – Empty	1460.00	2743.00	2.690	0.2596
Ford Taurus - Driver only	1554.70	2778.00	2.690	0.2469
Ford Taurus - Driver + 3 Passengers	1763.50	2995.00	2.690	0.2347
Ford Taurus - Driver + 3 Passengers + Rear Cargo	1857.90	3282.00	2.690	<u>0.2441</u>
Chevrolet C-10 pickup,PU,0 passengers,RWD,fuel: F	1872.68	4324.00	3.353	0.2054
Chevrolet C-10 pickup,PU,1 passengers, RWD,fuel: E	1853.21	3756.00	2.985	0.2275
Chevrolet C-15 pickup,PU,0 passengers, RWD,fuel: F	1855.05	4858.00	3.353	0.2329
Chevrolet C-20 pickup,PU,1 passengers, RWD,fuel: F	2240.88	5959.00	3.327	0.2402
Ford E150,VN,1 passengers,ballast of 0,RWD,fuel: F	2295.31	6536.00	3.518	0.2301
Ford F100,PU,0 passengers,ballast of 0,RWD,fuel: F	1550.76	3246.00	2.985	0.2349
Ford F150,PU,1 passengers,ballast of 0,RWD,fuel: F	2039.25	5375.00	3.517	0.2131

จากตารางที่ 7.8 จะเห็นว่าค่ากลุ่มตัวแปรไร้มิติจากยานพาหนะจริงที่เลือกมามีค่า 0.2441 ซึ่งน้อยกว่าค่าของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนที่สร้างขึ้น ดังนั้นสามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มมวลเข้าไปที่บริเวณใกล้จุดศูนย์ถ่วงของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน เพื่อลดค่าโมเมนต์ความเฉื่อยส่งผลให้ค่ากลุ่มตัวแปรไร้มิติลดลงเช่นกัน ในทางตรงกันข้ามถ้าเพิ่มมวลออกจากจุดศูนย์ถ่วงก็จะเพิ่มโมเมนต์ความเฉื่อยส่งผลให้ค่ากลุ่มตัวแปรไร้เพิ่มขึ้น

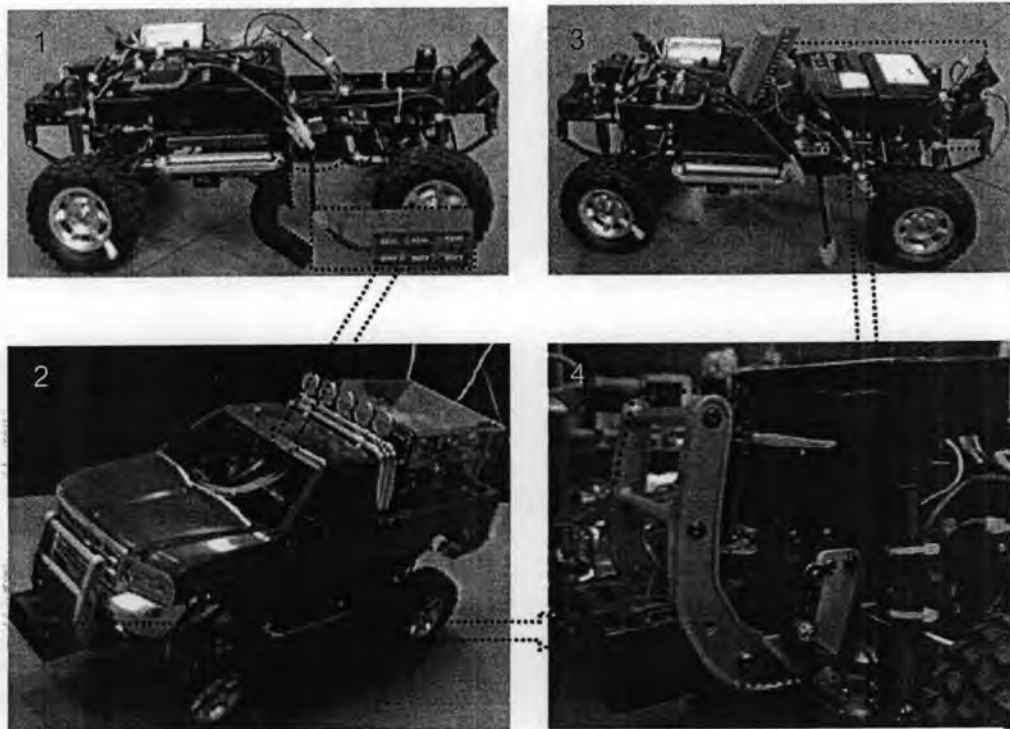


รูปที่ 7.11 ยานพาหนะแบบย่อส่วนหลังแต่ง

ตารางที่ 7.9 ผลการทดลองยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนหลังเพิ่มมวล

ทดลองครั้งที่	จำนวนครั้ง	เวลา	คาบ	$I_{sc}$ 20 ครั้ง	$\Pi_{Scale}$	$\Pi_5$
1	20	18.903	0.94515	0.09648268	0.244175876	0.2441
2	20	18.975	0.94875	0.09903618	0.250638199	0.2441
3	20	18.875	0.94375	0.09549227	0.241669385	0.2441
4	20	18.905	0.94525	0.09655348	0.244355053	0.2441
5	20	18.998	0.949915	0.09986459	0.252734741	0.2441
ค่าเฉลี่ย		18.931	0.946563	0.09748584	<u>0.246714651</u>	<u>0.2441</u>

จากตารางที่ 7.9 จะเห็นว่าเมื่อทำการปรับแต่งโดยย้ายมวลไปที่บริเวณ จุดศูนย์ถ่วงของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน แล้วนำไปทดสอบหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของตัว ยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนรอบแกน z อีกครั้ง ผลที่ได้ทำให้ค่ากลุ่มตัวแปรไร้มิติกลุ่มที่ 5 ระหว่าง ยานพาหนะทั้งสองมีใกล้เคียงกันมาก รูปที่ 7.12 แสดงการย้ายแหล่งพลังงาน จาก 1-2 เป็นแหล่ง จากพลังงานให้มอเตอร์จากใต้ท้องยานพาหนะ ไปไว้ตำแหน่งผู้ขับขี่ ส่วน 3-4 ย้ายแหล่งพลังงาน รวมจากด้านหลัง ไปยังตำแหน่งด้านหน้ายานพาหนะดังรูปที่ 7.12 ข้อควรระวังในการย้ายมวล ต้องไม่ให้ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงเปลี่ยนไปเมื่อทำการเพิ่มหรือย้ายมวล



รูปที่ 7.12 การปรับแต่งในส่วนของแหล่งจ่ายพลังงาน

### 7.3 การหาและปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ยางล้อกระทำกับผิวถนน

กลุ่มตัวแปรไร้มิติในกลุ่มนี้คือกลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 4 จากสมการที่ 1 จะเห็นตัวแปรที่สำคัญที่เกี่ยวข้อง คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ยางล้อกระทำกับผิวถนน ( $C_\alpha$ ) โดยค่านี้จะเป็นลักษณะเฉพาะตัวของแต่ละวัสดุ ในการทดลองจะนำเอาล้อมาทดลองกับผิวถนนทั้ง 6 แบบ เพื่อหาผิวถนนและล้อที่มีค่าสมมูลกับลักษณะของยานพาหนะจริงกับผิวถนนมากที่สุด แต่ก่อนการทดลองกับผิวถนน จะขอกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ยางล้อกระทำกับผิวถนนก่อน

#### 7.3.1 แบบจำลองของล้อ

ในการเคลื่อนที่ของยานพาหนะในแนวข้าง แรงที่ผลักดันให้ยานพาหนะเลี้ยว คือ แรงในการเลี้ยว (Cornering force) ตามแบบจำลองของล้อแบบ Dugoff's tire model แรงในการเลี้ยวจะแปรตามมุมลื่นไถลด้านข้างของล้อ (Side slip angle) เป็นเส้นตรง โคนมีความชันเป็นค่าคงที่ เรียกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ยางล้อกระทำกับผิวถนน (Cornering Stiffness) ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ยางล้อกระทำกับผิวถนน คือ อัตราส่วนระหว่างแรงในการเลี้ยวต่อมุมลื่นไถลด้านข้างของล้อ

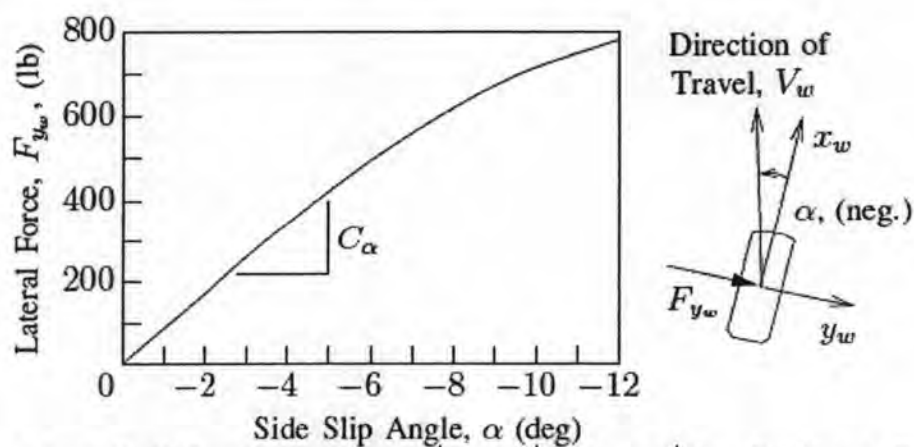
$$F_y = C_\alpha \alpha \quad (7.8)$$

โดยที่

$F_y$  คือ แรงด้านข้างที่กระทำที่ล้อ

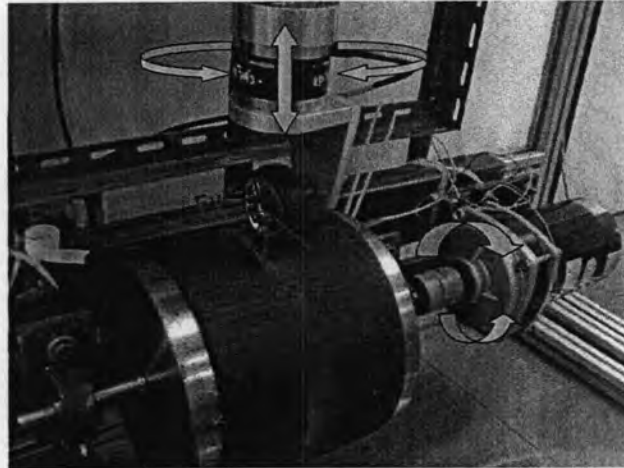
$C_\alpha$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ยางล้อกระทำกับผิวถนน

$\alpha$  คือ มุมลื่นไถลด้านข้างของล้อ



รูปที่ 7.13 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำที่ล้อและมุมลื่นไถลด้านข้างของล้อ [24]

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายด้านข้างของล้อยจะขึ้นกับหลายๆ อย่าง เช่น รูปร่าง วัสดุของล้อ น้ำหนักที่กดลงบนล้อ เป็นต้น ดังนั้น สัมประสิทธิ์ความเสียหายด้านข้างของล้อหน้า และล้อหลังจึงเป็นอิสระ ไม่สัมพันธ์กัน ในการวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายด้านข้างของล้อทำได้โดยการหมุนล้อไปที่มุมลื่นไถลด้านข้างของล้อใดๆ ในช่วง 0-5 องศา แล้วทำการวัดค่าแรงด้านข้างที่กระทำกับล้อในขณะที่ล้อหมุน



รูปที่ 7.14 ทิศทางของแรงที่กระทำต่อล้อ

### 7.3.2 อุปกรณ์วัดแรงและแรงบิด

อุปกรณ์ที่ใช้วัดแรงและแรงบิด มีหลักการทำงานโดยอาศัยการยืดหยุ่นของวัสดุตามกฎ Hooke's law ตามสมการดังนี้

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (7.9)$$

โดยที่

$E$  คือ โมดูลัสความยืดหยุ่นของวัสดุ (Pa)

$\sigma$  คือ ความเค้น (Stress) บนวัสดุ (Pa)

$\epsilon$  คือ ความเครียด (Strain) บนวัสดุ

ความเค้นจะแปรตามความเครียดบนวัสดุ โดยมีค่าคงที่เป็นโมดูลัสความยืดหยุ่นของวัสดุเป็นเส้นตรง เมื่อเราทราบโมดูลัสความยืดหยุ่นของวัสดุ และวัดความเครียดบนวัสดุได้ ก็สามารถคำนวณหาความเค้นบนวัสดุและคำนวณเป็นแรงได้

ในการวัดความเครียดบนวัสดุอาศัยทรานสดิวเซอร์แบบสเตรนเกจ ซึ่งเป็นตัวต้านทานที่มีค่าเปลี่ยนไปเมื่อมีความเครียดเกิดขึ้น โดยค่าที่วัดได้มีความสัมพันธ์เป็นดังนี้

$$\Delta R = S_a R_o \varepsilon \quad (7.10)$$

โดยที่

$\Delta R$  คือ ค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไปของ Strain gauge

$S_a$  คือ ค่าคงที่ของสเตรนเกจ (เกจแฟกเตอร์)

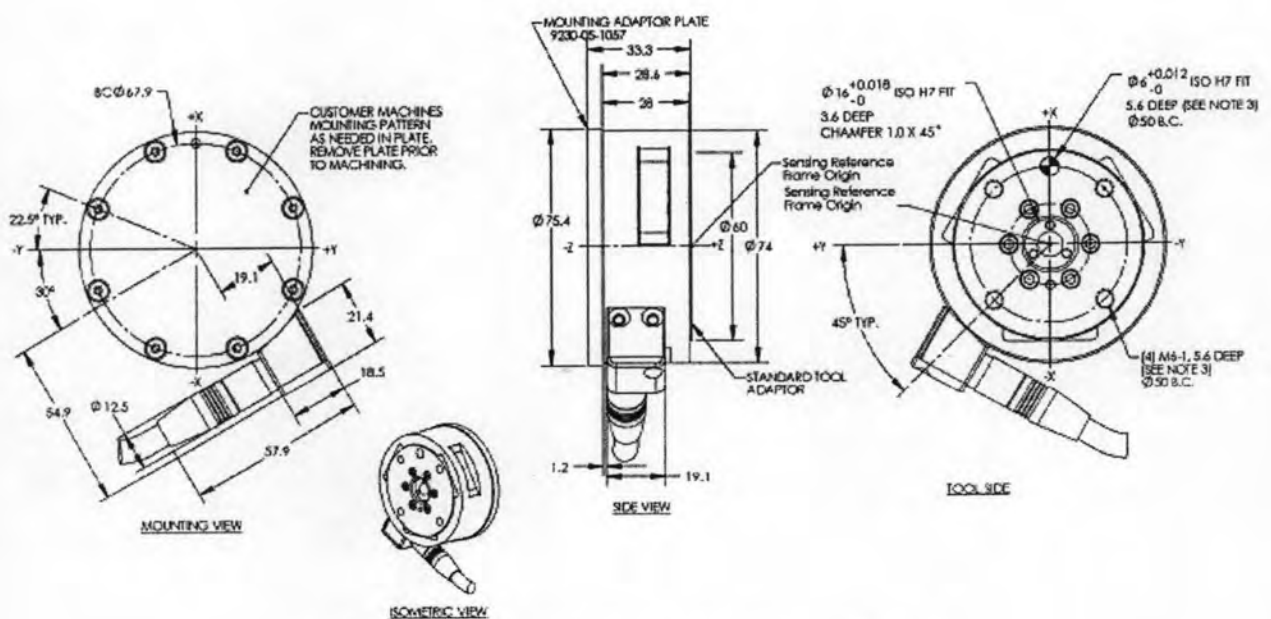
$R_o$  คือ ค่าความต้านทานเดิมของสเตรนเกจ

$\varepsilon$  คือ ความเครียดบนสเตรนเกจ

ค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไปที่วัดได้มักมีค่าน้อยมาก จึงมักใช้วงจรประเภทบริดจ์ในการขยายสัญญาณ

ในการทดลองนี้ใช้เซนเซอร์วัดแรงและแรงบิดของ ATI Industrial Automation รุ่น Gamma ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

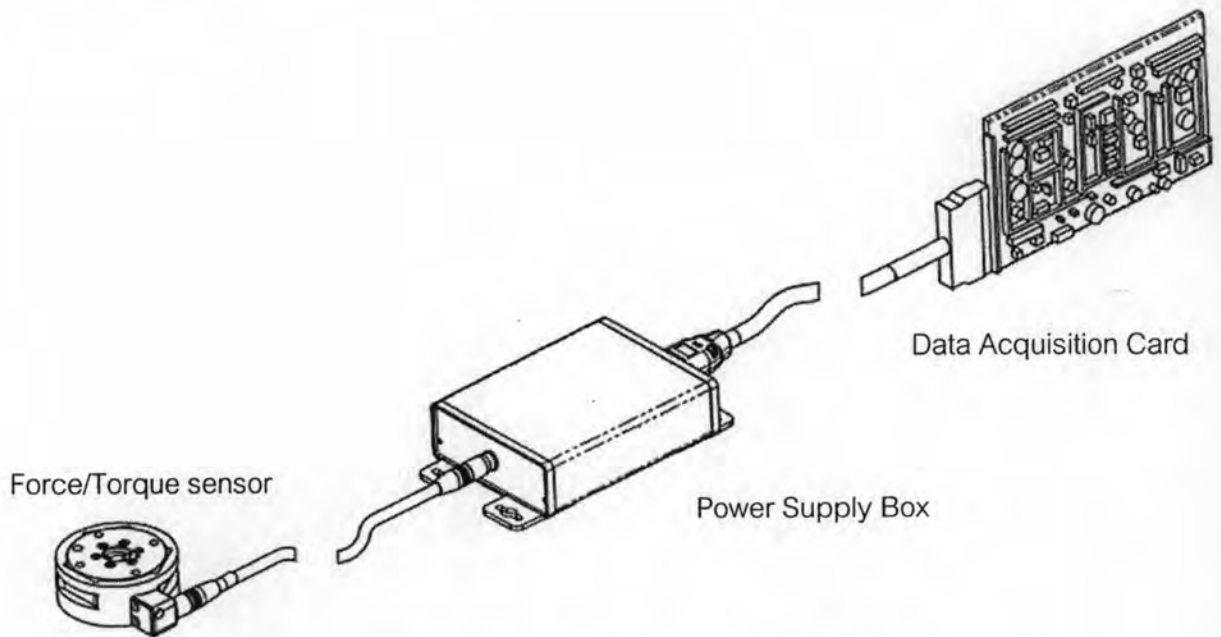
- รับแรงแกน x และ y ได้  $\pm 130$  N
- รับแรงแกน z ได้  $\pm 400$  N
- รับแรงบิดแกน x, y และ z ได้  $\pm 10$  Nm
- ความละเอียดในการวัดแรงแกน x และ y เท่ากับ 1/160 N
- ความละเอียดในการวัดแรงแกน Z เท่ากับ 1/80 N
- ความละเอียดในการวัดแรงบิดแกน X,Y และ Z เท่ากับ 1/3200 Nm



รูปที่ 7.15 แสดงขนาดของเซนเซอร์วัดแรงและแรงบิด [25]

### 7.3.3 การต่อใช้อุปกรณ์

ในการต่อใช้ Force/Torque sensor ของ ATI Industrial Automation รุ่น Gamma จะต้องต่อตัวเซนเซอร์เข้ากับกล่องแหล่งจ่ายไฟที่มาด้วยกัน และต่อสายสัญญาณเข้ากับอุปกรณ์เชื่อมต่อเพื่อเก็บข้อมูล (DAQ) ของ National Instruments จากนั้นใช้ซอฟต์แวร์ที่มีมาให้ในการอ่านค่าจากเซนเซอร์



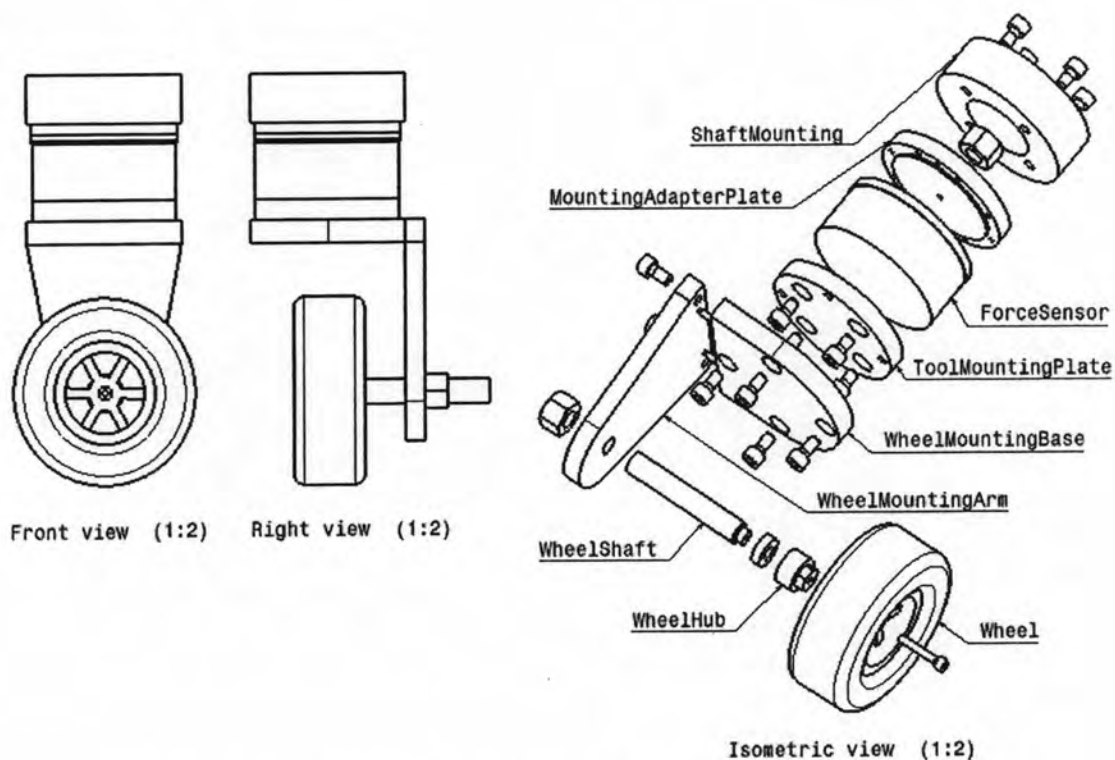
รูปที่ 7.16 แสดงการต่อเชื่อมเซนเซอร์วัดแรงและแรงบิด [26]

### 7.3.4 ชุดทดสอบการวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานด้านข้างล้อกระทำกับผิวถนน

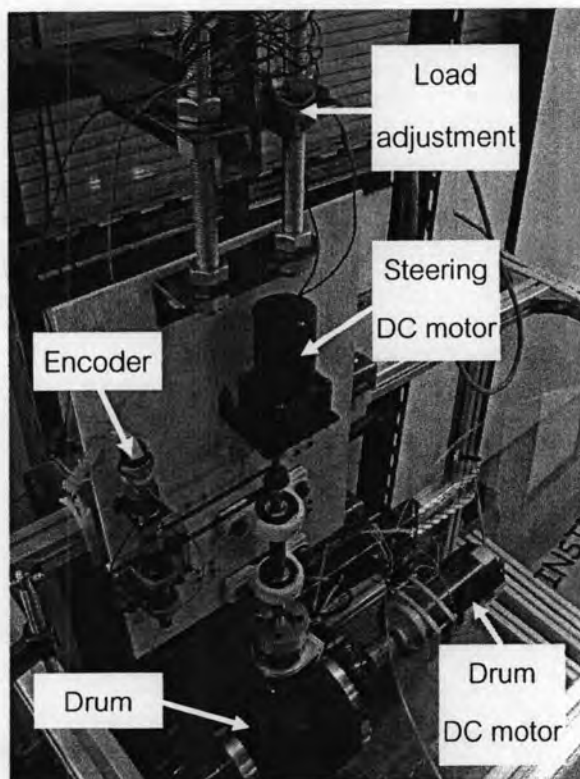
ชุดอุปกรณ์การวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานด้านข้างของล้อ ออกแบบให้มีอุปกรณ์จับยึดที่ล้อ โดยล้อยังสามารถหมุนรอบตัวเองได้อย่างอิสระ และใช้มอเตอร์กระแสตรงในการควบคุมให้สามารถหมุนไปที่มุมเลี้ยวใดๆตามที่กำหนดได้ ล้อที่จะนำมาวัดค่าสามารถถอดเปลี่ยนได้ เพื่อที่จะสามารถวัดค่าของล้อลักษณะต่างๆได้ ล้อที่ต้องการวัดค่าจะหมุนไปตามการหมุนของดุม ซึ่งใช้มอเตอร์กระแสตรงขับ และควบคุมความเร็วการหมุนได้ นอกจากนี้ยังมีชุดปรับแรงกดด้วย เพื่อให้สามารถปรับแรงกดลงบนล้อให้เท่ากับเมื่อล้อติดอยู่บนยานพาหนะ

- มอเตอร์กระแสตรงที่นำมาใช้ขับวงล้อหมุน ใช้มอเตอร์ MY 12023AX 36VDC 750W 600RPM
- มอเตอร์กระแสตรงที่นำมาใช้ขับมุมเลี้ยว ใช้มอเตอร์ ZHENGK ZGB70R-60SRZ-1 24VDC 45RPM มีอัตราทด 1:135
- เ็นโค้ดเดอร์ที่ใช้เป็นแม็กเนติกเอ็นโค้ดเดอร์ของ Maxon ที่ความละเอียด 500 pulse/rev ต่อกับชุดเฟืองทดอัตราทด 23:4

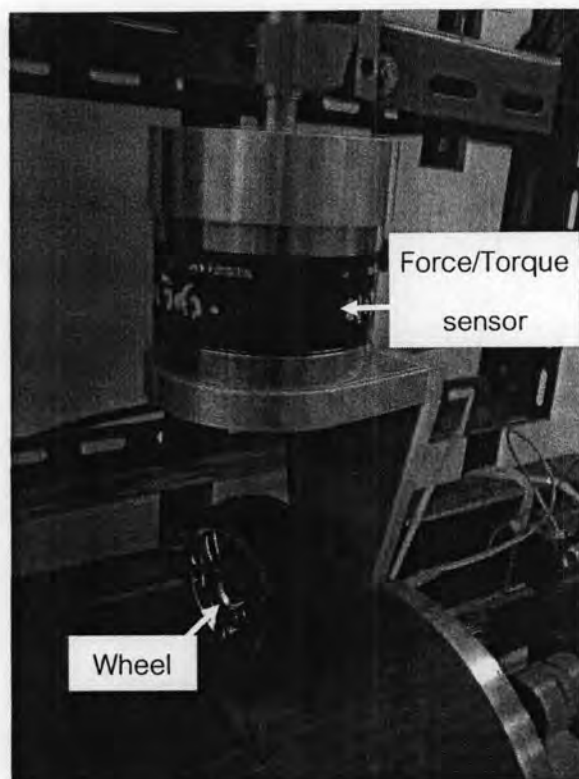




รูปที่ 7.17 โครงสร้างอุปกรณ์วัดค่าสัมประสิทธิ์เสียดทานที่ออกแบบในส่วนของล้อ



(ก) มุมมองด้านบน



(ข) ตำแหน่งล้อสัมผัสผิวถนน

รูปที่ 7.18 ชุดอุปกรณ์วัดค่าสัมประสิทธิ์เสียดทานด้านข้างของล้อที่สร้างขึ้น

การควบคุมมุมเลี้ยงของล้อควบคุมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ dsPIC30f2011 ซึ่งจะจ่ายสัญญาณ PWM ควบคุมไปยังวงจรถับมอเตอร์กระแสตรง และใช้สัญญาณป้อนกลับมุมเลี้ยงจากเอ็นโค้ดเดอร์ การควบคุมความเร็วของวงล้อหมุนควบคุมผ่านเครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้าโดยตรง เพราะจากผลการทดลองความเร็วและตามทฤษฎีของความเร็วที่ล้อมีผลต่อการวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานน้อยมากจึงไม่จำเป็นต้องควบคุมความเร็วของวงล้อหมุน

### 7.3.5 การควบคุมมุมเลี้ยง

ใช้การควบคุมป้อนกลับสัญญาณแบบพีไอดีบนไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมตำแหน่งมุมเลี้ยงให้เป็นไปตามที่ต้องการทำการควบคุมที่ความถี่ 6.4 kHz การทดลองกำหนดค่าอัตราขยายที่เหมาะสมต่อระบบเมื่อเปรียบเทียบระหว่างตำแหน่งที่ป้อนเข้าไป และตำแหน่งป้อนกลับจะได้ค่า  $K_p=20$ ,  $K_i=0.01$  และ  $K_d=0.001$  โดยเขียนโปรแกรมให้ควบคุมผ่านคีย์บอร์ด โดยสามารถเพิ่มหรือลดมุมบังคับเลี้ยงได้ที่ละ 0.18 องศา ในการหมุนมุมเลี้ยงที่ล้อ

### 7.3.6 การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ยาล้อกระทำกับผิวถนน

ในระบบใช้คอมพิวเตอร์ 2 ตัวในการทดลอง โดยคอมพิวเตอร์ตัวที่ 1 จะทำหน้าที่ควบคุมมุมเลี้ยงของล้อและรับสัญญาณป้อนกลับจากอุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งมุมเลี้ยงที่ล้อ สัญญาณทั้งหมดทำงานผ่านทางสายสัญญาณพอร์ทอนุกรม และแสดงผลบนไฮเปอร์เทอร์มินอล ในส่วนของคอมพิวเตอร์ตัวที่ 2 จะทำหน้าที่วัดและบันทึกข้อมูลแรงที่กระทำต่อล้อผ่านโปรแกรมของ ATI DAQ Force/Torque สำหรับล้อที่ใช้ทดลองแบ่งล้อออกเป็น 2 ชนิด สำหรับชนิดที่ 1 ยังแบ่งออกเป็นอีก 2 แบบ คือแบบที่มียางในและไม่มียางใน โดยแบบไม่มียางในจะมีการยุบตัวมากกว่าและล้อชนิดที่ 1 จะมีการเกาะติดกับพื้นผิวถนนมากกว่าชนิดที่ 2 สำหรับพื้นผิวถนนใช้ 6 ชนิดแต่ละชนิดพื้นผิวมีลักษณะแตกต่างกัน และจากคุณลักษณะของสมการที่ใช้ทดลอง จะต้องทดสอบล้อของยานพาหนะให้อยู่ในช่วงที่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นการทดลองจะอยู่ในช่วง -4 ถึง 4 องศา หลังจากนั้นจะนำข้อมูลที่ทดสอบได้มาเทียบหาชนิดล้อและชนิดพื้นผิวถนน ที่ทำให้มีลักษณะสมมูลกับยานพาหนะจริงที่เลือกไว้



(ก) ล้อยางชนิดที่ 1



(ข) ยางใน

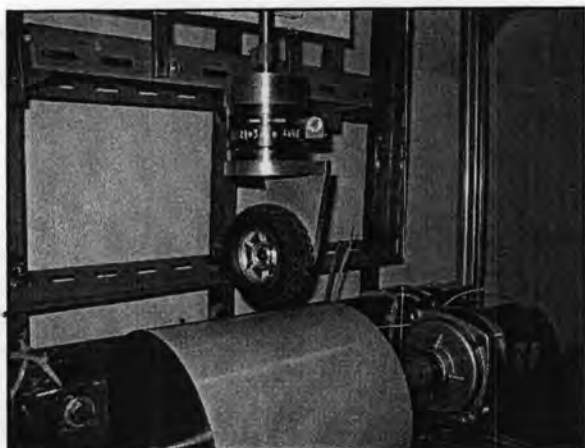


(ค) ล้อยางชนิดที่ 2

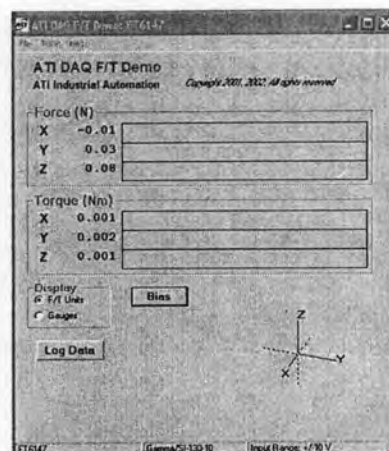
รูปที่ 7.19 ล้อที่ใช้ทดสอบ

### ขั้นตอนการทดลอง

- นำล้อที่ต้องการทดสอบมาติดตั้งในเครื่องทดสอบวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ยางล้อกระทำกับผิวถนน โดยทำการปรับยกตำแหน่งกดล้อไม่ให้สัมผัสวงล้อหมุน หลังจากนั้นทำการตั้งค่าเริ่มต้นของโปรแกรมให้มีค่าเป็น 0 ในคอมพิวเตอร์ตัวที่ 2 เพื่อบอกสถานะเริ่มต้น



(ก) ยกล้อเหนือวงล้อหมุน



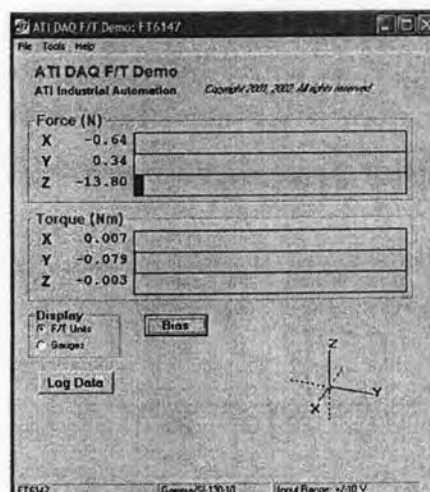
(ข) เซตค่าเริ่มต้นโปรแกรม

รูปที่ 7.20 ขั้นตอนเริ่มต้นการทดสอบ

- ปรับเปลี่ยนตำแหน่งการกดแรงในแนวแกน z โดยแรงที่กดจะเป็นไปตามสมการ (7.11-7.12) โดยค่าแรงที่กดลงไปที่ยล้อ ผลจะแสดงที่คอมพิวเตอร์ตัวที่ 2 ทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งกกดจนค่าที่แสดงเป็นไปตามค่าแรงกกดที่คำนวณได้

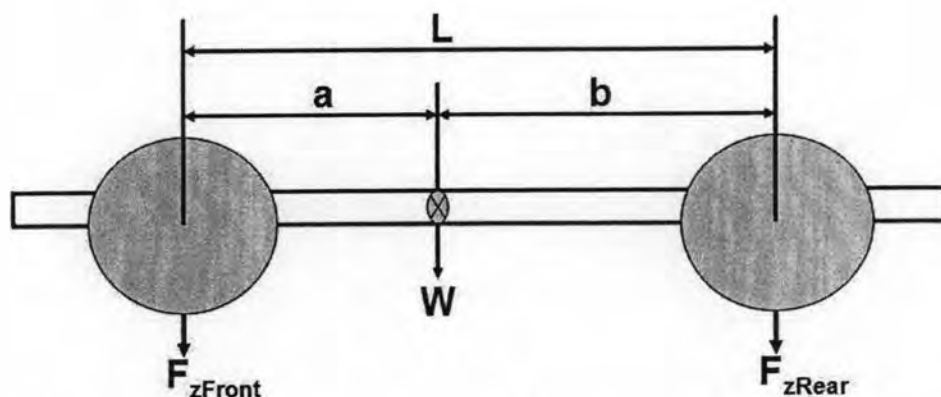


(ก) เลื่อนล้อสัมผัสวงล้อหมุน



(ข) แสดงค่าที่ล้อโดนกด

รูปที่ 7.21 ขั้นตอนให้แรงกดลงที่ยล้อ



รูปที่ 7.22 แสดงการคำนวณแรงกดที่ล้อ

จากรูปที่ 7.22 ได้สมการ

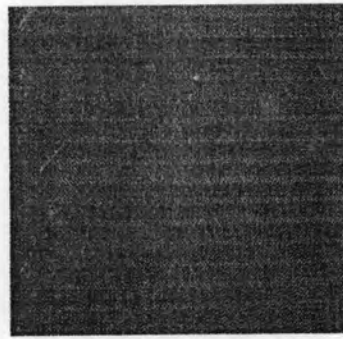
$$F_{zf} = \frac{W \cdot b}{2L} \text{ (สำหรับล้อหน้า)} \quad (7.11)$$

$$F_{zr} = \frac{W \cdot a}{2L} \text{ (สำหรับล้อหลัง)} \quad (7.12)$$

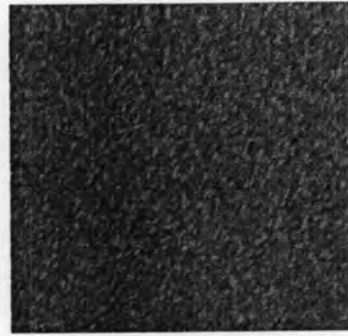
3. สั่งให้วงล้อหมุนเคลื่อนที่ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของวงล้อหมุนไม่ขึ้นต่อแรงกระทำด้านข้างของล้อ ดังนั้นจึงให้วงล้อหมุนเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ค่าหนึ่ง
4. จากค่าคอมพิวเตอร์ตัวที่ 2 เมื่อค่าแรงในแนวด้านข้างไม่เป็นศูนย์ ให้ทำการสั่งคอมพิวเตอร์ตัวที่ 1 ให้ปรับมุมเลี้ยวจนค่าแรงในแนวด้านข้าง ( $F_y$ ) เป็นศูนย์ เพื่อตั้งค่าตำแหน่งเริ่มทดสอบที่ 0 องศา
5. เริ่มทำการทดสอบล้อและผิวถนนที่ต้องการ ในการทดสอบจะปรับการหมุนล้อที่ละ 0.18 องศา การปรับ 1 ครั้งจะเก็บข้อมูล 10 ค่าแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย หลังจากนั้นนำค่าเฉลี่ยมาทำการพอร์ทกราฟเพื่อหาชนิดล้อและชนิดผิวถนนที่เหมาะสม

ในการทดสอบของแต่ละชนิดพื้นผิวถนนนั้น ก่อนการทำสอบพื้นผิวถนนใหม่ ต้องทำการเอาพื้นผิวถนนเก่าออกก่อน กล่าวคือไม่สามารถติดซ้อนทับกันได้ เนื่องจากบางกรณีของชนิดพื้นผิวถนนมีความอ่อนตัวของผิววัสดุ ดังนั้นหากติดตั้งพื้นผิวซ้อนทับกัน ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ยาล้อกระทำกับผิวถนนที่ได้ จะมีผลจากวัสดุพื้นผิวก่อนหน้าด้วยรวมอยู่ด้วย

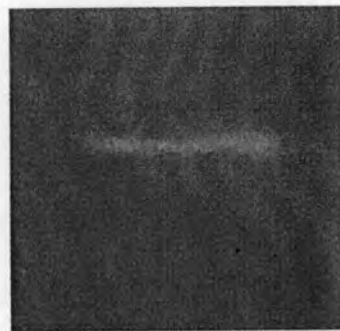
ในส่วนการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ยาล้อกระทำกับผิวถนนแต่ละแบบทั้งหมดมี 25 การทดลอง สามารถดูผลการทดลองทั้งหมดได้จากภาคผนวก ข



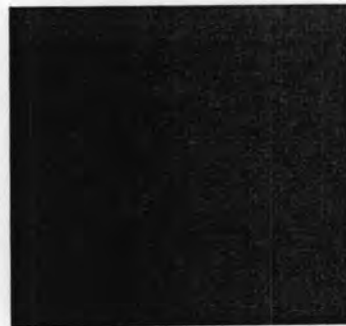
(ก) พื้นถนนแบบที่ 1



(ข) พื้นถนนแบบที่ 2



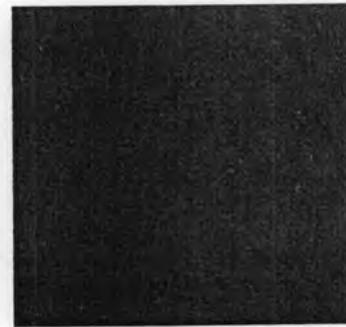
(ค) พื้นถนนแบบที่ 3



(ง) พื้นถนนแบบที่ 4



(จ) พื้นถนนแบบที่ 5



(ฉ) พื้นถนนแบบที่ 6

รูปที่ 7.23 พื้นผิวถนนที่ใช้ทดสอบ

สรุปผลการทดลองทั้งหมดจากตารางที่ 7.9 จะเห็นว่าได้นำล้อแบบที่ 2 ทดสอบเพียงครั้งเดียวเท่านั้นเนื่องจากการวิเคราะห์หาชนิดล้อของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนให้สมมูลกับยานพาหนะจริงนั้น แนวน้อยค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ยางล้อกระทำกับผิวถนนนั้น ค่ายังน้อยยิ่งดี ซึ่งไม่เหมาะสำหรับชนิดล้อแบบที่ 2 โดยมีแนวโน้มไปทางล้อแบบที่ 1 มากกว่า ดังนั้นการทดลองจึงเน้นที่จะเปลี่ยนพื้นถนนมากกว่าที่จะเปลี่ยนชนิดของล้อ เมื่อสรุปค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ยางล้อกระทำกับผิวถนนแต่ละแบบได้ดังตารางต่อไปนี้

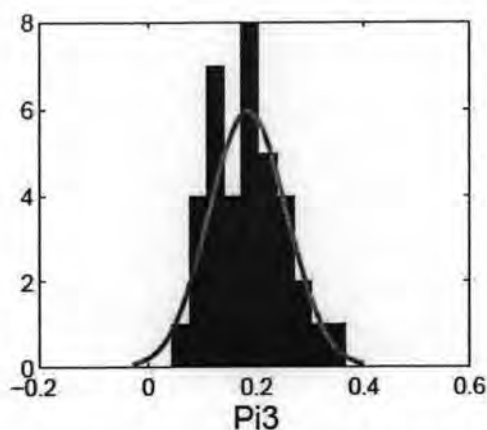
ตารางที่ 7.9 ผลการทดลองค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ยางล้อกระทำกับผิวถนนแต่ละแบบ

เงื่อนไขทดสอบ	$C_{af}$ (N/rad)	$C_{ar}$ (N/rad)
ล้อแบบที่ 1 ถนนแบบที่ 1 (มียางใน)	72.77	78.81
ล้อแบบที่ 1 ถนนแบบที่ 1 (ไม่มียางใน)	68.79	70.5
ล้อแบบที่ 1 ถนนแบบที่ 2 (มียางใน)	55.49	47.45
ล้อแบบที่ 1 ถนนแบบที่ 2 (ไม่มียางใน)	32.705	43.21
ล้อแบบที่ 1 ถนนแบบที่ 3 (มียางใน)	44.89	32.12
ล้อแบบที่ 1 ถนนแบบที่ 3 (ไม่มียางใน)	37.44	42.77
ล้อแบบที่ 1 ถนนแบบที่ 4 (มียางใน)	44.38	43.12
ล้อแบบที่ 1 ถนนแบบที่ 4 (ไม่มียางใน)	56.11	50.22
ล้อแบบที่ 1 ถนนแบบที่ 5 (มียางใน)	55.06	36.5
ล้อแบบที่ 1 ถนนแบบที่ 5 (ไม่มียางใน)	47.82	48.82
ล้อแบบที่ 1 ถนนแบบที่ 6 (มียางใน)	40.96	40.32
ล้อแบบที่ 1 ถนนแบบที่ 6 (ไม่มียางใน)	43.66	57
ล้อแบบที่ 2 ถนนแบบที่ 1 (มียางใน)	-	140

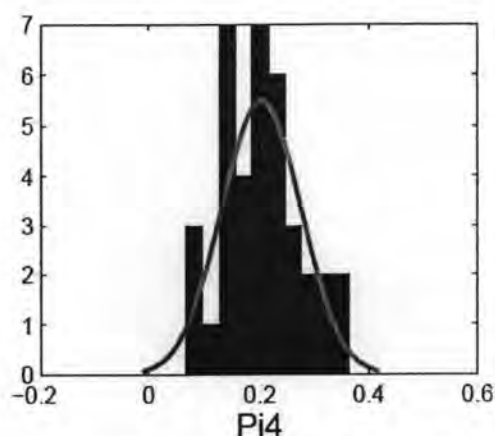
เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ยางล้อกระทำกับผิวถนนแต่ละแบบแล้ว นำค่าที่ได้ไปพิจารณาเทียบกับข้อมูลของยานพาหนะจริง หลังจากที่ทำการวิเคราะห์หาชนิดล้อและชนิดพื้นผิวถนนที่สมมูลกับยานพาหนะจริงแล้ว จะนำเอาพื้นผิวถนนที่ได้ไปทำพื้นผิวถนนในการทดสอบทางพลศาสตร์ของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนต่อไป

## 7.4 ข้อมูลจากยานพาหนะจริง

จากข้อมูลของยานพาหนะจริงจะเห็นว่ากลุ่มตัวแปรไร้มิติเฉลี่ยกลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 4 จะมีค่าประมาณ 0.1808 และ 0.2063 โดยเงื่อนไขที่ทดสอบใช้ความเร็วคงที่อยู่ในช่วงระหว่าง 10-50 m/s หรือ 36-180 km/hr



(ก) กลุ่มตัวแปรไร้มิติเฉลี่ยกลุ่มที่ 3



(ข) กลุ่มตัวแปรไร้มิติเฉลี่ยกลุ่มที่ 4

รูปที่ 7.24 กลุ่มตัวแปรไร้มิติเฉลี่ยกลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 4 ของยานพาหนะจริง [23]

จากรูปที่ 7.24 เมื่อได้ค่าเฉลี่ยของยานพาหนะจริงจากกลุ่มตัวแปรไร้มิติกลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 4 ทำการแทนค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายที่ยางล้อกระทำกับผิวถนนที่ได้จากการทดลองแทนลงไปในสมการ (7.1) เพื่อให้กลุ่มตัวแปรไร้มิติกลุ่มที่ 3-4 มีค่าสมมูลกันระหว่างยานพาหนะจริงแบบย่อบนและยานพาหนะจริง นำผลที่ได้เป็นไปเขียนเป็นตาราง และผลจากตารางที่ 7.9 ทำให้ทราบได้ว่าล้อ และพื้นผิวถนนที่ทำให้ค่าทั้งสองสมมูลกันจะอยู่ในเงื่อนไขของการทดลองที่ใช้ล้อแบบที่ 1 โดยที่ล้อต้องไม่มียางใน และพื้นผิวถนนแบบที่ 3 และผลจากตารางที่ 7.11 จะเห็นได้ว่ายานพาหนะจริงแบบย่อบนที่ทดสอบต้องวิ่งด้วยความเร็วคงที่ ที่ความเร็ว 3.398 m/s ซึ่งเป็นความเร็วที่มากกว่ายานพาหนะจริงแบบย่อบนทำได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกยานพาหนะจริงออกมาพิจารณาแทนการพิจารณาด้วยค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 7.10 ข้อมูลยานพาหนะจริงที่เลือกสำหรับกลุ่มตัวแปรไร้มิติ กลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 4

Description	$m$ (kg)	$L$ (m)	$C_{af}$ (N/rad)	$C_{ar}$ (N/rad)
Ford Taurus - Driver + 3 Passengers + Rear Cargo	1857.90	2.690	107462	132880

ตารางที่ 7.11 ความเร็วของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนเมื่อให้กลุ่มตัวแปรไร้มิติสมมูลกับกลุ่มยานพาหนะจริง

เงื่อนไขทดสอบ	$m$ (kg)	$L$ (m)	$C_{af}$ (N/rad)	$C_{ar}$ (N/rad)	$U$ (m/s)	$\Pi_3$	$\Pi_4$
ล้อแบบที่ 1 ถนนแบบที่ 1 (มียางไน)	5.04	0.28	72.77	78.81	4.737	0.180166109	0.195120119
ล้อแบบที่ 1 ถนนแบบที่ 1 (ไม่มียางไน)	5.04	0.28	68.79	70.5	4.606	0.180137834	0.184615748
ล้อแบบที่ 1 ถนนแบบที่ 2 (มียางไน)	5.04	0.28	55.49	47.45	4.137	0.180123832	0.154025515
ล้อแบบที่ 1 ถนนแบบที่ 2 (ไม่มียางไน)	5.04	0.28	32.705	43.21	3.176	0.180127765	0.237985652
ล้อแบบที่ 1 ถนนแบบที่ 3 (มียางไน)	5.04	0.28	44.89	32.12	3.721	0.180118267	0.128879455
ล้อแบบที่ 1 ถนนแบบที่ 3 (ไม่มียางไน)	5.04	0.28	37.44	42.77	<u>3.398</u>	<u>0.180142666</u>	<u>0.205787976</u>
ล้อแบบที่ 1 ถนนแบบที่ 4 (มียางไน)	5.04	0.28	44.38	43.12	3.699	0.180196408	0.175080422
ล้อแบบที่ 1 ถนนแบบที่ 4 (ไม่มียางไน)	5.04	0.28	56.11	50.22	4.16	0.180127948	0.16121949
ล้อแบบที่ 1 ถนนแบบที่ 5 (มียางไน)	5.04	0.28	55.06	36.5	4.121	0.180118563	0.11940297
ล้อแบบที่ 1 ถนนแบบที่ 5 (ไม่มียางไน)	5.04	0.28	47.82	48.82	3.84	0.180166739	0.183934341
ล้อแบบที่ 1 ถนนแบบที่ 6 (มียางไน)	5.04	0.28	40.96	40.32	3.554	0.180157603	0.177342641
ล้อแบบที่ 1 ถนนแบบที่ 6 (ไม่มียางไน)	5.04	0.28	43.66	57	3.669	0.180183825	0.235237701
ล้อแบบที่ 2 ถนนแบบที่ 1 (มียางไน)	5.04	0.28	-	140	6.2325	-	0.200230834



### 7.5 สรุปผลการทดลองค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ยางล้อกระทำกับผิวถนน

เมื่อทำการเลือกค่าข้อมูลจากยานพาหนะจริงที่ได้เลือกไว้แล้ว นำค่าข้อมูลที่ได้ไปอ้างอิงในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน หลังจากทำการปรับแต่งจะเห็นว่าค่ากลุ่มตัวแปรไร้มิติระหว่างยานพาหนะจริงที่เลือกไว้กับยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน มีความสมมูลกัน สำหรับในส่วนของความเร็วเมื่อกำหนดความเร็วของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนมา สามารถที่จะคำนวณหาความเร็วของยานพาหนะจริงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$U_{Full} = \left( \frac{C_{afFull} L_{Full}}{C_{afScaled} L_{Scaled}} \cdot \frac{m_{Scaled} U_{Scaled}^2}{m_{Full}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7.12)$$

ตารางที่ 7.12 ค่าข้อมูลจำเพาะระหว่างยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนและยานพาหนะจริง

Model	$m$ (kg)	$I_z$ (kg.m <sup>2</sup> )	$a$ (m)	$b$ (m)	$L$ (m)	$C_{af}$ (N/rad)	$C_{ar}$ (N/rad)	$U$ (m/s)
Scaled*	5.04	0.0975	0.123	0.157	0.280	37.44	42.77	1
Full*	1857.90	3282.00	1.170	1.520	2.690	107462	132880	8.648

ตารางที่ 7.13 ค่าข้อมูลกลุ่มตัวแปรไร้มิติระหว่างยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนและยานพาหนะจริง

Model	$\Pi_1 = \frac{a}{L}$	$\Pi_2 = \frac{b}{L}$	$\Pi_3 = \frac{C_{af}L}{mU^2}$	$\Pi_4 = \frac{C_{ar}L}{mU^2}$	$\Pi_5 = \frac{I_z}{mL^2}$
Scaled*	0.4393	0.5607	2.0800	2.3761	0.2468
Full*	0.4349	0.5651	2.0804	2.5725	0.2441

จากตารางที่ 7.13 สามารถสรุปได้ว่า ยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนหลังการปรับแต่งมีความสมมูลกับยานพาหนะจริงที่เลือกไว้ ดังนั้นสามารถที่จะนำเอายานพาหนะจริงแบบย่อส่วนไปทดสอบทางพลศาสตร์ ภายใต้เงื่อนไขของสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้กำหนดไว้

เมื่อ

Scaled\* = A Scaling Vehicle for Dynamic Simulation

Full\* = Ford Taurus - Driver+3Passengers+Rear Cargo