

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปเพื่อประเมินตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วง  
และการทรงตัวบนพื้นเอียงของรถโดยสารสาธารณะ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2562

**THE DEVELOPMENT OF IN-HOUSE SOFTWARE TO  
EVALUATE THE CENTER OF GRAVITY (C.G.)  
POSITION AND TILT-TABLE TESTING FOR  
PASSENGER BUS**



**Thanaporn Talingthaisong**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the  
Degree of Master of Engineering in Mechanical and  
Process System Engineering  
Suranaree University of Technology  
Academic Year 2019**


การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปเพื่อประเมินตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วง  
และการทรงตัวบนพื้นเอียงของรถโดยสารสาธารณะ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
(ดร.เสถียรธรรม สุขจิตต์)   
ประธานกรรมการ

ประธานกรรมการ

  
(ผศ. ดร.สุกกิจ รูปจันทร์)   
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

กรรมการ

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

  
(ผศ. ดร.กীরดี สุตักขณ์)   
กรรมการ

กรรมการ

  
(ผศ. ดร.กระวี ศรีอำรรค)   
กรรมการ

กรรมการ

กรรมการ

  
(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล

  
(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ชนาภรณ์ ตลิ่งไธสง : การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปเพื่อประเมินตำแหน่ง  
จุดศูนย์กลางและการทรงตัวบนพื้นเอียงของรถโดยสารสาธารณะ (THE DEVELOPMENT  
OF IN-HOUSE SOFTWARE TO EVALUATE THE CENTER OF GRAVITY (C.G.)  
POSITION AND TILT-TABLE TESTING FOR PASSENGER BUS) อาจารย์ที่ปรึกษา :  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภกิจ รูปจันทร์, 112 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปเพื่อช่วยในการประเมินตำแหน่ง  
จุดศูนย์กลางและความสามารถในการทรงตัวบนพื้นเอียงของรถโดยสารสำหรับใช้ในบริษัท  
อุตสาหกรรมผู้ผลิตและประกอบรถยนต์โดยสาร โดยเริ่มต้นจากการสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูล  
ความต้องการของวิศวกรออกแบบในบริษัทผู้ประกอบการรถยนต์โดยสาร และทำการพัฒนา  
โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปที่เรียกว่า “SUT CG” บน Visual studio จากนั้นได้ประเมิน  
ความสามารถการทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาเทียบกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์  
ทางพลศาสตร์ยานยนต์ที่เรียกว่า “MSC ADAMS/Car” ตลอดจนทำการศึกษาวิเคราะห์พารามิเตอร์  
ที่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการทรงตัวของรถโดยสาร ผลการศึกษาพบว่าโปรแกรมที่ได้  
พัฒนาขึ้นสามารถประเมินตำแหน่งจุดศูนย์กลางรถโดยสารในรูปแบบพิกัด 3 มิติ สามารถคำนวณ  
การกระจายน้ำหนักลงเพลลาและประเมินมุมมองเสาสูงสุดในการทรงตัวโดยที่ผู้ใช้งานสามารถป้อน  
รายละเอียดเฉพาะและส่วนประกอบระบบต่าง ๆ ของรถโดยสารเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ตลอดจน  
แสดงรายงานสรุปผลการวิเคราะห์เป็นเอกสาร PDF ที่ประกอบด้วยคุณสมบัติและสมรรถนะ  
ของรถโดยสารรวมถึงผลการตรวจสอบการทดสอบที่อ้างอิงจากประกาศกรมขนส่งทางบกได้  
และพบว่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบมากที่สุดคือ ตัวแปรสมคูลสถิต (Static Stability Factor-SSF)  
ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างระยะกึ่งกลางเพลลากับตำแหน่งความสูงของจุดศูนย์กลาง โดยเมื่อทำ  
การวิเคราะห์เปรียบเทียบการคำนวณตำแหน่งจุดศูนย์กลางและค่ามุมเอียงสูงสุดระหว่างโปรแกรม  
SUT CG และโปรแกรม MSC ADAMS/Car พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเท่ากับ 4.02% และ  
0.59% ตามลำดับ รวมไปถึงเมื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างโปรแกรม SUT CG และ  
การทดสอบการกระจายน้ำหนักที่ล้อและค่ามุมมองเสาจริงในกรณีศึกษารถโดยสารไฟฟ้า  
พื้นต่ำและรถโดยสารมาตรฐาน 4 พบว่า มีค่าเท่ากับ 18.78% และ 2.71% ตามลำดับ นอกจากนี้  
เมื่อทำการประเมินผลการใช้งานโปรแกรม SUT CG จากบริษัทผู้ผลิตและประกอบการรถยนต์  
โดยสารพบว่ามึระดับความพึงพอใจเฉลี่ย 4.25 จากคะแนนเต็ม 5 คะแนน และสามารถนำไป  
ประยุกต์ใช้งานในกระบวนการออกแบบโครงสร้างได้

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อนักศึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

THANAPORN TALINGTHAISONG : THE DEVELOPMENT OF IN-HOUSE  
SOFTWARE TO EVALUATE THE CENTER OF GRAVITY (C.G.)  
POSITION AND TILT-TABLE TESTING FOR PASSENGER BUS.  
THESIS ADVISOR : ASST. PROF. SUPAKIT ROOPPAKHUN, Ph.D., 112 PP.

CENTER OF GRAVITY/TILT TABLE TEST/IN-HOUSE SOFTWARE/WEIGHT  
DISTRIBUTION/STATIC STABILITY FACTOR

This research is to development of the in-house software used to evaluate the center of gravity position and tilt-table testing for the utilization in the manufacturer and assembling bus industrial companies. The data of an entrepreneur's requirements were first collected and used for the development of the computer software called SUT CG based on the Visual Studio platform. By using Multi-body dynamics computerized software (MSC Adams/Car). Next, the developed in-house software was validated and benchmark. The influence of suspension parameter on the ability of the tilt-table angle for the passenger bus was also evaluated. According to the results, the SUT CG software could be evaluated the center of gravity position in the 3D coordinate, included to calculate the weight distribution on the axle and the maximum of tilt angle. The developed software could be analyzed via input from the various data with sub-system features as well as the graphics display. The summary report in PDF file format included the detail of calculation and weight distribution analysis referenced by the Department of Land Transport were obtained. In addition, the static stability factor (SSF) which is the relationship between the wheel track and the height of the center of gravity displayed the most effective to the stability of the vehicle tile test. According to the comparison with MSC ADAMS/Car, SUT CG software was then used to the

calculation of the center of gravity and tilt angle. It was found that the maximum error was 4.02% and 0.59%, respectively. In a case study of low floor bus and the standard 4 type of bus, the calculation of weight distribution and the tilt angle revealed the error of 18.75% and 2.71%, respectively. Regard to assessment of the utilization, SUT CG software displayed an average satisfaction score of 4.25 from 5 and it could be used for the in the design process.



School of Mechanical Engineering

Academic year 2019

Student's Signature

Advisor's Signature

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีไม่ได้ หากไม่ได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ในทางด้านวิชาการและการดำเนินงานวิจัยจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภกิจ รูปจันทร์ อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ของผู้วิจัย และได้ให้โอกาสทางการศึกษา ช่วยแก้ปัญหาให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งตรวจทานคอยให้คำปรึกษาชี้แนะทางในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนการดำเนินชีวิต ให้มีระเบียบวินัย

ขอขอบคุณ คุณกรศักดิ์ ชื่นมนิววงศ์ ที่ช่วยให้คำแนะนำตลอดจนการพัฒนาโปรแกรม ที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นซึ่งเป็นหนึ่งในเนื้อหาของงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ บริษัท เซ็ดซัย ครอบเปอเรชั่น จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการช่วยเหลือ ทั้งข้อมูลและสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณเอกลักษณ์ พรหมภักดี ที่คอยให้ความช่วยเหลือในการให้คำปรึกษาในการดำเนินงานวิจัยตลอดจนทักษะการใช้โปรแกรม MSC Adams/Car เพื่อให้บรรลุถึงเป้าหมาย

ขอขอบคุณ ดร.เสฏฐวรรธ สุจริตภักดีสกุล ที่กรุณาสนับสนุนและให้คำปรึกษาเรื่องการ ใช้โปรแกรม MSC ADAM/Car และชี้แนะแนวทางแก้ไขปัญหาในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษากลุ่มวิจัยคอมพิวเตอร์เพื่อการออกแบบและวิเคราะห์ทางวิศวกรรม ทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจในการทำวิจัยและชี้แนะแนวทางในการดำรงชีวิตตลอดการศึกษานี้

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ พลตรี ธีระ-นางนงศ์ลักษณ์ และนายธนวัฒน์ ต่ลิ่งไชสง ที่คอยให้กำลังใจ การชี้แนะแนวทางในการดำเนินงานและการดำรงชีวิตในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ รวมทั้ง คอยให้ความรัก อบรมเลี้ยงดูเป็นอย่างดีตลอดจนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิต

ธนาภรณ์ ต่ลิ่งไชสง

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	๗
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
<b>2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>5</b>
2.1 กระบวนการผลิตและปรับปรุงคุณภาพของรถโดยสาร.....	5
2.2 ข้อกำหนดเกณฑ์ของกรมขนส่งทางบก.....	7
2.2.1 กำหนดน้ำหนักบรรทุกหรือน้ำหนักลงเพลา.....	7
2.2.2 หลักเกณฑ์ตรวจสอบน้ำหนักรวมสูงสุดและน้ำหนักลงเพลา.....	8
2.2.3 กำหนดเกณฑ์การทรงตัวของรถที่ใช้ในการขนส่งผู้โดยสาร.....	10
2.2.4 กำหนดรัศมีวงเลี้ยวและระยะท้ายปัดของรถ.....	11
2.3 ระบบแกนอ้างอิงของรถยนต์.....	12
2.4 ทฤษฎีตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของยานยนต์.....	13
2.4.1 ตำแหน่งตามแนวยาวของจุดศูนย์ถ่วง.....	13
2.4.2 ตำแหน่งตามแนวขวางของจุดศูนย์ถ่วง.....	15



## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.3	ตำแหน่งตามแนวตั้งของจุดศูนย์กลาง.....	16
2.5	การคำนวณความสามารถในการทรงตัวและมุมการเอียงสูงสุด.....	17
2.6	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
2.7	การใช้ภาษา C-Sharp กับ โปรแกรม Visual Studio.....	30
<b>3</b>	<b>วิธีดำเนินงานวิจัย.....</b>	<b>33</b>
3.1	การออกแบบการทำงานของ โปรแกรม.....	35
3.1.1	เริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม (Start).....	36
3.1.2	ข้อมูลพื้นฐานของรถโดยสาร (Dimensions and type).....	36
3.1.3	รายละเอียดเฉพาะของรถโดยสาร (Specification).....	36
3.1.3.1	จำนวนเพลและจำนวนยางต่อเพล.....	37
3.1.3.2	ระยะต่าง ๆ ภายในรถโดยสาร.....	37
3.1.3.3	สมรรถนะของยางและเพลที่ใช้ในรถโดยสาร.....	38
3.1.3.4	จำนวนผู้โดยสาร.....	38
3.1.4	ส่วนสรุปข้อมูล.....	39
3.1.5	รายละเอียดส่วนประกอบ อุปกรณ์ และการจัดวาง.....	39
3.1.6	ผลการวิเคราะห์.....	40
3.1.6.1	น้ำหนักสูงสุดและน้ำหนักลงเพล.....	40
3.1.6.2	ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของรถโดยสาร.....	40
3.1.6.3	ความสามารถในการเอียงสูงสุดบนแผ่นเอียง.....	40
3.1.7	สรุปผลการวิเคราะห์.....	40
3.2	การศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ระบบช่วงล่างต่อมุมมอง การทดสอบทรงตัวของรถโดยสาร.....	41
3.2.1	พารามิเตอร์และการออกแบบการทดลอง.....	41
3.2.2	ใช้โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ยานยนต์ในการตรวจสอบ ความถูกต้องบนแบบจำลองการวิเคราะห์การทรงตัวบนพื้นเอียงใน โปรแกรม MSC Adam/Car.....	42

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.2.1	การสร้างแบบจำลองในการวิเคราะห์ ด้วยโปรแกรม Adams/Car.....	42
3.2.2.2	การกำหนดพารามิเตอร์.....	43
3.2.2.3	กำหนดเงื่อนไขการวิเคราะห์.....	45
3.2.2.4	การแสดงผลการวิเคราะห์.....	45
3.3	รูปแบบของรถโดยสารที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	46
3.3.1	รายละเอียดเฉพาะและรายละเอียดของรถโดยสาร.....	46
3.3.2	การประเมินหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงจากแบบจำลองรถโดยสาร.....	48
3.3.2.1	การประเมินหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงของรถโดยสาร.....	49
3.3.2.2	การคำนวณหาความสามารถในการทรงตัวและ น้ำหนักลงเพลาของรถโดยสาร.....	50
3.4	การวิเคราะห์กรณีศึกษาแบบจำลองรถโดยสารบนโปรแกรม SUT CG.....	52
4	ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	54
4.1	ผลการทำงานของโปรแกรม.....	54
4.2	ผลการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ ทางพลศาสตร์ยานยนต์.....	57
4.2.1	อิทธิพลของพารามิเตอร์ระบบช่วงล่างต่อมุมมอง การทดสอบทรงตัวของรถโดยสาร.....	57
4.2.2	การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมโดยรูปแบบของ รถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำและรถโดยสารสองชั้น.....	59
4.3	ผลการศึกษาการใช้งานโปรแกรม SUT CG .....	61
4.3.1	รถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำ.....	62
4.3.2	รถโดยสารสองชั้น.....	62
4.4	ผลการวิเคราะห์ของกรณีศึกษาแบบจำลองบนโปรแกรม SUT CG .....	63
4.4.1	กรณีศึกษาที่ 1 รถโดยสารสองชั้น.....	64

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.2	กรณีศึกษาที่ 2 รถโดยสารสองชั้น.....65
4.4.3	กรณีศึกษาที่ 3 รถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำ.....67
4.4.4	การอบรมการใช้โปรแกรม SUT CG.....68
4.4.5	คู่มือการใช้โปรแกรม SUT CG.....70
4.4.6	การจดลิขสิทธิ์การประดิษฐ์ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์.....70
<b>5</b>	<b>บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....72</b>
5.1	สรุปผลการวิจัย.....72
5.2	ข้อเสนอแนะ.....73
รายการอ้างอิง	.....75
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	แบบสำรวจและแบบประเมินในงานวิจัยในการพัฒนาโปรแกรม SUT CG.....78
ภาคผนวก ข	รายละเอียดของส่วนประกอบในรถโดยสารกรณีศึกษาที่ 2 และ 3.....80
ภาคผนวก ค	การจัดอบรมการถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านการออกแบบและวิเคราะห์ เชิงวิศวกรรม.....83
ภาคผนวก ง	หน้าต่างการทำงานโปรแกรม SUT CG.....85
ภาคผนวก จ	บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....93
ประวัติผู้เขียน	.....112

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	กำหนดรัศมีวงเลี้ยวและระยะท้ายปิดของรถ ..... 12
2.2	ค่า Static Stability Factor ของรถแต่ละประเภท..... 18
2.3	การเปรียบเทียบผลการทดสอบจริงและผลการคำนวณของมุมเอียงสูงสุด ของรถโดยสาร ..... 23
2.4	ผลการทดสอบเครื่องหา CG ของรถบรรทุกทุกสลิปสไลซ์ขนาดไม่เกิน 40 ตัน ..... 27
3.1	ระยะต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบรถโดยสาร ..... 37
3.2	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษา..... 41
3.3	คุณสมบัติของรถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำและรถโดยสารสองชั้น ..... 46
3.4	รายละเอียดของส่วนประกอบในรถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำ..... 47
3.5	รายละเอียดของส่วนประกอบในรถโดยสารสองชั้น ..... 48
3.6	รายละเอียดของส่วนประกอบในรถโดยสารกรณีศึกษาที่ 1 ..... 52
4.1	ตารางการทดลองผลการทดสอบการเอียงตัวบนพื้นเอียงของรถโดยสาร..... 58
4.2	การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โครงสร้างรถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำและ รถโดยสารสองชั้นของโปรแกรม SUT CG และโปรแกรม Adams/Car ..... 60
4.3	การเปรียบเทียบผลของน้ำหนักรวมสูงสุดและน้ำหนักลงเพลาของรถโดยสาร ไฟฟ้าพื้นต่ำในการทดสอบจริงและโปรแกรมที่พัฒนา ..... 62
4.4	การเปรียบเทียบผลของน้ำหนักรวมสูงสุดและความสามารถในการเอียงสูงสุด ของรถโดยสารสองชั้นในการทดสอบจริงและโปรแกรมที่พัฒนา..... 63
4.5.	ผลการเปรียบเทียบการทดสอบจริงกับ โปรแกรม Adams/car และโปรแกรม SUT CG ของรถโดยสารสองชั้น..... 63
4.6	ผลการวิเคราะห์รถโดยสารกรณีศึกษาที่ 1 ..... 65
4.7	ผลการวิเคราะห์รถโดยสารกรณีศึกษาที่ 2 ..... 66
4.8	ผลการวิเคราะห์รถโดยสารกรณีศึกษาที่ 3 ..... 67
ข.1	รายละเอียดของส่วนประกอบในรถโดยสารกรณีศึกษาที่ 2 ..... 81

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.2 รายละเอียดของส่วนประกอบในรถโดยสารกรณีศึกษาที่ 3 .....	82



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ขั้นตอนกระบวนการผลิตรถโดยสาร .....6
2.2	รายละเอียดตัวอย่างของแบบตรวจสอบน้ำหนักรวมสูงสุดของรถโดยสาร และน้ำหนักลงเพลาของรถโดยสารแบบที่ 1 .....9
2.3	รัศมีวงเลี้ยวและระยะท้ายปีด..... 11
2.4	Vehicle Axis System after SAE..... 13
2.5	ตำแหน่งตามแนวยาวของจุดศูนย์ถ่วง..... 14
2.6	ตำแหน่งตามแนวขวางของจุดศูนย์ถ่วง ..... 15
2.7	ตำแหน่งตามแนวตั้งของจุดศูนย์ถ่วง ..... 16
2.8	จุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์ถ่วงในแนวแกน X, Y และ Z ในระบบอนุภาค ..... 18
2.9	การพลิกคว่ำเนื่องจากจุดศูนย์ถ่วง..... 19
2.10	วิธีการวิเคราะห์แนวทางพลิกคว่ำของรถ..... 20
2.11	การวัดความสูงของจุดศูนย์ถ่วงแบบ Static ..... 21
2.12	ผลการทดสอบหามุมเอียงสูงสุดของแชสซี โดยการยกเอียงที่ศูนย์ทดสอบ ความสามารถในการทรงตัวของกรมการขนส่งทางบกจำลอง..... 22
2.13	การคำนวณตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงและผลการวิเคราะห์มุมเอียงสูงสุด ของรถโดยสาร ..... 25
2.14	โปรแกรมคำนวณหาตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงและมุมเอียงสูงสุดของ รถแทรกเตอร์..... 26
2.15	การป้อนข้อมูลลงในโปรแกรม CG Calculator DTI V1.0..... 27
2.16	โมเดลจำลองการทดสอบการเอียงตัว ..... 28
2.17	ล้อด้านหลังฝั่งขวาเริ่มยกตัวออกจากพื้นเอียงในระหว่างการทดสอบ ..... 28
2.18	การแสดงผลลัพธ์ในโปรแกรม Adams/Car..... 30

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.19 หน้าต่างส่วนประกอบของโปรแกรม Visual Studio .....	31
3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน.....	33
3.2 สรุปผลของลำดับหลักการทำงานในโปรแกรม.....	35
3.3 โค้ดของสมการที่ใช้ในการสร้างคำสั่งในการเขียนสมการที่ 3.1 .....	39
3.4 ลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Adams/Car .....	42
3.5 การเลือกรูปแบบของรถโดยสารใน MSC bus rigid .....	42
3.6 การกำหนดระยะฐานล้อในโปรแกรม Adams/Car.....	43
3.7 การเปลี่ยนตำแหน่งจุดศูนย์กลางที่ตำแหน่ง Hardpoint ของ Rigid body .....	44
3.8 กำหนดให้มีน้ำหนักของระบบย่อยต่างๆในส่วนของ Rigid body .....	45
3.9 ตัวอย่าง โค้ดของสมการที่ใช้ในการสร้างคำสั่งในการเขียนสมการที่ 3.5 .....	50
3.10 ตัวอย่าง โค้ดของสมการที่ใช้ในการสร้างคำสั่งในการเขียนสมการที่ 3.6 .....	51
4.1 หน้าต่างการป้อนรายละเอียดของส่วนประกอบของรถโดยสารใน โปรแกรม SUT CG .....	55
4.2 หน้าต่างแสดงผลการวิเคราะห์ในโปรแกรม SUT CG .....	56
4.3 รายงานสรุปผลการวิเคราะห์ในโปรแกรม SUT CG .....	57
4.4 ค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองทั้งสองระดับของปัจจัย.....	59
4.5 หน้าต่างผลการวิเคราะห์รถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำจากโปรแกรม SUT CG .....	61
4.6 หน้าต่างแสดงผลการวิเคราะห์รถโดยสารกรณีที 1 ในโปรแกรมSUT CG .....	64
4.7 กราฟแสดงระดับความพึงพอใจจากผู้ใช้งานหลังจากการใช้โปรแกรม SUT CG .....	69
ก.1 แบบสำรวจความต้องการการใช้โปรแกรมประเมินตำแหน่งจุดศูนย์กลางของ รถโดยสารหน้าที่ 1.....	79
ง.1 หน้าต่างการเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม SUT CG.....	86
ง.2 หน้าต่างการป้อนข้อมูลเบื้องต้นออกแบบรถโดยสารของโปรแกรม SUT CG .....	86
ง.3 หน้าต่างการป้อนข้อมูลคุณสมบัติการออกแบบรถโดยสารของโปรแกรม SUT CG .....	87
ง.4 หน้าต่างการสรุปข้อการออกแบบรถโดยสารของโปรแกรม SUT CG.....	87

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ง.5	หน้าต่างการป้อนน้ำหนักและการจัดวางตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของส่วนประกอบ ภายในรถโดยสารของโปรแกรม SUT CG ..... 88
ง.6	คู่มือการใช้งานโปรแกรม SUT CG (1-2)..... 88
ง.7	คู่มือการใช้งานโปรแกรม SUT CG (3-4)..... 89
ง.8	คู่มือการใช้งานโปรแกรม SUT CG (5-6)..... 89
ง.9	คู่มือการใช้งานโปรแกรม SUT CG (7-8)..... 90
ง.10	คู่มือการใช้งานโปรแกรม SUT CG (9-10)..... 90
ง.11	คู่มือการใช้งานโปรแกรม SUT CG (11-12)..... 91
ง.12	คู่มือการใช้งานโปรแกรม SUT CG (13-14)..... 91
ง.13	คู่มือการใช้งานโปรแกรม SUT CG (15-16)..... 92
ง.14	คู่มือการใช้งานโปรแกรม SUT CG (17)..... 92



## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$MSC$	=	เอ็มเอสซี
$P_1$	=	น้ำหนักงล้อด้านซ้ายเพลานี่หนึ่ง
$P_2$	=	น้ำหนักงล้อด้านขวาเพลานี่หนึ่ง
$P_3$	=	น้ำหนักงล้อด้านซ้ายเพลานี่สอง
$P_4$	=	น้ำหนักงล้อด้านขวาเพลานี่สอง
$P_5$	=	น้ำหนักงล้อด้านซ้ายเพลานี่สาม
$P_6$	=	น้ำหนักงล้อด้านขวาเพลานี่สาม
$P_{total}$	=	น้ำหนักรวมทั้งหมด
$L_1$	=	ระยะทางจากศูนย์กลางเพลานี่หนึ่งถึงศูนย์กลางเพลานี่สอง
$L_2$	=	ระยะทางจากศูนย์กลางเพลานี่หนึ่งถึงศูนย์กลางเพลานี่สาม
$T_1$	=	ระยะทางระหว่างกึ่งกลางของล้อแต่ละด้านสำหรับเพลานี่หนึ่ง
$T_2$	=	ระยะทางระหว่างกึ่งกลางของล้อแต่ละด้านสำหรับเพลานี่สอง
$T_3$	=	ระยะทางระหว่างกึ่งกลางของล้อแต่ละด้านสำหรับเพลานี่สาม
$R$	=	ความสูงของล้อหน้า
$g$	=	Gravity
$\alpha$	=	มุมในการยก
$d$	=	ระยะจุดกึ่งกลางจากล้อซ้ายถึงล้อขวา
$h$	=	ความสูงของจุดศูนย์กลางถ่วง
$TotalCG'_{x,y,z}$	=	จุดศูนย์กลางถ่วงรวมของชิ้นส่วนหลักในแกน x, y, และ z
$(CG'_x)_i$	=	จุดศูนย์กลางถ่วงของแต่ละชิ้นส่วนย่อยในแกน x, y, และ z
$m'_i$	=	น้ำหนักของแต่ละชิ้นส่วนย่อยในแกน x, y, และ z
$W_F$	=	น้ำหนักผู้โดยสารลงเพลาน้ำ
$W_R$	=	น้ำหนักผู้โดยสารลงเพลาน้ำ
$W_P$	=	น้ำหนักผู้โดยสาร
$B$	=	ระยะจากเพลาน้ำถึงเพลาท้าย
$W_{total}$	=	น้ำหนักรวมทั้งหมด

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

$CG_x$  = ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงในแกน X

$CG_y$  = ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงในแกน Y

$CG_z$  = ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงในแกน Z

$W_{\text{rear axle}}$  = น้ำหนักกระทำที่เพลาท้าย

$W_{\text{front axle}}$  = น้ำหนักกระทำที่เพลาน้ำ



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย

ปัจจุบันรถโดยสารเป็นรถที่ใช้บริการรับส่งผู้โดยสารระหว่างเมืองที่มีความนิยมใช้งานอย่างแพร่หลายในประเทศไทย จากสถิติการจดทะเบียนรถโดยสารของกรมขนส่งทางบกในเดือนสิงหาคม ปี 2561 ประเภทมาตรฐาน 4 รดสองชั้นมีจำนวนที่จดทะเบียน 25,630 คัน (กองแผนงานกลุ่มสถิติการขนส่ง, 2561) และจากรายงานสถิติอุบัติเหตุรถโดยสารสาธารณะ จากข้อมูลจากศูนย์วิชาการเพื่อความปลอดภัยทางถนน (ศวปถ.) ได้เก็บรวบรวมสถิติการเกิดอุบัติเหตุของรถโดยสารสาธารณะในปี 2558 ถึง 2559 โดยในปี 2558 มีอุบัติเหตุที่เกิดจากรถโดยสาร 104 ครั้ง (ศวปถ., 2558) และในปี 2559 มีอุบัติเหตุของรถโดยสาร 239 ครั้ง (ศวปถ., 2559) กรมการขนส่งทางบกจึงได้มีการยกระดับมาตรฐานทางด้านวิศวกรรมยานยนต์ที่เกี่ยวข้องกับรถโดยสารมากขึ้น ทั้งการกำหนดมาตรฐานความแข็งแรงของโครงสร้างรถโดยสาร กำหนดการปรับระดับความสูงของรถโดยสาร รวมไปถึงการกำหนดเกณฑ์การทรงตัวของรถโดยสารที่มีความสูงเกิน 3.6 เมตรขึ้นไป ต้องมีเกณฑ์การทรงตัวไม่ต่ำกว่า 30 องศา ส่งผลให้ผู้ประกอบการต้องนำรถโดยสารที่มีลักษณะตามเกณฑ์เข้ารับการทดสอบ หากไม่ผ่านการทดสอบการเอียงตัวจะต้องนำรถโดยสารเข้าสู่กระบวนการผลิตเพื่อนำไปปรับปรุงโครงสร้างและเข้ารับการทดสอบใหม่เพื่อให้ผ่านเกณฑ์และจึงจะสามารถจดทะเบียนได้

ในกระบวนการผลิตรถโดยสารนั้นนอกจากจะทำตามความต้องการของลูกค้าและการศึกษากฎหมายที่เกี่ยวข้องกับรถโดยสารให้เป็นไปตามที่กรมการขนส่งทางบกได้กำหนดไว้แล้วนั้น ขั้นตอนที่สำคัญในลำดับถัดมาคือการกำหนดรายละเอียดเฉพาะของรถโดยสาร เพื่อให้เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า เช่น การกำหนดน้ำหนักรวมสูงสุดของรถโดยสาร น้ำหนักลงเพลา มิติขนาดของรถโดยสาร เป็นต้น จากนั้นเมื่อได้ข้อสรุปการกำหนดรายละเอียดเฉพาะต่าง ๆ ของรถโดยสารแล้วจะนำไปสู่ขั้นตอนกระบวนการผลิตและตรวจสอบคุณภาพในเกณฑ์ต่าง ๆ ของรถโดยสารในลำดับถัดไป แต่หากการตรวจสอบคุณภาพของรถโดยสารนั้นไม่ผ่านเกณฑ์ต่าง ๆ จะต้องนำรถโดยสารนั้นมาทำการปรับปรุงเพื่อให้ผ่านเกณฑ์ ซึ่งสำหรับการออกแบบและปรับปรุงโครงสร้างรถโดยสารที่ไม่ผ่านเกณฑ์การทดสอบนั้นจะมีความยุ่งยากและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการออกแบบหรือประกอบโครงสร้างขึ้นมาใหม่ ส่งผลให้ผู้ประกอบการบางส่วนเลือกที่จะหลีกเลี่ยง

การทดสอบด้วยการประกอบรถโดยสารที่มีความสูงไม่เกิน 3.6 เมตร ในกรณีของการทดสอบ การทรงตัวบนพื้นเอียง อย่างไรก็ตาม มุมองศาในการเอียงสูงสุดนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับความสูงของ โครงสร้างเพียงอย่างเดียว ปัจจัยที่ส่งผลต่อการพลิกคว่ำของรถโดยสารอีกอย่างหนึ่งคือ ตำแหน่ง ของจุดศูนย์กลางถ่วงของรถ เมื่อรถเกิดการเอียงตัวตำแหน่งของจุดศูนย์กลางถ่วงอยู่นอกระยะของฐานล้อ ซึ่งจะทำให้รถโดยสารเกิดการพลิกคว่ำได้ แต่หากมีการประเมินตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงก็จะสามารถ วิเคราะห์ความสามารถในการทรงตัวได้จากการคำนวณจากความสัมพันธ์ของจุดศูนย์กลางถ่วงและ มุมองศาในการเอียงสูงสุด

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีโปรแกรมในเชิงพาณิชย์ที่เกี่ยวข้องกับการประเมิน หาดำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงจะมีค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์โปรแกรมที่ค่อนข้างสูงและมีความซับซ้อน ในการใช้โปรแกรมซึ่งจะต้องใช้ทักษะและการเรียนรู้การใช้โปรแกรม รวมไปถึงโปรแกรม ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยต่าง ๆ เพื่อทดแทนโปรแกรมในเชิงพาณิชย์ซึ่งอาจจะมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าแต่มี ข้อจำกัดในการใช้งาน เช่น ต้องทำการทดสอบจริงเพื่อให้ได้ข้อมูลในการวิเคราะห์ การวิเคราะห์ไม่ สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้ครบถ้วน และการแสดงผลการทำงานของโปรแกรม ที่ล้าสมัย เป็นต้น หากผู้ประกอบการมีการออกแบบโครงสร้างให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมหรือใช้ เครื่องมือที่สามารถช่วยจำลองการวิเคราะห์การทรงตัวก่อนที่จะประกอบรถโดยสารขึ้นมาจะทำให้ สามารถช่วยในการคาดการณ์จำลองและลดภาระการปรับปรุงโครงสร้างอีกด้วย

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยในการประเมินตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วง และความสามารถในการทรงตัวบนพื้นเอียงของรถโดยสารสาธารณะและเปรียบเทียบกับ โปรแกรม MSC Adams Car ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบและทดสอบยานยนต์แบบพลวัตเพื่อยืนยัน ความถูกต้องของโปรแกรม โดยในโปรแกรมนี้ได้ออกแบบเพื่อให้ผู้ใช้ป้อนข้อมูลรายละเอียด เฉพาะเบื้องต้น ระยะเวลาในการออกแบบรถโดยสารและรายละเอียดของส่วนประกอบที่จำเป็นต่อ การคำนวณเข้าโปรแกรมเพื่อให้โปรแกรมสามารถคำนวณผลออกมาได้รวดเร็วและถูกต้องตาม หลักวิศวกรรม อีกทั้งยังมีการรายงานผลการสรุปการวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรมในรูปแบบของผล การทดสอบที่อ้างอิงแบบฟอร์มการตรวจสอบของกรมการขนส่งทางบก ทั้งนี้ทำให้ผู้ประกอบการ สามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและปรับปรุงโครงสร้างของรถโดยสารซึ่งจะลดเวลาและ ค่าใช้จ่ายในการผลิตรถโดยสารได้เป็นอย่างมาก และเป็นไปตามข้อกำหนดของกรมขนส่งทางบก อีกทั้งได้ทำการอบรมและเผยแพร่การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปนี้เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อ ผู้ประกอบการรถโดยสารสาธารณะ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปที่สามารถประเมินตำแหน่งจุดศูนย์กลางวงรถโดยสารและมุมมองเสาในการเอียงตัวสูงสุดของรถโดยสาร

1.2.2 เพื่อประเมินผลการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นและเปรียบเทียบผลความแม่นยำเทียบกับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปอื่น

1.2.3 เพื่อจัดสัมมนาถ่ายทอดเทคโนโลยีการประเมินตำแหน่งจุดศูนย์กลางและวิเคราะห์มุมมองเสาในการเอียงตัวสูงสุดของรถโดยสารแก่บริษัทผู้ประกอบการ

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปในการประเมินตำแหน่งจุดศูนย์กลางวงรถโดยสารและความสามารถในการทรงตัวสูงสุดของรถโดยสารเพื่อนำไปอ้างอิงตามประกาศกรมการขนส่งทางบก ฉบับที่ 60 (พ.ศ.2552)

1.3.2 โปรแกรมสามารถป้อนรายละเอียดเฉพาะของรถโดยสารที่ใช้ในการออกแบบได้แก่ ข้อมูลน้ำหนักและตำแหน่งการจัดวางของส่วนประกอบเพื่อแสดงผลการประเมินจุดศูนย์กลางในแนวแกน X, Y และ Z

1.3.3 โปรแกรมมีการแสดงรายละเอียดของข้อมูลที่ป้อนเข้าไปรวมถึงผลการประเมินตำแหน่งจุดศูนย์กลางและข้อมูลสามารถมีการแก้ไขย้อนหลังได้

1.3.4 ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรมที่พัฒนาประกอบไปด้วย

1.3.4.1 ผลการวิเคราะห์การกระจายน้ำหนัก ซึ่งจะแสดงรายละเอียดของน้ำหนักรวมสูงสุดและน้ำหนักที่กระทำในแต่ละล้อ

1.3.4.2 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการทรงตัวสูงสุดของรถโดยสาร (ผ่าน/ไม่ผ่านที่มุม 30 องศา อ้างอิงตามประกาศกรมขนส่งทางบก)

1.3.5 โปรแกรมสามารถบันทึกและแสดงผลในรูปแบบรายงานสรุปผลการวิเคราะห์ โดยจะประกอบด้วยรายละเอียดเฉพาะของรถโดยสารที่ทำการออกแบบและผลการวิเคราะห์ในข้อที่ 1.3.4

1.3.6 พัฒนาโปรแกรมบนโปรแกรม Microsoft Visual Studio

1.3.7 ประเมินผลการทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับ โปรแกรม MSC Adams/Car

1.3.8 ทดสอบการใช้งานในรูปแบบแบบสอบถามและข้อเสนอแนะ โดยที่วิศวกรออกแบบ บริษัท เซคซ์คอร์เปอร์เรชั่น จำกัด

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปในการคำนวณหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางวงรถโดยสารสาธารณะที่มีความน่าเชื่อถือใกล้เคียงกับโปรแกรมวิเคราะห์สำเร็จรูป

1.4.2 สามารถประยุกต์การใช้งานของโปรแกรมในกรณีศึกษาในกระบวนการออกแบบรถโดยสาร

1.4.3 เป็นแนวทางให้ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมรถโดยสารสามารถนำเอาไปใช้ประยุกต์ใช้ในวิเคราะห์ตำแหน่งจุดศูนย์กลางวงรถ สำหรับกระบวนการออกแบบและประกอบตัวถังตามหลักการทางวิศวกรรม



## บทที่ 2

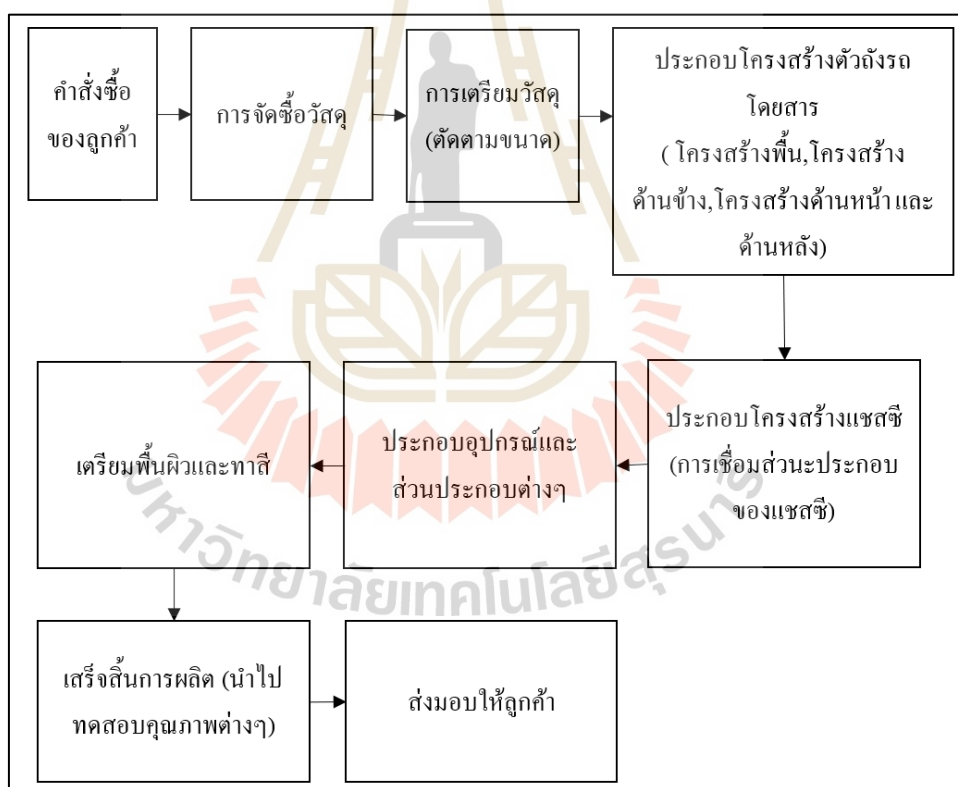
### ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการผลิตและปรับปรุงคุณภาพของรถโดยสาร โดยมุ่งเน้นให้เห็นความสำคัญของการประเมินตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วง เพื่อนำไปสู่การผลการวิเคราะห์ที่เป็นไปตามเกณฑ์การทดสอบ รวมไปถึงมาตรฐานในการทดสอบตามประกาศกรมการขนส่งทางบก อีกทั้งยังมีการรวบรวมโปรแกรมสำเร็จรูปเชิงพาณิชย์และโปรแกรมที่เคยได้รับการพัฒนาที่เกี่ยวกับการประเมินหาตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วง เพื่อเป็นการแสดงให้เห็นถึงความสำคัญในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของงานวิจัย โดยในงานวิจัยนี้ได้จะใช้ภาษา C-sharp ในการพัฒนาโปรแกรมและใช้โปรแกรม Microsoft Visual Studio ซึ่งเป็นโปรแกรมตัวหนึ่งที่ทำหน้าที่เป็นเครื่องมือช่วยในการประดิษฐ์และพัฒนาโปรแกรมขึ้นมา และในส่วนของตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อการกระจายน้ำหนักและสมรรถนะในการทรงตัวของรถโดยสาร โดยจุดศูนย์ถ่วงจะแสดงจุดกึ่งกลางของน้ำหนักของรถโดยสาร และเมื่อรถโดยสารมีการเอียงตัวจุดศูนย์ถ่วงยังคงอยู่ตำแหน่งเดิมของรถแต่เมื่อเทียบกับระยะฐานของรถจะมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นในบทนี้จึงได้ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาหาตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วง การคำนวณ มุมองศาในการเอียงสูงสุดของรถโดยสาร รวมถึงมาตรฐานในการทดสอบของกรมขนส่งทางบกและพื้นฐานของภาษา C-sharp ที่ใช้สำหรับโปรแกรม Visual Studio ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 2.1 กระบวนการผลิตและปรับปรุงคุณภาพของรถโดยสาร

ในภาคการผลิตรถโดยสารในปัจจุบันต้องพบเจอกับความต้องการของลูกค้าที่ต้องการสินค้าที่เป็นไปตามความต้องการของลูกค้าและมีคุณภาพ โดยที่ความต้องการของลูกค้านั้นจะเป็นการระบุรายละเอียดเฉพาะต่าง ๆ ของรถโดยสาร ไม่ว่าจะเป็นขนาดมิติของตัวรถ จำนวนที่นั่ง อุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบของรถโดยสาร เป็นต้น เพื่อให้ทีมงานวิศวกรออกแบบทำการออกแบบโครงสร้างรถโดยสารตามรายละเอียดเฉพาะที่ระบุข้างต้นและยังต้องคำนึงถึงการออกแบบ เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดตามที่กรมการขนส่งทางบกได้กำหนดไว้ รวมไปถึงมาตรฐานนานาชาติ เมื่อทำการออกแบบแล้วจะมีการนำแบบนั้นนำเสนอให้ทางลูกค้าได้ประเมินอีกครั้งเพื่อที่จะมีการปรับปรุงหรือแก้ไขในส่วนที่ลูกค้าต้องการ ในขั้นตอนนี้ผู้ผลิตรถโดยสารต้องพิจารณาถึงปัญหาทั่วไปที่เกิดขึ้นจากการออกแบบแชสซีและโครงสร้างตัวถัง เช่น น้ำหนักสูงสุด (ที่รับภาระและไม่มีภาระ), ความเสถียรภาพของรถโดยสารที่จะต้องออกแบบเพื่อให้ผ่านการทดสอบ

ต่าง ๆ เช่น การทดสอบการเอียงเพื่อทดสอบความปลอดภัยของยานพาหนะ, ขนาดสูงสุด ซึ่งอาจมีการจำกัดความยาวและความกว้าง และการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงที่ต้องคำนึงถึงมาตรฐานการปล่อยมลพิษ จากนั้นเมื่อมีการสรุปรูปแบบของรถโดยสารก็จะเป็นขั้นตอนของแผนการผลิตรถโดยสาร ซึ่งการผลิตรถโดยสารสามารถแยกได้ 2 ส่วน คือ การผลิตแชสซี ซึ่งเป็นโครงสร้างส่วนล่างสำหรับประกอบกับโครงสร้างตัวถังและผลิตโครงสร้างตัวถัง โดยที่โครงสร้างแชสซีจะประกอบไปด้วย เครื่องยนต์และหม้อน้ำ กระจุกเกียร์ ล้อเพลลาและช่วงล่าง แผงควบคุม, พวงมาลัยและที่นั่งคนขับ เป็นต้น และโครงสร้างตัวถังประกอบไปด้วยที่นั่ง บันได (รถเมล์สองชั้น) จำนวนและตำแหน่งของประตู เป็นต้น เมื่อผลิตเสร็จก็จะเป็นขั้นตอนของการตรวจสอบหรือทดสอบคุณภาพต่าง ๆ ตามที่กรมการขนส่งทางบกได้ระบุไว้และทำการส่งมอบรถโดยสารโดยขั้นตอนกระบวนการผลิตได้แสดงดังรูปที่ 2.1 (Chepkania et al., 2018)



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนกระบวนการผลิตรถโดยสาร



## 2.2 ข้อกำหนดเกณฑ์ของกรมขนส่งทางบก

กรมขนส่งทางบกได้ออกกฎหมายและหลักเกณฑ์ต่าง ๆ ของยานพาหนะที่นำมาใช้งานจริงบนท้องถนน ไม่ว่าจะเป็นกำหนดครีมีวงเลี้ยวและระยะท้ายปีดของรถ กำหนดเกณฑ์การวัดระยะช่วงล้อของรถ กำหนดน้ำหนักบรรทุกหรือน้ำหนักลงเพลาและการตรวจสอบ รวมทั้งกำหนดเกณฑ์การทรงตัวของรถโดยสาร เป็นต้น โดยข้อกำหนดที่กล่าวมามีดังนี้

### 2.2.1 กำหนดน้ำหนักบรรทุกหรือน้ำหนักลงเพลา (กรมการขนส่งทางบก, 2558)

สำหรับข้อกำหนดน้ำหนัก น้ำหนักบรรทุก และน้ำหนักลงเพลานั้นของยานพาหนะที่ใช้เดินบนทางหลวงพิเศษและทางหลวงแผ่นดิน ทางประกาศกรมการขนส่งทางบกได้ออกประกาศห้ามใช้ยานพาหนะที่มีน้ำหนัก น้ำหนักบรรทุก หรือน้ำหนักลงเพลา เกินกว่าที่ได้กำหนดหรือโดยที่ยานพาหนะนั้นอาจทำให้ทางหลวงเสียหาย เดินบนทางหลวงพิเศษ ทางหลวงแผ่นดินและทางหลวงสัมปทาน ซึ่งรถโดยสารเป็นยานพาหนะประเภทที่ใช้รับส่งผู้โดยสารและเป็นยานพาหนะชนิดเดี่ยว (SINGLE UNIT) ในหมวด 2 มีรายละเอียดดังนี้

1. ประเภทขนส่งผู้โดยสารที่มี 2 เพลา 4 ล้อ ยาง 4 เส้น ชนิดเพลาท้าย (เพลาที่ 2) ใช้ยางเดี่ยวต้องมีน้ำหนักลงเพลาท้าย (เพลาที่ 2) ไม่เกิน 7,000 กิโลกรัม หรือน้ำหนักยานพาหนะรวมน้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 9,500 กิโลกรัม
2. ประเภทขนส่งผู้โดยสารที่มี 2 เพลา 4 ล้อ ยาง 6 เส้น ชนิดเพลาท้าย (เพลาที่ 2) ใช้ยางคู่ต้องมีน้ำหนักลงเพลาท้าย (เพลาที่ 2) ไม่เกิน 11,000 กิโลกรัม
3. ประเภทขนส่งผู้โดยสารที่มี 3 เพลา 6 ล้อ ยาง 6 เส้น ต้องมีน้ำหนักลงเพลาคู่ท้าย (เพลาที่ 2 และเพลาที่ 3) ไม่เกิน 13,000 กิโลกรัม
4. ประเภทขนส่งผู้โดยสารที่มี 3 เพลา 6 ล้อ ยาง 8 เส้น ชนิดเพลาท้าย (เพลาที่ 2 และเพลาที่ 3) เป็นเพลาคู่ เพลาคู่ท้ายเพลาใดเพลาหนึ่งใช้ยางเดี่ยวอีกเพลาหนึ่งใช้ยางคู่ต้องมีน้ำหนักลงเพลาคู่ท้ายไม่เกิน 16,500 กิโลกรัม
5. ประเภทขนส่งผู้โดยสารที่มี 3 เพลา 6 ล้อ ยาง 10 เส้น ชนิดเพลาท้าย (เพลาที่ 2 และเพลาที่ 3) เป็นเพลาคู่ ใช้ยางคู่ต้องมีน้ำหนักลงเพลาคู่ท้ายไม่เกิน 20,000 กิโลกรัม หรือน้ำหนักยานพาหนะรวมน้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 25,000 กิโลกรัม
6. ประเภทขนส่งผู้โดยสารที่มี 3 เพลา 6 ล้อ ยาง 8 เส้น ชนิดเพลาหน้า (เพลาที่ 1 และเพลาที่ 2) เป็นเพลาเดี่ยวใช้ยางเดี่ยวและเพลาท้าย (เพลาที่ 3) ใช้ยางคู่ต้องมีน้ำหนักลงเพลาท้าย (เพลาที่ 3) ไม่เกิน 11,000 กิโลกรัม

## 2.2.2 หลักเกณฑ์ตรวจสอบน้ำหนักรวมสูงสุดและน้ำหนักลงเพลลา

ในการขอจดทะเบียนการผลิตโดยสาธารณชน การแก้ไขเพิ่มเติมหรือเปลี่ยนแปลงสภาพเครื่องอุปกรณ์หรือส่วนควบของรถโดยสาร ผู้ประกอบการจะต้องนำรถโดยสารนั้นเข้ารับการตรวจสอบน้ำหนักรวมสูงสุดและน้ำหนักลงเพลลาให้เป็นไปตามข้อกำหนดของประกาศกรมการขนส่งทางบกว่าด้วยเรื่องการกำหนดน้ำหนักบรรทุกหรือน้ำหนักลงเพลลา ซึ่งมีรายละเอียดดังข้อที่ 2.2.1 เพื่อทำการตรวจสอบการกระจายน้ำหนักที่กระทำลงเพลลาและเพื่อทำการเปรียบเทียบกับสมรรถนะของเพลลาและยางที่ทางผู้ประกอบการได้เลือกใช้ในการผลิตโดยสาธารณชนนั้น หากรถโดยสารที่นำมาตรวจสอบหลักเกณฑ์ดังกล่าวไม่ผ่านจะต้องทำการออกแบบและปรับปรุงแก้ไข แล้วนำมาทำสอบใหม่จึงจะสามารถนำรถโดยสารนั้นรับส่งผู้โดยสารได้ หรือในกรณีที่ให้นำรถโดยสารที่มีรายละเอียดเฉพาะตามเกณฑ์ที่จะเข้ารับการทดสอบการทรงตัวบนพื้นเอียงของรถโดยสาร หากไม่ผ่านเกณฑ์ตรวจสอบน้ำหนักรวมสูงสุดและน้ำหนักลงเพลลาก็จะไม่สามารถนำรถโดยสารเข้ารับการทดสอบการทรงตัวได้ โดยรถโดยสารที่ผ่านการตรวจสอบจะมีลักษณะดังนี้

1. กรณีที่เปลี่ยนตัวถังหรือเปลี่ยนจำนวนที่นั่งผู้โดยสาร น้ำหนักรถและน้ำหนักบรรทุกรวมกันลงเพลลาหน้า/เพลลาท้าย/เพลลาคู่ท้าย/กลุ่มเพลลาท้าย ต้องไม่เกินพิกัดน้ำหนักที่กรมการขนส่งทางบกให้ความเห็นชอบหรือที่กำหนดไว้ในรายการจดทะเบียนรถ

2. กรณีที่มีการแก้ไขเพิ่มเติมหรือเปลี่ยนแปลงสภาพเครื่องอุปกรณ์หรือส่วนควบเพื่อให้รถมีสมรรถนะในการรับน้ำหนักบรรทุกที่สูงขึ้น น้ำหนักรถและน้ำหนักบรรทุกรวมกันลงเพลลาหน้า/เพลลาท้าย/เพลลาคู่ท้าย/กลุ่มเพลลาท้ายต้องไม่เกิน สมรรถนะและพิกัดน้ำหนัก ดังนี้

ก. สมรรถนะรถ สมรรถนะเพลลา และสปริงตามที่ผู้ผลิตกำหนดหรือวิศวกรคำนวณ

ข. สมรรถนะยาง

ค. พิกัดน้ำหนักทางหลวง

ในการตรวจสอบนี้สามารถแบ่งประเภทของรถโดยสารได้ 3 ประเภท คือ รถโดยสารชั้นเดียว 2 เพลลา รถโดยสารชั้นเดียว 3 เพลลา และรถโดยสารสองชั้น 3 เพลลา โดยที่แบบตรวจสอบน้ำหนักรวมสูงสุดและน้ำหนักลงเพลลาจะประกอบไปด้วยผลการตรวจสอบรถสรุปการกระจายน้ำหนัก การคำนวณน้ำหนักลงเพลลา และสรุปผลการตรวจสอบ โดยมีรายละเอียดดังรูปที่ 2.2 และรถที่ผ่านการตรวจสอบแล้วจะต้องเก็บรายละเอียดผลการตรวจสอบตามแบบตรวจสอบรวมไว้กับเอกสารการตรวจสอบสภาพรถ

**แบบตรวจสอบน้ำหนักกรรมสูงสุด (GVW) และน้ำหนักของเพลารถโดยสาร แบบที่ 1 (รถคันเดียว 2 เพลอ)**

**การคำนวณน้ำหนักของเพล**

จำนวนที่นั่งผู้โดยสาร = P + 2

(จำนวนผู้โดยสาร + ผู้ขับรถและผู้ประจำรถ)

น้ำหนักผู้โดยสาร ( $W_P$ ) =  $(P + 2) \times 55$  (น้ำหนัก 55 kg ต่อคน)

ระยะ X = E - (T/2)

น้ำหนักผู้โดยสารลงเพลหน้า ( $W_F$ ) =  $(W_P \times X) / B$

น้ำหนักผู้โดยสารลงเพลท้าย ( $W_R$ ) =  $W_P - W_F$

**สรุปการกระจายน้ำหนัก**

การกระจายน้ำหนัก	เพลหน้า	เพลท้าย	รวม
น้ำหนักกร			
น้ำหนักผู้โดยสาร			
น้ำหนักกรรมผู้โดยสาร			
สมรรถนะเพล			
สมรรถนะยาง			
พิกัดน้ำหนักทางหลวง			

**สรุปผลการตรวจสอบ**

ผ่าน  ไม่ผ่าน

ผู้ตรวจสอบ \_\_\_\_\_

ตำแหน่ง \_\_\_\_\_

วันที่ \_\_\_\_\_

**ผลการตรวจสอบ**

น้ำหนักกรลงเพลหน้า = กก. ระยะช่วงล้อ (B)	= ซม.
น้ำหนักกรลงเพลท้าย = กก. พื้นที่โดยสาร (T)	= ซม.
น้ำหนักกรรมผู้โดยสาร = กก. ระยะจากค้ำน้ำหนักผู้โดยสารถึงเพลท้าย (E)	= ซม.
ขนาดยางเพลหน้า = PR. จำนวนผู้โดยสาร (P)	= คน
ขนาดยางเพลท้าย = PR.	

รูปที่ 2.2 รายละเอียดตัวอย่างของแบบตรวจสอบน้ำหนักกรรมสูงสุดของรถโดยสาร และน้ำหนักของเพลของรถโดยสารแบบที่ 1

### 2.2.3 กำหนดเกณฑ์การทรงตัวของรถที่ใช้ในการขนส่งผู้โดยสาร (สมชัย, 2555)

การทดสอบการเอียงเป็นการทดสอบความปลอดภัยประเภทหนึ่งที่หน่วยรับรองยานพาหนะ กำหนดให้ต้องผ่านการทดสอบก่อนที่จะได้รับอนุญาตบนถนน การทดสอบ คือ การประเมินการกระจายน้ำหนักและด้วยเหตุนี้ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางถ่วงของยานพาหนะจึงมีความสำคัญในดำเนินการทั้งสภาวะที่รับภาระหรือไม่ได้รับภาระนั่นคือมีหรือไม่มีผู้โดยสาร การทดสอบเกี่ยวข้องกับการเอียงรถไปในทิศทางเคลื่อนที่ในแนวด้านข้างของยานพาหนะบนแผ่นเอียงที่เคลื่อนทำการเอียง เพื่อที่จะผ่านการทดสอบยานพาหนะจะต้องไม่พลิกคว่ำก่อนถึงมุมการเอียงที่ระบุโดยคณะกรรมการมาตรฐานการเศรษฐกิจของยุโรปแห่งสหประชาชาติ ข้อกำหนดที่ 107 ว่าด้วยการสร้างรถ M2 หรือ M3 อนุกรมที่ 3 ขึ้นไป (United Nations Economic Commission for Europe, Regulation No. 107: Uniform provisions concerning the approval of category M2 or M3 vehicles with regard to their general construction, Series 03) รถโดยสารสองชั้นต้องมีความสามารถในการเอียงตัวที่มุม 28 องศา โดยไม่พลิกคว่ำ สำหรับในประเทศไทยรถโดยสารชั้นเดียวตามมาตรฐาน 1, 2 และ 3 โดยเฉพาะรถโดยสารสองชั้นตามมาตรฐาน 4 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่มีขนาดใหญ่ และเป็นมาตรฐานที่รับน้ำหนักมากที่สุด การออกแบบและผลิตเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดของกรมขนส่งทางบกนั้นจึงมีความสำคัญต่อผู้ประกอบการอย่างมาก ซึ่งรถโดยสารที่มีความสูงตั้งแต่ 3.6 เมตรขึ้นไป ต้องมีเกณฑ์การทรงตัวไม่ต่ำกว่า 30 องศา หากไม่ผ่านการทดสอบจะไม่สามารถจดทะเบียนหรือต่อภาษีรถประจำปีได้ และหากนำไปใช้งานก็จะมีผลตามกฎหมาย ซึ่งมีผลบังคับใช้กับรถที่จดทะเบียนใหม่และรถที่มีการเปลี่ยนตัวถัง โดยรถที่ทำการทดสอบและผ่านเกณฑ์การทรงตัวตามข้อกำหนดให้ถือว่ารถนั้นมีการทรงตัวตามเกณฑ์ในการทดสอบการทรงตัวให้กระทำบนเครื่องทดสอบการทรงตัวที่มีอัตราความเร็วในการยกเอียงขั้นต่ำได้น้อยกว่า 0.05 องศาต่อวินาที โดยที่พื้นทดสอบต้องมีระดับสม่ำเสมอและไม่บิดตัว และต้องมีสันขอบหรืออุปกรณ์ป้องกันการลื่นไถลด้านข้างของล้อรถ อีกทั้งยังมีอุปกรณ์ป้องกันการพลิกคว่ำที่เหมาะสม เช่น โช้หรือลวดสลิงคล้องเพลลาหรือรถหรือแผงรับด้านข้าง โดยก่อนการทดสอบจะต้องมีการเตรียมรถก่อนเข้ารับการทดสอบคือ รถต้องอยู่ในสถานะรถเปล่าไม่มีน้ำหนักบรรทุกและเครื่องยนต์ต้องไม่ทำงานขณะทำการทดสอบเชื้อเพลิงต้องมีไม่เกินร้อยละ 90 องศา ความจุถังเชื้อเพลิง และมีการป้องกันการรั่วไหลของเชื้อเพลิงและระบบรองรับน้ำหนักของรถต้องอยู่ในสภาพการใช้งานปกติ สำหรับวิธีทดสอบนั้นมีขั้นตอนดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักรถเพื่อหาน้ำหนักรถในแต่ละด้าน
2. จอครรถบนพื้นทดสอบ โดยให้ด้านข้างของรถที่มีน้ำหนักมากกว่าอยู่ตรงกันข้ามกับพื้นทดสอบด้านที่จะถูกยกขึ้น

3. ดัดหรือยึดอุปกรณ์เพื่อป้องกันการพลิกคว่ำของรถ

4. ยกพื้นทดสอบขึ้น

และเงื่อนไขของรถที่ผ่านการทดสอบต้องสามารถทรงตัวในขณะที่พื้นทดสอบเอียงทำมุมกับ

แนวระนาบได้ไม่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดมีดังนี้

1. ยางของล้อรถด้านที่ถูกยกขึ้นต้องสัมผัสกับพื้นทดสอบอย่างน้อยหนึ่งเส้น

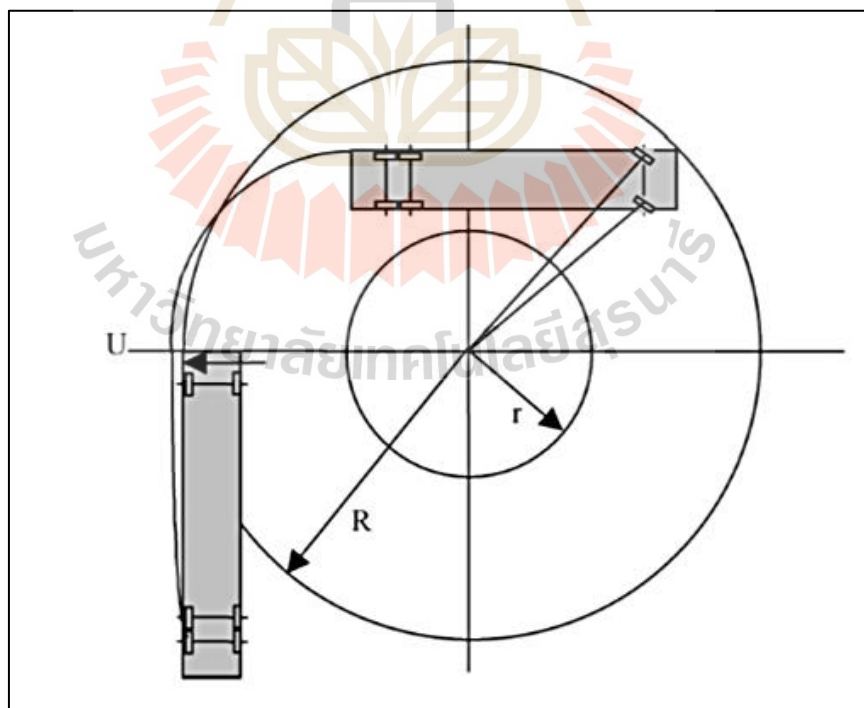
2. ไม่มีเครื่องอุปกรณ์หรือส่วนควบคุมใดของรถสัมผัสกับพื้นทดสอบเว้นแต่

ขงตาม 4.1

3. ไม่มีอุปกรณ์หรือส่วนควบคุมใดของรถสัมผัสกัน เว้นแต่ได้มีการออกแบบมาให้สัมผัสกันตามสภาพการใช้ปกติ

#### 2.2.4 กำหนดรัศมีวงเลี้ยวและระยะท้ายปัดของรถ (ชัยรัตน์, 2552)

จากรูปที่ 2.3 แสดงถึงการกำหนดระยะท้ายปัด (Rear swing-out) หมายถึง ระยะที่ท้ายปัดออกด้านข้างขณะเลี้ยวโค้ง โดยมีรัศมีวงเลี้ยวด้านนอกเท่ากับ 12.50 เมตร วัดอ้างอิงกับแนวตัวถังรถขณะจอดโดยที่รถหรือแชสชีรถต้องมีรัศมีวงเลี้ยว ดังตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.3 รัศมีวงเลี้ยวและระยะท้ายปัด

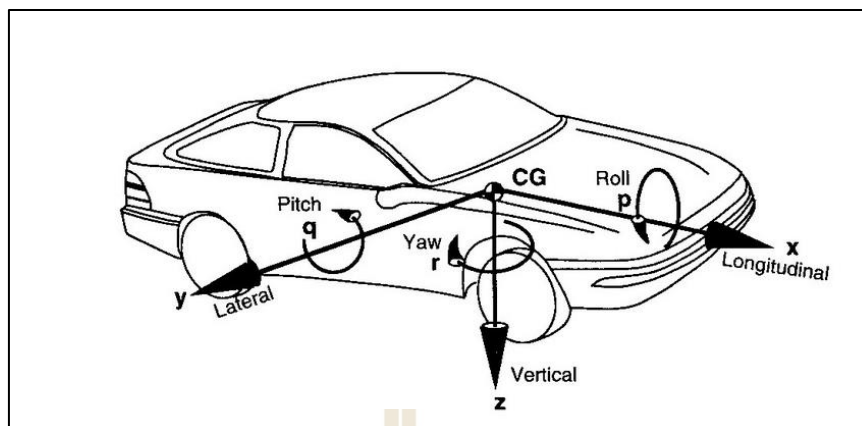
ตารางที่ 2.1 กำหนดรัศมีวงเลี้ยวและระยะท้ายปัดของรถ

รัศมีวงเลี้ยวและระยะท้ายปัด	รถหรือแอสซีรถโดยสาร	รถหรือแอสซีรถบรรทุก
รัศมีวงเลี้ยวด้านนอก (R)	วัดที่ตัวถังด้านนอกวงเลี้ยว ต้องไม่มากกว่า 12.50 เมตร	
รัศมีวงเลี้ยวด้านใน (r)	วัดที่ตัวถังด้านในวงเลี้ยว ต้องไม่น้อยกว่า 5.30 เมตร	
ระยะท้ายปัด (U)	สำหรับรถหรือแอสซีรถโดยสาร ที่มีความยาวมากกว่า 12 เมตร จะมีระยะท้ายปัดได้ไม่เกิน 0.60 เมตร	สำหรับรถหรือแอสซีรถบรรทุก ที่มีความยาวมากกว่า 10 เมตร จะมีระยะท้ายปัดได้ไม่เกิน 0.80 เมตร

อย่างไรก็ตามจากข้อกำหนดเกณฑ์ของกรมขนส่งทางบกดังกล่าวนี้ส่งผลให้ผู้ประกอบการต้องพิจารณาขั้นตอนในการออกแบบเพื่อให้เกิดความปลอดภัยและเป็นไปตามข้อกำหนด ในเบื้องต้นของการออกแบบควรคำนึงถึงตำแหน่งของจุดศูนย์กลางโดยเฉพาะตำแหน่งความสูงของจุดศูนย์กลางที่ส่งผลถึงสมรรถนะและความสามารถในการทรงตัวของรถโดยสาร ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้จึงเห็นความสำคัญต่อการประเมินตำแหน่งของจุดศูนย์กลางเพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์ในผลการทดสอบที่เป็นไปตามข้อกำหนดของกรมขนส่งทางบก

### 2.3 ระบบแกนอ้างอิงของรถยนต์ (Vehicle Axis system)

ในเนื้อหาของงานวิจัยนี้ได้ใช้ระบบพิกัดอ้างอิงที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองยานพาหนะตามสมาคมวิศวกรยานยนต์ (Society of Automotive Engineering หรือ SAE) แสดงดังรูปที่ 2.4 โดยที่แกน x แสดงถึงทิศทางตามแนวยาวของรถยนต์ แกน y แสดงถึงทิศทางในแนวด้านข้างของรถยนต์ และแกน z แสดงถึงทิศทางในแนวดิ่ง ในการกำหนดแกนอ้างอิงของรถยนต์นั้นจะทำให้สามารถกำหนดทิศทางและการคำนวณได้ง่ายขึ้น เช่น การคำนวณความสามารถในการทรงตัวของรถยนต์ โดยคำนวณได้จากมุมที่กระทำระหว่างระนาบล้อและความสูงของจุดศูนย์กลาง และในส่วนของงานวิจัยนี้ได้กำหนดพิกัดการอ้างอิงในการให้ขนาดและระยะต่าง ๆ ในการจัดวางส่วนประกอบที่ตำแหน่งจุดกึ่งกลางของยางหน้าด้านซ้ายของตัวรถโดยสาร (Hashem and Farid, 2016)



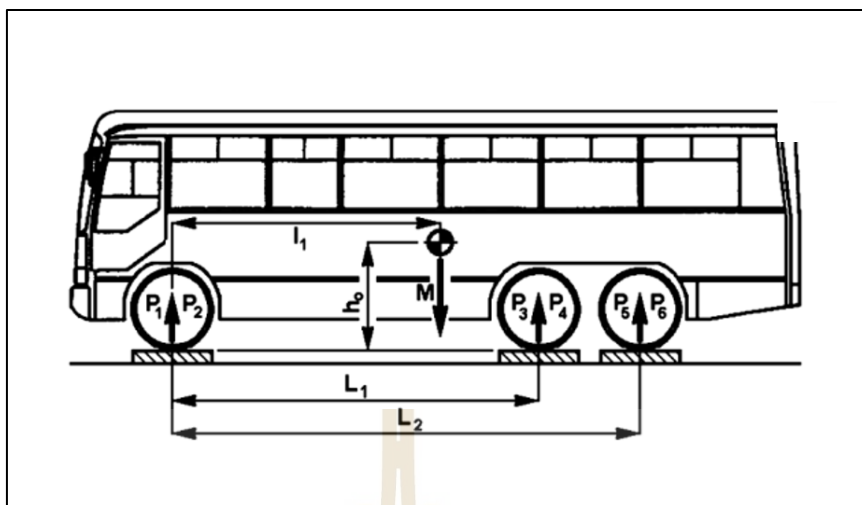
รูปที่ 2.4 Vehicle Axis System after SAE

## 2.4 ทฤษฎีตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงของยานยนต์

มาตรฐาน UNECE Regulation NO.66 คือ การทดสอบพลิกคว่ำ และการคำนวณค่าพลังงานที่โครงสร้างสามารถรับได้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วง ดังนั้นจึงควรเลือกใช้วิธีการที่ถูกต้องและเหมาะสมเพื่อที่จะได้ผลลัพธ์ที่ดี ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการออกแบบเนื่องจากเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการควบคุมการขับขี่โดยตรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งยานยนต์ที่มีสมรรถนะสูงเพราะต้องการความสามารถในการทรงตัวที่ดีขับเคลื่อนอย่างปลอดภัย ความสูงของจุดศูนย์กลางถ่วงที่น้อยที่สุดเป็นที่ควรจะเป็นในออกแบบยานยนต์ทุกประเภท เพราะจะสามารถควบคุมการขับขี่ได้และปลอดภัย ซึ่งตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักของส่วนประกอบในรถโดยสารและตำแหน่งที่ตั้งของส่วนประกอบนั้น ตามหลักการวิศวกรรมศาสตร์สามารถแบ่งจุดศูนย์กลางถ่วงได้ 3 แกน (Aqbal et al., (2012) ดังนี้

### 2.4.1 ตำแหน่งตามแนวยาวของจุดศูนย์กลางถ่วง

ตำแหน่งตามแนวยาวของจุดศูนย์กลางถ่วงเป็นตำแหน่งของจุดศูนย์กลางถ่วงของรถยนต์ที่พิจารณาจากระยะฐานล้อ (Wheel base) โดยมองจากด้านข้างตำแหน่งตามยาวของจุดศูนย์กลางถ่วงจะอยู่ในแนวระนาบ (Horizontal) ภายใต้อะกาศของฐานล้อสำหรับตำแหน่งตามแนวยาวของจุดศูนย์กลางถ่วงแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ตำแหน่งตามแนวยาวของจุดศูนย์กลางถ่วง

การดำเนินการวัดขนาด มุมองศาและค่าน้ำหนักรถ โดยควรมีค่าความแม่นยำตามข้อกำหนดต่อไปนี้

- ความยาวน้อยกว่า 2,000 มิลลิเมตร ความแม่นยำ  $\pm 1$  มิลลิเมตร
- ความยาวมากกว่า 2,000 มิลลิเมตร ความแม่นยำ  $\pm 0.05$  เปอร์เซ็นต์
- มุมองศา ความแม่นยำ  $\pm 1$  เปอร์เซ็นต์
- น้ำหนัก ความแม่นยำ  $\pm 0.2$  เปอร์เซ็นต์

ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงสามารถหาได้จากตัวแปร 3 ตัว ดังต่อไปนี้

1. ระยะทางตามแนวยาว ( $l$ ) นับจากศูนย์กลางเพลาน้ำ
2. ระยะทางตามแนวขวาง ( $t$ ) นับจากระนาบตั้งฉากแนวกึ่งกลางรถ
3. ระยะทางแนวตั้ง ( $h_0$ ) ระยะจุดศูนย์กลางถ่วงตามแนวความสูงของรถโดยสาร

แนวทางการวัดตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงโดยการชั่งตามแนวความยาวของรถโดยสาร ตำแหน่งตามแนวยาวของจุดศูนย์กลางถ่วงสัมพันธ์กับกึ่งกลางของจุดสัมผัสระหว่างล้อกับพื้นดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 2.1

$$l_1 = \left[ \frac{(P_3 + P_4) \times L_1 + (P_5 + P_6) \times L_2}{P_{total}} \right] \quad (2.1)$$



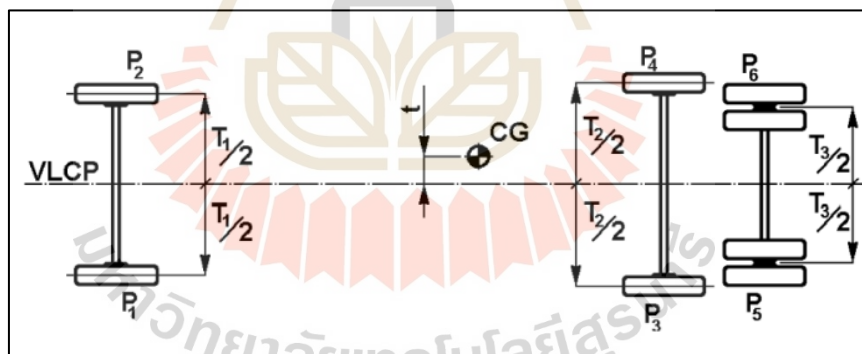
โดยที่

- $P_1$  คือ น้ำหนักลงลือด้านซ้ายเพลลาที่หนึ่ง  
 $P_2$  คือ น้ำหนักลงลือด้านขวาเพลลาที่หนึ่ง  
 $P_3$  คือ น้ำหนักลงลือด้านซ้ายเพลลาที่สอง  
 $P_4$  คือ น้ำหนักลงลือด้านขวาเพลลาที่สอง  
 $P_5$  คือ น้ำหนักลงลือด้านซ้ายเพลลาที่สาม  
 $P_6$  คือ น้ำหนักลงลือด้านขวาเพลลาที่สาม  
 $P_{total}$  คือ  $(P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6)$  น้ำหนักรวมทั้งหมด  
 $L_1$  คือ ระยะทางจากศูนย์กลางเพลลาที่หนึ่งถึงศูนย์กลางเพลลาที่สอง  
 $L_2$  คือ ระยะทางจากศูนย์กลางเพลลาที่หนึ่งถึงศูนย์กลางเพลลาที่สาม

#### 2.4.2 ตำแหน่งตามแนวขวางของจุดศูนย์กลางถ่วง

ตำแหน่งตามแนวขวางของจุดศูนย์กลางถ่วงสัมพันธ์กับระนาบตั้งฉากแนวกึ่งกลางรถ

เป็นดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ตำแหน่งตามแนวขวางของจุดศูนย์กลางถ่วง

ตำแหน่งตามแนวขวางของจุดศูนย์กลางถ่วงสัมพันธ์กับระนาบตั้งฉากแนวกึ่งกลางรถ  
 ดังภาพที่ 2.6 สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 2.2

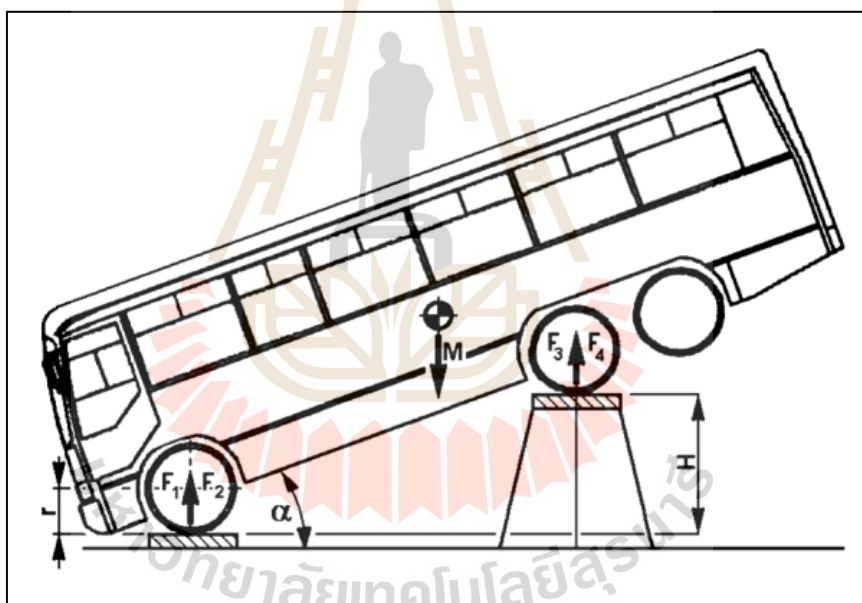
$$l_1 + \left[ (P_1 + P_2) \frac{T_1}{T_2} + (P_3 - P_4) \frac{T_2}{2} + (P_5 - P_6) \frac{T_3}{2} \right] \quad (2.2)$$

โดยที่

- $T_1$  คือ ระยะทางระหว่างกึ่งกลางของล้อแต่ละด้านสำหรับเพลลาที่หนึ่ง  
 $T_2$  คือ ระยะทางระหว่างกึ่งกลางของล้อแต่ละด้านสำหรับเพลลาที่สอง  
 $T_3$  คือ ระยะทางระหว่างกึ่งกลางของล้อแต่ละด้านสำหรับเพลลาที่สาม

### 2.4.3 ตำแหน่งตามแนวตั้งของจุดศูนย์ถ่วง

ตำแหน่งตามแนวตั้งของจุดศูนย์ถ่วงเป็นตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของรถยนต์ที่พิจารณาจากระยะที่ล้อสัมผัสกับผิวถนนซึ่งตำแหน่งตามแนวตั้งถึงจุดศูนย์ถ่วงนี้ เป็นตำแหน่งที่พิจารณาได้ยากที่สุด เนื่องจากต้องมาจากการทดสอบเท่านั้น การทดสอบสามารถทำได้ 3 วิธี คือ วิธีแขวนรถ วิธียกเพลลาทำขึ้นในแนวตั้ง และวิธีพลิกคว่ำซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ตำแหน่งตามแนวตั้งของจุดศูนย์ถ่วง

ตำแหน่งตามแนวตั้งของจุดศูนย์ถ่วง ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 2.3

$$h_0 = r + \left( \frac{l}{\text{tg}\alpha} \right) \left[ \frac{l_1 + L_1 (F_3 + F_4)}{P_{\text{total}}} \right] \quad (2.3)$$

โดยที่

$R$  คือ ความสูงของล้อหน้า,

$g$  คือ Gravity

$\alpha$  คือ มุมในการยก

$F_3+F_4$  คือ น้ำหนักลงล้อหลัง

## 2.5 การคำนวณความสามารถในการทรงตัวและมุมมองในการเอียงสูงสุด

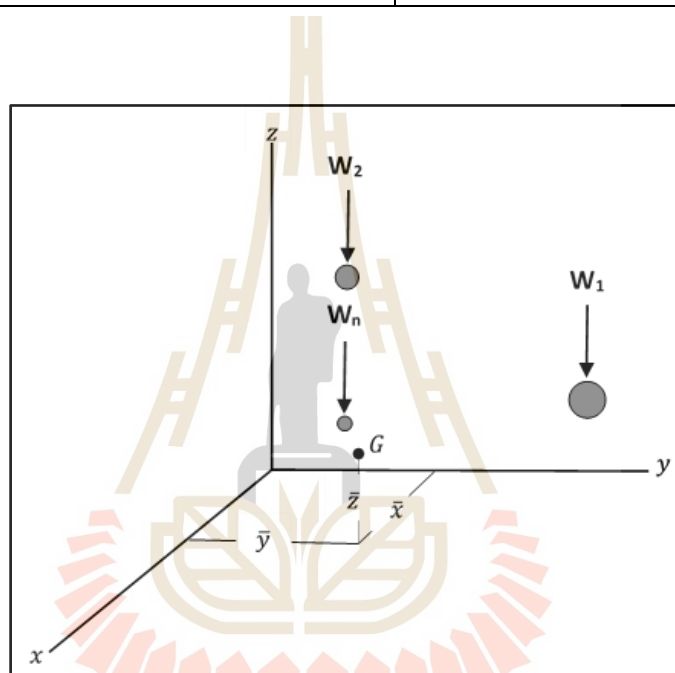
การประเมินตำแหน่งของจุดศูนย์กลางถ่วงสามารถหาความสูงของจุดศูนย์กลางถ่วงได้จากการวิเคราะห์ด้านสมมูลสถิตของรถยนต์ (Vehicle static stability analysis) ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การป้องกันการเกิดการพลิกคว่ำคือ Static Stability Factor (SSF) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.4 โดยที่ตัวแปร  $d$  คือ ระยะฐานล้อหรือความกว้างของรถกำหนดจากระยะห่างระหว่างตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงของรถและ  $h$  คือ ความสูงของจุดศูนย์กลางถ่วงของรถถึงพื้น โดยทั่วไปแล้วโครงสร้างของรถที่มีค่า SSF ต่ำ มีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดการพลิกคว่ำได้ง่ายกว่าในกรณีของรถที่มีค่า SSF สูง

$$SSF = \frac{d}{2h} \quad (2.4)$$

ในงานวิจัยของ Heydinger G.J. และคณะ (Heydinger, et al, 1999) ได้ทำการเก็บข้อมูลของค่า SSF ซึ่งมีผลต่อการเอียงตัวของรถ ในตารางที่ 2.2 แสดงค่า SSF ของรถแต่ละประเภทที่ถูกเก็บรวบรวมไว้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของตัวรถเป็นหลักซึ่งมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น การจัดวางอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อน้ำหนักรวมหรือตำแหน่งของจุดศูนย์กลางถ่วง ฐานความกว้างของรถ เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบและปรับปรุงพัฒนาสมรรถนะของรถให้มีค่า SSF ที่สูงเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการพลิกคว่ำ และนอกจากนี้ การทดสอบการทรงตัวโดยการนำรถมาเอียงบนแท่นที่เรียกว่า “Tilt table” ซึ่งสามารถคำนวณหามุมองศาในการเอียงสูงสุดได้จากการหาจุดศูนย์กลางมวลของระบบของอนุภาคในระบบสามมิติ ที่มีอนุภาคประกอบกันที่มากกว่า 1 อนุภาค จุดศูนย์กลางถ่วงจะสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1-2.3 คือ ผลรวมของผลคูณระหว่างน้ำหนักและระยะห่างของจุดเซนทรอยด์ของอนุภาคกับจุดอ้างอิงหารด้วยผลรวมของน้ำหนัก ซึ่งเมื่อคูณด้วยค่าแรงโน้มถ่วงแล้วจะให้ค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วง (CG) ในแนวแกน X, Y และ Z ซึ่งเป็นจุดเดียวกันนั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 2.8

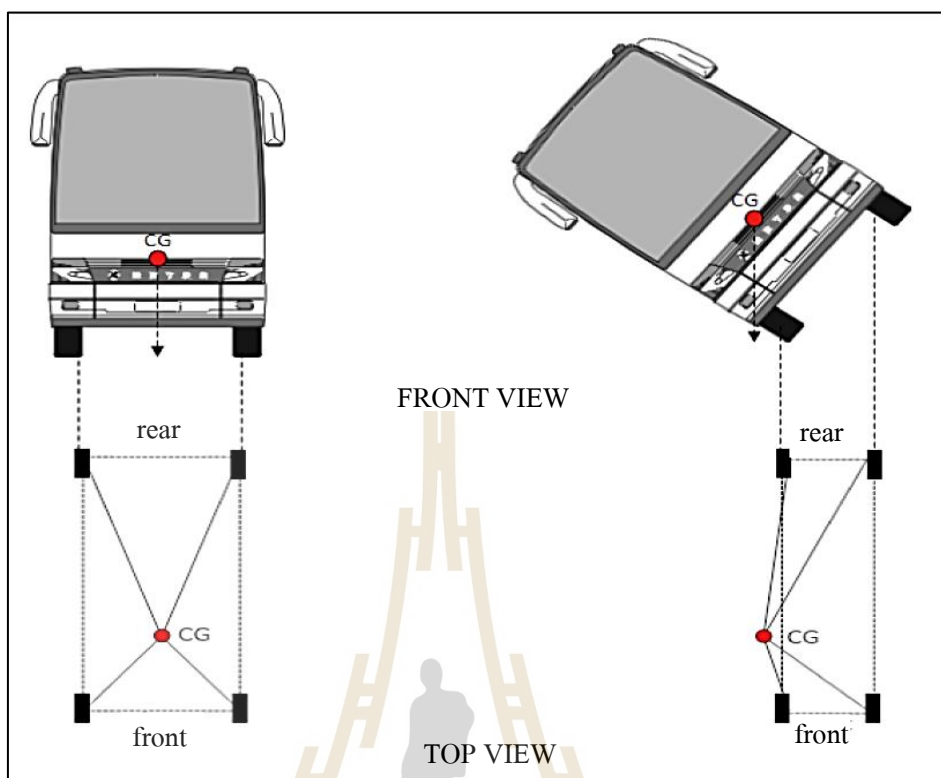
ตารางที่ 2.2 ค่า Static Stability Factor ของรถแต่ละประเภท

ประเภทของรถ	Static Stability Factor (SSF)
รถยนต์ทั่วไป	1.35-1.45
รถตู้	1.10-1.25
รถเนกประสงค์ (Sport Utility Vehicle : SUV)	1.05-1.20
รถบรรทุก	1.10-1.25
รถโดยสารสองชั้น	0.60-0.75



รูปที่ 2.8 จุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์ถ่วงในแนวแกน X, Y และ Z ในระบบอนุภาค

การพลิกคว่ำของยานพาหนะจะขึ้นอยู่กับจุดศูนย์ถ่วงของยานพาหนะนั้น ซึ่งจะพิจารณาจากตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของยานพาหนะ โดยยานพาหนะจะอยู่ในสภาวะสมดุลเมื่อจุดศูนย์ถ่วงของยานพาหนะยังอยู่ภายในระยะฐานล้อ เมื่อยานพาหนะเอียงตัวจุดศูนย์ถ่วงยังคงอยู่ในตำแหน่งเดิมของตัวยานพาหนะ แต่เมื่อเทียบกับฐานด้านล่างจะเห็นว่าตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงจะเคลื่อนที่ได้ถึงมุมหนึ่งที่จุดศูนย์ถ่วงอยู่นอกกระยะของฐานล้อดังแสดงในรูปที่ 2.9 (Aqbal, 2012) ซึ่งจะทำให้ยานพาหนะเกิดการพลิกคว่ำ โดยความสามารถในการทรงตัวของยานพาหนะหาได้จากการคำนวณมุมมองศาในการเอียงสูงสุดดังสมการที่ 2.4 (Andrzej, 2015)



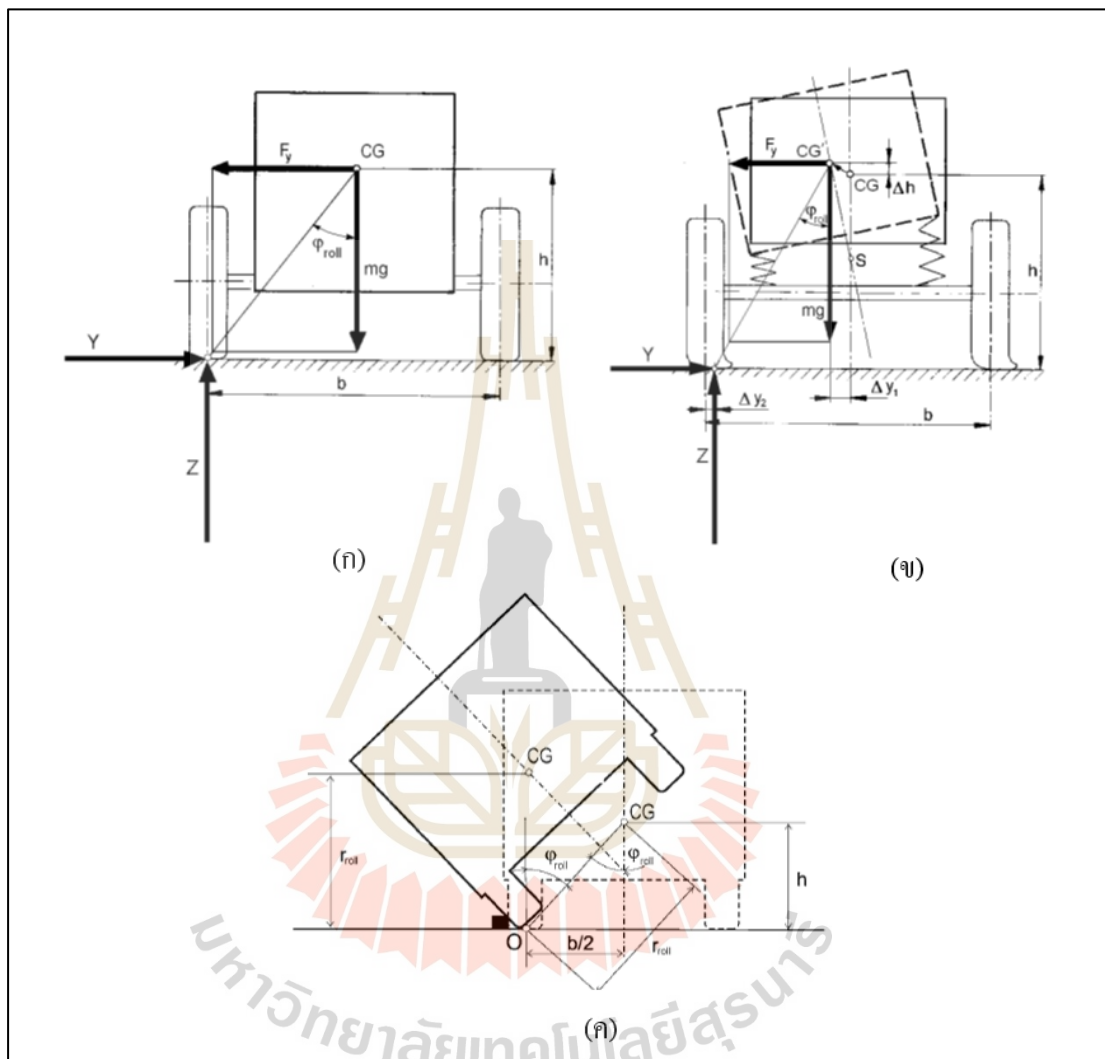
รูปที่ 2.9 การพลิกคว่ำเนื่องจากจุดศูนย์ถ่วง

$$\text{Tilt Angle} = \tan^{-1} \frac{z}{y} \quad (2.4)$$

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของ Andrzej Renski (Andrzej, 2015) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลที่ส่งผลต่อการพลิกคว่ำของยานพาหนะ ซึ่งได้กล่าวไว้ว่าการพลิกคว่ำของรถสามารถเกิดขึ้นจากตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงสูงกว่าที่คาดการณ์ไว้ โดยในงานวิจัยนี้ได้แสดงถึงวิธีการคำนวณแนวทางพลิกคว่ำของรถและพิจารณาอิทธิพลที่ทำให้มุมของการพลิกคว่ำสูงขึ้น ในการคำนวณนี้แสดงให้เห็นว่าในระหว่างที่เกิดการพลิกคว่ำมุมที่ใช้ในการหมุนมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยอธิบายมุมที่ทำให้เกิดการพลิกคว่ำได้จากเส้นที่ลากในแนวตั้งของจุดศูนย์ถ่วงและเส้นที่ลากจากจุดศูนย์ถ่วงถึงแกนที่เอียงแสดงดังสมการที่ 2.5 และในรูปที่ 2.10 (ก) ซึ่งยังคงอยู่ในสถานะเริ่มต้น เมื่อรถเกิดการเอียงตัวดังรูปที่ 2.10 (ข) และมุมที่ได้จากการเอียงตัวนั้นจะเป็นดังสมการที่ 2.6 และเมื่อตำแหน่งของ

จุดศูนย์กลางถ่วงเคลื่อนที่อยู่ในตำแหน่งเดียวกันในแนวตั้งของแกนหมุนมาดังรูปที่ 2.10 (ค) แสดงให้เห็นถึงมุมสูงสุดที่ให้รถยังไม่เกิดการพลิกคว่ำ



รูปที่ 2.10 วิธีการวิเคราะห์แนวทางพลิกคว่ำของรถ

ก. ยานพาหนะในสภาวะเริ่มต้น

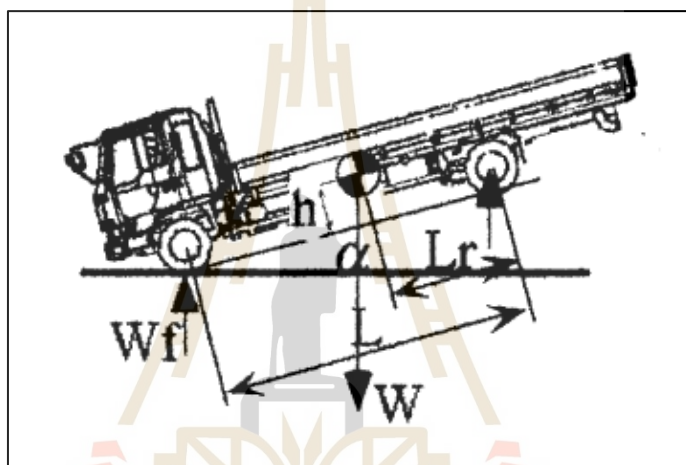
ข. มุมของยานพาหนะเกิดการเอียงตัว

ค. มุมสูงสุดที่ให้นยานพาหนะเกิดการพลิกคว่ำ

$$\phi_{roll} = \arctan\left(\frac{b}{2h}\right) \quad (2.5)$$

$$\varphi_{roll} = \arctan\left(\frac{0.5b - \Delta y_1 - \Delta y_2}{h + \Delta h}\right) \quad (2.6)$$

อีกทั้งในงานวิจัยของ Fujio Momiyama และคณะ (Fujio, 1999) ได้มีการนำเสนอประเมินหาความสูงของจุดศูนย์ถ่วงของยานพาหนะที่เกิดจากการพลิกคว่ำ โดยใช้การวัดความสูงของจุดศูนย์ถ่วงแบบ Static แสดงดังรูปที่ 2.11 ซึ่งเป็นวิธีเช่นเดียวกับการรับรองมาตรฐานความปลอดภัยของรถบรรทุกในประเทศญี่ปุ่น แสดงดังสมการที่ 2.7



รูปที่ 2.11 การวัดความสูงของจุดศูนย์ถ่วงแบบ Static

$$h = \frac{(w \times L_R) - (W_F \times L)}{W \tan \alpha} \quad (2.7)$$

งานวิจัยของ Farzaneh et al. (2017) คือ การจำลองการเคลื่อนที่ของของเหลวด้วยการคำนวณจุดศูนย์ถ่วงของยานพาหนะทางการเกษตร โดยงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางทฤษฎีเพื่อคาดการณ์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของเหลว และสามารถคำนวณหาตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงได้โดยใช้วิธีกเพลลาของ ISO 16231-2 : 2015 โดยเมื่อยานพาหนะถูกยกขึ้นของเหลวทั้งหมดจะเปลี่ยนตำแหน่งและเปลี่ยนรูปร่าง ซึ่งส่งผลต่อการคำนวณหาตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วง และทดลองกับรถแทรกเตอร์ที่มีเชื้อเพลิงเต็มถังและมีเชื้อเพลิงเพียงครึ่งถังผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของของเหลวมีผลต่อตำแหน่งความสูงของจุดศูนย์ถ่วง

ในส่วนของการศึกษาตัวแปรในการผลิตและออกแบบที่มีอิทธิพลต่อจุดศูนย์กลางถ่วงของรถโดยสาร (ปิยพรรดิ, 2558) ได้กล่าวไว้ว่าการป้องกันการเกิดอุบัติเหตุพลิกคว่ำสามารถวัดได้จากการทดสอบมุมเอียงสูงสุดบนแท่นเอียงทำมุม 30 องศา ตามประกาศกรมขนส่งทางบกดังแสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่งมุมเอียงสูงสุดของรถโดยสารจะมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วง การสร้างแบบภาพ 3 มิติ และการทดสอบเปรียบเทียบผลจุดศูนย์กลางถ่วงเป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยนี้ โดยสร้างแบบภาพวาดโครงสร้างจำลอง 3 มิติ ของแชสซีโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะใช้ฐานข้อมูล ขนาดน้ำหนัก และจุดศูนย์กลางถ่วงของชิ้นส่วนหลักของแชสซีที่ทำการใส่คุณสมบัติวัสดุ เช่น ชนิดของวัสดุ และความหนาแน่น จากนั้นประกอบชิ้นส่วนทั้งหมดของแชสซีเข้าด้วยกัน คำนวณค่าจุดศูนย์กลางถ่วงของแชสซีดังสมการที่ 2.8-2.10 และมุมเอียงสูงสุดของแชสซี ดังสมการที่ 2.11 และการทดสอบหาค่ามุมเอียงสูงสุดของแชสซีจริงที่ศูนย์ทดสอบกรมการขนส่งทางบกท่าอากาศยาน เพื่อเปรียบเทียบผลมุมมองในการเอียงสูงสุดจากการคำนวณในแบบ CAD ที่สร้างขึ้นกับผลการทดสอบจริงแสดงผลดังตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.12 ผลการทดสอบหามุมเอียงสูงสุดของแชสซีโดยการยกเอียงที่ศูนย์ทดสอบความสามารถในการทรงตัวของกรมการขนส่งทางบกท่าอากาศยาน

$$TotalCG'_x = \frac{\sum_{i=0}^i [(CG'_x)_i \times m'_i]}{\sum_{i=0}^i m'_i} \quad (2.8)$$



$$TotalCG'_y = \frac{\sum_{i=0}^i [(CG'_y)_i \times m'_i]}{\sum_{i=0}^i m'_i} \quad (2.9)$$

$$TotalCG'_z = \frac{\sum_{i=0}^i [(CG'_z)_i \times m'_i]}{\sum_{i=0}^i m'_i} \quad (2.10)$$

โดยที่

$TotalCG'_{x,y,z}$  คือ จุดศูนย์กลางถ่วงรวมของชิ้นส่วนหลักในแกน x, y และ z

$(CG'_x)_i$  คือ จุดศูนย์กลางถ่วงของแต่ละชิ้นส่วนย่อยในแกน x, y และ z

$m'_i$  คือ น้ำหนักของแต่ละชิ้นส่วนย่อยในแกน x, y และ z

$$\theta = \text{tilt angle} - 5 = \tan^{-1}\left(\frac{z}{y}\right) - 5 \quad (2.11)$$

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบผลการทดสอบจริงและผลการคำนวณของมุมมองศาในการเอียงสูงสุดของรถโดยสาร

การคำนวณ	การทดสอบจริง	%ความคลาดเคลื่อน
น้ำหนักรวม 20,189 กิโลกรัม	น้ำหนักรวม 20,050 กิโลกรัม	0.7
มุมเอียงสูงสุด 40.6 องศา	34.5 องศาที่แซสซี 39.5 องศาที่โครงสร้างตัวถัง	15 2.7

ในส่วนของการศึกษานิววิจัยเกี่ยวกับเสถียรภาพการบังคับยานยนต์ (ทรงวุฒิ et al., 2560) ได้นำเสนอทั้งและแนวทางการทดสอบ โดยแนวทางการทดสอบในกรณีของการทดสอบจริงสามารถแบ่งได้เป็น 4 การทดสอบหลัก คือ การทดสอบความเร่งด้านข้าง การทดสอบการโคลง การทดสอบแรงเบรก และการทดสอบจุดศูนย์กลางถ่วงของรถยนต์ ซึ่งการทดสอบเหล่านี้สามารถนำมาใช้วิเคราะห์เสถียรภาพของรถยนต์ในกรณีต่างๆ โดยในการทดสอบจุดศูนย์กลางถ่วงของรถยนต์สามารถทดสอบ 3 กรณี ตามแนวพิกัดฉาก (แนวตั้ง แนวขวาง และแนวยาว) การหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงทั้ง 3 แนวพิกัดฉากนี้สามารถหาได้จากการคำนวณโดยต้องทราบถึงน้ำหนักลงเพลา (Axle load) ระยะฐานล้อ (Wheel base) ระยะห่างระหว่างล้อซ้าย-ขวา (Tracking) และมุมยกของรถ

(Lift angle) อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันมีเครื่องมือที่สามารถหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางได้ทั้ง 3 แนวพิกัดฉาก ที่เรียกว่าเครื่องระนาบพลิกกว่า 2 มิติ ที่ใช้ต้นกำลังเป็นระบบไฮดรอลิกในการพลิกระนาบ

### **โปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการประเมินตำแหน่งจุดศูนย์กลาง**

สำหรับโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการประเมินตำแหน่งจุดศูนย์กลางของรถโดยสารในปัจจุบันนั้นมีทั้งโปรแกรมที่ได้รับการพัฒนาขึ้นจากการทำวิจัยและโปรแกรมเชิงพาณิชย์ที่เป็นเครื่องมือที่สามารถวิเคราะห์ยานพาหนะในสถานะต่างๆได้ ในงานวิจัยนี้ได้รวบรวมโปรแกรมที่มีความเกี่ยวข้องกับการประเมินตำแหน่งจุดศูนย์กลางและการวิเคราะห์สมรรถนะของรถโดยสารมีรายละเอียดดังนี้

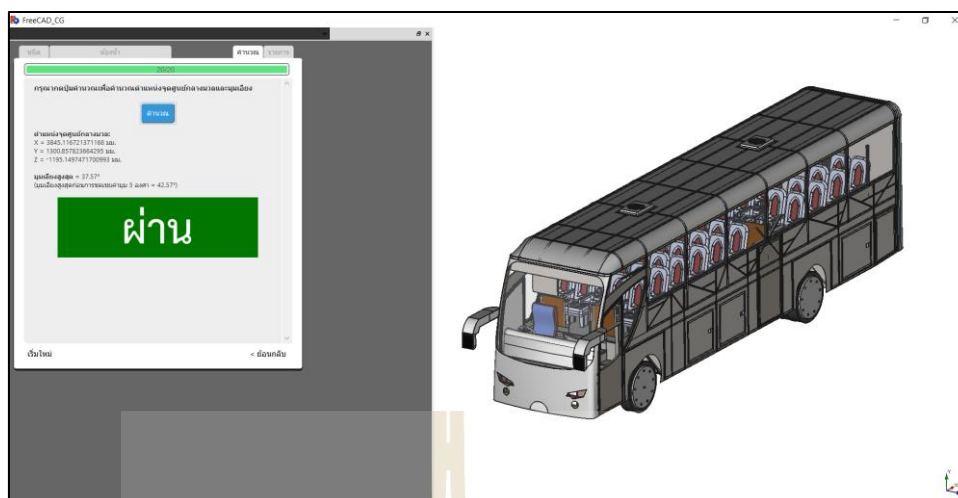
### **โปรแกรม Bus CG Design**

สำหรับโปรแกรม BUS CG ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาเพื่อที่จะสามารถประเมินหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของรถโดยสารและสามารถวิเคราะห์มุมเอียงสูงสุดของรถโดยสารที่อ้างอิงเกณฑ์การทดสอบตามข้อกำหนดของกรมขนส่งทางบก (กองทุนเพื่อความปลอดภัยในการใช้รถใช้ถนน กรมการขนส่งทางบก, 2558) ซึ่งเป็นการพัฒนาร่วมกันระหว่างภาควิชาวิศวกรรมการผลิตและสาขาวิชาระบบซอฟต์แวร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในการทำงานของโปรแกรมจะแบ่งลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. การเลือกชนิดของรถโดยสาร โดยในเบื้องต้นของการเลือกชนิดของรถโดยสารในโปรแกรม *Bus CG Design* ได้กำหนดชนิดของรถโดยสารเป็น 3 ชนิด ได้แก่ (1) รถโดยสารความยาว 12 เมตร แบบ 6 ล้อ (2) รถโดยสารความยาว 12 เมตร แบบ 8 ล้อ และ (3) รถโดยสารความยาว 15 เมตร แบบ 8 ล้อ

2. การเลือกชิ้นส่วนประกอบของรถโดยสารหลังจากที่ทำการเลือกชนิดของรถโดยสารแล้วจะเข้าสู่การเลือกชิ้นส่วนประกอบภายในรถโดยสาร ซึ่งโปรแกรมจะทำการจัดประเภทส่วนประกอบของรถโดยสารเป็น 19 ประเภท และในแต่ละการประเภทจะมีรายละเอียดของส่วนประกอบนั้นซึ่งประกอบได้ด้วย ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของรถโดยสาร รูปภาพ 2 มิติ และ 3 มิติ ผู้ใช้งานจะต้องทำการเลือกรายละเอียดของแต่ละส่วนประกอบทั้ง 19 ประเภทนี้เพื่อให้สามารถคำนวณตำแหน่งจุดศูนย์กลางและวิเคราะห์มุมเอียงสูงสุดที่ใช้ในการเอียงได้ในลำดับถัดไป

3. การคำนวณตำแหน่งจุดศูนย์กลางของรถโดยสาร ในส่วนสุดท้ายของการทำงานโปรแกรม *Bus CG Design* จะเป็นการคำนวณตำแหน่งจุดศูนย์กลางและค่ามุมเอียงสูงสุดของแบบจำลองรถโดยสาร ซึ่งการแบบจำลองที่สร้างมีมุมเอียงมากกว่า 30 องศา ซึ่งถือว่าผ่านเกณฑ์การทดสอบของกรมการขนส่งทางบก โปรแกรมจะแสดงข้อความ “ผ่าน” แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 2.13

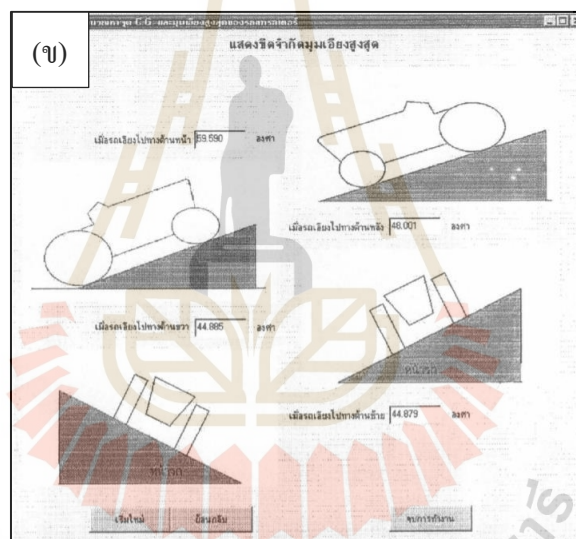
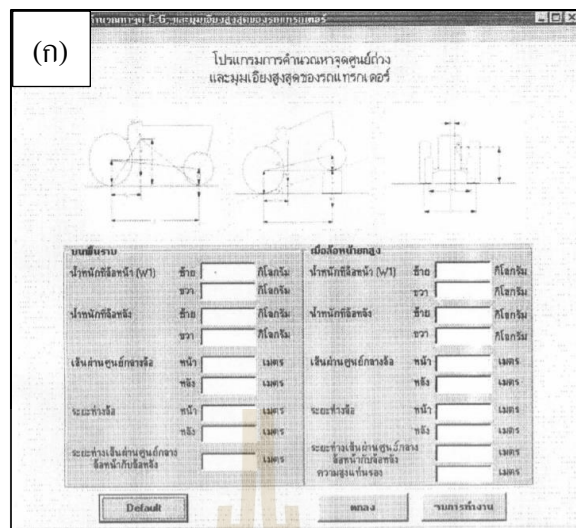


รูปที่ 2.13 การคำนวณตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงและผลการวิเคราะห์หุ้มเอียงสูงสุดของรถโดยสาร

ซึ่ง โปรแกรม Bus CG Design ถูกจำกัดด้วยรายละเอียดของส่วนประกอบ หากผู้ใช้งานมีความต้องการที่จะเพิ่มรายละเอียดของส่วนประกอบใหม่เข้าสู่ฐานข้อมูลของซอฟต์แวร์นี้ ผู้ใช้งานจะต้องสร้างเอกสารที่ประกอบกัน 4 ชุด คือ เอกสารแบบ 3 มิติ เอกสารภาพ 2 มิติ เอกสารข้อมูลเชิงวิศวกรรมและเอกสารแบบ 2 มิติ เพื่อให้โปรแกรมจัดเก็บข้อมูลรายละเอียดส่วนนี้ไว้ใช้ในการคำนวณในครั้งต่อไป

#### โปรแกรมคำนวณหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงและมุมเอียงสูงสุดของรถโดยสาร

การพัฒนาโปรแกรมคำนวณหาตำแหน่งของจุดศูนย์กลางถ่วงและมุมเอียงสูงสุดของรถแทรกเตอร์ (ปริญญาและอภิรักษ์, 2543) เป็นโปรแกรมที่พัฒนาเพื่อการประเมินหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงและมุมเอียงสูงสุดของรถแทรกเตอร์ โดยใช้ Visual Basic version 6.0 เป็นเครื่องมือในการพัฒนา โดยในโปรแกรมนี้จะทำการป้อนข้อมูลที่วัดได้จากรถแทรกเตอร์ที่ทำการทดสอบบนพื้นราบและเมื่อยกล้อหน้า ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ประกอบไปด้วย น้ำหนักกระทำที่ลงหน้า น้ำหนักกระทำที่ล้อหลัง เส้นผ่านศูนย์กลางของล้อ ระยะห่างของล้อและระยะห่างเส้นผ่านศูนย์กลางล้อหน้ากับล้อหลัง ดังแสดงในรูปที่ 2.14 (ก) เพื่อคำนวณหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงโดยใช้หลักการของโมเมนต์และนำไปสู่การวิเคราะห์ความสามารถในการเอียงตัวสูงสุดของรถแทรกเตอร์โดยใช้หลักการตรีโกณมิติ ซึ่งผลของโปรแกรมจากการป้อนข้อมูลดังกล่าวนี้จะแสดงผลของขีดจำกัดมุมเอียงในสถานการณ์ต่างๆ คือเมื่อรถเอียงไปด้านหน้า เมื่อรถเอียงไปด้านหลัง เมื่อรถเอียงไปด้านขวา และเมื่อรถเอียงไปด้านซ้าย ดังแสดงในรูปที่ 2.14 (ข)

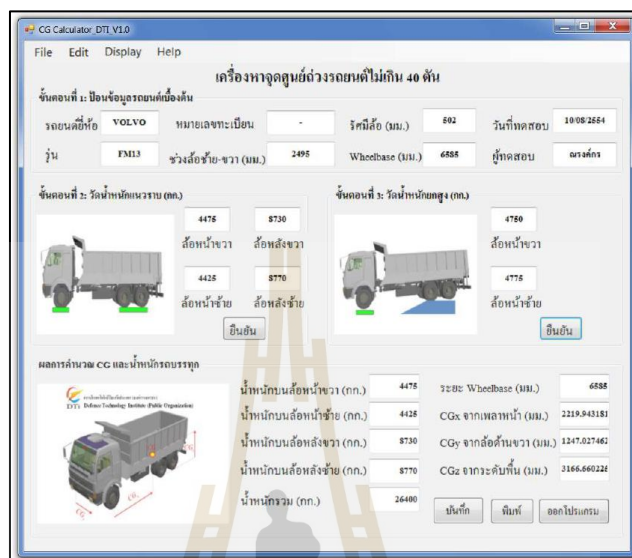


รูปที่ 2.14 โปรแกรมคำนวณหาตำแหน่งของจุดศูนย์กลางถ่วงและมุมเอียงสูงสุดของรถแทรกเตอร์

โดยผลของโปรแกรมที่ได้สามารถลดความยุ่งยากและความซับซ้อนต่าง ๆ อีกทั้งยังสามารถลดเวลาในการคำนวณได้ แต่สำหรับโปรแกรมนี้จะต้องทำการทำสอบรถแทรกเตอร์เพื่อที่จะนำข้อมูลที่จำเป็นในการวิเคราะห์มุมเอียงสูงสุด ซึ่งอาจจะทำให้เสียเวลาในการทดสอบเพิ่มขึ้น

อีกทั้งในวิจัยเรื่องการออกแบบและพัฒนาเครื่องหาจุดศูนย์กลางถ่วงแบบพกพาสำหรับรถยนต์ขนาดไม่เกิน 40 ตัน (ณรงค์กร, 2555) ซึ่งเป็นการออกแบบโดยใช้หัววัดน้ำหนัก โดยมีลำดับการวัดเริ่มจากเพลาท้ายมาเพลาน้ำตามลำดับ แทนหัววัดน้ำหนักจะส่งผลมายังจอแสดงผล แล้วส่งข้อมูล

ให้โปรแกรมคำนวณหาจุดศูนย์กลางถ่วงในแนวแกน x, y, และ z เป็นการทำงานร่วมกับโปรแกรมการหาจุดศูนย์กลางถ่วงซึ่งเขียนโดยโปรแกรม Visual C# ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การป้อนข้อมูลลงในโปรแกรม CG Calculator DTI V1.0

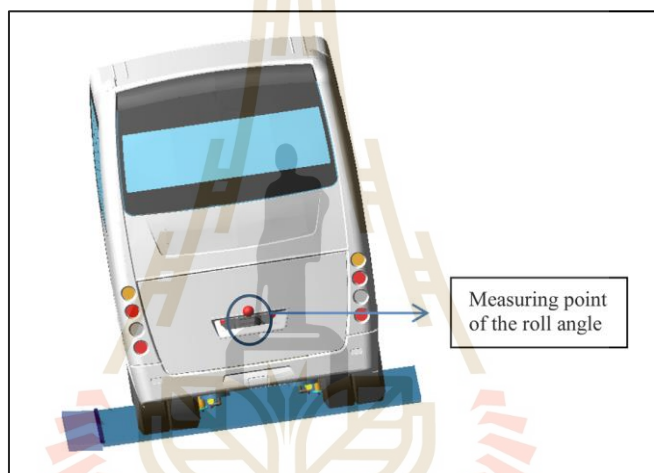
จากการทดสอบเครื่องหาจุดศูนย์กลางถ่วงของรถบรรทุกขนาดไม่เกิน 40 ตันเทียบกับผลคำนวณที่ได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ผลการทดสอบเครื่องหา CG ของรถบรรทุกสี่ล้อขนาดไม่เกิน 40 ตัน

รายละเอียด	คำนวณ	ผล	ผิดพลาด (%)
น้ำหนักบนล้อหน้าซ้าย (กิโลกรัม)	4,450	4,425	0.57
น้ำหนักบนล้อหน้าขวา (กิโลกรัม)	4,450	4,475	0.56
น้ำหนักบนล้อหลังซ้าย (กิโลกรัม)	8,750	8,770	0.23
น้ำหนักบนล้อหลังขวา (กิโลกรัม)	8,750	8,730	0.23
น้ำหนักรวม (กิโลกรัม)	26,400	26,400	0.00
จุดศูนย์กลางถ่วง (มิลลิเมตร)			
- $CG_x$	4,365	4,365	0.00
- $CG_y$	1,225	1,225	0.00
- $CG_z$	3,422	3,422	0.00

ถึงแม้ว่าผลจากข้อมูลในตารางที่ 2.4 จะอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ แต่ยังมีอีก 2 ปัจจัยที่ต้องมีการทดสอบและพัฒนาต่อคือ การทดสอบความถูกต้องของการวัดน้ำหนัก และการตรวจสอบความถูกต้องของจุด CG ซึ่งสามารถตรวจสอบความถูกต้องได้จากโปรแกรม MSC Adams Car

สำหรับโปรแกรม MSC Adams Car คือ โปรแกรมที่มีความสามารถในการช่วยการออกแบบและทดสอบยานยนต์แบบพลวัตได้เสมือนจริง โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้ MSC Adams Car ช่วยในการเปรียบเทียบผลความถูกต้องของของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาโดยใช้รูปแบบของการวิเคราะห์การเอียงตัวของรถ (Tilt Table Test) ซึ่งได้ทำการพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม Adams/Car 2 ส่วน คือ ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงและมุมมองเสาในการเอียงสูงสุด



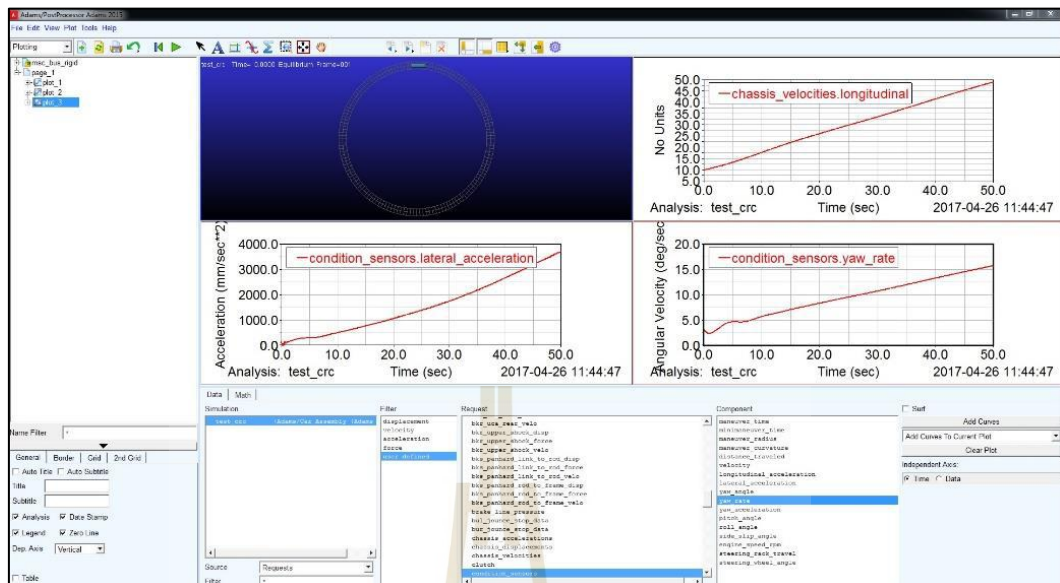
รูปที่ 2.16 โมเดลจำลองการทดสอบการเอียงตัว



รูปที่ 2.17 สื่อด้านหลังฝั่งขวาเริ่มยกตัวออกจากแผ่นเอียงในระหว่างการทดสอบ

ในส่วนของบทความงานวิจัยเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบรองรับและวิเคราะห์ความอ่อนไหวเพื่อปรับปรุงเกียรติภาพรถขนาดกลางที่มีน้ำหนักเบา (Emre Sert, and Pinar Boyraz, 2017) ในบทความนี้ได้นำเสนอวิธีการตรวจสอบอย่างเป็นระบบเกี่ยวกับพฤติกรรมกรรมการพลิกคว่ำแบบสถิตและแบบพลวัต และปรับปรุงเกียรติภาพบนพื้นฐานการเพิ่มความแข็งแกร่งของระบบรองรับ โดยได้ดำเนินการจำลองการพลิกคว่ำของโมเดลรถโดยใช้โปรแกรม Adams Car โดยทดสอบเหล็กกันโคลง 3 วิธี และแหนบรองรับน้ำหนัก 2 วิธี เพื่อทำการวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์ และตรวจสอบผลกระทบของส่วนประกอบต่อสมรรถนะด้านเสถียรภาพ ซึ่งการทดสอบการเอียงตัวของรถนั้นมีจุดประสงค์เพื่อวัดมุมมองของจุดศูนย์กลางถ่วงสุดท้ายก่อนที่รถจะพลิกคว่ำ ดังรูปที่ 2.16 จากผลการเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบการเอียงตัวโดยใช้ Adams Car กับการทดสอบจริงพบว่าการทดสอบโดยใช้ Adams Car มีมุมที่ทำให้ล้อยกออกจากพื้นเอียงที่ 26.2 องศา และการทดสอบจริงเกิดขึ้นที่ 31.6 องศา ในการทดสอบการเอียงของรถนั้นสามารถวัดความเร่งในแนวด้านข้างที่ล้อยกตัวออกจากพื้นเอียง เมื่อทำการทดสอบแล้วพบว่าล้อด้านหลังฝั่งขวาเริ่มยกตัวออกจากแผ่นเอียง ในระหว่างการทดสอบแสดงดังรูปที่ 2.17 มุมของการเอียงนี้แสดงให้เห็นถึงเกณฑ์ที่จะทำให้เกิดการพลิกคว่ำ การเพิ่มมุมเอียงของแผ่นเอียงจะทำให้รถมีโอกาสที่จะพลิกคว่ำในเวลาต่อมา

เอกลักษณ์ พรหมภักดี (เอกลักษณ์, 2560) การวิเคราะห์เสถียรภาพการเลี้ยวโค้งของรถบัสไฟฟ้าประเภทพื้นต่ำด้วยวิธีการจำลองทางพลศาสตร์การเคลื่อนที่แบบมัลติบอดีบน โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ MSC Adams Car โดยได้ทำการศึกษาผลลัพธ์ของความเร็ว ความเร่งด้านข้าง อัตราการเอียง มุมลื่นไถลด้านข้างของรถ มุมลื่นไถลที่ล้อหน้า มุมลื่นไถลที่ล้อหลังจากโปรแกรม Adams/Car ดังแสดงในรูป 2.18 อีกทั้งในงานวิจัยยังได้พิจารณาค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงโดยสารด้วยวิธีการคำนวณของโปรแกรม โดยการเก็บข้อมูลของชิ้นส่วนย่อยต่าง ๆ เพื่อสร้างแบบจำลองโดยโปรแกรม SolidWorks จากนั้นได้กำหนดน้ำหนักของชิ้นส่วนที่สร้างขึ้นมาและสามารถหาค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงได้จากหน้าตาข้อมูลสมบัติน้ำหนัก ซึ่งสามารถดูค่าผลลัพธ์ของตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงตามแนวยาว แนวขวางและแนวตั้งได้ และการทดสอบจากการวัดน้ำหนักที่เพลาล้อหน้าและเพลาล้อหลังของแต่ละล้อด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก DINI ARGEO รุ่น DFWX และทำการประเมินหาค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วง จากผลการทดสอบพบว่าวิธีการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีค่าใกล้เคียงกับวิธีการทดสอบ โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงในแนวพิกัดจาก แนวยาว แนวขวาง และแนวตั้งเท่ากับ 4.55%, 1.02% และ 6.56% ตามลำดับ



รูปที่ 2.18 การแสดงผลลัพธ์ในโปรแกรม Adams/Car

อย่างไรก็ตาม โปรแกรมเชิงพาณิชย์สำเร็จรูปอย่างโปรแกรม Adams/Car ที่สามารถวิเคราะห์ผลการทดสอบในสภาวะพลศาสตร์ได้และแม่นยำ แต่ต้องมีการใช้ทักษะและการทำความเข้าใจในการใช้โปรแกรมเพื่อให้เกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์น้อยที่สุด อีกทั้งโปรแกรม Adams/Car ยังมีความซับซ้อนในการที่จะเลือกพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์รวมถึงการดึงผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ที่มีจำนวนมากที่ต้องทำการดูผลลัพธ์ และมีค่าใช้จ่ายที่สูงในการเลือกใช้งานวิเคราะห์ แต่หากเป็น โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีการพัฒนาเพื่อการศึกษาแล้วจะมีข้อจำกัดในการวิเคราะห์ เช่น ต้องทำการทดสอบเพื่อให้ได้พารามิเตอร์ในการป้อนข้อมูลลงในโปรแกรม ซึ่งในที่นี้รถที่นำมาทดสอบจะเป็นรถที่ผ่านการประกอบมาแล้ว หากต้องการกลับไปแก้ไขก็จะทำให้เสียเวลาในการแก้ไขปรับปรุงและค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น ดังนั้นหากมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถทำการประเมินและการวิเคราะห์สมรรถนะของรถโดยสาร และสามารถแก้ไขปรับปรุงโครงสร้างเพื่อให้เป็นไปตามความต้องการของผู้ประกอบการและตามข้อกำหนดกฎหมายจะทำให้ลดเวลาและค่าใช้จ่ายได้มาก

## 2.7 การใช้ภาษา C-Sharp กับโปรแกรม Visual Studio (ศุภชัย, 2559)

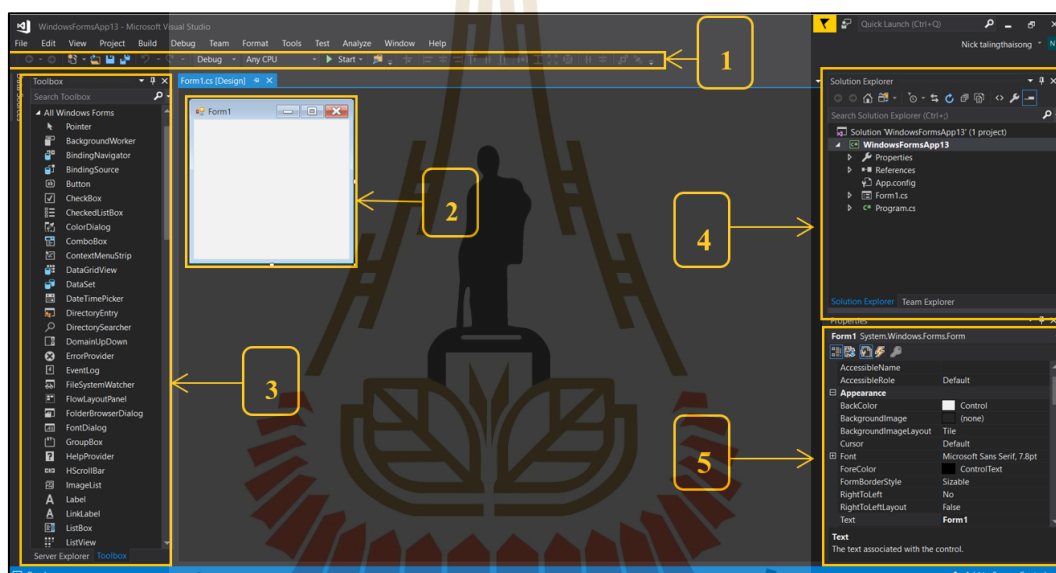
ในการเขียนโปรแกรมจะมีภาษาที่ใช้ในการเขียนมากมาย เช่น C, C++, C#, Java เป็นต้น แต่ละภาษาก็มีการใช้ที่แตกต่างกันไป และมีเครื่องมือที่ช่วยในการเขียนโปรแกรมให้ง่ายขึ้นคือ



Visual Studio ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สร้างขึ้นมาเพื่อรองรับการพัฒนาโปรแกรมได้ 3 ช่องทาง คือ

1. พัฒนาโปรแกรมสำหรับ PC
2. พัฒนาโปรแกรมสำหรับบนเว็บ
3. พัฒนาโปรแกรมสำหรับมือถือและแท็บเล็ต

โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้ได้เลือกใช้ภาษา C# ในการเขียนโปรแกรม และเลือกเป็นการพัฒนาโปรแกรมสำหรับ PC เป็นงานประเภท Windows Forms Application มีลักษณะทางกายภาพดังรูปที่ 2.19 แสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบของโปรแกรม Visual Studio แบบ Windows Forms Application โดยมีส่วนประกอบดังนี้



รูปที่ 2.19 หน้าต่างส่วนประกอบของโปรแกรม Visual Studio

หมายเลข 1 แถบเครื่องมือสำหรับทดสอบโปรเจกต์ปัจจุบัน

หมายเลข 2 ส่วนแสดงผลจำลอง จะสามารถออกแบบส่วนแสดงผลให้กับหน้าจอต่าง ๆ ได้  
 ที่นี้โดยการลากคอนโทรลต่าง ๆ มาวางตามที่ต้องการ

หมายเลข 3 แถบคอนโทรลสำเร็จรูป ทำหน้าที่ในการออกแบบส่วนที่แสดงผล (User Interface เรียกย่อ ๆ ว่า “UI”)

หมายเลข 4 คือ หน้าต่าง Solution Explorer ทำหน้าที่แสดงโครงสร้างส่วนประกอบของโปรเจกต์ที่ทำอยู่ในปัจจุบัน

หมายเลข 5 หน้าต่างคุณสมบัติ (Properties) ทำหน้าที่แสดงคุณสมบัติต่างๆของคอนโทรลที่กำลังถูกใช้งาน สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความต้องการ เช่น การตั้งชื่อคอนโทรล, การเปลี่ยนสี, การเปลี่ยนขนาดของตัวอักษร เป็นต้น

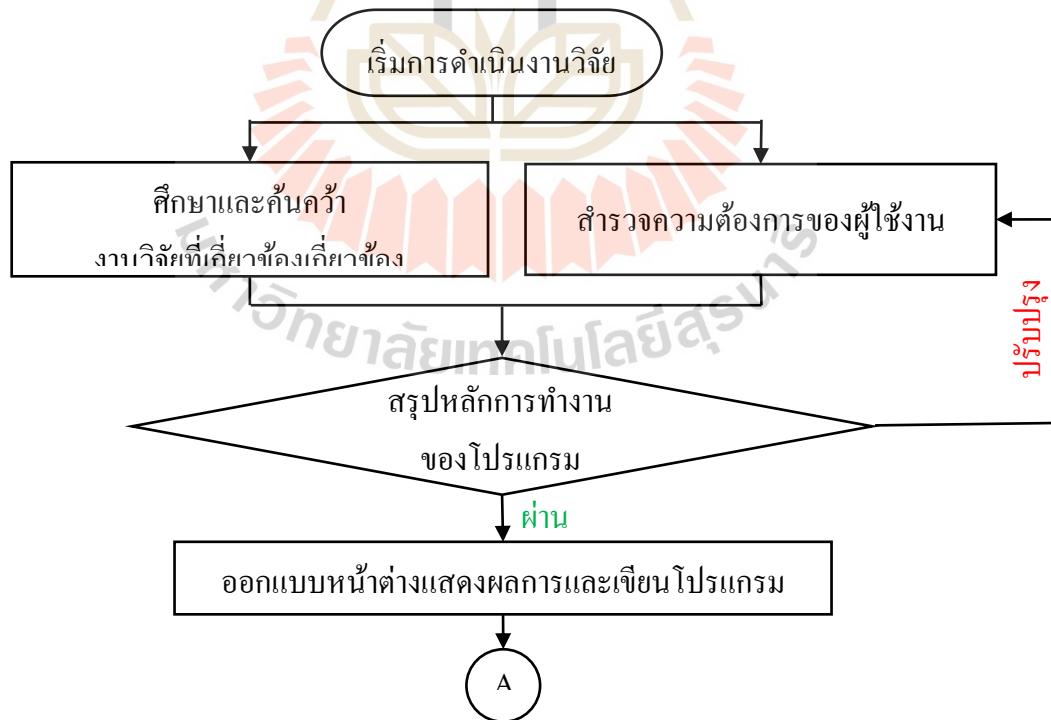
ซึ่งจากงานวิจัยที่และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและสมการที่นำไปสู่การหาดำแหน่งจุดศูนย์กลางของยานพาหนะซึ่งเป็นพื้นฐานของงานวิจัยที่จะต้องนำไปประยุกต์ใช้กับรถโดยสาร และพื้นฐานการเขียนภาษา C-Sharp บน โปรแกรม Visual Studio เพื่อนำไปสู่การประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะใช้ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์และการเก็บข้อมูลภาคสนามในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณหาดำแหน่งจุดศูนย์กลางและความสามารถในการทรงตัว



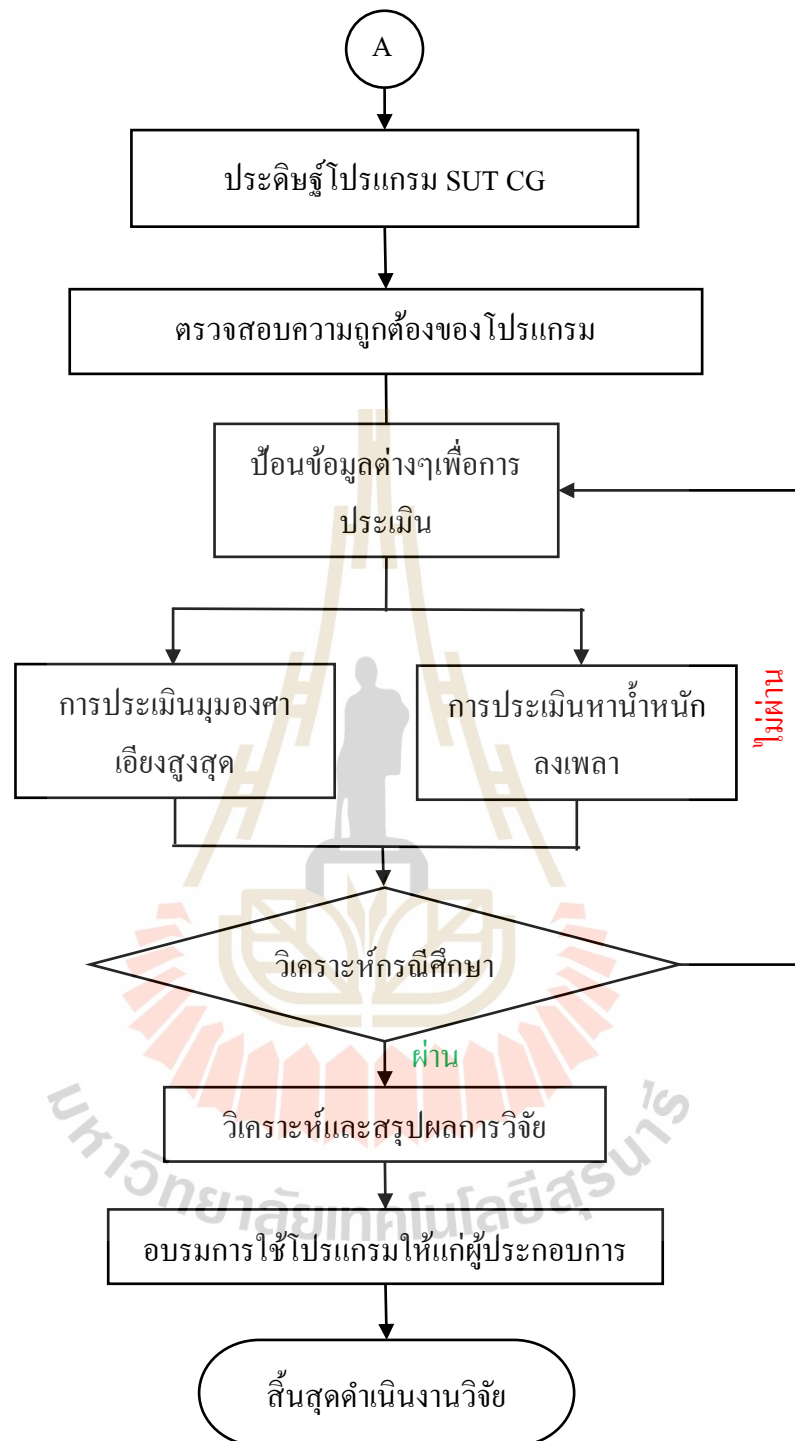
### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีในการศึกษางานวิจัยการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับประเมินตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงรถเพื่อรองรับมาตรฐานด้านความปลอดภัยของรถโดยสารเพื่อรองรับมาตรฐานของกรมขนส่งทางบก โดย Visual studio เป็นเครื่องมือในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และเปรียบเทียบความถูกต้องการทำงาน of โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมา โดยใช้โปรแกรม MSC Adams/Car พร้อมทั้งทดสอบการใช้งานและประเมินการทำงาน of โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนา อีกทั้งยังได้ทำการเผยแพร่และเสนอแนวทางการประเมินความสามารถในการทรงตัวตามหลักวิศวกรรมสำหรับการออกแบบและปรับปรุงโครงสร้างให้กับผู้ประกอบการ ซึ่งคาดว่าจะจะเป็นประโยชน์ในการช่วยการออกแบบต่อผู้ประกอบการในประเทศไทย โดยมีขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัยดังรูปที่ 3.1



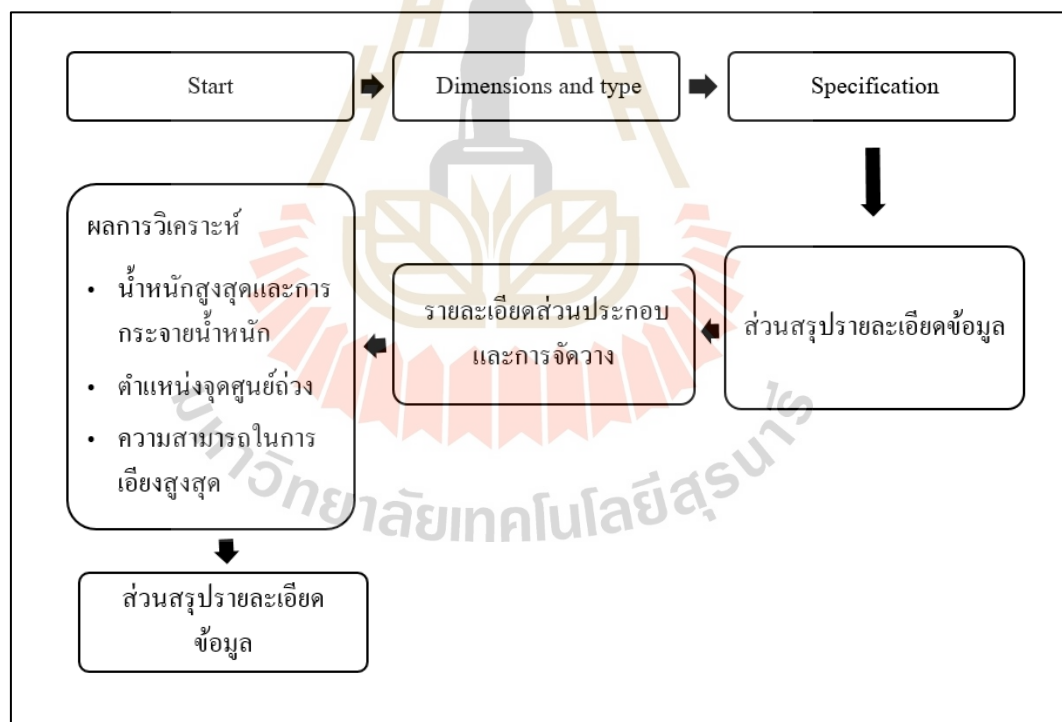
รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน (ต่อ)

### 3.1 การออกแบบการทำงานของโปรแกรม

ในการออกแบบโปรแกรมได้ทำการออกแบบสำรวจความต้องการการใช้ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปสำหรับประเมินตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงรถโดยสารได้แสดงตัวอย่างในภาคผนวก ก.1 โดยมีกลุ่มผู้ทำแบบประเมินคือ ทีมวิศวกรออกแบบและพัฒนาของ บริษัท เชิดชัย ทรัพย์เจริญ จำกัด ซึ่งเป็นผู้ประกอบการรถโดยสารสาธารณะ โดยแบบสำรวจความต้องการมีรายละเอียดที่ประกอบไปด้วย ผู้ทำแบบประเมิน ผลลัพธ์ที่ผู้ประเมินต้องการจากโปรแกรม ข้อมูลที่ท่านคาดว่าจะจำเป็นต่อการวิเคราะห์ผลในโปรแกรม รูปแบบการใช้งานของโปรแกรม รูปแบบการรายงานของการวิเคราะห์โปรแกรม และข้อเสนอแนะ/ความต้องการการใช้งานของโปรแกรม จากนั้นได้ทำการสรุปรูปแบบและหลักการการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ให้มีการป้อนข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการประเมินตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงเพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักและความสามารถในการทรงตัวสูงสุดของรถโดยสาร ซึ่งหลักการทำงานนี้ได้มีการออกแบบดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 สรุปผลของลำดับหลักการดำเนินงานในโปรแกรม

จากรายรูปที่ 3.2 แสดงรายละเอียดของการสรุปผลของลำดับหลักการทำงานในโปรแกรม โดยในแต่ละขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมจะมีรายละเอียดของข้อมูลที่ใช้งานต้องทำการป้อนเข้าไปเพื่อนำไปสู่การประเมินและการวิเคราะห์ผลของโปรแกรม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

### 3.1.1 เริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม (Start)

ในการเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม SUT CG จะต้องมีการลงชื่อเข้าใช้งานทุกครั้งเพื่อเป็นการนำไปสู่การป้อนข้อมูลและการวิเคราะห์ รวมไปถึงในการลงชื่อเข้าใช้จะเป็นการจดจำข้อมูลต่างๆของรถโดยสารและข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ในครั้งที่ผ่านมา

### 3.1.2 ข้อมูลพื้นฐานของรถโดยสาร (Dimensions and type)

ในหน้าต่างของข้อมูลพื้นฐานของรถโดยสารหรือ Dimensions and type ซึ่งจะเป็นการใส่รายละเอียดเบื้องต้นของรถโดยสารที่จะนำมาวิเคราะห์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 3.1.2.1 ชื่อรูปแบบรถโดยสารที่นำมาวิเคราะห์ (Model)

การตั้งชื่อของรถโดยสารที่นำมาวิเคราะห์นี้ช่วยในการเลือกการใส่ข้อมูลต่างๆร่วมไปถึงการวิเคราะห์ หากผู้ใช้งานมีรถโดยสารมากกว่า 1 โมเดลสามารถตั้งชื่อได้ตามโมเดลของรถโดยสารนั้น ๆ และสามารถเลือกการใส่ข้อมูลและการวิเคราะห์ต่าง ๆ ตามชื่อของรถโดยสารตามที่ได้ตั้งชื่อมา

#### 3.1.2.2 ประเภทของรถโดยสาร (Type of bus)

ในการวิเคราะห์รถโดยสารตามโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาจะแบ่งประเภทของรถโดยสาร ซึ่งอ้างอิงตามประกาศกรมขนส่งว่าด้วยเรื่องการตรวจสอบน้ำหนักกรรมสูงสุด และน้ำหนักลงเพลาโดยสามารถแบ่งประเภทของรถโดยสารได้ 3 ประเภท ได้แก่

รถโดยสารชั้นเดียว 2 เพลา : Single Decker Bus [2 Axle]

รถโดยสารชั้นเดียว 3 เพลา : Single Decker Bus [3 Axle]

รถโดยสารสองชั้น 3 เพลา : Double Decker Bus [3 Axle]

#### 3.1.2.3 มิติของตัวรถโดยสาร (Dimension of bus)

การใส่ข้อมูลของมิติหรือขนาดของรถโดยสารนั้นนอกจากจะเป็นข้อมูลพื้นฐานแล้ว ในส่วนของมิติรถโดยสารนี้ยังเป็นตัวกำหนดขอบเขตของการดำเนินการจัดวางอุปกรณ์ที่ใส่เข้ามาในขั้นตอนของการใส่ข้อมูลอุปกรณ์ หากมีการใส่ข้อมูลการจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ที่เกินขอบเขตของตัวมิติรถจะมีการเตือนผู้ใช้งานเพื่อแก้ไขสำหรับข้อผิดพลาดนี้

### 3.1.3 รายละเอียดเฉพาะของรถโดยสาร (Specification)

ในการใส่ข้อมูลต่าง ๆ ซึ่งจะเป็นรายละเอียดของรถโดยสารในแต่ละโมเดลนั้นมีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากในรถโดยสารแต่ละโมเดลนั้นมีการออกแบบที่แตกต่างกัน รวมไปถึง

ถึงตำแหน่งการจัดวางอุปกรณ์ภายในรถโดยสาร ซึ่งจะมีผลต่อน้ำหนักที่กระทำลงเพลาโดยข้อมูลของรายละเอียดเฉพาะนี้จะเป็นข้อมูลที่น่าไปประกอบกับการคำนวณน้ำหนักลงเพลาของรถแต่ละโมเดลในหน้าการวิเคราะห์ โดยแต่ละประเภทรถโดยสารจะมีการคำนวณน้ำหนักเพลาจากโครงสร้างและน้ำหนักลงเพลาจากน้ำหนักของผู้โดยสารที่แตกต่างกันไป โดยข้อมูลของรายละเอียดเฉพาะมีดังนี้

### 3.1.3.1 จำนวนเพลาและจำนวนยางต่อเพลา

ในรถโดยสารแต่ละประเภทที่มีจำนวนเพลาและจำนวนยางต่อเพลาที่แตกต่างกัน จำนวนเพลาและยางเหล่านี้จะมีพิกัดน้ำหนักรวมสูงสุด (GVW) และน้ำหนักลงเพลาตามประกาศผู้อำนวยการทางหลวงที่แตกต่างกันด้วย ซึ่งข้อมูลส่วนนี้ถูกนำไปเป็นเกณฑ์การประเมินของน้ำหนักรวมของรถโดยสาร หากผลการวิเคราะห์เกินข้อกำหนดของพิกัดทางหลวงแล้วจะถือว่าไม่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบน้ำหนักรวมสูงสุดและ โปรแกรม SUT CG ถูกออกแบบให้มีความสามารถในการวิเคราะห์น้ำหนักที่กระทำลงในแต่ละล้อเพื่อช่วยในการออกแบบและการเลือกสมรรถนะของเพลาและยางที่ใช้ในรถโดยสารนั้น

### 3.1.3.2 ระยะต่าง ๆ ภายในรถโดยสาร

สำหรับระยะต่าง ๆ ของรถโดยสารแต่ละประเภทนี้จะมีค่าแตกต่างกันไปตามการออกแบบของแต่ละคัน ข้อมูลสำคัญที่จำเป็นจะต้องใส่ในส่วนนี้เป็นดังตารางที่ 3.1 โดยข้อมูลเหล่านี้จะเป็นตัวแปรหลักที่ใช้ในการตรวจสอบหาน้ำหนักรวมสูงสุดของรถโดยสารและนำไปสู่การตรวจสอบหาน้ำหนักที่กระทำลงในแต่ละล้อ และแสดงผลการวิเคราะห์ในลำดับถัดไป

ตารางที่ 3.1 ระยะต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบรถโดยสาร

ระยะ	คำอธิบาย
Distance B	ระยะช่วงล้อวัดจากศูนย์กลางเพลาล้อหน้าสุดเพลาท้ายหรือกลุ่มเพลาท้าย
Distance T <sub>1</sub>	ระยะพื้นที่โดยสารชั้นล่าง
Distance T <sub>2</sub>	ระยะพื้นที่โดยสารชั้นบน
Distance E <sub>1</sub>	ระยะจากด้านหน้าพื้นที่โดยสารชั้นล่างถึงเพลาคู่ท้าย
Distance E <sub>2</sub>	ระยะจากด้านหน้าพื้นที่โดยสารชั้นบนถึงเพลาคู่ท้าย
Front track	ระยะจุดกึ่งกลางจากล้อซ้ายถึงล้อขวาของเพลาน้ำ
Rear <sub>1</sub> track	ระยะจุดกึ่งกลางจากล้อซ้ายถึงล้อขวาของเพลาท้ายที่ 1
Rear <sub>2</sub> track	ระยะจุดกึ่งกลางจากล้อซ้ายถึงล้อขวาของเพลาท้ายที่ 2

### 3.1.3.3 สมรรถนะของยางและเพลลาที่ใช้ในรถโดยสาร

ในการประกอบยางและเพลลาที่ใช้ในรถโดยสารแต่ละประเภทนี้ผู้ใช้งานจะต้องมีการออกแบบและเลือกเพื่อให้มีความสามารถในการรับน้ำหนักตามโครงสร้างและอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งข้อมูลในส่วนสมรรถนะของยางและเพลลานั้นจะใช้เป็นการประเมินเปรียบเทียบน้ำหนักสูงสุดและพิกัดลงเพลลา หากรถโดยสารที่ออกแบบมานี้มีน้ำหนักรวมสูงสุดและน้ำหนักลงเพลลาที่เกินข้อกำหนดของพิกัดทางหลวงจะถือว่ารถโดยสาร โมเดลนี้ไม่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบ

### 3.1.3.4 จำนวนผู้โดยสาร

จำนวนผู้โดยสารของรถโดยสารแต่ละคันนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณน้ำหนักลงเพลลาในกรณีที่คิดเฉพาะน้ำหนักของผู้โดยสาร ซึ่งในโปรแกรมนี้จะสามารถป้อนข้อมูลของจำนวนผู้โดยสาร โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของจำนวนผู้โดยสารชั้นบน (First floor) สำหรับรถโดยสารทุกประเภท และจำนวนผู้โดยสารชั้นล่าง (Second floor) สำหรับการวิเคราะห์กรณีรถโดยสารสองชั้น ซึ่งโปรแกรมจะกำหนดให้ผู้ใช้งานป้อนข้อมูลของจำนวนผู้โดยสาร โดยที่ให้ผู้โดยสาร 1 คน มีน้ำหนักเท่ากับ 55 กิโลกรัม ตามประกาศของกรมขนส่งทางบก รถโดยสารแต่ละประเภทจะมีการคำนวณน้ำหนักลงเพลลาของผู้โดยสารที่แตกต่างกัน ดังตัวอย่าง ในสมการที่ใช้ในการคำนวณน้ำหนักลงเพลลาของรถโดยสารประเภทที่ 1 ดังสมการที่ 3.1 และ 3.2 และ ใ้ค้ดของสมการที่ใช้ในการสร้างคำสั่งในการเขียนสมการแสดงดังรูปที่ 3.3

$$W_F = \frac{(W_P)(X)}{B} \quad (3.1)$$

$$W_R = W_P - W_F \quad (3.2)$$

โดยที่

$W_F$	คือ น้ำหนักผู้โดยสารลงเพลลาหน้า
$W_R$	คือ น้ำหนักผู้โดยสารลงเพลลาหน้า
$W_P$	คือ น้ำหนักผู้โดยสาร
$X$	คือ ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงในแนวตามยาวของรถโดยสาร
$B$	คือ ระยะจากเพลลาหน้าถึงเพลลาท้าย



```

{
    CGCalcDTO dto = new CGCalcDTO() { Name = "น้ำหนักโดยสาร"};
    if (pModel != 3)
    {
        decimal p = (pPassengers.Sum()) * 55;
        decimal x = pEs.Sum() - (pTs.Sum() / 2);
        dto.FrontAxle = MathHelper.Rounding((p * x) / pB, SHOW_DIGIT);
        dto.Total = p;
    }
}

```

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างโค้ดของสมการที่ใช้ในการสร้างคำสั่งในการเขียนสมการที่ 3.1

### 3.1.4 ส่วนสรุปข้อมูล

จากข้อมูลข้างต้นในหน้า Specification นี้เมื่อผู้ใช้งานมีการใส่ข้อมูลดังกล่าวครบถ้วนแล้วก่อนที่จะนำไปสู่ขั้นตอนการป้อนรายละเอียดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในรถโดยสารนี้ จะมีส่วนของการสรุปผลการใส่ข้อมูลดังที่ผู้ใช้งานได้ใส่ไว้ข้างต้น เพื่อเป็นการทบทวนและตรวจสอบอีกครั้งเพื่อความถูกต้องของการใส่ข้อมูล

### 3.1.5 รายละเอียดส่วนประกอบ อุปกรณ์ และการจัดวาง

ในการออกแบบโครงสร้างรถโดยสารที่มีความสมบูรณ์ในหนึ่งคันจะต้องประกอบไปด้วยโครงสร้างส่วนต่าง ๆ รวมไปถึงอุปกรณ์ที่ติดตั้งในตัวรถโดยสาร ซึ่งนอกจากผู้ออกแบบหรือผู้ใช้งานจะมีการออกแบบรายละเอียดเฉพาะต่าง ๆ ที่เป็นไปตามข้อกำหนดของกรมขนส่งทางบกแล้ว น้ำหนักและตำแหน่งการจัดวางส่วนประกอบต่าง ๆ ก็มีความสำคัญในการประเมินตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงซึ่งจะส่งผลต่อน้ำหนักสูงสุดของรถโดยสาร น้ำหนักลงเพลาก็รวมไปถึงมุมมองในการเอียงสูงสุดได้อีกด้วย ซึ่งในขั้นตอนนี้ผู้ใช้งานจะต้องใส่ข้อมูลของชื่อส่วนประกอบ โดยเบื้องต้นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาได้มีการจัดประเภทตามระบบย่อยต่าง ๆ เป็น 12 ระบบซึ่งได้แก่ โครงสร้างแชสซี, ส่วนประกอบของแชสซี, ที่นั่ง/เก้าอี้, โครงสร้างส่วนหน้า, โครงสร้างด้านซ้าย, โครงสร้างด้านขวา, โครงสร้างส่วนท้าย, โครงสร้างหลังคา, โครงสร้างพื้น, ห้องน้ำ, อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์, และอื่น ๆ หากผู้ใช้งานต้องการที่จะสร้างระบบย่อยหรือทำการจัดกลุ่มของส่วนประเภทของรถโดยสารเองนั้นสามารถเลือกใช้คำสั่ง “อื่น ๆ” เพื่อที่จะสร้างกลุ่มของส่วนประกอบขึ้นมาใหม่

เมื่อผู้ใช้งานเลือกประเภทของระบบย่อยต่าง ๆ แล้วโปรแกรมจะนำไปสู่การป้อนข้อมูลในส่วนของชื่อส่วนประกอบ, น้ำหนักส่วนประกอบและตำแหน่งการจัดวางอุปกรณ์ตามพิกัดตามมาตรฐาน SAE โดยข้อมูลส่วนนี้มีความสำคัญต่อการออกแบบและการประเมินตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของรถโดยสารเป็นอย่างมาก เนื่องจากตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงนี้จะนำไปสู่การคำนวณเพื่อวิเคราะห์ในลำดับถัดไป

### 3.1.6 ผลการวิเคราะห์

ในหน้าต่างการของผลวิเคราะห์นี้จะแสดงผลการวิเคราะห์โดยอ้างอิงจากตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงที่ผู้ใช้งานได้ทำการป้อนข้อมูลของส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในรถโดยสารตามข้อที่ 3.1.5 ในผลการวิเคราะห์จะประกอบไปด้วย

#### 3.1.6.1 น้ำหนักสูงสุดและน้ำหนักลงเพลา

ในส่วนนี้จะแสดงผลของการวิเคราะห์น้ำหนักรวมสูงสุดตามที่ผู้ใช้งานได้ใส่รายละเอียดไว้ในข้อ 3.1.5 และน้ำหนักที่กระทำลงในแต่ละเพลา ซึ่งนำไปสู่การคำนวณให้เห็นถึงน้ำหนักที่กระทำในแต่ละล้อของเพลานั้น อีกทั้งในส่วนนี้จะมีข้อมูลของน้ำหนักรวมสูงสุดของรถโดยสารตามที่กรมการขนส่งทางบกได้ระบุไว้สำหรับรถแต่ละประเภทตามที่ผู้ใช้งานได้ระบุไว้ดังข้อที่ 3.1.3.1 และสมรรถนะของยางและเพลาที่ผู้ใช้งานได้ป้อนไว้ตามข้อที่ 3.1.3.3 เพื่อเป็นการเปรียบเทียบให้เห็นถึงข้อจำกัดในการออกแบบรถโดยสารโมเดลนี้ และในส่วนของน้ำหนักลงเพลาก็จะสามารถแบ่งการคำนวณเป็น 2 ส่วน คือ น้ำหนักโครงสร้างที่กระทำลงเพลา และน้ำหนักผู้โดยสารที่กระทำลงเพลา

#### 3.1.6.2 ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของรถโดยสาร

ข้อมูลส่วนนี้จะถูกนำมาแสดงผลในหน้าการวิเคราะห์เพื่อที่จะแสดงผลลัพธ์ของตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของรถโดยสารที่ประเมินมาได้จากการป้อนข้อมูลตามข้อที่ 3.1.5 พร้อมแสดงรูปภาพประกอบ

#### 3.1.6.3 ความสามารถในการเอียงสูงสุดบนพื้นเอียง

ในการวิเคราะห์มุมมองเสาในกรณีเอียงสูงสุดนี้จะใช้ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงในแนวดิ่งและในแนวขวางของรถโดยสาร โดยที่รถโดยสารที่มีมุมมองเสาในการเอียงสูงสุดที่ต่ำกว่า 30 องศา จะถือว่าไม่ผ่านเกณฑ์การทรงตัว จะต้องมีการแก้ไขตำแหน่งน้ำหนักหรือตำแหน่งการจัดวางอุปกรณ์ใหม่เพื่อให้มีมุมมองเสาในการเอียงสูงสุดมากกว่า 30 องศา จึงจะถือว่าผ่านเกณฑ์การทรงตัวตามประกาศกรมการขนส่งทางบก อีกทั้งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความสามารถในการเอียงสูงสุดบนพื้นเอียงนี้จะมีภาพเคลื่อนไหวประกอบอีกด้วย

### 3.1.7 สรุปผลการวิเคราะห์

ในส่วนท้ายของการทำงานของโปรแกรมนี้จะแสดงผลข้อมูลที่รวบรวมผลรายละเอียดของโครงสร้างตามข้อที่ 3.1.4 และสรุปผลการวิเคราะห์โครงสร้างตามข้อที่ 3.1.6 เพื่อเป็นการสรุปผลการวิเคราะห์โครงสร้างนี้ และสามารถนำข้อมูลของส่วนนี้แนบเป็นเอกสารเพื่อจัดเก็บข้อมูลในส่วนของการวิเคราะห์สำหรับรถโดยสารโมเดลที่ได้ทำการวิเคราะห์มา

### 3.2 การศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ระบบช่วงล่างต่อมุมมองอาการทดสอบทรงตัวของรถโดยสาร

การพัฒนาโปรแกรมเพื่อการประเมินหาตำแหน่งจุดศูนย์กลาง เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์มุมมององศาในการเอียงสูงสุดและน้ำหนักลงเพลของรถโดยสาร จำเป็นต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมา โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของระบบช่วงล่างที่ส่งผลกระทบต่อมุมมององศาการเอียงของรถโดยสารเพื่อใช้โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ยานยนต์ในการตรวจสอบความถูกต้องบนแบบจำลอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 3.2.1. พารามิเตอร์และการออกแบบการทดลอง

ในการทดสอบเพื่อการศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ระบบช่วงล่างต่อมุมมองอาการทดสอบทรงตัวของรถโดยสารนี้ได้พิจารณาพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ 4 ตัว คือ ความแข็งของสปริง, สัมประสิทธิ์ความหน่วง, ค่าความต้านทานแรงบิดของสปริงของเหล็กกันโครง และตัวแปรสมคูลสติติ (SSF) ซึ่งเป็นข้อมูลของรถโดยสารสองชั้นจากทางบริษัท สแกนเนีย สยาม จำกัด และตัวแปรสมคูลสติติของรถโดยสาร 2 ชั้น ในการศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ระบบช่วงล่างที่ส่งผลกระทบต่อมุมมององศาการเอียงนั้นจะใช้ผลของมุมมององศาในการเอียงรถโดยสารจากโปรแกรม MSC Adams car ในการทดสอบการเอียงตัวบนพื้นเอียง โดยทำการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ สำหรับศึกษาปัจจัยที่สองระดับ ( $2^k$  Full factorial Design) ซึ่งจะสามารถสรุปผลของปัจจัยหลักหรือผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหรืออันตรกิริยาในการศึกษานี้ได้ศึกษาพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อมุมมององศาการเอียงเป็นสองระดับทั้ง 4 ตัว จากข้อมูลในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษา

พารามิเตอร์	โมเดล	ด้านหน้า	ด้านหลัง
ความแข็งของสปริง (N·mm)	A	240	240
	B	260	260
สัมประสิทธิ์ความหน่วง (N/ms <sup>-1</sup> )	A	13,872.0	9,156.7
	B	9,995.1	6,935.8
ค่าความต้านทานแรงบิดของสปริงของเหล็กกันโครง (N·mm/deg)	A	7,980,000	
	B	78,200	
SSF	A	0.6	
	B	0.75	

ที่มา : รถโดยสารสองชั้นจากทางบริษัท สแกนเนีย สยาม จำกัด)

3.2.2 ใช้โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ยานยนต์ในการตรวจสอบความถูกต้องแบบจำลองการวิเคราะห์การทรงตัวบนพื้นเอียงในโปรแกรม MSC Adam/Car ในการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป MSC Adams/Car ในการเปรียบเทียบนั้นจะมีขั้นตอนในและรายละเอียดในการวิเคราะห์สำหรับรถโดยสารที่ทำการทดสอบการทรงตัวบนพื้นเอียง โดยมีลำดับขั้นตอนในการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Adams/Car

### 3.2.2.1 การสร้างแบบจำลองในการวิเคราะห์การทรงตัวบนพื้นเอียง

ในการวิเคราะห์การทรงตัวบนพื้นเอียงของโครงสร้างรถโดยสารด้วยโปรแกรม MSC Adams/Car นี้จะเลือกใช้แบบโครงสร้างรถโดยสารสำเร็จรูปจากโปรแกรม โดยแบบจำลองที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์จะอยู่ในกลุ่มของโครงสร้างรถขนาดใหญ่ โดยทำการเลือกรูปแบบของรถโดยสารใน MSC bus rigid ที่ประกอบไปด้วยระบบย่อยต่าง ๆ ของรถโดยสาร ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การเลือกรูปแบบของรถโดยสารใน MSC bus rigid

### 3.2.2.2 การกำหนดพารามิเตอร์

ในการกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อให้แบบจำลองมีรายละเอียดเฉพาะตามรถโดยสารที่ได้นำมาทำการวิเคราะห์ซึ่งได้แก่รถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำและรถโดยสารสองชั้น เพื่อให้โครงสร้างในแบบจำลองของโปรแกรมมีรายละเอียดเฉพาะที่ตรงกัน พารามิเตอร์ที่ต้องทำการเปลี่ยนแปลงนั้นจะประกอบไปด้วย ระยะเวลาล้อ ระยะจุดกึ่งกลางล้อ ตำแหน่งจุดศูนย์กลางน้ำหนักของรถโดยสารและระบบรองรับ โดยในงานวิจัยนี้จะขอยกตัวอย่างการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของรถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำ โดยแสดงรายละเอียดดังนี้

#### 1. การกำหนดระยะเวลาล้อ

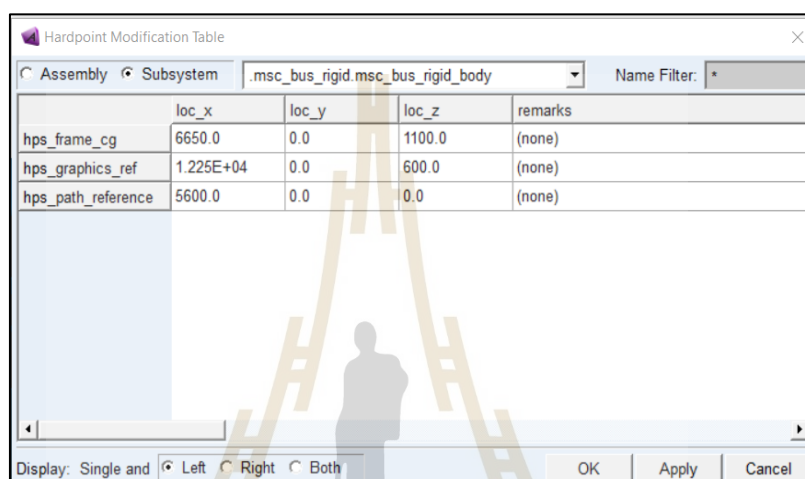
เนื่องจากโมเดลรถโดยสารเริ่มต้นที่จะนำมาวิเคราะห์นั้นมันมีระยะฐานล้อเท่ากับ 5.14 เมตร จึงต้องทำการปรับตำแหน่งของระบบรองรับส่วนท้ายให้มีระยะห่างจากระบบรองรับส่วนหน้า ซึ่งสามารถทำการปรับค่าพารามิเตอร์ที่คำสั่งปรับแต่ง Hard point โดยมีการอ้างอิงจากตำแหน่งจุดศูนย์กลางในแนวยาวของล้อหน้าและล้อหลัง ให้มีระยะเท่ากับ 6.5 เมตร ดังรูปที่ 3.6

Hardpoint Modification Table			
Assembly		Subsystem	
.msc_bus_rigid.msc_bus_rear_suspension			
	loc_x	loc_y	loc_z
hpl_drive_axle_loc	10820.1	-305.73	153.054
hpl_hub_loc	10767	-904.1	158.4
hpl_hub_to_axle	10767	-874.1	158.4
hpl_inside_whl_cntr	10767	-693.447	158.4
hpl_lwr_spring_seat	11129.7	-392.1	45.1
hpl_outside_whl_cntr	10767	-1090.0	158.4
hpl_shock_to_axle	10881.3	-520.3	77.6
hpl_shock_to_frame	10986.6	-512.5	602.1
hpl_trailing_arm_to_axle	10767	-450.0	100.0
hpl_trailing_arm_to_frame	10119.7	-450.0	100.0
hpl_upper_spring_mount	11129.7	-392.1	391.3
hps_center_of_drive_axles	10766.96	0.0	158.41
hps_origin	3361.1	0.0	-600.0
hps_panhard_link_to_rod	10801.1	255.0	500.0
hps_panhard_rod_loc	10798.71	-60.2196	512.99
hps_panhard_rod_to_frame	10801.1	-360.0	515.0

รูปที่ 3.6 การกำหนดระยะเวลาล้อในโปรแกรม Adams/Car

## 2. การกำหนดระยะจุดกึ่งกลางล้อ

ในค่าเริ่มต้นของรถโดยสารจากโปรแกรม MSC Adam/Car นั้นสามารถวัดระยะของจุดกึ่งกลางที่ล้อหน้าได้ 2.08 เมตร และที่ล้อหลังได้ 19.60 เมตร ซึ่งต้องกำหนดให้จุดกึ่งกลางที่ล้อหน้าและล้อหลังให้มีคุณสมบัติเท่ากับรถโดยสารที่ทำการทดสอบ โดยการปรับแต่งตำแหน่งของ Hard point ในแกนขวางของรถโดยสารดังแสดงในรูปที่ 3.7



	loc_x	loc_y	loc_z	remarks
hps_frame_cg	6650.0	0.0	1100.0	(none)
hps_graphics_ref	1.225E+04	0.0	600.0	(none)
hps_path_reference	5600.0	0.0	0.0	(none)

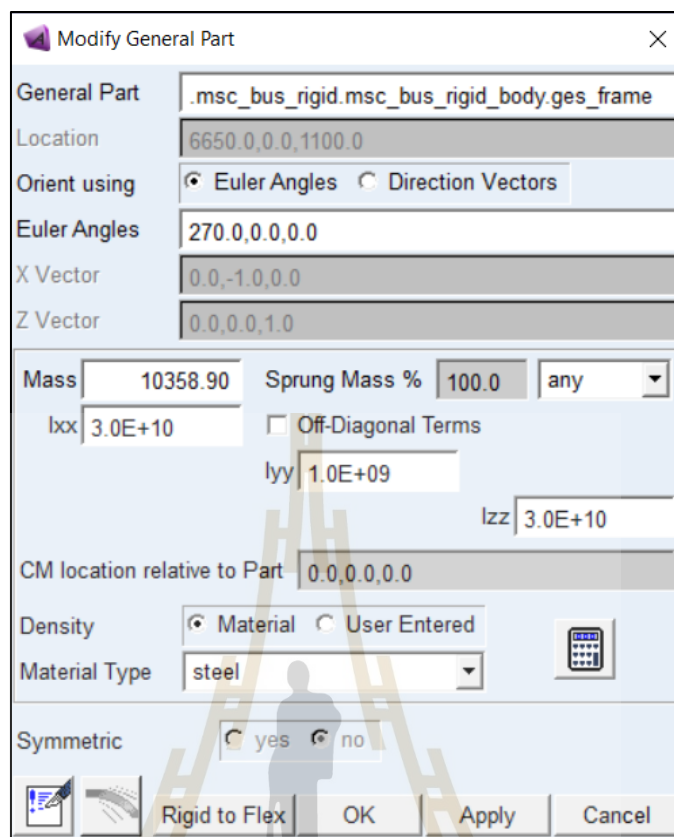
Display: Single and  Left  Right  Both

OK Apply Cancel

รูปที่ 3.7 การเปลี่ยนตำแหน่งจุดศูนย์กลางวงที่ตำแหน่ง Hardpoint ของ Rigid body

## 3. ตำแหน่งจุดศูนย์กลางวงและน้ำหนักของรถโดยสาร

ในการกำหนดตำแหน่งจุดศูนย์กลางวงให้เป็นไปตามข้อมูลของรายละเอียดส่วนประกอบของรถโดยสาร ไฟฟ้าพื้นต่ำนั้นสามารถกำหนดโดยการเปลี่ยนตำแหน่งจุดศูนย์กลางวงที่ตำแหน่ง Hardpoint ของ Rigid body ดังแสดงในรูปที่ 3.8 โดยจะเป็นตำแหน่งของจุดศูนย์กลางวง รวมของรถโดยสาร ไฟฟ้าพื้นต่ำที่ได้ทำการชดเชย ตำแหน่งจุดศูนย์กลางวงของระบบช่วงล่างเดิมของแบบจำลองตั้งต้น เช่นเดียวกันกับน้ำหนักของรถโดยสารสามารถกำหนดให้มีน้ำหนักของระบบย่อยต่าง ๆ ในส่วนของ Rigid body ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ซึ่งได้ทำการชดเชยน้ำหนักของระบบช่วงล่างเช่นเดียวกันกับการชดเชยตำแหน่งจุดศูนย์กลางวง



รูปที่ 3.8 กำหนดให้มีน้ำหนักของระบบย่อยต่าง ๆ ในส่วนของ Rigid body

#### 4. การกำหนดคุณสมบัติของระบบรองรับ

ในแบบจำลองรถโดยสารในโปรแกรม Adam/Car นี้สามารถเปลี่ยนคุณสมบัติของระบบช่วงล่างได้จากการเลือกคุณสมบัติที่ทำการกำหนดค่าไว้แล้วและได้ทำการกำหนดพารามิเตอร์ในการทดสอบการเอียงตัวบนพื้นเอียง

##### 3.2.2.3 กำหนดเงื่อนไขการวิเคราะห์

ในการกำหนดเงื่อนไขการวิเคราะห์แบบจำลองในกรณีทำการวิเคราะห์การทรงตัวบนพื้นเอียงของรถโดยสารได้ทำการกำหนดให้ความเร็วในการเอียงของแผ่นเอียงมีค่าเท่ากับ 0.05 องศาต่อวินาที ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของกรมการขนส่งทางบก

##### 3.2.2.4 การแสดงผลการวิเคราะห์

ในการแสดงผลการวิเคราะห์การทรงตัวบนพื้นเอียงของรถโดยสารนั้นสามารถเลือกดูผลการวิเคราะห์ต่าง ๆ ได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรมที่พัฒนาและโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ ผลลัพธ์การศึกษาจะประกอบไปด้วย

ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของรถโดยสารในแนวตามยาว แนวขวาง และในแนวตั้ง รวมไปถึงมุมสูงสุดที่ใช้ในการเอียงของรถโดยสาร ซึ่งการวิเคราะห์การทรงตัวบนพื้นเอียงของรถโดยสารนี้จะสิ้นสุดการวิเคราะห์เมื่อล้อสุดท้ายของโครงสร้างรถโดยสารเริ่มทำการหลุดจากพื้นเอียง

### 3.3 รูปแบบของรถโดยสารที่ใช้ในการวิเคราะห์

ในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการพัฒนาโปรแกรมเพื่อทำการประเมินตำแหน่งจุดศูนย์กลางของการวิเคราะห์มุมองศาในการเอียงสูงสุดและน้ำหนักลงเพลาของรถโดยสารได้นำแบบจำลองและข้อมูลของน้ำหนักและตำแหน่งการจัดวางส่วนประกอบต่างๆของรถโดยสาร 2 ประเภท มาทำการวิเคราะห์ ได้แก่ รถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำเป็นรถโดยสารชั้นเดียว 2 เพลา เป็นข้อมูลอ้างอิงมาจากงานวิจัยเรื่อง “การวิเคราะห์เสถียรภาพการเลี้ยวโค้งของรถบัสไฟฟ้าประเภทพื้นต่ำด้วยวิธีการจำลองทางพลศาสตร์การเคลื่อนที่แบบมัลติบอดี” และรถโดยสารสองชั้นที่เป็นลักษณะ 3 เพลาอ้างอิงมาจากงานวิจัยเรื่อง “การศึกษาตัวแปรในการผลิตและออกแบบที่มีอิทธิพลต่อจุดศูนย์กลางของรถโดยสาร” ซึ่งรายละเอียดของส่วนประกอบภายในรถโดยสารมีดังนี้

#### 3.3.1 รายละเอียดเฉพาะและรายละเอียดของรถโดยสาร

จากการศึกษาโดยใช้แบบจำลองรถโดยสารทั้งสองประเภทที่ได้นำมาอ้างอิงนั้น เป็นรถโดยสารรถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำและรถโดยสารสองชั้น ซึ่งมีรายละเอียดเฉพาะของรถโดยสารและผลการทดสอบจริงดังแสดงในตารางที่ 3.3 รายละเอียดของแบบจำลองส่วนประกอบย่อยในรถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำและรถโดยสารสองชั้นที่ประกอบไปด้วยน้ำหนักและตำแหน่งการจัดวางส่วนประกอบดังแสดงในตารางที่ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดเฉพาะของรถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำและรถโดยสารสองชั้น

ข้อมูลทางเทคนิค		รายละเอียด	
โมเดลรถ		รถไฟฟ้าพื้นต่ำ	รถโดยสาร ชั้น 2
มิติของรถ (เมตร)		$2.5 \times 12 \times 3.02$	$2.5 \times 12 \times 3.89$
ระยะฐานล้อ (เมตร)		6.5	6.5
ระยะกึ่งกลางยาง (มิลลิเมตร)	เพลาน้ำ	2,096	2,040
	เพลาท้ายที่ 1	1,800	1,810
	เพลาท้ายที่ 2	-	2,040
น้ำหนักรวม (กิโลกรัม)		12,565	20,500
น้ำหนักลงเพลาจริง		น้ำหนักลงเพลา	ทดสอบการทรงตัว



ตารางที่ 3.4 รายละเอียดของส่วนประกอบในรถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำ

ลำดับ	รายการ	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วง (mm)		
			X	Y	Z
1	Chassis structure	890	2,659.18	,1213.4	610.45
2	Front Axle	635	-24.52	1,110.5	539.9
3	Rear Axle	1,270	6,482.87	1,175.02	522.57
4	Steering pack	220	-1,119.11	1,825.11	638.2
5	Cooling pack	120	8,409.6	241.46	837.67
6	Body structure	1,350	3,289.42	1,191.39	1,517.99
7	เก้าอี้	698	3,714.39	1,432.71	1,096.76
8	คอนโซล	220	-2,362.5	1,245.08	1,166.68
9	หุ้มตัวถัง	1,990	4,331.12	1,169.63	699.8
10	กระจก	500	3,156.46	1,200.33	1,783.59
11	Control Unit	220	8,603.72	1,273.37	693.38
12	พัดลมดูดอากาศ	35	3,404.14	1,174.47	2,679.38
13	กระจกมองหลัง	20	-2,486.02	1,175.82	1,908.95
14	ประตูประตูคนขับ	35	-1,626.67	2,413.01	1,057.72
15	ประตูฉุกเฉิน	30	7,969.37	2,392.67	1,418.44
16	ประตูผู้โดยสารหน้า	40	-1,621.37	-65.99	1,040.78
17	ประตูผู้โดยสารกลาง	70	3,170	-64.55	1,031.33
18	Battery pack	2,730	3,530.7	1,089.42	1,828.57
19	Air Condition	360	3,164.01	1,177.7	2,834.88
20	Steering Pump	55	-2,231.26	1,126.84	532.42
21	Air Pump	65	8,983.25	1,934.97	585.45
22	อื่น ๆ	500	4,331.12	1,190	499.5

ตารางที่ 3.5 รายละเอียดของส่วนประกอบในรถโดยสารสองชั้น

ลำดับ	รายการ	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วง (mm)		
			X	Y	Z
1	คัสชี	6864	5719	1128	627
2	โครงสร้างส่วนหน้า	90	-1746	1172	1177
3	ส่วนหุ้มด้านหน้า	168	-1929	1157	1772
4	โครงสร้างด้านข้างขวา	530	4172	2407	1862
5	ส่วนหุ้มด้านข้างขวา	813	3776	2434	1865
6	โครงสร้างด้านข้างซ้าย	527	4165	-49	1858
7	ส่วนหุ้มด้านข้างซ้าย	762	3655	-74	1802
8	โครงสร้างส่วนท้าย	130	9602	1175	2083
9	ส่วนหุ้มด้านท้าย	107	9687	1181	2074
10	โครงสร้างหลังคา	480	4254	1178	3824
11	ส่วนหุ้มหลังคา	497	4192	1180	3813
12	โครงพื้นชั้นบน	517	4385	1229	2229
13	ส่วนหุ้มพื้นชั้นบน	1051	5400	1067	2025
14	โครงพื้นชั้นล่าง	1123	3728	1197	1038
15	หุ้มพื้นชั้นล่าง	5083	4254	1129	1027
16	อุปกรณ์ตกแต่งบริเวณส่วนคนขับ	138	-1540	1533	1503
17	ที่นั่งชั้นบนและชั้นล่าง	729	4586	1186	2770
18	ห้องน้ำ	200	3895	1955	1359
19	ช่องเก็บของ	380	3837	1179	3631

### 3.3.2 การประเมินหาตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงจากแบบจำลองรถโดยสาร

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาโปรแกรมประเมินหาตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของรถโดยสารเพื่อนำไปสู่การคำนวณหาความสามารถในการทรงตัวสูงสุดและน้ำหนักลงเพลาของรถโดยสาร โดยแบ่งลำดับการวิเคราะห์เป็น 2 ส่วน คือ การประเมินหาตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของรถโดยสารและการคำนวณหาความสามารถในการทรงตัวและน้ำหนักลงเพลาของรถโดยสาร มีรายละเอียดและหลักการดังนี้

### 3.3.2.1 การประเมินหาตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของรถโดยสาร

ในการประเมินหาตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของรถโดยสารจะทำการประเมินโดยแยกแกน ซึ่งเริ่มจากนำพหุคูณของระยะจุดศูนย์ถ่วงในแนวแกน X, Y และ Z ของทุกชิ้นส่วนย่อยคูณด้วยน้ำหนักของชิ้นส่วนย่อยนั้นและหารด้วยผลรวมของน้ำหนักของทุกชิ้นส่วนย่อยดังในสมการที่ 3.3-3.5 ตามลำดับ และตัวอย่างโค้ดที่ใช้ในการคำนวณสำหรับการพัฒนาโปรแกรม SUT CG แสดงดังรูปที่ 3.9

$$Total\ CG_X = \frac{\sum_{i=0}^i ((CG_X)_i \times W_i)}{\sum_{i=0}^i W_i} \quad (3.3)$$

$$Total\ CG_Y = \frac{\sum_{i=0}^i ((CG_Y)_i \times W_i)}{\sum_{i=0}^i W_i} \quad (3.4)$$

$$Total\ CG_Z = \frac{\sum_{i=0}^i ((CG_Z)_i \times W_i)}{\sum_{i=0}^i W_i} \quad (3.5)$$

โดยที่	Total CG <sub>X</sub> ,	คือ ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงรวมในแกน X
	Total CG <sub>Y</sub>	คือ ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงรวมในแกน Y
	Total CG <sub>Z</sub>	คือ ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงรวมในแกน Z
	CG <sub>X</sub> ,	คือ ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของส่วนประกอบในแกน X
	CG <sub>Y</sub>	คือ ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของส่วนประกอบในแกน Y
	CG <sub>Z</sub>	คือ ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของส่วนประกอบในแกน Z
	W	คือ น้ำหนักของส่วนประกอบ

```

public void AddTotal()
{
    SubSystemDTO total = new SubSystemDTO();
    total.SubSystemName = "Total";
    for (int i = 0; i < sub_grid.Items.Count; i++)
    {
        SubSystemDTO d = (sub_grid.Items[i] as SubSystemDTO);
        total.Weight += d.Weight;
        total.X += (d.X * d.Weight);
        total.Y += (d.Y * d.Weight);
        total.Z += (d.Z * d.Weight);
        //total.AmountX += d.AmountX;
        //total.AmountY += d.AmountY;
        //total.AmountZ += d.AmountZ;
    }
    if (total.Weight != 0)
    {
        total.X /= total.Weight;
        total.Y /= total.Weight;
        total.Z /= total.Weight;
    }
    sub_grid.Items.Add(total);
}

```

รูปที่ 3.9 ตัวอย่างโค้ดของสมการที่ใช้ในการสร้างคำสั่งในการเขียนสมการที่ 3.5

### 3.3.2.2 การคำนวณหาความสามารถในการทรงตัวและน้ำหนักกลางเพลของรถ

โดยสาร

เมื่อโปรแกรมมีการประเมินหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงรวมของรถโดยสารแล้ว จะสามารถนำไปสู่การคำนวณหาความสามารถในการทรงตัวน้ำหนักกลางเพลของรถโดยสาร โดยมีรายละเอียดการคำนวณดังนี้

#### 1. การคำนวณหาความสามารถในการทรงตัว

ในการจะพลิกคว่ำของรถโดยสารสามารถเกิดจากการเอียงโครงสร้างของรถโดยสาร เมื่อตำแหน่งของจุดศูนย์กลางถ่วงเคลื่อนที่อยู่นอกนอกระยะฐานล้อ รถโดยสารจะเกิดการพลิกคว่ำ จากหลักการนี้จึงหามุมองศาในการเอียงสูงสุดของรถโดยสารได้โดยการนำตำแหน่งความสูงของจุดศูนย์กลางถ่วง (Total  $CG_z$ ) เปรียบเทียบกับฐานของล้อ โดยคำนวณได้ตามสมการที่ 3.6

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{\text{Total } CG_y}{\text{Total } CG_z} \right) \quad (3.6)$$

โดยที่  $\theta$  คือ มุมสูงสุดที่ใช้ในการเอียงตัว

```

{
    public const int SHOW_DIGIT = 2;
    public decimal CalcMaximumTiltAngle(decimal pY, decimal
pZ)
    {
        return MathHelper.Rounding(Convert.ToDecimal
(Math.Atan(Convert.ToDouble(pY / pZ)) * 180 / Math.PI),
SHOW_DIGIT);
    }
}

```

รูปที่ 3.10 ตัวอย่างโค้ดของสมการที่ใช้ในการสร้างคำสั่งในการเขียนสมการที่ 3.6

## 2. น้ำหนักลงเพลลาของรถโดยสาร

ในการคำนวณหาน้ำหนักลงเพลลาในโปรแกรมนี้แบ่งการคำนวณออกเป็น 2 ส่วน คือ การคำนวณน้ำหนักโครงสร้างรถโดยสารกระทำลงเพลลาซึ่งจะเป็นการคิदनน้ำหนักของโครงสร้างและส่วนประกอบของรถโดยสารเท่านั้นแสดงดังสมการที่ 3.7 และ 3.8 และส่วนที่สองคือการคำนวณเฉพาะน้ำหนักผู้โดยสารกระทำลงเพลลาโดยผลการสุดท้ายนี้จะทำการรวมผลของน้ำหนักที่กระทำลงเพลลาทั้งโครงสร้างรถโดยสารและน้ำหนักผู้โดยสาร เพื่อทำการเปรียบเทียบกับสมรรถนะของยางและเพลลา และตามข้อกำหนดของกรมการขนส่งในลำดับถัดไป

$$W_{rear\ axle} = \frac{W_{total} \times CG_x}{Wheel\ base} \quad (3.7)$$

$$W_{front\ axle} = W_{total} - W_{rear\ axle} \quad (3.8)$$

โดยที่	$W_{total}$	คือ น้ำหนักรวมทั้งหมด
	$CG_x$	คือ ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของส่วนประกอบในแกน X
	$W_{rear\ axle}$	คือ น้ำหนักกระทำที่เพลลาท้าย
	$W_{front\ axle}$	คือ น้ำหนักกระทำที่เพลลาหน้า
	Wheel base	คือ ระยะฐานล้อ

### 3.4 การวิเคราะห์กรณีศึกษาแบบจำลองรถโดยสารบนโปรแกรม SUT CG

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม SUT CG ในการวิเคราะห์หาหน้าหนักกระทำลงเพลากระทำในแต่ละล้อและองศาในการเอียงตัวสูงสุดของรถโดยสาร ซึ่งในส่วนนี้ได้ทำการสร้างกรณีศึกษารูปแบบของรถโดยสารให้มีผลการทดสอบที่ไม่ผ่านเกณฑ์ต่าง ๆ เพื่อทำการปรับปรุงโครงสร้างที่แสดงให้เห็นว่าโปรแกรม SUT CG มีการวิเคราะห์ที่เปลี่ยนไป ซึ่งในบทนี้ได้ยกตัวอย่างข้อมูลของกรณีศึกษาที่ 1 ดังตารางที่ 3.6 และแสดงรายละเอียดของกรณีที่ 2 และ 3 ในภาคผนวก ข

ตารางที่ 3.6 รายละเอียดของส่วนประกอบในรถโดยสารกรณีศึกษาที่ 1

ลำดับ	รายการ	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วง (มิลลิเมตร)		
			X	Y	Z
1	คัสชี	7,264	5,486	1,026	1,127
2	โครงสร้างส่วนหน้า	490	-1,933	1,178	1,677
3	ส่วนหุ้มด้านหน้า	568	-2,199	1,167	2,272
4	โครงสร้างด้านข้างขวา	930	3,828	2,404	2,362
5	ส่วนหุ้มด้านข้างขวา	1,213	3,792	2,425	2,365
6	โครงสร้างด้านข้างซ้าย	927	3,838	-46	2,358
7	ส่วนหุ้มด้านข้างซ้าย	1,162	3,415	-64	2,302
8	โครงสร้างส่วนท้าย	530	9,531	1174	2,583
9	ส่วนหุ้มด้านท้าย	507	9,606	1179	2,574
10	โครงสร้างหลังคา	880	4,639	1177	4,500
11	ส่วนหุ้มหลังคา	897	4,591	1179	4,489
12	โครงพื้นชั้นบน	917	4,298	1262	2,829
13	ส่วนหุ้มพื้นชั้นบน	1,451	4,339	1,068	2,625
14	โครงพื้นชั้นล่าง	1,523	3,486	1,163	1,638
15	หุ้มพื้นชั้นล่าง	5,483	5,301	1,159	1,627
16	อุปกรณ์ตกแต่งบริเวณส่วนคนขับ	538	-1,818	1,349	2,003
17	ที่นั่งชั้นบนและชั้นล่าง	1129	4,379	1,145	3,370
18	ห้องน้ำ	600	3,898	1,986	1,859
19	ช่องเก็บของ	780	3,280	1,179	4,231

ในส่วนสุดท้ายของการวิจัยนี้ได้จัดอบรมการถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านการออกแบบและวิเคราะห์เชิงวิศวกรรมแก่บุคลากรที่รับหน้าที่ในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ของบริษัท เซคชัย คอร์ปอเรชั่น จำกัด จังหวัดนครราชสีมา เพื่อนำไปสู่การประยุกต์ใช้ในการออกแบบรถโดยสารได้จริงตามหลักการคำนวณของหลักการทางวิศวกรรม



## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

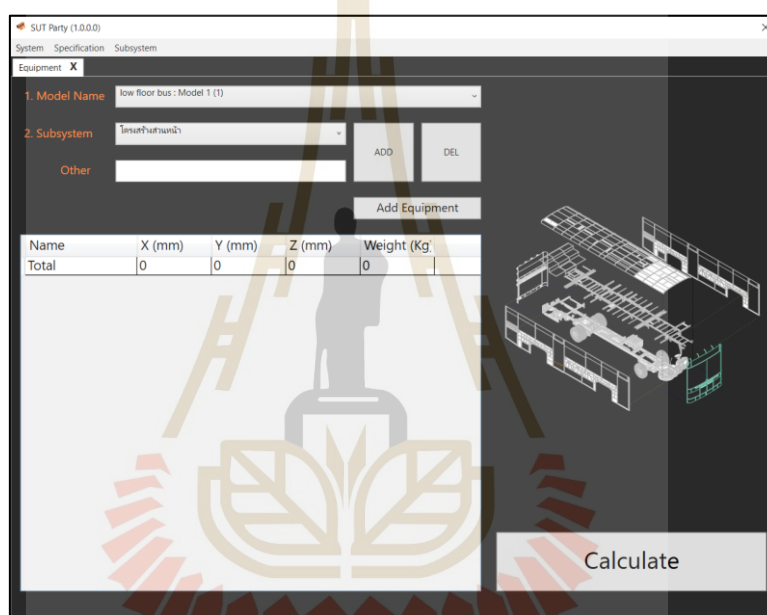
ในบทนี้เป็นการนำเสนอผลงานวิจัยที่ได้จากการพัฒนาโปรแกรม SUT CG ด้วย Visual studio เพื่อการประเมินตำแหน่งจุดศูนย์กลางวงรถ โดยสารและความสามารถในการทรงตัวของรถ โดยสารอ้างอิงตามกรมการขนส่งทางบก โดยผลการศึกษามีผลแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ผลการทำงานของโปรแกรม SUT CG ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงลำดับการทำงานของโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นแล้ว ในส่วนถัดมาคือผลการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม SUT CG เทียบกับโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ยานยนต์เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการทำงานของโปรแกรม SUT CG จากนั้นจะเป็นผลการศึกษากาการใช้งาน โปรแกรม SUT CG โดยใช้รูปแบบของรถโดยสาร 2 ประเภทในการวิเคราะห์ ได้แก่ รถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำและรถโดยสารมาตรฐาน 4 รดโดยสารสองชั้น และในส่วนสุดท้ายนี้คือ ผลการวิเคราะห์ของกรณีศึกษา ซึ่งในส่วนนี้จะแสดงให้เห็นถึงการประยุกต์การใช้โปรแกรม SUT CG ให้เห็นถึงความสามารถในการวิเคราะห์และแสดงให้เห็นถึงผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการปรับปรุงพารามิเตอร์ที่ป้อนลงไป ในโปรแกรมรวมถึงการอบรมการใช้โปรแกรมให้แก่บุคลากรที่รับหน้าที่ในการออกแบบและพัฒนาของบริษัท เชิดชัย คอปเปอร์เรชั่น จำกัด รายละเอียดของผลการศึกษาที่มีดังต่อไปนี้

#### 4.1 ผลการทำงานของโปรแกรม

โปรแกรม SUT CG ได้ถูกออกแบบให้ผู้ใช้งานได้ป้อนข้อมูลรายละเอียดของโครงสร้างรถโดยสารที่ใช้ในการออกแบบเพื่อนำไปสู่การประเมินหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางวงของรถโดยสาร ดังแสดงในภาคผนวก ง โดยที่ข้อมูลที่ถูกป้อนในเบื้องต้นที่ผู้ใช้งานต้องป้อนในโปรแกรมคือ ระยะเวลาต่างๆของรถโดยสารที่ออกแบบไว้ ซึ่งระยะเวลาที่ถูกออกแบบนี้จะมีผลใช้ในการคำนวณเพื่อแสดงในหน้าสรุปผลการวิเคราะห์ และข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่สำคัญของการประเมินหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางวงของรถโดยสารคือ การป้อนข้อมูลของส่วนประกอบต่าง ๆ ของรถโดยสาร ซึ่งสำหรับโปรแกรม SUT CG นี้ได้ทำการจำแนกประเภทของส่วนประกอบของรถโดยสารตามโครงสร้างของรถโดยสารและสามารถป้อนส่วนประกอบย่อยของรถโดยสารเพิ่มเติมได้จากการเลือก “ADD ” เพื่อที่จะให้ผู้ใช้งานสามารถป้อนรายละเอียดย่อยตามที่ทำการออกแบบไว้ โดยที่ในส่วนนี้ได้จัดการป้อนข้อมูลทั้งหมด 3 ส่วน ได้แก่ ชื่อของอุปกรณ์ น้ำหนักของอุปกรณ์ และตำแหน่งการจัดวางของ



อุปกรณ์ ซึ่งในส่วนของการใส่ตำแหน่งของอุปกรณ์ต่าง ๆ นี้จะมีการเตือนหากโครงสร้างของรถโดยสารถูกป้อนข้อมูลที่เกินขนาดของตัวรถโดยสารที่ได้ทำการป้อนข้อมูลไว้ในเบื้องต้น ในรายละเอียดของหน้าต่างการใส่ข้อมูลของส่วนประกอบต่างจะแสดงให้เห็นการคำนวณตำแหน่งจุดศูนย์กลางในแต่ละส่วนประกอบย่อยตามที่ผู้ใช้งานได้เลือกไว้ และจะแสดงตำแหน่งจุดศูนย์กลางวงของรถโดยสารทั้งระบบของรถโดยสารที่บรรทัดสุดท้ายของตาราง เพื่อแสดงให้เห็นถึงผลการประเมินตำแหน่งจุดศูนย์กลางเพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์ในลำดับถัดไป รายละเอียดของหน้าต่างของการใส่ส่วนประกอบย่อยแสดงรายละเอียดดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 หน้าต่างการป้อนรายละเอียดของส่วนประกอบของรถโดยสารในโปรแกรม SUT CG

เมื่อโปรแกรม SUT CG ถูกป้อนข้อมูลของระยะต่าง ๆ ที่ผู้ใช้งานได้ออกแบบและทำการป้อนข้อมูลแล้ว อีกทั้งผู้ใช้งานได้ทำการป้อนข้อมูลของส่วนประกอบต่าง ๆ แล้ว ผู้ใช้งานจะต้องเลือกปุ่ม “SAVE” เพื่อทำการบันทึกข้อมูลที่ได้ทำการป้อนมาเพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์ โดยโปรแกรม SUT CG ได้ทำการออกแบบให้มีการแสดงผลการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ผลการวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักของรถโดยสารในแต่ละเพลลา ผลการประเมินหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของรถโดยสารและความสามารถในการทรงตัวสูงสุดของรถโดยสารแสดงรายละเอียดดังรูปที่ 4.2 ซึ่งในส่วนของผลการวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักลงเพลลาจะประกอบไปด้วย น้ำหนักรวมของรถโดยสาร น้ำหนักกระทำลงเพลลาของรถโดยสารในแต่ละเพลลา อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึง

น้ำหนักที่กระทำลงล้อในแต่ละเพลานั้นอีกด้วย เพื่อเป็นช่วยในการออกแบบและการวิเคราะห์ โปรแกรม SUT CG ได้ทำการแสดงผลของน้ำหนักต่าง ๆ ที่เป็นไปตามข้อกำหนดของกรมขนส่งทางบกและตาม que ผู้ใช้งาน ได้ทำการออกแบบไว้ในส่วนนี้จะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์และผลที่ได้ใส่รายละเอียดเบื้องต้น เพื่อช่วยในการตัดสินใจในการเลือกใช้ยางและเพลานในสมรรถนะต่าง ๆ ของผู้ใช้งานหากมีผลการวิเคราะห์ที่ไม่เหมาะสม ในลำดับถัดมาคือส่วนของผลการประเมินตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วง ซึ่งในส่วนนี้ได้นำผลการประเมินตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงข้างต้นมาแสดงเพื่อประกอบในเห็นถึงที่มาของการวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักและความสามารถในการทรงตัวสูงสุดของรถโดยสาร

The screenshot shows the SUT CG (1.0.0.0) software interface. The main window is titled "SUT CG (1.0.0.0)" and has tabs for "System", "Specification", and "Subsystem". The "CG Calculate" tab is active. The interface is divided into three main sections:

- 1. GVW and weight distribution:** This section contains a table for inputting weights and capacities. It includes fields for "GVW", "Max capacity", "Front axle", "Front tire", "Rear 1 axle", "Rear 1 tire", "Rear 2 axle", and "Rear 2 tire". Each field has a unit of "kg". There are also checkboxes for "Left" and "Right" for each axle/tire. A "Maximum Capacity of rear axle" field is also present.
- 2. Position center of gravity:** This section contains three input fields for "X coordinate", "Y coordinate", and "Z coordinate", each with a unit of "mm".
- 3. Tilt table test:** This section contains a "Maximum title angle" input field.

A watermark of a university logo is visible in the background of the screenshot. A red box highlights the "Maximum title angle" field, with the Thai word "ผ่าน" (Pass) written next to it. A "Print" button is located at the bottom right of the interface.

รูปที่ 4.2 หน้าต่างแสดงผลการวิเคราะห์ในโปรแกรม SUT CG

ในส่วนสุดท้ายคือผลการวิเคราะห์ความสามารถในการทรงตัวของรถโดยสาร ซึ่งจะเป็นผลการวิเคราะห์ที่ได้จากสมการที่ 3.6 เป็นการแสดงผลมุมมองเสาสูงสุดที่รถโดยสารที่ผู้ใช้งานได้ทำการออกแบบไว้ทรงตัวบนพื้นเอียง ซึ่งหากมุมมองเสาในการเอียงสูงสุดของรถโดยสารมีค่าน้อยกว่า 30 องศา ผลการวิเคราะห์จะแสดงว่าไม่ผ่านเกณฑ์การทรงตัวตามข้อกำหนดของกรมขนส่งทางบก que ผู้ใช้งานสามารถกลับไปแก้ไขข้อมูลของส่วนประกอบต่าง ๆ เพื่อทำการวิเคราะห์ใหม่อีกครั้งได้ และหากมุมมองเสาสูงสุดในการเอียงมากกว่า 30 องศา จะถือว่าผ่านเกณฑ์การทรงตัวตามข้อกำหนดของกรมขนส่งทางบก และเมื่อสิ้นสุดการวิเคราะห์ผู้ใช้งานสามารถนำผลการวิเคราะห์

ต่าง ๆ แสดงเป็นส่วนรายงานสรุปผลการวิเคราะห์ (Printout) โดยทำการนำผลรายงานการวิเคราะห์ที่เป็น PDF เพื่อแสดงข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบเบื้องต้น รวมไปถึงการเลือกใช้สมรรถนะของเพลลาและยางในการเปรียบเทียบน้ำหนักที่กระจายลงไปในแต่ละเพลลา โดยจะแสดงในลักษณะของผลการตรวจสอบตามเกณฑ์การตรวจสอบน้ำหนักรวมสูงสุดและน้ำหนักลงเพลลา อีกทั้งยังแสดงผลการตรวจสอบของความสามารถในการทรงตัวสูงสุดของรถโดยสารที่ได้ทำการวิเคราะห์ อีกหนึ่งส่วนที่สำคัญและอ้างอิงตามรูปแบบของกรรมการขนส่งทางบก คือการแสดงผลการคำนวณน้ำหนักลงเพลลาที่พิจารณาผู้โดยสาร ซึ่งในส่วนของรายงานการวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงรายละเอียดดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 รายงานสรุปผลการวิเคราะห์ใน โปรแกรม SUT CG

## 4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ยานยนต์

### 4.2.1 อิทธิพลของพารามิเตอร์ระบบช่วงล่างต่อมุมมองการทดสอบทรงตัวของรถโดยสาร

ในการศึกษานี้ได้ศึกษาพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อมุมมองการเอียงเป็นสองระดับทั้ง 4 ซึ่งได้แก่ ค่าความแข็งของสปริง, แรงกระทำต่อความหน่วง, ค่าความต้านทานแรงบิดของสปริงของเหล็กกันโครง และตัวแปรสมคูลสติต โดยใช้เป็นข้อมูลของรถโดยสารสองโดยทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อมุมมองการเอียงของรถโดยสารทำให้มีการทดลองและผลที่ได้จากการทดสอบการเอียงตัวบนพื้นเอียงของรถโดยสารทั้งหมด

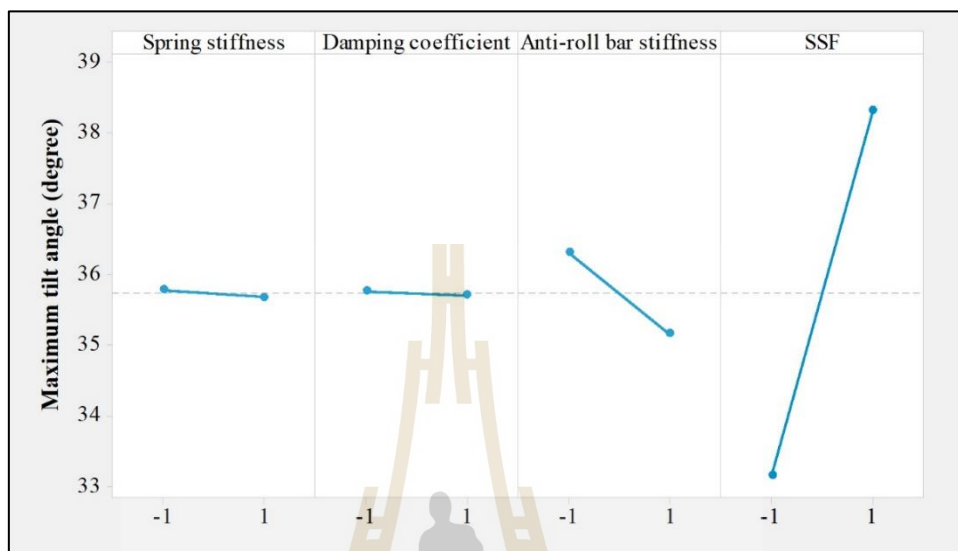
16 การทดลองการทดลอง โดยกำหนดให้ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองมีค่าแทนค่าด้วย +1 และ -1 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การทดลองผลการทดสอบการเอียงตัวบนพื้นเอียงของรถโดยสาร

Case	Spring	Damp	Torsion	SSF	Maximum Angle
1	-1	-1	-1	-1	34.3
2	+1	-1	-1	-1	34.2
3	-1	+1	-1	-1	33.2
4	+1	+1	-1	-1	33.8
5	-1	-1	+1	-1	33.2
6	+1	-1	+1	-1	31.9
7	-1	+1	+1	-1	32.2
8	+1	+1	+1	-1	32.4
9	-1	-1	-1	+1	38.5
10	+1	-1	-1	+1	38.1
11	-1	+1	-1	+1	38.9
12	+1	+1	-1	+1	39.6
13	-1	-1	+1	+1	38.3
14	+1	-1	+1	+1	37.7
15	-1	+1	+1	+1	37.9
16	+1	+1	+1	+1	38.2

จากตารางที่ 4.1 ซึ่งได้นำค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของพารามิเตอร์ทั้ง 4 ตัวที่ได้จากรถโดยสาร 2 คัน มาทำการทดลองในรูปแบบแฟลททอเรียลเต็มรูปแบบ สำหรับศึกษาปัจจัยที่สองระดับ การออกแบบการทดลองของการศึกษานี้จึงมีการทำการทดลองทั้งหมด 16 การทดลอง จะสังเกตเห็นได้ว่าในกรณีที่ใช้ค่า SSF สูงสุดทั้ง 8 กรณี (กรณี 9-16) นั้นจะให้ผลของมุมมองสายในการเอียงสูงสุดที่มีแนวโน้มค่อนข้างจะสูงซึ่งค่ามุมมองสายการเอียงตัวของรถโครงสร้างที่มีค่าสูงที่สุดอยู่ในกรณี 12 มีค่าเป็น 39.6 องศา และในการทดลองที่ใช้ค่า SSF ต่ำนั้นจะมีแนวโน้มของมุมมองสายสูงสุดในการเอียงที่ค่อนข้างจะต่ำทั้ง 8 กรณี (กรณี 1-8) เมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้ค่า SSF สูงสุด จึงทำ

ให้ค่ามุมมองสามีก้านน้อยที่สุดการเอียงตัวของรถ โครงสร้างที่อยู่ในกรณีที่ 6 ซึ่งมีค่า 31.9 องศา จากตารางนี้จะกล่าวได้ว่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อมุมมองเสาการเอียงมากที่สุดคือค่า SSF



รูปที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองทั้งสองระดับของปัจจัย

จากการศึกษานี้สามารถอภิปรายพารามิเตอร์หลักที่ส่งผลกระทบต่อมุมมองเสาการเอียงได้จากความชันของกราฟ Main effects plots of Maximum tilt angle ดังรูปที่ 4.4 แสดงค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองทั้งสองระดับของปัจจัย ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าตัวแปรสมคูลสถิติมีลักษณะกราฟที่ชันมากที่สุดและมีทิศทางของกราฟในเชิงบวกซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลของการทดลองที่มีค่า SSF สูงจะส่งผลให้มีมุมมองเสาการเอียงที่สูงสุดที่มีค่าสูงขึ้น ในทำนองเดียวกันกับค่าความต้านทานแรงบิดของสปริงของเหล็กกันโครงของมีความชันที่มากเป็นลำดับถัดมาแต่มีลักษณะของกราฟความชันที่เป็นลบแสดงให้เห็นว่าผลการทดลองที่มีค่าความต้านทานแรงบิดของสปริงของเหล็กกันโครงที่ต่ำจะส่งผลให้มีมุมมองเสาการเอียงตัวสูงสุดที่สูงขึ้น ซึ่งมากกว่าความแข็งของสปริงและอัตราส่วนความหน่วงสามารถอภิปรายได้กราฟที่มีความชันมากแสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์นั้นส่งผลกระทบต่อมุมมองเสาการเอียงมากเช่นเดียวกัน

#### 4.2.2 การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมโดยรูปแบบของรถโดยสารไฟฟ้าพื้นที่ต่ำและรถโดยสารสองชั้น

ในการประเมินความถูกต้องของโปรแกรม SUT CG ด้วยโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ MSC Adams/Car ได้ทำการแบ่งการวิเคราะห์โครงสร้างรถโดยสารออกเป็น

2 รูปแบบ คือ รถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำและรถโดยสารสองชั้น โดยทำการกำหนดพารามิเตอร์ตามรูปแบบของรถโดยสารนั้นและใช้รูปแบบการวิเคราะห์การทรงตัวบนพื้นเอียง เพื่อที่จะดูผลการวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรม Adams/Car โดยผลลัพธ์ที่ได้ทำการเลือกดูนั้นประกอบไปด้วยตำแหน่งของจุดศูนย์กลางถ่วงของรถโดยสารก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ (วินาทีที่ 0) และมุมมองเสาการเอียงสูงสุดของรถโดยสาร โดยมุมมองเสาการเอียงสูงสุดที่ได้จากโปรแกรม Adams/Car จะเป็นมุมในวินาทีที่ล้อยุดท้ายของรถโดยสารเริ่มมีการเคลื่อนที่ออกจากแผ่นเอียง จากตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างรถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำและรถโดยสารสองชั้น

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โครงสร้างรถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำและรถโดยสาร 2 ชั้นของโปรแกรม SUT CG และโปรแกรม Adams/Car

โมเดลรถ	ผลการทดสอบ		โปรแกรม SUT CG	Adams/Car	%Error
รถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำ	มุมมองเอียง (องศา)		45.48	45.73	0.55
	ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วง (มิลลิเมตร)	X	3630.97	3635.28	0.12
		Y	1177.52	1191.93	1.22
		Z	1157.73	1150.23	0.65
รถโดยสารสองชั้น	มุมมองเอียง		40.57	40.81	0.59
	ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วง (มิลลิเมตร)	X	4683.99	4779.85	2.05
		Y	1159.08	1205.66	4.02
		Z	1353.75	1347.82	0.44

จากข้อมูลนี้พบว่าในผลการวิเคราะห์รถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำจากโปรแกรม SUT CG มีค่ามากกว่าโปรแกรม Adams/Car อยู่ประมาณ 7.5 มิลลิเมตร โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์มากที่สุดที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงในแนวขวางของรถโดยสารอยู่ที่ 1.22% และเกิดเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงในแนวตามยาวของรถโดยสารที่ 0.12% และเมื่อพิจารณามุมมองเสาการเอียงสูงสุดของรถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำนี้ จะเห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Adams/Car มีค่ามีมุมเอียงมากกว่า 0.65 องศา หรือคิดเป็น 0.55% ความคลาดเคลื่อนจากผลการวิเคราะห์นี้สามารถอภิปรายได้ว่า ในการพิจารณาผลการวิเคราะห์ในลำดับถัดมาคือ ผลของโครงสร้างรถโดยสารสองชั้น จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าในการวิเคราะห์ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงของรถโดยสารมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูงสุดเกิดในส่วน of ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงในแนวขวางของรถโดยสารอยู่ที่ 4.20% โดยที่โปรแกรม Adams/Car มีตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงในแนวขวางมากกว่าประมาณ 46 มิลลิเมตร จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าว

สามารถอธิบายได้ว่าค่าความคาดเคลื่อนระหว่างโปรแกรม SUT CG และ MSC Adams/Car นั้น เนื่องจากโปรแกรม MSC Adams/Car เป็นโปรแกรมที่วิเคราะห์กลไกหรือชิ้นส่วนที่เกิดขึ้นการเคลื่อนที่ (Multibody Dynamics) และมีการพิจารณาลักษณะของมวลที่มี Interaction ระหว่างกัน รวมไปถึงในระหว่างการวิเคราะห์นั้นมีการพิจารณาอิทธิพลของระบบช่วงล่างที่เกิดการยุบตัว ความเฉื่อยและความเร็วในการวิเคราะห์ แต่ในโปรแกรม SUT CG เป็นการวิเคราะห์ที่พิจารณาโครงสร้างในรูปแบบวัตถุแข็งเกร็ง ซึ่งหลักการคิดที่แตกต่างกันส่งผลให้เกิดค่าความคาดเคลื่อนของทั้ง 2 โปรแกรม

### 4.3 ผลการศึกษาการใช้งานโปรแกรม SUT CG

ในการศึกษาการใช้งานของโปรแกรม SUT CG โดยการป้อนข้อมูลการระยะที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างของรถโดยสารและข้อมูลของส่วนประกอบต่างๆรถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำและรถโดยสารสองชั้นดังตารางที่ 3.4 และ 3.5 นำไปสู่การประเมินตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงของรถโดยสาร การวิเคราะห์น้ำหนักกระทำลงเพลลาและความสามารถในการทรงตัวสูงสุดของรถโดยสาร ดังแสดงในรูปที่ 4.5 เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดของกมการขนส่งทางบกและเป็นไปตามสมรรถนะของยางและเพลลาตามที่ได้ออกแบบไว้ มีรายละเอียดดังนี้

**1. GWV and weight distribution**

GWV		Capacity			
12053	kg	Max capacity*	kg		
Front	5320.06	kg	Front axle	8500	kg
	2988.77	kg	Front tire	3100	kg
			Left	Right	
Rear 1	6732.94	kg	Rear1 axle	13000	kg
	3886.35	kg	Rear1 tire	3100	kg
			Left	Right	
Rear 2	-	kg	Rear2 axle	-	kg
			Rear2 tire		kg
			Left	Right	
			Maximum Capacity of rear axle	9100	kg

**2. Position center of gravity**

X coordinate	3630.97	mm
Y coordinate	1177.52	mm
Z coordinate	1157.73	mm

**3. Tilt table test**

3D model of a vehicle on a 15° incline. Maximum title angle: 45.49. Status: ผ่าน

\*Data reference from Department of Land Transport

รูปที่ 4.5 หน้าต่างผลการวิเคราะห์รถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำจากโปรแกรม SUT CG

#### 4.3.1 รถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม SUT CG ในการประเมินตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของรถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำโดยเทียบตำแหน่งที่อ้างอิงตามหลักการวิศวกรรมยานยนต์ได้ค่าตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงดังนี้

ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงตามแนวยาว (แกน X) เท่ากับ 3630.97 มิลลิเมตร

ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงตามแนวขวาง (แกน Y) เท่ากับ 1,177.52 มิลลิเมตร

ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงตามแนวตั้ง (แกน Z) เท่ากับ 1,157.73 มิลลิเมตร

และจากการประเมินตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของรถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำเพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์น้ำหนักที่กระทำลงเพลาน้ำหนักท้ายของแต่ละล้อ และการวิเคราะห์ความสามารถสูงสุดในการทรงตัวของรถโดยสารในโปรแกรม SUT CG โดยได้ทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบการวัดน้ำหนักที่กระทำในแต่ละล้อใช้ในการเปรียบเทียบผลของน้ำหนักที่กระทำลงในแต่ละล้อที่ได้จากโปรแกรม SUT CG ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลของน้ำหนักรวมสูงสุดและน้ำหนักลงเพลารถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำในการทดสอบจริงและโปรแกรมที่พัฒนา

รูปแบบการทดสอบ	ผลการทดสอบ						
	น้ำหนักรวมสูงสุด (กิโลกรัม)	น้ำหนักลงเพลาน้ำหนัก			น้ำหนักลงเพลาน้ำหนักท้าย		
		ซ้าย	ขวา	รวม	ซ้าย	ขวา	รวม
ทดสอบจริง*	12,565	2,870	2,905	5,775	3,120	3,670	6,790
โปรแกรม SUT CG	12,053	2,331	2,989	5,320	2,847	3,886	6,733
% Error	4.07	18.78	2.89	7.87	8.75	5.88	0.84

\*(เอกลักษณ์, 2560)

#### 4.3.2 รถโดยสารสองชั้น

ในการศึกษาการใช้โปรแกรม SUT CG โดยการใช้ข้อมูลของรถโดยสารสองชั้นดังตารางที่ 4.4 โดยโปรแกรมได้ทำการประเมินตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของรถโดยสาร น้ำหนักที่กระทำในแต่ละล้อของเพลาน้ำหนักและเพลาน้ำหนักท้าย รวมไปถึงถึงความสามารถในการทรงตัวของรถโดยสาร โดยในกรณีของรถโดยสารสองชั้นจะมีการนำผลการทดสอบจริงของการทรงตัวของรถโดยสารสองชั้นมาเปรียบเทียบ แสดงข้อมูลดังตารางที่ 4.4



ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบผลของน้ำหนักรวมสูงสุดและความสามารถในการเอียงสูงสุดของรถโดยสารสองชั้นในการทดสอบจริงและโปรแกรมที่พัฒนา

ผลการทดสอบ	ทดสอบจริง	โปรแกรม SUT CG	%Error
น้ำหนักรวมสูงสุด (กิโลกรัม)	20,050	20,189	0.69
มุมมองเสาการเอียง (องศา)	39.5	40.57	2.71

จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบของน้ำหนักและมุมมองเสาการเอียงสูงสุดของรถโดยสารสองชั้นระหว่างการทดสอบจริง, การทดสอบที่ได้จาก Adams car และการทดสอบจากโปรแกรม SUT CG ดังแสดงในตารางที่ 4.5 นั้นแสดงให้เห็นว่ามุมมองเสาการเอียงสูงสุดของ Adams car และการทดสอบจากโปรแกรม SUT CG มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมเอียงที่ 3.21 และ 0.58 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

ตารางที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบจริงกับ โปรแกรม Adams/car และโปรแกรม SUT CG ของรถโดยสารสองชั้น

	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	มุมเอียง (องศา)	%Error
ทดสอบจริง	12,565	40.81	-
Adams/Car	12,053	39.5	3.21
SUT CG	12,053	40.57	0.58

#### 4.4 ผลการวิเคราะห์ของกรณีศึกษาแบบจำลองบนโปรแกรม SUT CG

จากการศึกษาการทำงานของโปรแกรม SUT CG ในการประเมินตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงเพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์น้ำหนักที่กระทำของแต่ละล้อและความสามารถในการทรงตัวสูงสุดของรถโดยสารและการเปรียบเทียบข้อมูลการทดสอบจริงของน้ำหนักกระทำของแต่ละล้อในรถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำและเปรียบเทียบข้อมูลการทดสอบจริงของความสามารถในการทรงตัวพื้นเอียงในรถโดยสารสองชั้น ดังข้อที่ 4.3 นั้นได้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการทำงานของโปรแกรม SUT CG ดังนั้นโปรแกรม SUT CG นี้จะสามารถนำไปสู่การประยุกต์ใช้โปรแกรมเพื่อช่วยในการออกแบบโครงสร้างรถโดยสารให้มีการจัดวางส่วนประกอบต่าง ๆ ของรถโดยสารเพื่อให้ประเมินถึงข้อมูลของน้ำหนักที่กระทำของแต่ละล้อ และความสามารถในการทรงตัวสูงสุดของรถโดยสารได้ โดยได้ทำการวิเคราะห์กรณีศึกษาทั้งหมด 3 กรณี มีรายละเอียดดังนี้

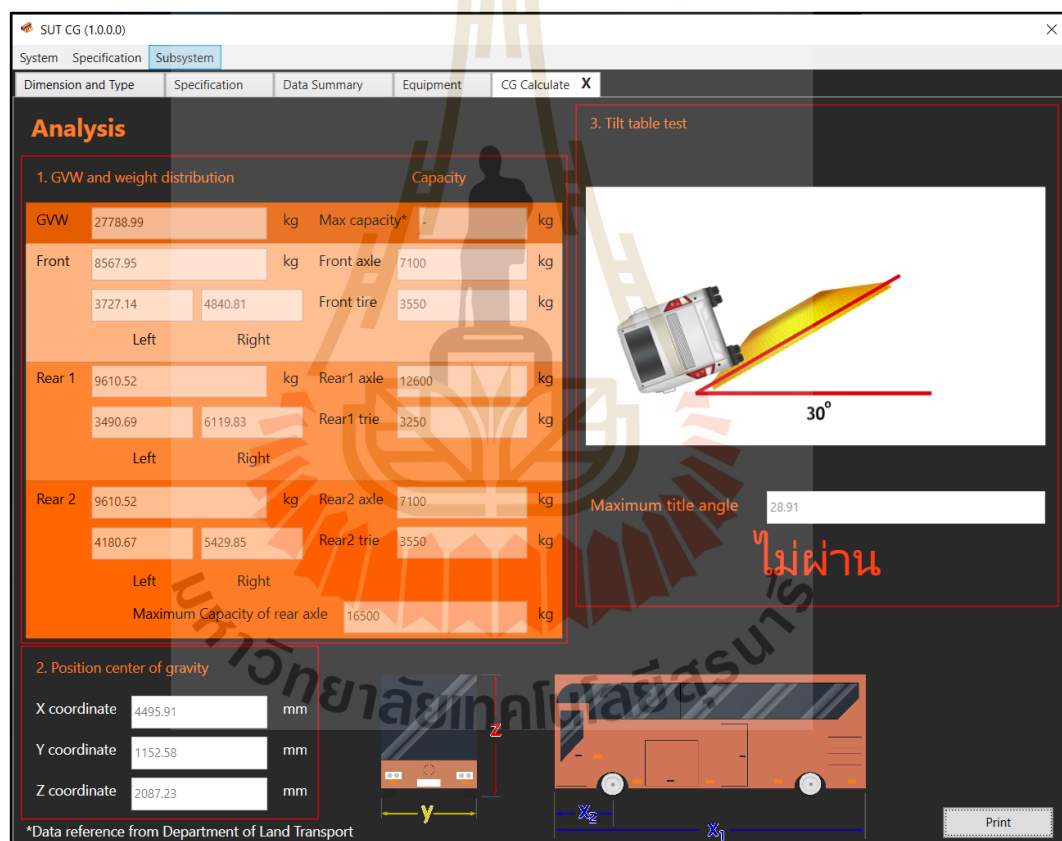
#### 4.4.1 กรณีศึกษาที่ 1 รถโดยสารสองชั้น

ในการศึกษาผลการวิเคราะห์ของกรณีศึกษาที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 4.6 รถโดยสารสองชั้นมีรายละเอียดของการจัดวางส่วนประกอบต่าง ๆ ของรถโดยสารดังตารางที่ 3.6 เมื่อนำข้อมูลของส่วนประกอบดังกล่าวป้อนในโปรแกรม SUT CG ทำให้มีผลการประเมินตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงดังนี้

ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงตามแนวยาว (แกน X) เท่ากับ 4,495.91 มิลลิเมตร

ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงตามแนวขวาง (แกน Y) เท่ากับ 1,152.58 มิลลิเมตร

ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงตามแนวตั้ง (แกน Z) เท่ากับ 2,087.23 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.6 หน้าต่างแสดงผลการวิเคราะห์รถโดยสารกรณีศึกษาที่ 1 ในโปรแกรม SUT CG

จากข้อมูลของตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงดังกล่าวนำไปสู่การวิเคราะห์น้ำหนักที่กระทำของแต่ละล้อ และความสามารถในการทรงตัวสูงสุด จะให้ผลลัพธ์ดังกล่าวดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์รถโดยสารกรณีศึกษาที่ 1

รายละเอียด		น้ำหนักที่กระทำ (กิโลกรัม)
น้ำหนักรวมสูงสุด		27,789
น้ำหนักลงเพลาหน้า	ซ้าย	3,727
	ขวา	4,841
	รวม	8,568
น้ำหนักลงเพลาท้ายที่ 1 (ยางคู่)	ซ้าย	3,491
	ขวา	6,120
	รวม	9,611
น้ำหนักลงเพลาท้ายที่ 2	ซ้าย	4,181
	ขวา	5,430
	รวม	9,611
ความสามารถในการเอียงสูงสุด (องศา)		28.91

จากการประเมินตำแหน่งจุดศูนย์กลางของรถโดยสารในกรณีศึกษาที่ 1 มีตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงตามแนวยาว, ตามแนวขวาง และตามแนวตั้ง มีค่าเป็น 4,495.91, 1,152.58, 2,087.23 มิลลิเมตร ตามลำดับ และเมื่อทำการวิเคราะห์น้ำหนักที่กระทำลงเพลาในแต่ละล้อที่ได้จากโปรแกรม SUT CG พบว่า น้ำหนักที่กระทำลงเพลาสูงสุดคือ 5,430 กิโลกรัม อยู่ที่ตำแหน่งล้อขวาของเพลาท้ายที่ 2 ผลของการวิเคราะห์ความสามารถในการทรงตัวสูงสุดของรถโดยสารทำมุมได้ 28.91 องศา ซึ่งมีมุมมองน้อยกว่าข้อกำหนดของเกณฑ์การทรงตัวบนพื้นเอียงของรถโดยสารที่กรมการขนส่งทางบกได้กำหนดไว้ จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการจัดวางตำแหน่งส่วนประกอบของรถโดยสารเป็นกรณีศึกษาที่ 2 ในลำดับถัดไป

#### 4.4.2 กรณีศึกษาที่ 2 รถโดยสารสองชั้น

ในกรณีที่ 2 ได้ทำการปรับปรุงการออกแบบการจัดวางอุปกรณ์ภายในรถโดยสารในกรณีที่ 1 เนื่องจากข้อมูลในตารางที่ 3.6 นั้นมีตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงในแนวตั้งของโครงสร้างหลังคาที่มีค่าสูงที่สุดอยู่ที่ 4500 มิลลิเมตรซึ่งเป็นความสูงที่เกินข้อกำหนดของกรมการขนส่งทางบกในการปรับระดับส่วนประกอบของกรณีศึกษาที่ 2 จึงได้ทำการปรับลดระดับตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงของโครงสร้างหลังคาให้มีตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงในแนวตั้งสูงที่สุดไม่เกิน 4,000 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นข้อจำกัดของควาสูงในรถโดยสารประเภทสองชั้น และทำการปรับตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงในส่วนประกอบต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์กับโครงสร้างหลังคาซึ่งมีผลต่อพื้นที่ภายในห้องโดยสาร

และผลลัพธ์ของตำแหน่งจุดศูนย์กลางของรถโดยสารในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ได้จากโปรแกรม SUT CG มีรายละเอียดดังนี้

ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงตามแนวยาว (แกน X) เท่ากับ 4,495.91 มิลลิเมตร

ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงตามแนวขวาง (แกน Y) เท่ากับ 1,152.58 มิลลิเมตร

ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงตามแนวตั้ง (แกน Z) เท่ากับ 1,852.25 มิลลิเมตร

จากข้อมูลของตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงดังกล่าวนำไปสู่การวิเคราะห์น้ำหนักที่กระทำของแต่ละล้อและความสามารถในการทรงตัวสูงสุด จะให้ผลลัพธ์ดังกล่าวดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์รถโดยสารกรณีศึกษาที่ 2

รายละเอียด		น้ำหนักที่กระทำ (กิโลกรัม)
น้ำหนักรวมสูงสุด		27,789
น้ำหนักลงเพลาน้ำ	ซ้าย	3,353
	ขวา	4,411
	รวม	7,764
น้ำหนักลงเพลาท้ายที่ 1 (ยางคู่)	ซ้าย	10,013
	ขวา	6,120
	รวม	9,611
น้ำหนักลงเพลาท้ายที่ 2	ซ้าย	4,181
	ขวา	5430
	รวม	9,611
มุมมองเสาในการเอียงสูงสุด(องศา)		31.89

จากข้อมูลในตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักและมุมมองเสาในการเอียงสูงสุดของรถโดยสารในกรณีศึกษาที่ 2 จากผลดังกล่าวการวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักในกรณีศึกษาที่ 1 และในกรณีศึกษาที่ 2 มีผลการกระจายน้ำหนักที่เท่ากันเนื่องจากทั้งสองกรณีศึกษาไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งการจัดวางส่วนประกอบของรถโดยสารตามแนวยาวและแนวขวาง แต่เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์มุมมองเสาในการเอียงสูงสุดของรถโดยสารในกรณีที่ 2 พบมีมุมมองเสาที่ใช้ในการเอียงเป็น 31.89 องศา ซึ่งมากกว่ากรณีศึกษาที่ 1 ลดลงมา 4.9% ซึ่งเป็นผลมาจากการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการจัดวางส่วนประกอบของรถโดยสารในแนวตั้งจากผลการ

วิเคราะห์ในกรณีที่ 2 สามารถอภิปรายได้ว่าอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งจุดศูนย์กลางวงใน แนวตั้งส่งผลต่อความสามารถในการทรงตัวสูงสุดของรถโดยสาร

#### 4.4.3 กรณีศึกษาที่ 3 รถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำ

ในกรณีศึกษาที่ 3 ได้ทำการวิเคราะห์ความสามารถในการทำงานของโปรแกรม โดยการประยุกต์ใช้ข้อมูลของรถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำจากตารางที่ 3.4 ในการออกแบบให้โครงสร้างรถโดยสารให้มีพื้นที่ในห้องโดยสารที่สูงขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินตำแหน่งจุดศูนย์กลางวงของรถโดยสารในโปรแกรม SUT CG มีรายละเอียดดังนี้

ตำแหน่งจุดศูนย์กลางวงตามแนวยาว (แกน X) เท่ากับ 3,630.97 มิลลิเมตร

ตำแหน่งจุดศูนย์กลางวงตามแนวขวาง (แกน Y) เท่ากับ 1,177.52 มิลลิเมตร

ตำแหน่งจุดศูนย์กลางวงตามแนวตั้ง (แกน Z) เท่ากับ 1,364.65 มิลลิเมตร

จากผลการประเมินตำแหน่งจุดศูนย์กลางวงของรถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำในกรณีที่ 3 นำไปสู่การวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักและความสามารถในการทรงตัวบนพื้นเอียงของรถโดยสารในกรณีที่ 3 นี้ได้แสดงผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์รถโดยสารกรณีศึกษาที่ 3

รายละเอียด	น้ำหนักที่กระทำ (กิโลกรัม)	
น้ำหนักรวมสูงสุด	12,053	
น้ำหนักลงเพลาหน้า	ซ้าย	2,331
	ขวา	2,989
	รวม	5,320
น้ำหนักลงเพลาท้ายที่ 1 (ยางคู่)	ซ้าย	2,847
	ขวา	3,886
	รวม	6,732
มุมมองเสาในการเอียงสูงสุด (องศา)	40.78	

ตารางที่ 4.7 แสดงได้แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักและมุมมองเสาในการเอียงสูงสุดของรถโดยสารเมื่อทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการจัดวางส่วนประกอบภายในรถโดยสารในแนวตั้งของกรณีศึกษาที่ 3 จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงการออกแบบรถโดยสารเพื่อทำให้รถโดยสารมีพื้นที่ความสูงของห้องโดยสารที่มากขึ้นโดยการปรับความสูงส่งผลให้โปรแกรม SUT CG , การประเมินตำแหน่งจุดศูนย์กลางวงของรถโดยสารมีการเพิ่มขึ้นใน

แนวตั้งเป็น 1,362.65 มิลลิเมตร เมื่อเทียบกับการประเมินตำแหน่งจุดศูนย์กลางของรถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำดั่งข้อที่ 4.3.1 เพิ่มขึ้น 8.13% โดยการเพิ่มขึ้นของจุดศูนย์กลางในแนวตั้งนี้ส่งผลให้ความสามารถในการทรงตัวบนพื้นเอียงของรถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำลดลงเป็น 40.78 องศา หรือลดลง 5.45% ก่อนการปรับปรุงโครงสร้าง ซึ่งผลการวิเคราะห์หุ้มองศาในการเอียงสูงสุดนี้ยังเป็นมุมที่มากกว่าข้อกำหนดตามที่กรมการขนส่งทางบกได้ระบุไว้ จึงทำให้การปรับปรุงการออกแบบโครงสร้างรถโดยสารในกรณีที่ 3 นั้นผ่านเกณฑ์การทรงตัวบนพื้นเอียง จากการวิเคราะห์ในกรณีนี้ 3 นี้แสดงให้เห็นว่าการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการจัดวางอุปกรณ์ในแนวตั้งส่งผลต่อความสามารถในการทรงตัวบนพื้นเอียงของรถโดยสาร

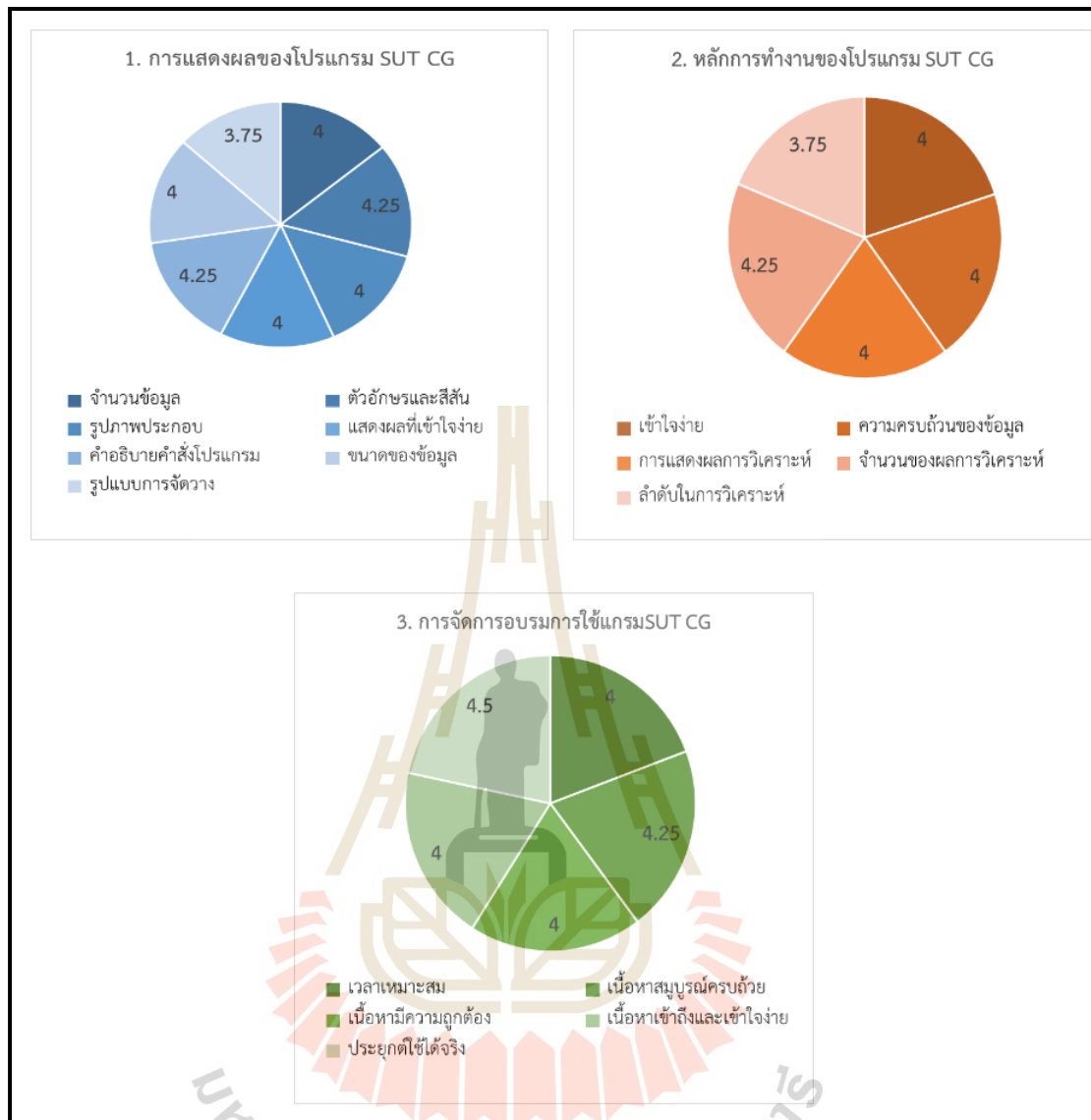
#### 4.4.4 การอบรมการใช้โปรแกรม SUT CG

ในงานวิจัยได้ทำการพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อประเมินหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางและการทรงตัวบนพื้นเอียงของรถโดยสารสาธารณะ โดยมีจุดประสงค์เพื่อที่จะให้โปรแกรม SUT CG เป็นโปรแกรมที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในการออกแบบทางวิศวกรรมของผู้ประกอบการรถโดยสารสาธารณะ อีกทั้งยังช่วยให้วิศวกรออกแบบได้ทำการประเมินสมรรถนะในการรับน้ำหนักและประสิทธิภาพในการทรงตัวของรถโดยสารที่ทำการออกแบบโดยที่ยังไม่ต้องทำการผลิตรถโดยสารขึ้น ทั้งนี้ผู้วิจัยจึงได้จัดการอบรมการใช้งานโปรแกรม SUT CG ให้แก่ทางวิศวกรของบริษัท เชิดชัย ครอบเปอเรชั่น ซึ่งเป็นบริษัทที่ประกอบกิจการรถโดยสารสาธารณะ โดยได้จัดอบรมขั้นตอนการใช้โปรแกรมรวมถึงแนวทางในการประเมินตำแหน่งจุดศูนย์กลางเพื่อทำให้รถโดยสารที่ทำการออกแบบมีสมรรถนะทั้งในด้านการกระจายน้ำหนักและความสามารถในการทรงตัวของรถโดยสารให้เหมาะสมและดียิ่งขึ้น ซึ่งในการอบรมครั้งนี้ได้ทำการจัดการอบรมเมื่อวันที่ 23 มิถุนายน 2563 ดังในภาคผนวก ค อีกทั้งหลังจากที่ทำการอบรม ทางผู้วิจัยได้จัดทำแบบประเมินความพึงพอใจในการใช้งาน โปรแกรม SUT CG เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขและพัฒนาโปรแกรมให้มีคุณภาพและมีความต้องการตรงต่อผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับระดับเกณฑ์ความพึงพอใจหลังการใช้งาน โปรแกรม SUT CG ได้แบ่งหัวข้อในการประเมิน 3 ประเภท ได้แก่

1. หน้าตาและการแสดงผลของโปรแกรม SUT CG (ก)
2. หลักการทำงานของโปรแกรม SUT CG (ข)
3. การจัดการอบรมเพื่อถ่ายทอดการใช้โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ SUT CG (ค)

แสดงรับดับความพึงพอใจดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงระดับความพึงพอใจจากผู้ใช้งานหลังจากการใช้โปรแกรม SUT CG

ในการอบรมครั้งนี้พบว่าผู้ทำแบบประเมินมีความพึงพอใจในการใช้โปรแกรม ซึ่งจากผลการประเมินพบว่า ทีมวิศวกรออกแบบใน บริษัท เชิดชัย ครอบเปอร์เรชั่น จำกัด มีความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับคะแนน 4.25/5 และมีข้อเสนอแนะที่ได้จากการใช้โปรแกรม และจากข้อเสนอแนะของผู้ใช้งานในการประเมินความพึงพอใจการใช้โปรแกรม SUT CG คือ ต้องการให้โปรแกรมมีการพัฒนาในเรื่องของการปรับขนาดของหน้าต่างโปรแกรมได้และต้องการให้โปรแกรมสามารถระบุพิกัดมุมเอียงสูงสุดของรถ โดยสารที่ใช้เป็นเกณฑ์การทดสอบการทรงตัวของโปรแกรมได้ เนื่องจากต้องการการรองรับความเปลี่ยนแปลงข้อกำหนดของกรมการขนส่งใน

อนาคตรวมไปถึงการแสดงผลของรายงานสรุปผลการทดสอบที่ต้องการให้มีการแสดงรายละเอียดการคำนวณน้ำหนักลงเพลาที่คิดเฉพาะผู้โดยสาร ซึ่งจากผลการประเมินความพึงพอใจและข้อเสนอแนะจากผู้ใช้งานนี้ ในการพัฒนาโปรแกรมได้มีการปรับปรุงและแก้ไขในส่วนของการทำงานของโปรแกรม SUT CG ดังนี้

1. การแก้ไขให้โปรแกรมสามารถมีการจัดเก็บข้อมูลเพื่อที่จะให้สามารถมีการแก้ไขข้อมูลเก่าย้อนหลังได้ โดยจะเพิ่มการทำงานของ “History” เพื่อที่จะให้ผู้ใช้งานได้ทำการเลือกประวัติการป้อนข้อมูลเก่ามาแก้ไขให้เป็นการออกแบบแบบจำลองโดยสารและนำไปสู่การวิเคราะห์ใหม่อีกครั้ง ซึ่งในส่วนนี้จะทำให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกที่จะตรวจสอบหรือเลือกที่จะแก้ไขข้อมูลของรูปแบบรถโดยสารที่ได้เคยทำการวิเคราะห์ไว้แล้ว

2. การเพิ่มเติมในส่วนของการแสดงคำนวณน้ำหนักผู้โดยสารที่กระจายลงเพลา เนื่องจากตามแบบการตรวจสอบน้ำหนักลงเพลาตามประกาศของกรมขนส่งทางบกได้ระบุให้มีการคำนวณน้ำหนักผู้โดยสารตามจำนวนที่นั่งของรถโดยสารที่ได้ทำการออกแบบไว้ เพื่อแสดงให้เห็นถึงน้ำหนักเฉพาะของผู้โดยสารที่กระจายลงในแต่ละเพลา ซึ่งส่วนนี้จะเป็ผลจากการป้อนข้อมูลของจำนวนผู้โดยสารในหน้าต่าง “Specification” ของโปรแกรม ซึ่งในส่วนของการแสดงวิธีและผลการคำนวณนี้จะแสดงอยู่ในส่วนของ รายงานการสรุปผลการวิเคราะห์

นอกจากนี้อีกหนึ่งการประเมินคือการใช้โปรแกรม SUT CG ที่มีประโยชน์ต่อการทำงานในการออกแบบที่ผู้ใช้งานมีความคิดเห็นว่าจะสามารถนำโปรแกรม SUT CG ช่วยในการออกแบบเพื่อประเมินการทดสอบและประเมินในการเลือกใช้สมรรถนะของยางและเพลาได้เป็นอย่างมาก

#### 4.4.5 คู่มือการใช้โปรแกรม SUT CG

ในการศึกษาการใช้โปรแกรม SUT CG นอกจากจะมีการอบรมเพื่อเป็นการถ่ายทอดการใช้โปรแกรม เพื่อให้เป็นไปตามหลักการทำงานของโปรแกรมและถูกต้องตามหลักวิศวกรรม ทางผู้วิจัยได้ทำการจัดทำคู่มือการใช้โปรแกรมในรูปแบบของ Help ซึ่งเป็นฟังก์ชันหนึ่งที่จำเป็นต่อโปรแกรม เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถศึกษาและเรียนรู้การใช้โปรแกรมได้อย่างละเอียดและถูกต้อง แสดงดังภาคผนวก ง

#### 4.4.6 การจดลิขสิทธิ์การประดิษฐ์ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์

โปรแกรม SUT CG นี้ได้ถูกนำไปจดลิขสิทธิ์การประดิษฐ์ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ โดยมีเงื่อนไขในการใช้โปรแกรมคือ “โปรแกรม SUT CG นี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ห้ามทำการละเมิดลิขสิทธิ์ อาทิเช่น การคัดลอก ดัดแปลง เลียนแบบ รูปแบบของโปรแกรมทั้งหมดหรือเพียงบางส่วนโดยเด็ดขาด กรณีต้องการนำส่วนหนึ่งส่วนใดของโปรแกรมไป



เผยแพร่หรือต้องการใช้งาน ต้องติดต่อและได้รับอนุญาตอย่างเป็นทางการ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีก่อนนำไปเผยแพร่และใช้งานทุกครั้ง มิฉะนั้นจะดำเนินคดีตาม  
กฎหมายให้ถึงที่สุด ทั้งนี้ผลความเสียหายที่เกิดจากการทำงานของโปรแกรม SUT CG ทาง  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีไม่รับผิดชอบประการใดทั้งสิ้น ”



## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินงานวิจัยเรื่องการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปเพื่อประเมินตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงและการทรงตัวบนพื้นเอียงของรถโดยสารสาธารณะโดยใช้โปรแกรม Visual studio เป็นเครื่องมือในการพัฒนาให้เป็นโปรแกรมที่ใช้ชื่อว่า “SUT CG” ซึ่งจากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ผลการทำงานของโปรแกรม SUT CG โดยใช้ Visual studio เป็นเครื่องมือในการพัฒนา จากผลการทำงานของโปรแกรมพบว่าขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมถูกออกแบบมาได้ ตามความต้องการของผู้ใช้งาน โดยมีการแสดงข้อมูลและภาพประกอบเพื่อให้เกิดการใช้งานของโปรแกรมที่ง่ายขึ้นรวมถึงการป้อนข้อมูลที่จำเป็นต่อผลการวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักและความสามารถในการทรงตัวสูงสุดของรถโดยสาร ซึ่งนอกจากการแสดงผลการวิเคราะห์ในโปรแกรม SUT CG อีกทั้งได้มีการรายงานสรุปผลการวิเคราะห์เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถดูข้อมูลเบื้องต้นของรถโดยสารที่นำมาวิเคราะห์พร้อมทั้งผลการวิเคราะห์ที่อ้างอิงตามแบบตรวจสอบทางกรรมขนส่งทางบก

2. ผลการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ยานยนต์ โดยในเบื้องต้นได้ทำการศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ระบบช่วงล่างต่อมุมมองเสาการทดสอบทรงตัวของรถโดยสารพบว่า พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อมุมมองเสาการทดสอบทรงตัวของรถโดยสารมากที่สุดคือ ตัวแปรสมมูลสถิต ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่เกิดจากอัตราส่วนของระยะครึ่งหนึ่งของฐานล้อกับตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงในแนวตั้ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระยะที่ใช้ในการออกแบบและตำแหน่งการจัดวางส่วนประกอบของรถโดยสารส่งผลต่อความสามารถในการทรงตัวของรถโดยสารเช่นเดียวกัน และในลำดับถัดมาคือการผลการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ยานยนต์โดยทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงและความสามารถในการทรงตัวสูงสุดของรถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำและรถโดยสารสองชั้นของโปรแกรม Adams/Car และโปรแกรม SUT CG พบว่าผลลัพธ์การวิเคราะห์ของทั้งสองโปรแกรมมีความใกล้เคียงกัน เกิดค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดคือ ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงในแนวขวางของรถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำและรถโดยสารสองชั้น มีค่าความคลาดเคลื่อนเป็น 0.61% และ 1.96% ตามลำดับ

3. ผลการศึกษาการใช้งานโปรแกรม SUT CG โดยใช้รายละเอียดเฉพาะและข้อมูลการจัดวางส่วนประกอบของรถโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำและรถโดยสารสองชั้น เปรียบเทียบกับผลการทดสอบจริงของรถทั้งสองคัน โดยเมื่อพิจารณาผลโดยสารไฟฟ้าพื้นต่ำซึ่งได้นำผลการทดสอบน้ำหนักลงเพลาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ของโปรแกรม SUT CG พบว่า น้ำหนักรวมสูงสุดของรถโดยสารเกิดความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 2.08% และเมื่อพิจารณาการวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักพบว่า เกิดค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดที่ตำแหน่งของน้ำหนักกระทาลงที่เพลาหน้าด้านซ้ายมีค่าความคลาดเคลื่อนเป็น 10.36% และเมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ของรถโดยสารสองชั้นที่นำผลการทดสอบกรทรวงตัวบนพื้นเอียงของรถโดยสารเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ในโปรแกรม SUT CG พบว่า ผลลัพธ์มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ เกิดค่าความคลาดเคลื่อนของความสามารถในการทรวงตัวบนพื้นเอียงสูงสุดที่ 1.37% หรือ 1.07 องศา

4. ผลการวิเคราะห์ในการประยุกต์ใช้โปรแกรมของกรณีศึกษาแบบจำลองบนโปรแกรม SUT CG เพื่อสามารถนำไปสู่การประยุกต์ใช้การออกแบบรถโดยสาร โดยพบว่าเมื่อโครงสร้างรถโดยสารมีผลการวิเคราะห์ที่ไม่ผ่านเกณฑ์การทรวงตัวตามข้อกำหนดของกรมขนส่งทางบก ผู้ใช้งานสามารถกลับมาแก้ไขการออกแบบโครงสร้างรถโดยสารเพื่อให้โครงสร้างรถโดยสารสมรรถนะและมีผลการทดสอบให้การตรวจสอบและข้อกำหนดของกรมการขนส่งทางบกได้ โดยที่ไม่ต้องทำการผลิตรถโดยสารทั้งคัน ซึ่งได้แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการทำงานของโปรแกรมจะสามารถช่วยในการออกแบบและลดภาระค่าใช้จ่ายรวมถึงเวลาที่ใช้ในการแก้ไขรถโดยสารที่ไม่ผ่านเกณฑ์การทดสอบ

5. ในส่วนสุดท้ายของการดำเนินงานวิจัยได้ทำการจัดอบรมการถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านการออกแบบและวิเคราะห์เชิงวิศวกรรมแก่นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมยานยนต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยที่สามารถนำโปรแกรม SUT CG ช่วยในการออกแบบเบื้องต้น เพื่อที่จะสามารถประเมินสมรรถนะในการรับน้ำหนักของเพลาและความสามารถในการทรวงตัวสูงสุดของรถโดยสาร อีกทั้งยังสามารถช่วยลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการแก้ไขในขั้นตอนของการออกแบบรถโดยสารก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิต

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ตามหลักการทำงานของโปรแกรม SUT CG ถูกออกแบบมาเพื่อให้ผู้ใช้งานได้ทำการใช้งานได้อย่างง่าย ไม่ซับซ้อน และมีการแสดงภาพประกอบเพียงบางส่วนเท่านั้น ในส่วนของภาพประกอบควรมีการพัฒนาให้มีความชัดเจน ทันสมัย ตอบตรงความต้องการของผู้ใช้งานสำหรับการพัฒนาในลำดับถัดไป

2. โปรแกรม SUT CG เป็นผลการประเมินและการวิเคราะห์ที่ได้จากการป้อนรายละเอียดเฉพาะและรายละเอียดของส่วนประกอบในรถโดยสาร ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์ผู้ใช้งานควรป้อนข้อมูลให้ถูกต้องมากที่สุด

3. ในการใช้งาน โปรแกรม SUT CG เป็นการประเมินตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงเพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักและความสามารถในการทรงตัวสูงสุดของรถโดยสารควรมีการทดสอบจริง เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องของโปรแกรม

4. โปรแกรม SUT CG เป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นมาในรูปแบบแรกสำหรับการวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักและความสามารถในการทรงตัวสูงสุด โดยเป็นการวิเคราะห์ภายใต้เงื่อนไขที่โครงสร้างเป็นวัตถุแข็งเกร็ง ในการพัฒนาต่อไปควรมีการวิเคราะห์ที่พิจารณาถึงอิทธิพลของระบบช่วงล่างที่เกิดการยุบตัว เพื่อให้ใกล้เคียงกับสถานการณ์การทดสอบจริงยิ่งขึ้น



## รายการอ้างอิง

- กรมการขนส่งทางบก. (2558). **หลักเกณฑ์การอนุญาตให้แก้ไขเพิ่มเติมหรือเปลี่ยนแปลงสภาพเครื่องอุปกรณ์หรือส่วนควบของรถ**. ราชกิจจานุเบกษา, กรมทางหลวง.
- กองทุนเพื่อความพลอดกภัยในการใช้รถใช้ถนน กรมการขนส่งทางบก (2558). **โปรแกรมช่วยในการออกแบบรถโดยสารให้มีการทรงตัวเป็นไปตามประกาศกรมการขนส่งทางบก (CG Bus Design)**. วิศวกรรมการผลิตร่วมกับสาขาวิชาระบบซอฟต์แวร์ TGGS. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- กองแผนงานกลุ่มสถิติการขนส่ง. (2561). **สถิติจำนวนรถโดยสารแยกตามมาตรฐานรถและประเภทการจดทะเบียนที่**. รายงานสถิติ, กรมการขนส่งทางบก, วันที่ 31 สิงหาคม 2561.
- ชัยรัตน์ สงวนชื่อ (2552). **กำหนดรัศมีวงเลี้ยวและระยะท้ายปิดของรถ**. ประกาศกรมขนส่งทางบก, กรมขนส่งทางบก.
- ณรงค์กร เด็นหลักคำ (2555). **การออกแบบและพัฒนาเครื่องหาจุดศูนย์ถ่วงแบบพกพาสำหรับรถยนต์**. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26 (ME-METT26). 24-26 ตุลาคม 2555, จ. เชียงราย.
- ทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี, กุลยศ สุวันทโรจน์ และ ศุภชัย หลักคำ (2560). **เสถียรภาพการบังคับยานยนต์และแนวทางการทดสอบ**. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.ปีที่ 36, ฉบับที่ 3 กรกฎาคม-กันยายน 2560 : 381-393.
- ปริญญา ทักญาติ และอภิรักษ์ จันทร์พรหม (2543). **การพัฒนาโปรแกรมคำนวณตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงและมุมเอียงสูงสุดของรถแทรกเตอร์**. โครงการงานวิศวกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปิยพรรดิ ชูช่วย (2558). **การศึกษาตัวแปรในการผลิตและออกแบบที่มีอิทธิพลต่อจุดศูนย์ถ่วงของรถโดยสาร**. วิทยานิพนธ์ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต, ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 59-71.
- ศุภชัย สมพานิช. (2559). **Professional Visual C#**. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี : ไอดีซี พรีเมียมศูนย์วิชาการเพื่อความพลอดกภัยทางถนน. (2558). **สรุปรายงานสถานการณ์อุบัติเหตุรถโดยสารสาธารณะขนาดใหญ่**. รายงานสถิติ, ศูนย์วิชาการเพื่อความพลอดกภัยทางถนน.

- ศูนย์วิชาการเพื่อความปลอดภัยทางถนน. (2559). **สรุปรายงานสถานการณ์อุบัติเหตุรถโดยสารสาธารณะขนาดใหญ่. รายงานสถิติ, ศูนย์วิชาการเพื่อความปลอดภัยทางถนน.**
- สมชัย ศิริวัฒน์ โสภ. (2555). **กำหนดเกณฑ์การทรงตัวของรถที่ใช้ในการขนส่งผู้โดยสาร. ประกาศกรมการขนส่งทางบก, กรมขนส่งทางบก.**
- เอกลักษณ์ พรหมภักดี (2560). **การวิเคราะห์เสถียรภาพการเลี้ยวโค้งของรถบัสไฟฟ้าประเภทพื้นที่ต่ำด้วยวิธีการจำลองทางพลศาสตร์การเคลื่อนที่แบบมัลติบอดี. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.**
- Andrzej Renski (2015). **Investigation of the Influence of the Centre of Gravity Position on the Course of Vehicle Rollover.** Proceeding of 4th Enhanced Safety of Vehicles Conference, At Gothenburg, Sweden.
- Aqbal H.A., Mohd K.R., Mohd S.S., Khairil A.A.K., and Wong S.V., (2012). **Stability of High-Deck Buses in a Rollover and Contact-Impact with Traffic Barriers.** Malaysian Institute of Road Safety Research (MIROS). :9,12-16.
- Chepkania Z.L., Keraita J.N., and Muchiri P.N. (2018). **Productivity Improvement in Bus Body Manufacturing Using Value Stream Mapping and Line Balancing Technique. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE).** 1: 58-66.
- Emre S., Pinar B. (2017). **Optimization of suspension system and sensitivity analysis for improvement of stability in a midsize heavy vehicle.** Proceeding of Engineering Science and Technology, an International Journal 20 (2017) 997-1012.
- Farzaneh Khorsandi, Paul D. Ayers, Robert S. Freeland, Xinyan Wang (2017). **Modeling the effect of liquid movement on the center of gravity calculation of agricultural vehicles.** Journal of Terramechanics. 75: 37-48.
- Fujio M., Keiichi K., Kiyooki M., Hitoshi S., and Toshimichi T. (1999). **Gravity center height estimation for the rollover compensation system of commercial vehicles.** Proceeding of JSAE Review 20. 493-497.
- Hashem Z., Farid J. (2016). **Dynamic Modeling and Simulation of 4-Wheel Skid-Steering Mobile Robot with Considering Tires Longitudinal and Lateral Slips.** Proceeding of ijsrpub, International Journal of Scientific Research in Knowledge.

Heydinger G.J., Bixel R.A., Garrott W.R., Pyne M., Hove J.G., Guenther D. A. 1999. **Measured Vehicle Inertial Parameters-NHTSA's Data Through November 1998**. SAE Paper. 1999-01-1336.



The logo of SUT (Srinakharinwirot University) is centered on the page. It features a stylized figure of a person standing on a pedestal, surrounded by a circular emblem with a sunburst pattern at the bottom. The text 'ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์' is overlaid on the central figure.

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

แบบสำรวจและแบบประเมินในงานวิจัยในการพัฒนาโปรแกรม SUT CG

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



## 1. แบบสำรวจความต้องการการใช้โปรแกรมประเมินตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของรถโดยสาร

**แบบสำรวจความต้องการการใช้โปรแกรมประเมินตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของรถโดยสาร**

ผู้ทำแบบประเมิน :  วิศวกรฝ่าย : ..... ประสบการณ์.....เดือน.....ปี

นักศึกษา

อื่นๆ ระบุ.....

**1 ผลลัพธ์ที่ท่านต้องการจากโปรแกรม**

ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วง                       การกระจายน้ำหนัก                       น้ำหนักลงเพลา

น้ำหนักกระทำในแต่ละยาง                       น้ำหนักรวมสูงสุด                       ความสามารถในการเอียงสูงสุด

รายงานผลการตรวจสอบ                       เพิ่มเติม/ อื่นๆ.....

.....

**2 ข้อมูลที่ท่านคาดว่าจะจำเป็นต้องการวิเคราะห์ผลในข้อที่ 1**

ชื่อรูปแบบของรถโดยสาร                       มิติของตัวรถ โดยสาร                       ประเภทของรถโดยสาร

ระยะในการออกแบบของรถโดยสาร                       จำนวนผู้โดยสาร                       จำนวนเพลา ล้อ และยาง

น้ำหนักของส่วนประกอบในรถโดยสาร                       ตำแหน่งการจัดวางส่วนประกอบ                       เพิ่มเติม/ อื่นๆ.....

.....

**3 รูปแบบการใช้งานของโปรแกรม**

**3.1 ความเป็นส่วนตัวในการใช้โปรแกรม**

ทำการลงชื่อเข้าใช้ทุกครั้ง

ผู้ใช้งานท่านอื่นสามารถเข้าถึงผลการใช้งานของท่านได้

ผู้ใช้งานท่านอื่นไม่สามารถเข้าถึงผลการใช้งานของท่านได้

**3.2 โทนสีของโปรแกรม/Font**

สบายตา                       สีสิ้นสวยงาม                       สีโทนสว่าง                       สีโทนหม่น

สีโดยรวมโปรแกรมที่ท่านต้องการ.....

รูปที่ ก.1 แบบสำรวจความต้องการการใช้โปรแกรมประเมินตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของรถโดยสาร



ภาคผนวก ข

รายละเอียดของส่วนประกอบในรูปโดยสารกรณีศึกษาที่ 2 และ 3

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.1 รายละเอียดของส่วนประกอบในรถโดยสารกรณีศึกษาที่ 2

ลำดับ	รายการ	น้ำหนัก (kg)	ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วง (mm)		
			X	Y	Z
1	คัสชี	7264	5486	1026	1127
2	โครงสร้างส่วนหน้า	490	-1933	1178	1677
3	ส่วนหุ้มด้านหน้า	568	-2199	1167	2272
4	โครงสร้างด้านข้างขวา	930	3828	2404	2362
5	ส่วนหุ้มด้านข้างขวา	1213	3792	2425	2365
6	โครงสร้างด้านข้างซ้าย	927	3838	-46	2358
7	ส่วนหุ้มด้านข้างซ้าย	1162	3415	-64	2302
8	โครงสร้างส่วนท้าย	530	9531	1174	2583
9	ส่วนหุ้มด้านท้าย	507	9606	1179	2574
10	โครงสร้างหลังคา	880	4639	1177	4500
11	ส่วนหุ้มหลังคา	897	4591	1179	4489
12	โครงพื้นชั้นบน	917	4298	1262	2829
13	ส่วนหุ้มพื้นชั้นบน	1451	4339	1068	2625
14	โครงพื้นชั้นล่าง	1523	3486	1163	1638
15	หุ้มพื้นชั้นล่าง	5483	5301	1159	1627
16	อุปกรณ์ตกแต่งบริเวณส่วนคนขับ	538	-1818	1349	2003
17	ที่นั่งชั้นบนและชั้นล่าง	1129	4379	1145	3370
18	ห้องน้ำ	600	3898	1986	1859
19	ช่องเก็บของ	780	3280	1179	4231

ตารางที่ ข.2 รายละเอียดของส่วนประกอบในรถโดยสารกรณีศึกษาที่ 3

ลำดับ	รายการ	น้ำหนัก (kg)	ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วง (mm)		
			X	Y	Z
1	คัสชี	7264	5486	1026	1127
2	โครงสร้างส่วนหน้า	490	-1933	1178	1677
3	ส่วนหุ้มด้านหน้า	568	-2199	1167	2272
4	โครงสร้างด้านข้างขวา	930	3828	2404	2362
5	ส่วนหุ้มด้านข้างขวา	1213	3792	2425	2365
6	โครงสร้างด้านข้างซ้าย	927	3838	-46	2358
7	ส่วนหุ้มด้านข้างซ้าย	1162	3415	-64	2302
8	โครงสร้างส่วนท้าย	530	9531	1174	2583
9	ส่วนหุ้มด้านท้าย	507	9606	1179	2574
10	โครงสร้างหลังคา	880	4639	1177	4000
11	ส่วนหุ้มหลังคา	897	4591	1179	3989
12	โครงพื้นชั้นบน	917	4298	1262	2329
13	ส่วนหุ้มพื้นชั้นบน	1451	4339	1068	2125
14	โครงพื้นชั้นล่าง	1523	3486	1163	1138
15	หุ้มพื้นชั้นล่าง	5483	5301	1159	1127
16	อุปกรณ์ตกแต่งบริเวณส่วนคนขับ	538	-1818	1349	2003
17	ที่นั่งชั้นบนและชั้นล่าง	1129	4379	1145	2870
18	ห้องน้ำ	600	3898	1986	1859
19	ช่องเก็บของ	780	3280	1179	3731



ภาคผนวก ค

การจัดอบรมการถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านการออกแบบ

และวิเคราะห์เชิงวิศวกรรม

### บรรยากาศการอบรมการใช้โปรแกรม SUT CG

การจัดอบรมการถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านการออกแบบและวิเคราะห์เชิงวิศวกรรม  
วันอังคารที่ 23 มิถุนายน 2563 เวลา 09.00-12.00 น ณ บริษัทเซตชัย คอร์ปอเรชั่น จำกัด

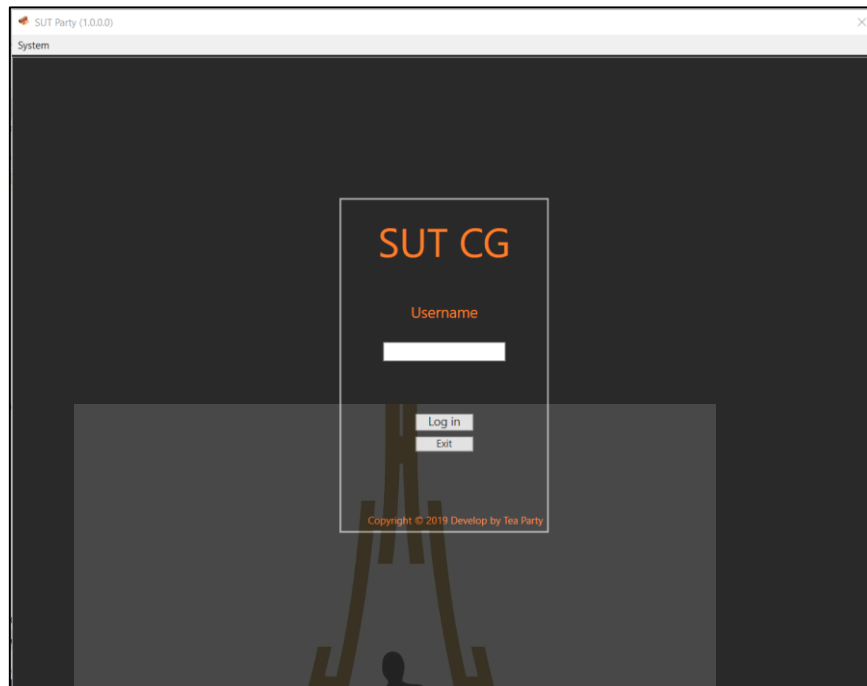


The image features a large, faint watermark of the SUT CG logo in the background. The logo consists of a stylized figure standing on a platform, with a large 'S' and 'C' forming a triangular shape above it. The entire logo is surrounded by a decorative border of red and orange segments.

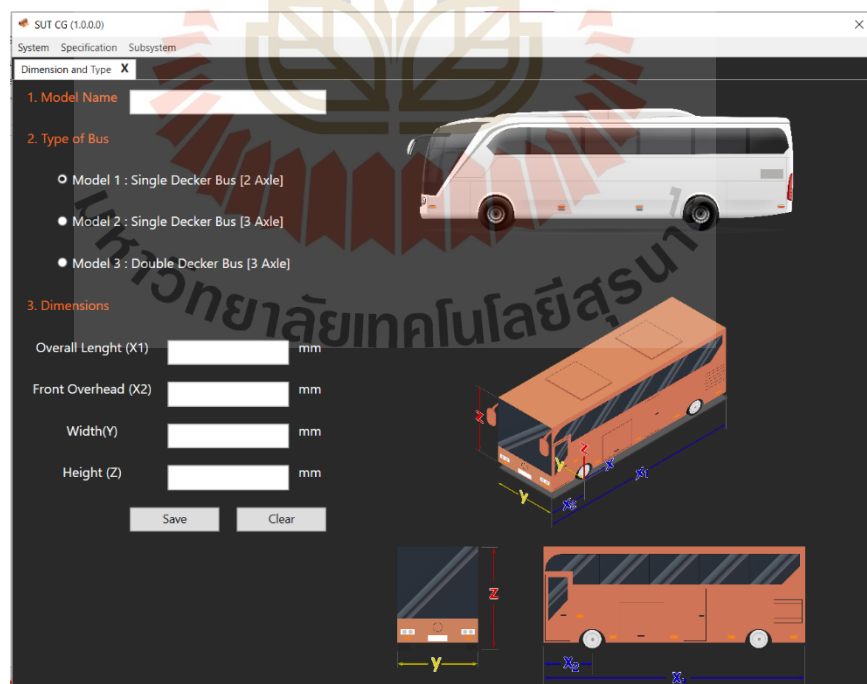
ภาคผนวก ง

หน้าต่างการทำงานและคู่มือการใช้งานบนโปรแกรม SUT CG

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ ง.1 หน้าต่างการเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม SUT CG



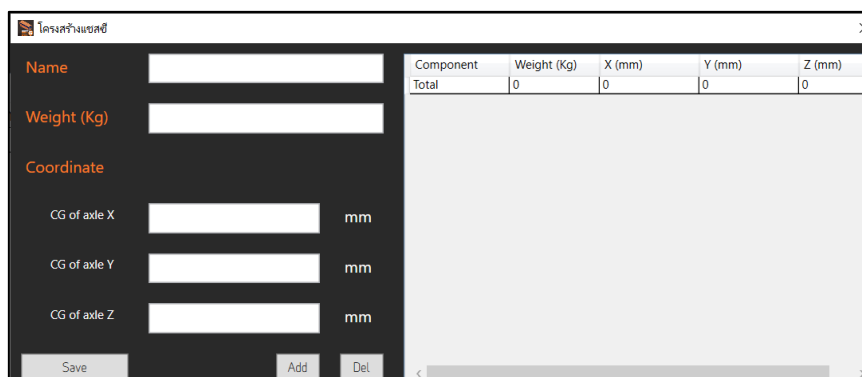
รูปที่ ง.2 หน้าต่างการป้อนข้อมูลเบื้องต้นออกแบบรถโดยสารของโปรแกรม SUT CG



รูปที่ ง.3 หน้าต่างการป้อนข้อมูลคุณสมบัติการออกแบบรถโดยสารของโปรแกรม SUT CG

รายการ	จำนวน	หน่วย
น้ำหนักโครงรถโดยสาร	0.00	kg
สมรรถนะของยางเพลาหน้า	3,100.00	kg
สมรรถนะของยางเพลาท้าย	3,100.00	kg
ระยะช่วงล้อ (B)	6,500.00	mm
ระยะพื่นี่โดยสาร (T)	8,800.00	mm
ระยะจากด้านหน้าพื่นี่โดยสารถึงเพลาท้าย	5,950.00	mm
จำนวนผู้โดยสาร (P)	0	Person

รูปที่ ง.4 หน้าต่างการสรุปข้อมูลการออกแบบรถโดยสารของโปรแกรม SUT CG



รูปที่ ๓.5 หน้าต่างการป้อนน้ำหนักและการจัดวางตำแหน่งจุดศูนย์กลางของส่วนประกอบภายในรถโดยสารของโปรแกรม SUT CG

เริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม  
Start program

ในการเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม SUT CG จะต้องมีกรลงชื่อใช้งานทุกครั้งเพื่อเป็นการนำไปสู่การป้อนข้อมูลและการวิเคราะห์ รวมไปถึงในการลงชื่อเข้าใช้จะเป็นการจดจำข้อมูลต่างๆของรถโดยสารและข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ในครั้งที่ผ่านมา ผู้ใช้งานสามารถป้อน ชื่อผู้ใช้ หรือ "Username" ที่ปรากฏดังหมายเลข 1 และทำการ "Login" ในหมายเลข 2 เพื่อเข้าสู่การใช้งาน หรือ "Exit" ในหมายเลข 3 เพื่อเป็นการกลับไปสู่หน้าดังกล่าวเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม

ข้อมูลพื้นฐานของรถโดยสาร  
Dimensions and type

ในส่วนของผู้ใช้งานจะต้องมีข้อมูลพื้นฐานของรถโดยสารต่างดังประกอบไปด้วย

- หมายเลข 4 ชื่อรถโดยสารโดยรถที่นำมาวิเคราะห์ (Model)
- หมายเลข 5 ประเภทของรถโดยสาร (Type of bus)
- หมายเลข 6 มิติของตัวรถโดยสาร (Dimension of bus)
- หมายเลข 7 บันทึก (Save) และ ล้างข้อมูล (Clear)
- หมายเลข 8 การเลือกรื้อข้อมูลย้อนหลัง (History)

รูปที่ ๓.6 คู่มือการใช้งานโปรแกรม SUT CG (1-2)



รูปที่ ๓.7 คู่มือการใช้งานโปรแกรม SUT CG (3-4)



รูปที่ ๓.8 คู่มือการใช้งานโปรแกรม SUT CG (5-6)

**หมายเลข 11 จำนวนเพลาและจำนวนยางต่อเพลา (Number of axle and Number of tire/axle)**

ผู้ใช้งานจำเป็นต้องป้อน “จำนวนเพลาและจำนวนยางต่อเพลา” หรือ “Number of axle and Number of tire/axle” ในหมายเลข 11 ซึ่งในรถโดยสารแต่ละประเภทที่มีจำนวนเพลาและจำนวนยางต่อเพลาที่แตกต่างกันจำนวนเพลาและรถโดยสารเหล่านี้จะมีน้ำหนักบรรทุกสูงสุด (GVW) และน้ำหนักยางต่อเพลาตามประเภทผู้จำหน่ายรถที่แตกต่างกันด้วย ซึ่งข้อมูลส่วนนี้ถูกนำไปเป็นเกณฑ์การประเมินของน้ำหนักบรรทุกของรถโดยสาร หากผลการวิเคราะห์เกินข้อกำหนดของทิศทางหลวงแล้วจะถือว่าไม่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบน้ำหนักบรรทุกสูงสุดและโปรแกรม SUT CG จะออกแบบให้มีความสามารถในการวิเคราะห์น้ำหนักที่กระทำลงในแต่ละล้อเพื่อช่วยในการออกแบบและการเลือกสมรรถนะของเพลาและยางที่ใช้ในรถโดยสารนั้น

**หมายเลข 12 ระยะต่างๆภายในรถโดยสาร (Distance)**

สำหรับระยะต่างๆของรถโดยสารตามหมายเลข 12 คือระยะที่ผู้ใช้งานได้ทำการออกแบบไว้โดยรถโดยสารแต่ละประเภทนี้จะมีขนาดแตกต่างกันไปตามการออกแบบของแต่ละคัน ข้อมูลสำคัญที่จำเป็นจะต้องใส่ในส่วนนี้เป็นดังตาราง ที่ 1 โดยข้อมูลเหล่านี้จะเป็นตัวแปรหลักที่ใช้ในการตรวจสอบน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของรถโดยสารและนำไปสู่การตรวจสอบน้ำหนักที่กระทำลงในแต่ละล้อ และแสดงผลการวิเคราะห์ในลำดับถัดไป ตารางที่ 1 ระยะที่ใช้ในการออกแบบ

ระยะต่างๆ	คำอธิบาย
Distance B	ระยะจากล้อหน้าถึงศูนย์กลางของรถโดยสาร
Distance F <sub>1</sub>	ระยะที่ล้อหน้าถึงล้อคู่ที่ 1
Distance F <sub>2</sub>	ระยะที่ล้อหน้าถึงล้อคู่ที่ 2
Distance F <sub>3</sub>	ระยะจากล้อหน้าถึงล้อคู่ที่ 3
Distance F <sub>4</sub>	ระยะจากล้อหน้าถึงล้อคู่ที่ 4
Front track	ระยะจากล้อหน้าถึงล้อคู่ที่ 1
Rear <sub>1</sub> track	ระยะจากล้อคู่ที่ 1 ถึงล้อคู่ที่ 2
Rear <sub>2</sub> track	ระยะจากล้อคู่ที่ 2 ถึงล้อคู่ที่ 3

**หมายเลข 13 สมรรถนะของยางและเพลาที่ใช้ในรถโดยสาร (Capacity of tire and axle)**

ในการประกอบยางและเพลาที่ใช้ในรถโดยสารแต่ละประเภทที่ผู้ใช้งานจะต้องมีการออกแบบและเลือกเพื่อให้มีความสามารถในการรับน้ำหนักตามโครงสร้างและอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบไว้โดยทำการป้อน “สมรรถนะของยางและเพลาที่ใช้ในรถโดยสาร” หรือ “Capacity of tire and axle” ในหมายเลข 13 ซึ่งข้อมูลในส่วนสมรรถนะของยางและเพลาที่จะใช้เป็นการประเมินเปรียบเทียบกับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดและเพลา ทากรถโดยสารที่ออกแบบมานี้มีน้ำหนักบรรทุกสูงสุดและน้ำหนักยางต่อเพลาที่เกินข้อกำหนดของทิศทางหลวงจะถือว่ารถโดยสารโมเดลนี้มีน้ำหนักเกินที่การตรวจสอบ

**หมายเลข 14 บันทึก (Save)**

หลังจากที่ผู้ใช้งานได้ทำการป้อนรายละเอียดและเลือกแบบของรถโดยสารตามหมายเลข 9-13 แล้ว ในลำดับถัดมาคือการบันทึกรายละเอียดดังกล่าวโดยการกดคำสั่ง “Save” ตาม**หมายเลข 14** เพื่อไปสู่อินเตอร์เฟซต่อไป

**หมายเลข 15 การเลือกข้อมูลย้อนหลัง (History)**

สำหรับคำสั่ง “History” ในหน้า Specification คือคำสั่งที่สามารถเลือกดูการป้อนรายละเอียดของหน้าดังกล่าวย้อนหลัง ซึ่งจะเป็นการทบทวนหรือเข้าไปดูการแก้ไขข้อมูลย้อนหลังได้อีกด้วย

รูปที่ ง.9 คู่มือการใช้งานโปรแกรม SUT CG (7-8)

**สรุปข้อมูล**  
Data summary

จากข้อมูลข้างต้นในหน้า Specification นี้เมื่อผู้ใช้งานมีการใส่ข้อมูลดังกล่าวครบถ้วนแล้วก่อนที่จะนำไปสู่ขั้นตอนการป้อนรายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆภายในรถโดยสารนี้จะมีส่วนของกราฟแสดงผลการใส่ข้อมูลซึ่งผู้ใช้งานไม่ได้ใส่ไว้ข้างต้น เพื่อเป็นการทบทวนและตรวจสอบอีกครั้งเพื่อความถูกต้องของการใส่ข้อมูล โดยจะเริ่มต้นจากการเลือกชื่อรุ่นของรถโดยสารตามหมายเลข 16 จากนั้นข้อมูลของรถโดยสารจะแสดงในตารางดัง**หมายเลข 17** และจากนั้นผู้ใช้งานจะต้องทำการกด “Save” ตาม**หมายเลข 18** เพื่อเป็นการบันทึกข้อมูลเพื่อเป็นการนำไปสู่อินเตอร์เฟซต่อไปของการทำงานของโปรแกรม SUT CG

**ส่วนประกอบ อุปกรณ์และการจัดการ**  
Equipment

ในส่วนถัดมาผู้ใช้งานจะต้องทำการป้อนรายละเอียดของส่วนประกอบภายในรถโดยสารดังที่ประกอบไปด้วย

**หมายเลข 19** ชื่อในแบบรถโดยสารที่น้ำหนักวิเคราะห์ (Model)

**หมายเลข 20** รายชื่อส่วนประกอบย่อยและอื่นๆ (Subsystem) และอื่นๆ (Other)

**หมายเลข 21** การเพิ่มส่วนประกอบย่อย (ADD) และการลบส่วนประกอบย่อย (DEL)

**หมายเลข 22** การเพิ่มรายละเอียดของส่วนประกอบย่อย (Add Equipment)

**หมายเลข 23** ตารางแสดงรายละเอียดของส่วนประกอบย่อย (Table of subsystem)

**หมายเลข 24** การเลือกข้อมูลย้อนหลัง (History)

**หมายเลข 25** การคำนวณและวิเคราะห์ (Calculate)

รูปที่ ง.10 คู่มือการใช้งานโปรแกรม SUT CG (9-10)

**หมายเลข 17** ชื่อรูปแบบรถโดยสารที่มีน้ำหนักบรรทุก (Model)

ในการเริ่มต้นการทำงานของท่านใหม่ ผู้ใช้งานต้องทำการเลือก "ชื่อรูปแบบรถโดยสารที่มีน้ำหนักบรรทุก" หรือ "Model" เพื่อเป็นกำหนดรูปแบบของรถโดยสารที่จะทำการป้อนข้อมูลในวันข้างหน้า

**หมายเลข 20** รายชื่อส่วนประกอบย่อยและอื่นๆ (Subsystem) และอื่นๆ (Other)

ในการออกแบบโครงสร้างรถโดยสารที่มีความสมบูรณ์ในหนึ่งคันจะต้องประกอบไปด้วยโครงสร้างส่วนต่าง ๆ รวมไปถึงอุปกรณ์ที่ติดตั้งในตัวรถโดยสาร ซึ่งนอกจากตัวออกแบบหรือผู้ใช้งานจะมีการออกแบบคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ไม่ไปตามข้อกำหนดของกรมขนส่งทางบกแล้ว น้ำหนักและตำแหน่งการจัดวางส่วนประกอบต่างๆก็มีความสำคัญในการประเมินตำแหน่งจุดศูนย์กลางซึ่งจะส่งผลต่อน้ำหนักสูงสุดของรถโดยสาร น้ำหนักของเพลาอีกกรมไปถึงมูลค่าในการเอียงสูงสุดได้อีกด้วย ซึ่งในขั้นตอนนี้ผู้ใช้งานจะต้องใส่ข้อมูลของชื่อส่วนประกอบ โดยเบื้องต้นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาได้มีการจัดประเภทตามระบบย่อยต่างๆเป็น 12 ระบบตั้งแต่ โครงสร้างแชสซี, ส่วนประกอบของแชสซี, ที่นั่ง/เก้าอี้, โครงสร้างส่วนหน้า, โครงสร้างหลังคา, โครงสร้างด้านขวา, โครงสร้างด้านซ้าย, โครงสร้างหลังคา, โครงสร้างพื้น, ห้องน้ำ, อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์, และอื่นๆ หากผู้ใช้งานต้องการที่จะสร้างระบบย่อยหรือทำการจัดกลุ่มของส่วนประกอบของรถโดยสารนั้นสามารถเลือกใช้คำสั่ง "อื่นๆ" ดัง **หมายเลข 20** ที่จะสร้างกลุ่มของส่วนประกอบขึ้นมาใหม่

**หมายเลข 21** การเพิ่มส่วนประกอบย่อย (ADD) และการลบส่วนประกอบย่อย (DEL)

เมื่อผู้ใช้งานทำการป้อนข้อมูลใน **หมายเลข 20** แล้วต้องทำการเลือกคำสั่ง "ADD" เพื่อเป็นการเพิ่มข้อมูลดังกล่าวลงในฐานข้อมูล หรือหากต้องการล้าง/ลบข้อมูลดังกล่าวทิ้ง ผู้ใช้งานสามารถเลือกข้อมูลนั้นและเลือกคำสั่ง "DEL" เพื่อล้างข้อมูลออกจากฐานระบบ ดัง**หมายเลข 21**

**หมายเลข 22** การเพิ่มรายละเอียดของส่วนประกอบย่อย (Add Equipment \*)

เมื่อผู้ใช้งานเลือกประเภทของระบบย่อยต่างๆแล้วผู้ใช้งานต้องกดเลือกคำสั่ง Add Equipment ดัง**หมายเลข 22** เพื่อเป็นการนำไปสู่ขั้นตอนการใส่รายละเอียดย่อยในลำดับถัดไป

**หมายเลข 23** ตารางแสดงรายละเอียดของส่วนประกอบย่อย (Table of subsystem)

หลังจากที่ผู้ใช้งานได้ทำการป้อนข้อมูลใน **หมายเลข 20** และ**หมายเลข 22** แล้ว ข้อมูลที่โปรแกรมทำการคำนวณไว้ ทั้งตำแหน่งจุดศูนย์กลางของส่วนประกอบย่อย น้ำหนักของส่วนประกอบย่อย รวมไปถึงผลการวิเคราะห์ของทั้งระบบในรถโดยสารนั้นแสดงผลลัพท์ในตาราง**หมายเลข 23**

**หมายเลข 24** การเลือกดูข้อมูลย้อนหลัง (History)

สำหรับคำสั่ง "History" ในหน้า Equipment คือคำสั่งที่สามารถเลือกดูการป้อนรายละเอียดของหน้าดังกล่าวย้อนหลัง ซึ่งจะเป็นการทบทวนหรือนำไปดูการแก้ไขข้อมูลย้อนหลังได้อีกด้วย

**หมายเลข 25** การคำนวณและวิเคราะห์ (Calculate)

เมื่อผู้ใช้งานทำการป้อนข้อมูลในหน้า Equipment เสร็จเรียบร้อยแล้วเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการประเมินและการวิเคราะห์นั้นผู้ใช้งานจะต้องทำการเลือกคำสั่ง "Calculate" เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนถัดไป

รูปที่ ง.11 คู่มือการใช้งาน โปรแกรม SUT CG (11-12)

**การเพิ่มรายละเอียดของส่วนประกอบย่อย**  
Add Equipment \*

**หมายเลข 26** ชื่อรายละเอียดของส่วนประกอบย่อย

**หมายเลข 27** น้ำหนักของรายละเอียดของส่วนประกอบย่อย (Weight)

**หมายเลข 28** ตำแหน่งการจัดวางรูปทรงตามพิกัดตามมาตรฐานSAE

**หมายเลข 29** การทำการล้างข้อมูลดังกล่าวออกไป

**หมายเลข 30** การเพิ่มรายละเอียดของส่วนประกอบย่อย

การเพิ่มรายละเอียดของส่วนประกอบย่อย หรือการที่ผู้ใช้งานเลือกคำสั่ง Add Equipment ใน**หมายเลข 22** นั้น หน้าต่างของการใส่รายละเอียดของส่วนประกอบจะแสดงขึ้นเพื่อให้ผู้ใช้งานได้ทำการป้อนข้อมูลโดยเริ่มจากการป้อน "ชื่อของรายละเอียดของส่วนประกอบย่อย (Name)" ใน **หมายเลข 26** และถัดมาก็คือการป้อน "น้ำหนักของรายละเอียดของส่วนประกอบย่อย (Weight)" ใน **หมายเลข 27** จากนั้นจะเป็นการป้อน "ตำแหน่งการจัดวางของรายละเอียดของส่วนประกอบย่อย (Coordinate)" ใน **หมายเลข 28** โดยที่ ตำแหน่งการจัดวางรูปทรงตามพิกัดตามมาตรฐานSAE และเมื่อผู้ใช้งานได้ทำการป้อนรายละเอียดใน**หมายเลข 26-28** แล้วผู้ใช้งานจะต้องเลือกคำสั่ง Add เพื่อเป็นการนำข้อมูลดังกล่าวเข้าสู่ฐานระบบ และทำการป้อนรายละเอียดของส่วนประกอบขึ้นถัดไป หรือหากต้องการที่จะล้าง/ลบ รายละเอียดดังกล่าวที่ไม่ต้องการผู้ใช้งานสามารถเลือกคำสั่ง Del ใน**หมายเลข 29** เพื่อทำการล้างข้อมูลดังกล่าวออกไปได้ ซึ่งผลลัพธ์ที่ผู้ใช้งานได้ทำการป้อนข้อมูลไว้นี้จะแสดงในตาราง**หมายเลข 30** และสุดท้ายเมื่อผู้ใช้งานได้ทำการป้อนข้อมูลเรียบร้อยแล้วนั้นจะต้องทำการเลือกคำสั่ง Save เพื่อเป็นการบันทึกข้อมูลที่ป้อนในวัน **หมายเลข 31**

**ผลการวิเคราะห์**  
CG Calculate

**หมายเลข 32** ตารางแสดงรายละเอียดของส่วนประกอบย่อย

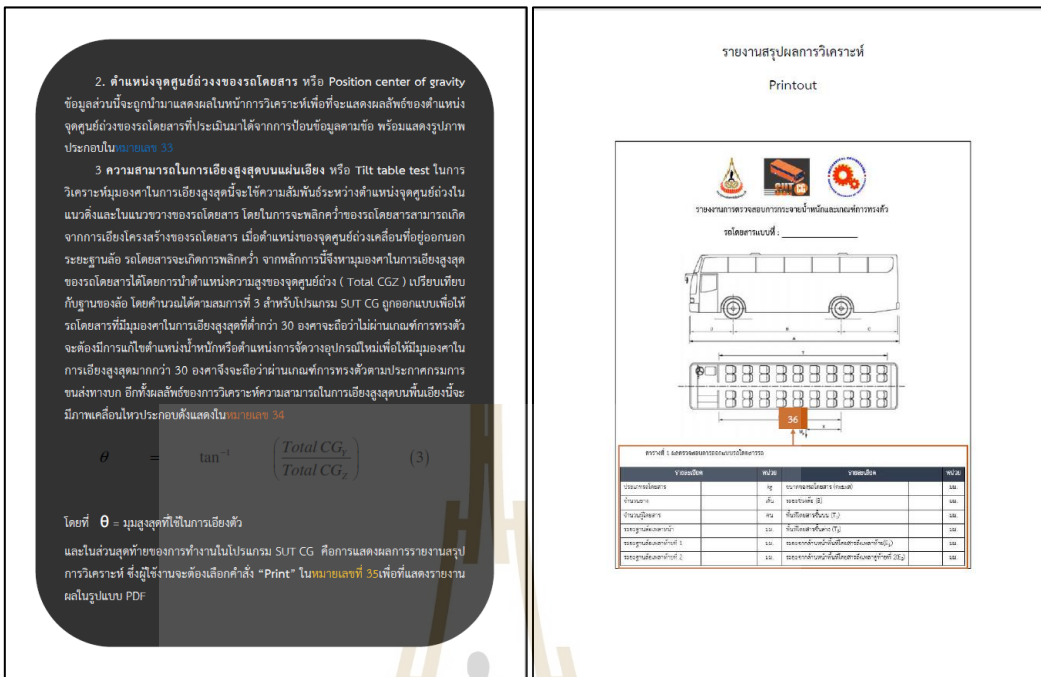
**หมายเลข 33** ตำแหน่งของรายละเอียดของส่วนประกอบย่อย

**หมายเลข 35** การพิมพ์ผลการวิเคราะห์

สำหรับผลลัพธ์การประเมินและการวิเคราะห์โครงสร้างรถโดยสารในโปรแกรม SUT CG จะแสดงผลลัพท์ทั้งหมด 3 ส่วน ประกอบด้วย

1. การวิเคราะห์การกระจายน้ำหนัก หรือ Gross vehicle Weight and weight distribution ใน**หมายเลข 32** ซึ่งจะประกอบไปด้วยผลการกระจายน้ำหนักในแต่ละเพลา รวมไปถึงผลการวิเคราะห์ถึงน้ำหนักที่กระทำลึงล้อของแต่ละเพลาด้วย อีกทั้งยังมีผลของสมรรถนะของยางและเพลาที่ผู้ใช้งานได้ทำการป้อนไว้ในส่วนหน้า Specification ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้งานสามารถเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ได้ หากผลการวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักมีค่าที่ไม่เหมาะสมหรือมีค่าที่เกินสมรรถนะที่ได้ออกแบบไว้ จะได้ทราบผลและทำการแก้ไขในลำดับถัดไป

รูปที่ ง.12 คู่มือการใช้งาน โปรแกรม SUT CG (13-14)



รูปที่ ง.13 คู่มือการใช้งาน โปรแกรม SUT CG (15-16)



รูปที่ ง.14 คู่มือการใช้งาน โปรแกรม SUT CG (17)



ภาคผนวก จ

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

Talingthaisong, T. and Rooppakhun, S., (2018). **The Strength Analysis of Double-Decker Bus Superstructure based on Global Load Case Using Finite Element Method.** 2018 International Conference on Engineering, Technology, and Applied Science-Summer Session (ICETA 2018), Supporo: Japan; August 17-19.

Talingthaisong, T. and Rooppakhun, S., (2020). **The Influence of Suspension Parameters on a Tilt Angle of Passenger Bus for the Stability Test.** Journal of Science, Engineering and Health Studies (SEHS). 14(2): 101-108.

แจ้งจดลิขสิทธิ์งานประดิษฐ์โปรแกรมในชื่อ “โปรแกรม SUT CG”





## The Strength Analysis of Double-Decker Bus Superstructure based on Global Load Case using Finite Element Analysis

*Thanaporn Talingthaisong and Supakit Rooppakhun\**

*<sup>a</sup>School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering,  
Suranaree University of Technology  
111 University Avenue, Muang, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand  
\*Corresponding author: supakit@sut.ac.th*

### ABSTRACT

In Thailand, a double-decker bus was classified as standard type-4 and widely used for public transport including the intercity transit services. According to the regulation of Department of Land Transport, double-decker bus superstructure was limited by the allowed not exceed of 12 meters of overall length, 2.55 meters in the width, and 4 meters in height. The available bearing weight capacity of rear shaft bus must be no more than 16.5 tons and/or the total weight capacity does not exceed 21.5 tons. The objective of the study is to analyze the strength of double-decker superstructure bus based on global load cases consist of bending, torsion, longitudinal and lateral. In this study, finite element model of bus superstructure included the chassis frame and body structure (CB390 model, Cherdchai Industrial Co., Ltd) was created using the computerized software. Three-dimensional (3D) beam element based on the consideration of rigid beam joint was performed and analyzed. According to the results, the magnitude of maximum stress occurred in bending load case was 116.35 MPa, and it did not exceed the yield strength of the material with a safety factor of 2.02. The torsional strength of bus superstructure with no permanent deformation was  $24.1 \times 10^3$  N-m. In the case of longitudinal and lateral, the magnitude of maximum stress displayed of 96.32 MPa and 50.11 MPa, respectively. For the structural flexibility, the calculated magnitude of bending stiffness and the torsional stiffness were displayed of  $13 \times 10^3$  N/mm, and  $28.75 \times 10^3$  N-m/deg, respectively within a range of previously reported. The structural analyzed results can be lead to the improved design for strength and safety.

**Keywords:** Strength analysis, Double-decker bus, Global load case, Finite element method

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## 1. INTRODUCTION

Double-decker bus was widely used for public transport including the intercity transit services, especially in Thailand. According to the statistical report by Department of Land Transport, Thailand (in April 2016), there was the number of double-decker bus classified as standard type-4 around 7,360 unit that is approximately 36 percent from all passenger bus [1]. However, the public transportation accidents statistics in 2017 reported that the number of double-decker bus involving in accidents displayed 126 times or approximate 25% of all [2] as shown in Figure 1.

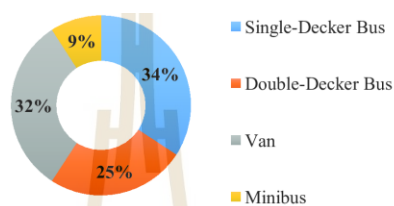


Figure 1. The statistics of public bus accidents in 2017, Thailand [2]

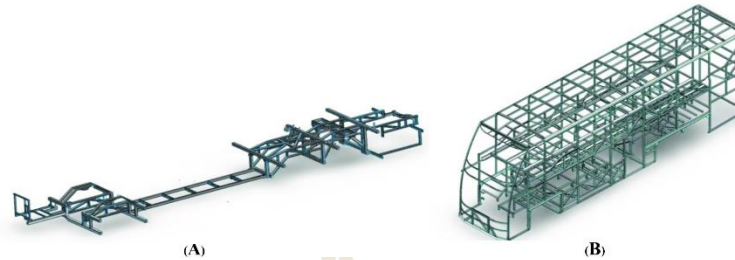
Generally, a double-decker bus was the largest size bus consisted of the double floor of passenger seat and capacity transit service by 45 persons. In Thailand, Department of Land Transport was the organization responsible for the systematization and regulation of land transport as well as the regulation of standard and safety for passenger bus. For the involved regulation of the passenger bus, the superstructure of the double-decker bus was limited by the allowed not exceed of 12 meters of overall length, 2.55 meters of the width, and 4 meters of height[3]. In addition, the bearing weight capacity of the rear shaft must be no more than 16.5 tons and/or the total weight capacity does not exceed 21.5 tons [4]. In order to the design and manufacturing process, the consideration of structural strength based on the basic global load configurations was the essential procedure that design engineering must take into account. Configurationally, the bus superstructure is generally divided into two parts, first is a chassis frame designed for the main component that resisted the major external load. Second is the body structure placed on the upper of chassis frame creating to accommodate passengers included other utilities as shown in Figure 2. Regard to the basic global load cases [5], it can be classified into four type follows:

- Bending load case: This is loading in a vertical axle due to the distributed weight of components placed upright or vertically on the bus structure e.g., passengers, engine, fuel, luggage, etc.

- Torsion load case: The vehicle body is subjected to a moment applied at the axle centerlines by applying upward and downward loads at each axle that is the physical consideration when a wheel on one side strikes a bump or a pot-hole on each wheel.

- Longitudinal load case: The longitudinal load case generated due to the longitudinal centrifugal acceleration of the vehicle that is the consideration of when the vehicle structure caused by braking or acceleration.

- Lateral load case: The lateral load case generates due to the lateral centrifugal acceleration of vehicle occurred when a vehicle travels on a curved or turn.

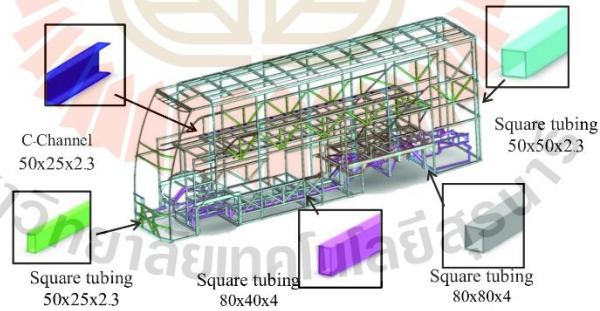


**Figure 2.** The configurations of bus superstructure: (A) chassis frame, (B) body structure

Currently, the Finite Elements (FE) analysis is the most widely applied method or one of the most powerful modern technology available for engineering. The computer simulation using FE technique provided a way of virtually testing a product design in the development process, especially in the automotive industry [6]. In this study, the FE simulation of double-decker bus superstructure referred by CB390 model (Cherdchai Industrial Co., Ltd) based on the basic global load cases consisted bending, torsion, longitudinal and lateral was performed using computer software (called as ANSYS Workbench v18.0). The beam type element was used for the FE modeling under the assumption of the rigid beam joint connection. The structural strength was evaluated in the term of stress analysis included the construction stiffness. The structural analyzed result can be contributed to the improved design for strength and safety.

## 2. MATERIALS AND METHODS

In this study, the model was constructed and analyzed based on the computerized software called as ANSYS Workbench v18.0 with the details as follows.



**Figure 3.** FE model of bus structure consisted of the different cross-sectional shape

### 2.1 Finite Element (FE) model

The FE model of double-decker bus superstructure referred by CB390 model (Cherdchai Industrial Co., Ltd) was created using the beam element. The consideration of rigid beam joint was performed. The total of five different cross-sectional shapes consist of the thin-walled square tubing and C-channel tubing was assigned following 80 x 80 x 4 and 80 x 40 x 4 for the chassis frame, and 50 x 50x 2.3, 50 x 25 x 2.3 for the body structure component as shown in Figure 3.

### 2.2 Material properties

The assumption of material properties used in the study was considered as the isotropic elastic materials. The mechanical properties of chassis frame and body structure components including elastic modulus, Poisson's ratio, the tensile yield strength, and density were shown in Table 1.

**Table 1: Material properties used in the study**

Components	Elastic modulus (GPa)	Poisson's ratio	Tensile yield strength (MPa)	Density (kg/m <sup>3</sup> )
Body structure	210	0.26	235	7860
Chassis frame	220	0.3	370	7740

### 2.3 Boundary conditions

For the boundary condition, the simply support was performed using the multi-point constraint element (RBEs) defined at the position of wheel hub as shown in Figure 4. Regard to the loading conditions, the basic global load cases (bending, torsion, longitudinal, and lateral) were defined and mentioned the details as follows.

In the bending load case, Table 2 showed all weight component defined using a point mass assignment. Figure 4 showed the configuration of point mass in each weight component and the simply supported condition.

**Table 2: The detail of weight component for the bending load case**

Position	Detail	Weight (kg)
A	Fuel tank and luggage	900
B	Console	300
C	Engine	675
D	Passenger and seat	4,950
E, F	Windows, door and body coating	1,500
G	Air condition	300
	Superstructure weight	2,837.7
	<b>Total</b>	<b>11,462.7</b>

For the torsional load case, the bus superstructure was considered under the asymmetrically couple load during a wheel climbed on the curb accidentally as shown in Figure 5. In order to the torsional strength, the twisting moment was calculated from the maximum of applied couple force between a both of front wheel hub based on the consideration of no permanent deformation as well as the angle of twist.

Regard to the longitudinal and lateral cases, the acceleration or deceleration respond of the bus superstructure was conducted, for example, acceleration/braking and cornering. From the previous study, the magnitude of acceleration of 0.75g was recommended in each analysis of both cases [7].

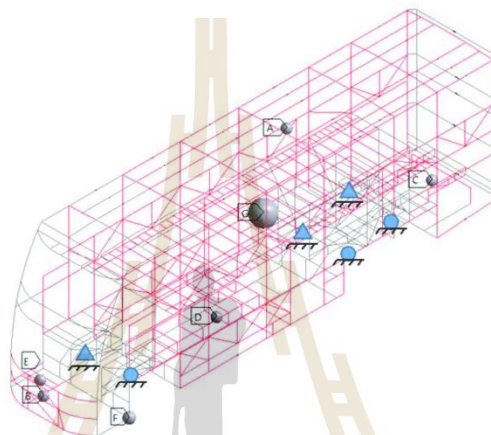


Figure 4. The boundary condition in bending load case

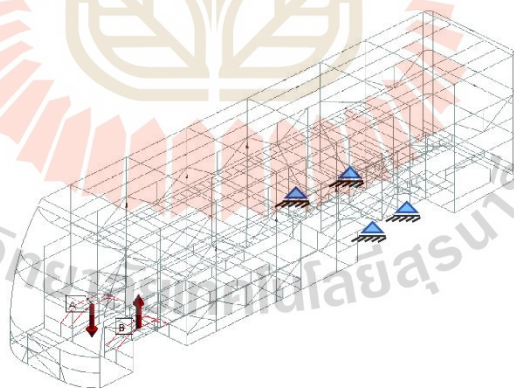


Figure 5. The boundary condition for the torsional load case

### 2.4 Structural stiffness

In order to the structural stiffness analysis, it can be divided into two cases as following: the bending stiffness ( $K_B$ ), and the torsional stiffness ( $K_T$ ). Theoretically, the bending stiffness related to the symmetrical vertical deflection of a point near the center of the wheelbase to multiples of the total static loads on the vehicle. While the torsional stiffness relates to the torsional deflection of the structure to an applied pure torque about the longitudinal axis of the vehicle [6]. The calculation of both stiffnesses can be expressed as follows in the equation (1) and the equation (2), respectively.

$$K_B = \frac{F}{\delta} \quad (1)$$

$$K_T = \frac{T}{\theta} \quad (2)$$

where:

- $F$  is the applied load
- $\delta$  is the deflection
- $T$  is the applied torque
- $\theta$  is torsion twist

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

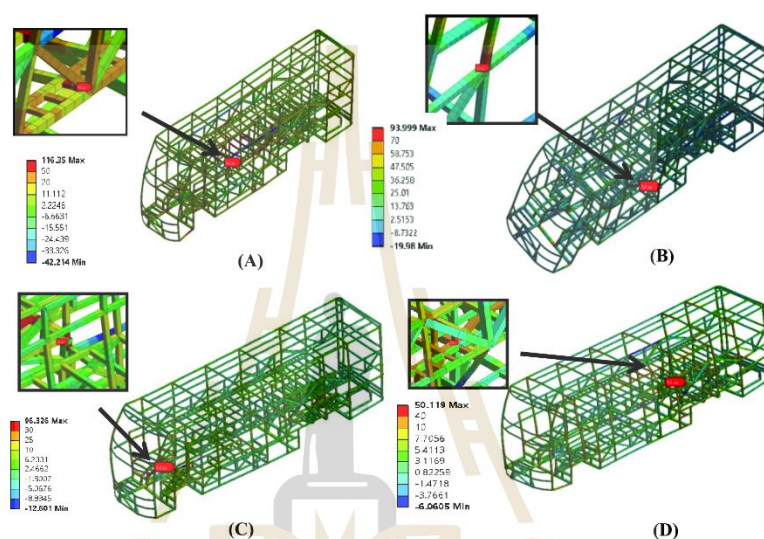
In this study, the results of structural analysis of double-decker bus superstructure using FE method can be divided into two parts as follows.

#### 3.1 Structural strength

Figure 6 displayed the stress distribution of the FE model of bus superstructure in all load case. The results revealed that the highest magnitude of stress occurred in a case of bending load by the value of 116.35 MPa. The critical zone displayed the high stress level was disclosed in the floor structure member that is the passenger seat space as shown in Figure 6(A). Under the static failure consideration, the value of safety factor was 2.02. In previous report, the safety factor recommended for the bending load case should be more than 2.5 [7]. The magnitude of safety factor indicated lower than recommended previous study due to the FE model of bus superstructure not include the other component such as the panel or the thin-wall member. For the torsional strength, the maximum torque of bus superstructure with no permanent deformation was  $24.1 \times 10^3$  N-m. According to previous report, the torsional strength requirement was approximately in a range of 5,000 N-m to 8,000 N-m for the command mid-size vehicle [8]. Figure 4(C) and Figure 4(D) showed the result of the stress distribution on the superstructure caused by the acceleration in the longitudinal and lateral, respectively. The results of maximum stress value in longitudinal and lateral load cases were 96.32 MPa and 50.11 MPa, respectively. Generally, structural strength may be alternatively defined as the maximum force which the structure can withstand. In addition, different load cases cause different local component loads, but the structure must have sufficient strength for all load cases [6, 7].

According to the deformation, the results of maximum deformation in bending case, and torsional case were 9.18 mm and 38.76 mm, respectively. However, the results also revealed that the maximum deformation of the bus superstructure caused by the acceleration was displayed in the case of lateral load with 8.75 mm, and occurred at the region of the side

pillar frame as shown in Figure 7(D). Due to the center of gravity position, the shape of double-decker bus highly affects from the lateral acceleration such as cornering. In addition, the center of gravity position was the important factor for the vehicle dynamics stability, especially in the control of during the cornering. In generally, the structural requirement was related to the load- deformation characteristic. The category of structural requirement can be considered based on the allowable deformation. It was important to ensure that deflections due to extreme loads were not so large as to impair the function of the vehicle [7].



**Figure 6.** The FE results of stress distributions on the model of bus superstructure: (A) Bending case; (B) Torsion case; (C) Longitudinal case; and (D) Lateral case

### 3.2 Construction stiffness

Different load case requires different stiffness definition, however, the two most commonly used the vehicle structure including the bending stiffness and torsion stiffness. For construction stiffness, the FE results of deformation and the angle of twist obtained from bending and torsional load case were used. According to the bending stiffness, the bus superstructure revealed the value of  $13 \times 10^3$  N/mm. In the case of torsion stiffness, the bus superstructure displayed the magnitude of  $28.7 \times 10^3$  N-m/deg. Generally, the bending stiffness for the common vehicle structure was recommended within a range of  $8 \times 10^3$  N/mm to  $10 \times 10^3$  N/mm [7]. While the torsional stiffness for bus structure was suggested within a range of  $18 \times 10^3$  N-m/deg to  $40 \times 10^3$  N-m/deg [9]. In the study, it can be noticed that double-decker bus superstructure showed the value of bending and torsional stiffness in a range of those previous reported. However, the consideration of FE model in this study was simplified and ignored the other component influenced the torsional stiffness such as the thin-walled panel. The stiffness of vehicle structure played the important role that influenced on its handling and vibrational behavior as well as the benchmark of vehicle structure performance [6,7].

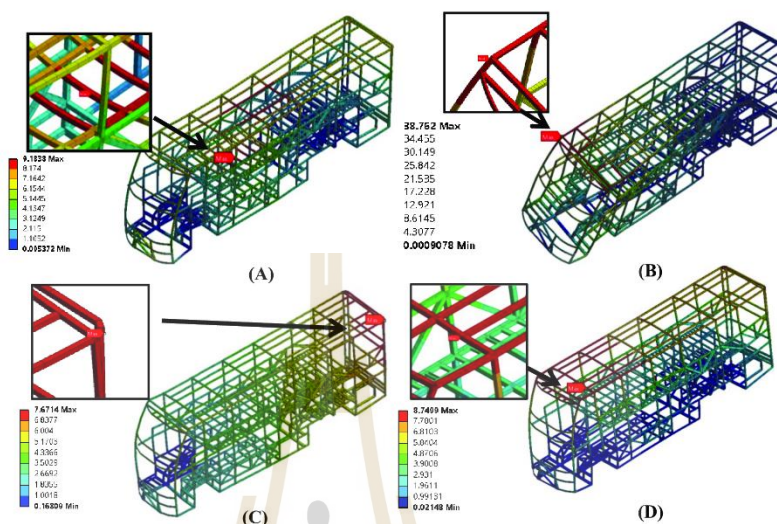


Figure 7. The FE results of bus superstructure deformation: (A) Bending case; (B) Torsion case; (C) Longitudinal case; and(D) Lateral case

#### 4. CONCLUSION

This study was focused on analyzing of bus superstructure in the term of strength analysis as well as the structural stiffness. The basic global load cases consist of bending, torsional, longitudinal and lateral condition were carried out for the vehicle structures analysis using finite element simulation software. According to the results, the maximum stress was displayed in the bending load case (safety factor of 2.02, and occurred on the floor structure member that is the passenger seat space. While the maximum stress in the longitudinal and lateral case because of acceleration or deceleration exhibited in the region of juncture between the pillar and chassis frame. For the construction stiffness, double-decker bus superstructure revealed the bending stiffness of  $13 \times 10^3$  N/mm, and torsional stiffness of  $28.7 \times 10^3$  N-m/deg exhibited in a range of previously reported.

#### REFERENCES

- [1] Transport Statics Sub.Divisions, "According to Statistics of bus standard And registration type on 30 April 2018," DLT., Bangkok, Thailand, Rep. Apr, 2018 (Online). Available: [http://apps.dlt.go.th/statistics\\_web/vehicle.html](http://apps.dlt.go.th/statistics_web/vehicle.html).
- [2] Safety Department of Land Transport (2018). "Statistic of Public Bus Accident in 2017 Report," Department of Land Transport, Bangkok, Thailand, Rep. Jan, 2017. (Online). Available: [http://apps.dlt.go.th/statistics\\_web/webs/5s.pdf](http://apps.dlt.go.th/statistics_web/webs/5s.pdf)
- [3] Involved regulation of the passenger bus, Ministerial Regulations N.62, No. 133 Part 24A, pp. 3, 2016. Mar, 2016.
- [4] Specification Load or weight for shaft of the vehicle, Director of National Highway, Director of highway concession, No. 122 Part 150D, pp. 19, Dec, 2005.



- [5] H. S. Julian, "Chassis design and analysis," in *An Introduction to Modern Vehicle Design*, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2002.
- [6] J. Wichairahad, and S. Rooppakhun. "The Strength Analysis of A Bus Superstructure Based on The Accuracy Improvement of T-Junction Joint Stiffness," presented at the 4th International Conference on Advanced Manufacturing Technology Johor Bahru, Malaysia, Sep, 2015. pp. 76.
- [7] J. C. Brown, A. J. Robertson, and S. T. Serpento, "Fundamental vehicle loads and their estimation Terminology and overview of vehicle structure types," in *Motor vehicle structures-concepts and fundamentals*, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2002, pp. 125-134.
- [8] D. E. Malen, "Fundamentals of Automobile Body Structure Design," SAE International, 2011
- [9] D. Shinabuth et al., "Finite Element Analysis of an Electric Bus Body Structure in Real Driving Conditions," in *The 3rd TSME International Conference on Mechanical Engineering*, Chiang Rai, Thailand, 2012.
- [10] L. L. Thompson, R. Srikanth, and E. H. Law, "Design of a Winston Cup Chassis for Torsional Stiffness," SAE Technical Paper Series, in *Motorsports Engineering Conference and Exposition*. Michigan, U.S.A, 1998.
- [11] A. Gauchia, V. Diaz, L. Boada, and B. Boada, "Torsional stiffness and weight optimization of a real bus structure," *International Journal of Automotive Technology*, vol. 11, no. 1, pp. 41-47, 2010

#### ACKNOWLEDGMENTS

The authors also would like to thank Cherdechai Industrial Factory Co.,Ltd for the sincere support among the research activities of this article.

#### ABOUT THE AUTHORS

Thanaporn Talingthaisong is a postgraduate student in school of Mechanical and Process System Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Thailand. The interested research area focused on the vehicle structural design, finite element Method, computer-aided design, and simulation.

Supakit Rooppakhun is a lecturer/assistant professor (Ph.D. Mechanical Engineering) at School Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Thailand. His interested research relates the computational modeling and simulation, Finite Element Analysis, CAD-reversed engineering in biomechanical engineering included automotive engineering.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## Influence of suspension parameters on a tilt angle of passenger bus for the stability test

Thanaporn Talingthaisong and Supakit Rooppakhun\*

*School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering,  
Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand*

*\*Corresponding author: supakit@sut.ac.th*

Received: January 12, 2019; Revised: June 30, 2020; Accepted: July 2, 2020

### ABSTRACT

Passenger bus stability testing is frequently conducted in accordance with a regulation standard of the Economic Commission for Europe of the United Nations. Specifically, this standard defines a test that requires the vehicle to be tilted to either side at an angle of 28 degrees from the horizontal without overturning. Generally, the stability of a vehicle at this tilt angle is primarily affected by the height of the center of gravity as well as the suspension system. This paper explains a study of several parameters influencing the tilt angle stability test of the passenger bus to avoid bus accident caused by a rollover. The parameters consisted of the spring stiffness, damping coefficient, anti-roll bar stiffness including the static stability factor (SSF). The full factorial design of the experiment was used to analyze the results of the main effects on the tilt angle as evaluated by multibody dynamics simulation software. According to the results, the SSF of the passenger bus displayed higher sensitivity to the tilt angle than the suspension parameter at approximately 82%. The passenger bus with a low SSF tended toward rollover or low tilt stability more than one with a high SSF. For the suspension system, the anti-roll bar stiffness manifested a greater effect on the stability than the spring stiffness and damping coefficient, respectively. The results can be used to make design decisions and improve suspension parameters for improved vehicle stability.

**Keywords:** stability test; passenger bus; suspension system; tilt angle

### 1. INTRODUCTION

In Thailand, the Department of Land Transport (DLT) is the agency responsible for developing motor vehicle test standards for bus safety. In determination of the stability of a vehicle, they involve the tilt table test, in accordance with the standard regulations no107 of Economic Commission for Europe of the United Nations. The vehicles used for the carriage of passengers (classifications of  $M_2$  and  $M_3$ ) must pass the safety test with a tilt angle of 28 degrees from the horizontal (Economic Commission for Europe of the United Nations, 2015). The stability testing is one of the

regulatory requirements regarding registration and certification for public buses controlled by government agencies. The DLT of Thailand has announced regulations for all buses which have height dimensions greater than 3.6 meters must pass a vehicle stability test with a tilt angle of over 30 degrees (Department of Land Transport, 2012) to be certified as a public bus. The vehicle stability testing which causes overturning must be conducted on an inclined floor with an increment application of the angle of 0.05 degrees per second. The maximum tilt angle of vehicle stability

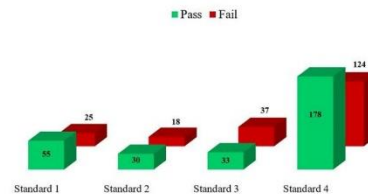
*Influence of suspension parameters on a tilt angle of passenger bus for the stability test*

was determined from the point when the wheel on the opposite side starting lift from the tilt table, as shown in Figure 1. In the case of the passenger bus which has not passed the standard test with the tilt angle more than 30 degrees, then the bus manufacturers or owners cannot obtain registration and extension of the annual vehicle tax.



**Figure 1** The typical passenger bus in tilt table test (Bingley, 2015)

According to the statistical report of the DLT (Safety Department of Land Transport, 2019), there are approximately 300 units of passenger buses classified into 4 standards which have height dimensions greater than 3.6 meters, and approximately 40.8% do not pass the tilt test as shown in Figure 2. Generally for legal registration and operation, all passenger buses involve obtaining passing results of all tests regarding regulation and certified by the DLT. Owing to the fact that bus superstructure development necessarily takes a long time as well as significant cost, the bus manufacturers often choose to design the height of the bus to be less than 3.6 meters to avoid the stability tilt test requirement. However, the height of the structure is not the only factor involved in causing a bus rollover. The suspension and subsystems were identified as relating to the stability of the vehicle such as anti-roll bars, leaf springs, coil springs, and damping (Dixon, 1999).



**Figure 2** The statistics report on the stability tilt test in each passenger bus classification

For the bus suspension systems, the design components involved in the stability of the vehicles were considered the leaf springs, dampers, and anti-roll bar components. Normally, the shock absorber component has the main function to support the load included reducing the vibration of the vehicle for stability and safety. The components of the shock absorber consisted of leaf springs working with a damper to help act in absorbing noise and vibration. The anti-roll bars of vehicles are used to provide an increase of roll stiffness during cornering. Additionally, the static stability factor (SSF) which is related to the center of gravity position was also affecting vehicle stability (Hinch et al., 1992). For each vehicle type, it is recommended to design an appropriate SSF value. For example, the double-decker buses have suggested the magnitude of SSF in a range of 0.60 - 0.75 for appropriate stability.

In the actual test, the bus manufacturer would not be able to predict that passenger buses will pass the standard tilt tests due to the height of the center gravity position not being determined in the design process. The SSF parameters, consequently, could not be easily analyzed in practice. There was only the suspension parameter that could be evaluated in the preliminary design process. However, if one were able to know the factors that affect the design for adjustments to the suspension system they could be tailored to be suitable in vehicle stability. These would be able to improve the suspension parameters of the passenger bus such for it

to be suitable and reduce trial and error before the actual tilt test.

Therefore, the objective of this study was to evaluate the influences of suspension parameters on the tilt angle test of the passenger bus. The suspension parameters evaluated consisted of the spring stiffness, damping coefficient, and anti-roll bar stiffness of the double-decker bus, which were analyzed as well as the value of SSF. Using multibody dynamics analysis, a total of sixteen design of experiments with full factorial was performed to determine the tile angle with MSC ADAM/Car software. Consequently, the main effect of the suspension parameter was obtained from the Pareto Chart. The results of this study could lead to an improved suitable design of the suspension parameter to include reducing time for trial and errors before the standard tilt test of the passenger bus.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1 Materials

An analysis of multibody dynamics is generally used to model the dynamic behavior of interconnected rigid or flexible bodies, each of which may undergo large translational and rotational displacements (Michael and Damian, 2004). The results of dynamic behavior obtained from the equilibrium of applied forces included the change of momentum. In this study, the three-dimensional model of passenger buses included the simulation of a tilt table test that was performed using multibody dynamics software (MSC ADAM/Car) as shown in Figure 3. The parameters of the SSF and suspension system consisted of spring stiffness, damping coefficient, and anti-roll bar stiffness with the various sub-systems of bus models were evaluated in a total of 16 design scenarios to analyze in the tilt table test module.

From the previous study (Sert and Boyraz, 2017), the results of comparison accuracy on behavior the rollover of the actual test and using the MSC ADAM/

Car software on tilt table test analysis, the result of the tilt table angle was 26.2 degrees, while the roll angle of the actual vehicle test was 31.6 degrees that measured from the first wheel that was lifted off the surface of the actual test. However, the simulation result of the roll angle using MSC ADAM/Car revealed 28.25 degrees. Therefore, it can be noticed that the results of the roll angle from the virtual vehicles body analysis displayed close correlation to the actual test.

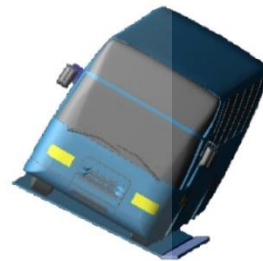


Figure 3 Tilt table test on MSC ADAM/Car software

The rollover of the vehicle causes a lot of danger and damage to both life and resources. If the bus manufacturer is able to predict the trends of behavior towards rollover, it will reduce accidents caused by the rollover. The parameter used to analyze the rollover resistance is SSF (Heydinger et al., 1999) that calculated as followed equation (1):

$$SSF = \frac{b}{2h} \quad (1)$$

where  $b$  represents the width of the vehicle which is determined from the distance between the center of the vehicle, and  $h$  represents the center of gravity height of the vehicle to the tilt table. Theoretically, the bus structure with a lower SSF was at more risk for the rollover than the one with a higher SSF. The typical of SSF value in each vehicle type is shown in Table 1 (Andrzej, 2015).

There are many important factors for the design and improvement of the SSF of vehicles to avoid rollover as much as possible. For example, the emplacement of equipment that affected the total weight of the vehicle and/or the center of gravity

including the suspension system affecting the center of gravity's height. Table 2 shows the detail of the subsystem parameters consisting of mass and the center of gravity position used to analyze in MSC ADAM/ Car software.

**Table 1** The typical static stability factor values of vehicle type

Vehicle type	Static stability factor (SSF)
Car	1.3-1.45
Van	1.10-1.25
Sport utility vehicle	1.05-1.20
Truck, pickup truck	1.10-1.25
Double-decker bus	0.60-0.75

**Table 2** The detail of subsystems used in the study

Subsystem	Mass [kg]	CG		
		X [mm]	Y [mm]	Z [mm]
Front ARB	4.09	2815.57	1060.05	543.92
Steering	44.41	1836.77	449.06	1372.03
Front suspension	43.60	2488.74	1060.05	356.81
Powertrain	304	6368.50	1060.05	359.37
Chassis frame	10,000	5000	1060.05	1457.29
Rear suspension	431	7749.95	1059.21	508.75

## 2.2 Methods

All parameters obtained from the bus manufacturer (Scania Siam Co., Ltd.) are shown in Table 3. The suspension parameters of the passenger bus, presented in a range of maximum and minimum value, consisted of the spring stiffness, damping coefficient, and the anti-roll bar stiffness, respectively as well as the SSF value. A full factorial design of the experiment consisted of all possible combinations of two-levels with the maximum and minimum values for all factors those were performed. A total of sixteen design scenarios were created and used for the analysis of the maximum tilt angle of stability test.

**Table 3** Parameters used in this study

Parameters	Values
Spring stiffness* [N/mm]	240 to 260
Damping coefficient* [N/ms <sup>1</sup> ]	6,935.8 to 13,872.0
Anti-roll bar stiffness* [N-mm/deg]	78,200 to 7,980,000
SSF	0.60 to 0.75

\*Source: Data from Siam Scania Co., Ltd.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

Table 4 shows the results of the maximum tilt angle in each case with the maximum and minimum values of the 4 parameters, denoted by +1 and -1, respectively. Using 2<sup>n</sup> full factorial design, a total number of 16 design scenarios were obtained. It can be

observed in the case of using the high SSF values in all 8 cases (as a case of 9 to case 16). The maximum tilt angle was the tendency to be quite high. The tilt angle of the body structure which has the highest value in the case of 12 was 39.55 degrees.

**Table 4** The results of maximum tilt angle in each design scenario

Case	Spring	Damp	anti-roll bar	SSF	Maximum tilt angle (degree)
1	-1	-1	-1	-1	34.28
2	+1	-1	-1	-1	34.15
3	-1	+1	-1	-1	33.22
4	+1	+1	-1	-1	33.75
5	-1	-1	+1	-1	33.19
6	+1	-1	+1	-1	31.96
7	-1	+1	+1	-1	32.20
8	+1	+1	+1	-1	32.47
9	-1	-1	-1	+1	38.52
10	+1	-1	-1	+1	38.06
11	-1	+1	-1	+1	38.94
12	+1	+1	-1	+1	39.55
13	-1	-1	+1	+1	38.28
14	+1	-1	+1	+1	37.67
15	-1	+1	+1	+1	37.86
16	+1	+1	+1	+1	38.16

In experiments that use a low SSF value, there was a tendency of the maximum tilt angle to be low in all 8 cases (as a case of 1 to case 8) when compared to the case that uses the highest SSF. Therefore, the lowest value of the experiment of tilt the body structure in the case of 6 was 31.96 degrees. From these results, it can be drawn that the SSF is the most influential parameter on the tilt angle.

Figure 4 shows the results of the Pareto chart of all parameters affecting the tilt angle consisting of the spring stiffness, damping coefficient, anti-roll bar stiffness, and SSF, represented by A, B, C, and D, respectively. The critical line was created to determine the parameters with the significance level of 0.05. Figure 4(a) displays the four bars followed by D, C, AB, and BD which beyond the critical line of 0.417, which revealed a significant effect on the tilt angle. However,

there is no significant probability value ( $P$ -value) at the first factorial design, as shown in Table 5. Therefore, it could not be determined that the main factors affected the tilt angle.

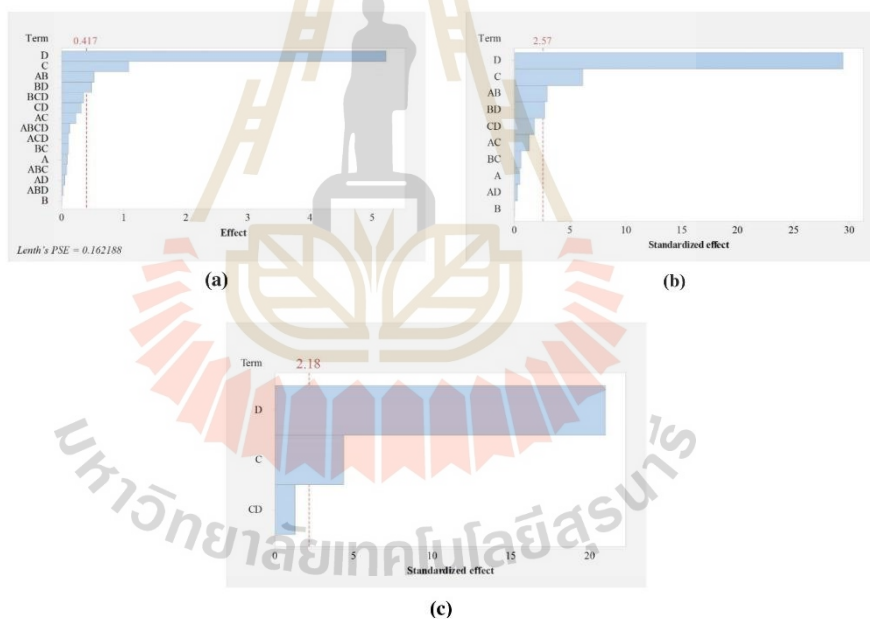
The elimination of the high order terms such as ABCD, ABD, ABC, ACD, and BCD was performed to evaluate the main parameter as shown in Figure 4 (b). In this step, the results of the parameters beyond the critical line of 2.57 consisted of D, C, AB, and BD with a significance level of 0.05. These results revealed the  $P$ -value of the main effect, however, there is a non-significant confidence interval of 95%, as shown in Table 5. The elimination of interaction terms between A and B such as AB, BD, AC, BC, and AD was performed due to A and B displayed the  $P$ -value higher than the others, as shown in Table 5 at the second factorial design.

*Influence of suspension parameters on a tilt angle of passenger bus for the stability test*

Figure 4(c) shows the results of the final factorial design to evaluate the main parameters affected to the tilt angle of vehicle stability. The results in the term of D and C exhibited beyond the critical line, while the term of the CD displayed below the critical line, as shown in the Pareto chart. Therefore, the SSF value and the anti-roll bar stiffness were considered as significant effect parameters to the tilt angle with  $P$ -value  $< 0.05$ , as shown in Table 5 at third factorial design.

Figure 5 displayed the results of each parameter related to the maximum tilt angle. It can be noticed that the SSF value displayed quite a strong relational effect to the tilt angle of bus stability. The bus with low SSF value tended to exhibit the increased rollover or low tilt stability than a bus with high SSF. In

addition, the increase of stiffness of the anti-roll bar tended to decrease bus stability or the ability of a high tilt angle. Therefore, the anti-roll bar stiffness was the main parameter in the suspension system of bus design besides the value of SSF. Figure 6 shows the percentage results of the main parameters that affected the tilt angle of the passenger bus. It could be revealed that the magnitude of the SSF of bus displayed high sensitivity to the tilt angle than suspension parameters with a percentage of 81.58% while the damping coefficient of 0.06% showed the least sensitivity parameter. The effect of the relationship between the tilt angle and the variable values could be implied to manipulate the suspension parameters of the passenger bus.

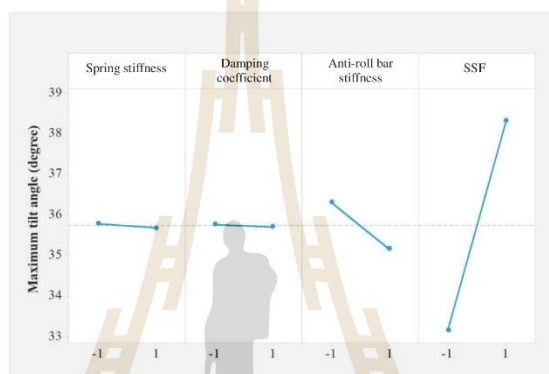


**Figure 4** The Pareto chart of the all parameters;  $\alpha = 0.05$ , A = spring stiffness, B = damping coefficient  
C = anti-roll bar stiffness, D = SSF

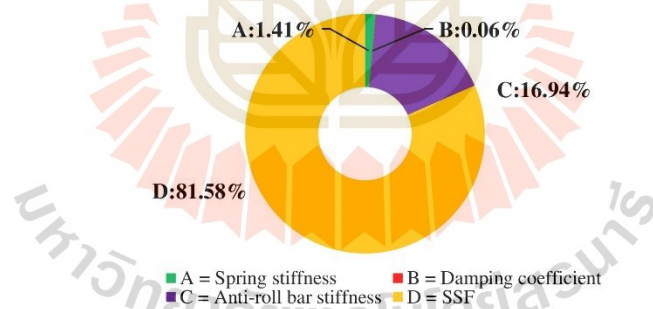
Talingthaisong, T. and Rooppakhun, S.

**Table 5** P-values analysis of each parameter

Factorial design	p-value			
	Spring stiffness	Damping coefficient	Anti-roll bar stiffness	SSF
1	*	*	*	*
2	0.632	0.983	0.002	0.000
3	-	-	0.001	0.000



**Figure 5** The relationship of parameter affected to the tilt angle



**Figure 6** The percentage of the main parameters affected to the tilt angle

**4. CONCLUSION**

The effects of the suspension parameters (i.e., spring stiffness, damping coefficient, anti-roll bar

stiffness, and SSF) on the tilt angle test in which the stability of the passenger bus was presented. The design of the experiment based on the full factorial method was



used to analyze the main effects on the tilt angle. The results of the Pareto chart revealed that the static stability factor exhibited the highest sensitivity to the tilt angle with approximately 82%. For the suspension system of a passenger buses, the anti-roll bar or torsion stiffness was the main effect to tilt angle with approximate 17%, followed by spring stiffness and damping coefficient as 1.4% and 0.06%, respectively. In this study, it can be concluded that the suspension system of the passenger bus, especially in the anti-roll bar component, affected the tilt angle test.

#### ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank Scania Siam Co., Ltd. for the technical data of passenger bus. The authors also would like to acknowledge Dr. Sedthawatt Sucharitpawatskul (National Metal and Materials Technology Center) for his help and the support of MSC ADAM/Car software.

#### REFERENCES

- Andrzej, R. (2015). Investigation of the influence of the centre of gravity position on the course of vehicle rollover. In *Proceeding of 24<sup>th</sup> International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV)*, Gothenburg, Sweden.
- Bingley, H. (2015). *London transport RM1039 on the tilt test at Aldenham works 70's*. [Online URL: <https://www.flickrriver.com/groups/1921981@N24/pool/random/>] accessed on February 20, 2020.
- Michael, B., and Damian, H. (2004). Introduction. In *The Multibody Systems Approach to Vehicle Dynamics*, 1<sup>st</sup>, New York: Butterworth Heinemann Ltd., pp.14-20.
- Department of Land Transport. (2012). *The regulation of stability test of the bus on 29 June 2012*. [Online URL: [https://www.dlt.go.th/minisite/m\\_upload/editor-pic/nakhonphanom/files/00000239\(1\)\(1\).pdf](https://www.dlt.go.th/minisite/m_upload/editor-pic/nakhonphanom/files/00000239(1)(1).pdf)] accessed on October, 2019.
- Dixon, J. C. (1999) *Tires, Suspension, and Handling*, 2<sup>nd</sup>, Cambridge University Press: UK, pp. 181-182.
- Heydinger, G. J., Bixel, R. A., Garrott, W. R., Pyne, M., Hove, J. G., and Guenther, D. A. (1999). Measured vehicle inertial parameters-NHTSA's data through November 1998. *SAE Technical Paper*, 1999-01-1336.
- Hinch, J., Shadle, S., and Klein, T., (1992). NHTSA's rollover rulemaking program - Results of testing and analysis. *SAE Technical Paper*, 920581.
- Sert, E., and Boyraz, P. (2017). Optimization of suspension system and sensitivity analysis for improvement of stability in a midsize heavy vehicle. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 20(3), 997-1012.
- Safety Department of Land Transport. (2019). *The results of the stability test bus in 2019 report*, Department of Land Transport, Bangkok.
- United Nations Economic Commission for Europe. (2015). *Regulation NO.107, Uniform provisions concerning the approval of category M2 or M3 vehicles with regard to their general construction-requirements to be met by all vehicle*. [Online URL: <https://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/XT/?uri=CELEX%3A42015X0618%2801%29>] accessed on September, 2019.

## ประวัติผู้เขียน

นางสาวธนาภรณ์ ต่ลิ่งไชสง เกิดเมื่อวันที่ 23 มิถุนายน พ.ศ. 2537 ณ จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ในปีการศึกษา 2555 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจากสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมยานยนต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2559 และจากนั้นเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ ได้ศึกษาและวิจัยในหัวข้อ “การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปเพื่อประเมินตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงและการทรงตัวบนพื้นเอียงของรถโดยสารสาธารณะ” ในขณะที่ศึกษาอยู่ได้มีโอกาสเป็นผู้ช่วยสอนในรายวิชาของสาขาวิศวกรรมเครื่องกล เพื่อเป็นการเพิ่มพูน ความรู้ใหม่ ทักษะการวิจัย รู้จักการแก้ปัญหา และการทำงานกันเป็นกลุ่มเพื่อบรรลุเป้าหมายที่วางไว้ นอกจากนี้มีโอกาสดำเนินการนำเสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ 2018 International Conference on Engineering, Technology, and Applied Science-Summer Session ในชื่อบทความเรื่อง " The Strength Analysis of Double-Decker Bus Superstructure based on Global Load Case using Finite Element Analysis" และ International Conference on Engineering and Industrial Technology ในชื่อบทความเรื่อง " The Influence of Suspension Parameters on a Tilt Angle of Passenger Bus for the Stability Test"

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี