

การทดสอบสมรรถนะรถกอล์ฟไฟฟ้า
ELECTRIC GOLF CART PERFORMANCE TESTS

นางสาวภูษณิศรา	พุ่มพวง	รหัส 52361307
นายอมรเทพ	โตพ่วง	รหัส 52361505
นายเอกชัย	บุญเพิ่ม	รหัส 52361598

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 2 / ต.ค. 2556
เลขทะเบียน..... 1643034 X
เลขเรียกหนังสือ..... น.ร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๓ ๒๙๖ ๑

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2555



ใบรับรองโครงการ

หัวข้อโครงการ : การทดสอบสมรรถนะรถกอล์ฟไฟฟ้า
 ผู้ดำเนินโครงการ : นางสาวภูษณิศรา พุ่มพวง รหัส 52361307
 นายอมรเทพ โตพ่วง รหัส 52361505
 นายเอกชัย บุญเพิ่ม รหัส 52361598
 ที่ปรึกษาโครงการ : ดร.ภาณุ พุทธวงศ์
 สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
 ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร
 ปีการศึกษา : 2555

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงการวิศวกรรมเครื่องกลฉบับนี้ เป็น
 ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
 คณะกรรมการสอบโครงการวิศวกรรมเครื่องกล

(ดร.ภาณุ พุทธวงศ์)

ที่ปรึกษาโครงการ

(ดร.ศลิษา วีรพันธุ์)

กรรมการ

(ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

กรรมการ

หัวข้อโครงการ : การทดสอบสมรรถนะรถกอล์ฟไฟฟ้า
ผู้ดำเนินโครงการ : นางสาวภูษนิศา พุ่มพวง รหัส 52361307
นายอมรเทพ โตพ่วง รหัส 52361505
นายเอกชัย บุญเพิ่ม รหัส 52361598
ที่ปรึกษาโครงการ : ดร.ภาณุ พุทวงศ์
สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา : 2555

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการออกแบบขั้นตอนและวิธีการในการทดสอบสมรรถนะรถกอล์ฟไฟฟ้า และทำการทดสอบสมรรถนะของรถกอล์ฟไฟฟ้า และเพื่อนำขั้นตอนวิธีการ และข้อมูลจากการทดสอบนี้ไปใช้เป็นแนวทางในการทดสอบสมรรถนะของรถไฟฟ้าต้นแบบมหาวิทยาลัยนเรศวรต่อไป โดยระยะแรกจะเป็นการออกแบบขั้นตอนและวิธีการ ซึ่งแบ่งการทดสอบเป็น 4 การทดสอบ คือ 1. การทดสอบระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ต่อการชาร์จ (ที่ 80% ของความจุแบตเตอรี่) 2. การทดสอบอัตราเร่งและความเร็วสูงสุด 3. การทดสอบระยะเบรก 4. การทดสอบวงเลี้ยว โดยทำการทดสอบบนถนนในมหาวิทยาลัยนเรศวร ผลการทดสอบสมรรถนะของรถกอล์ฟไฟฟ้าขณะบรรทุกน้ำหนัก 200 กิโลกรัม (บรรทุกผู้โดยสาร 3 คน ไม่รวมคนขับ) มีดังนี้ ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ต่อการชาร์จ คือ 63.3 กิโลเมตร, อัตราเร่ง 0.84 m/s^2 , ระยะหน่วง (ระยะที่รถหยุดโดยไม่เบรก) 15.7 เมตร, ระยะเบรก 6.7 เมตร และรัศมีวงเลี้ยวด้านนอก 4.11 เมตร

Project Title : Electric Golf Cart Performance Tests
Manipulator : Ms. Phusanisa Pumpoang Student ID. 52361307
Mr. Amornthep Topaung Student ID. 52361505
Mr. Ekkachai Boonperm Student ID. 52361598
Project Advisor : Dr. Panu Puttawong
Department : Mechanical Engineering
Academic Year : 2012

Abstract

This project aims to design process and test methods for performance tests of electric golf cart, and the performance tests of the electric golf cart. And bring the methods and data from this test to guideline for test the electric vehicle Naresuan university prototype in future. The first stage is to design the process and methods divide the test into 4 test. 1. Maximum distance per full-charge (at 80% of battery capacity) test, 2. acceleration and top speed test, 3. Brakes test, 4. Turning circle test. This test on the streets of Naresuan University. The result of performance test of the electric golf cart while loading weight 200 kg (3 passengers excluding the driver) per full-charge are moving distance is 63.3 kilometers, acceleration, 0.84 m/s^2 , the distance of deceleration (stop without brake) 15.7 meters, braking distance 6.7 meters and outside radius of turning circle 4.11 meters.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดโครงการขอขอบพระคุณคณะบุคคลที่เกี่ยวข้องที่ให้ความอนุเคราะห์และให้คำ
คำปรึกษาเกี่ยวกับโครงการนี้ จนประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ได้แก่

1. ดร.ภาณุ พุทรวงศ์ ที่ปรึกษาโครงการ
2. ดร.ศลิษา วีรพันธุ์ กรรมการสอบโครงการ
3. ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว กรรมการสอบโครงการ
4. คณะครูช่างที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆ
5. สมาชิกในกลุ่มและเพื่อนทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือ

สุดท้ายนี้กลุ่มโครงการของข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยเป็นกำลังใจ และ
สนับสนุนมาโดยตลอด รวมทั้งผู้มีพระคุณทุกๆท่านที่มีได้กล่าวมาไว้ ณ ที่นี้ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์
เสมอมา



ภูษณิศา พุ่มพวง
อมรเทพ โตพ่วง
เอกชัย บุญเพิ่ม

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการ.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
Abstract.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ซ
สารบัญตัวแปร.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	1
1.4 ขอบเขตการทำโครงการ.....	1
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.6 แผนการดำเนินงาน.....	2
1.7 รายละเอียดงบประมาณ.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	4
2.1 วรรณกรรมปริทัศน์.....	4
2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ.....	9
2.3 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด.....	12
2.4 ระบบรองรับน้ำหนัก ชนิด แหนบ-โซ้ค.....	13
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	19
3.1 รายละเอียดอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้.....	19
3.2 การออกแบบวิธีการทดสอบสมรรถนะ.....	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	26
4.1 การทดสอบระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ต่อการชาร์จ.....	26
4.2 การทดสอบอัตราเร่งและความเร็วสูงสุด.....	27
4.3 การทดสอบระยะเบรก.....	29
4.4 การทดสอบวงเลี้ยว.....	31
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	32
5.1 สรุปผลการทดสอบ.....	32
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	33
บรรณานุกรม.....	35
ภาคผนวก.....	36
ภาคผนวก ก. รายละเอียดโปรแกรม Q-Travel.....	37
ภาคผนวก ข. ตารางบันทึกผลการทดลอง.....	40
ภาคผนวก ค. การคำนวณ.....	48
ภาคผนวก ง. ข้อมูลอุปกรณ์เก็บข้อมูล.....	52
ประวัติผู้ทำโครงการ.....	56

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน.....	2
1.2 รายละเอียดงบประมาณ.....	3
2.1 จำนวนชั่วโมงเหล็กที่ความเร็วเชิงโรครันส์ต่างๆสำหรับความถี่ 50 Hz.....	10
2.2 ลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด.....	12
2.3 อัตราความเร็วลูกสูบภายในโซ่กัปซอร์บเบอร์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพของผิวถนน...	18
3.1 แสดงรายละเอียดของรถกอล์ฟไฟฟ้า.....	19
3.2 แสดงรายละเอียดของ GPS data logger.....	20
5.1 ผลการทดสอบสมรรถนะของรถกอล์ฟไฟฟ้า.....	32



สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 Ford Think รถไฟฟ้าประเภท NEV.....	4
2.2 Toyota e-com รถไฟฟ้าประเภท UEV.....	5
2.3 Honda Insight รถไฟฟ้าประเภท HEV.....	5
2.4 ระยะทางสูงสุดที่วิ่งได้ต่อการชาร์จแบตเตอรี่เต็มในแต่ละปี.....	5
2.5 ประเภทของแบตเตอรี่กับระยะทางที่วิ่งได้ต่อการชาร์จ.....	6
2.6 ระยะทางที่ได้จากการทดสอบ POMONA LOOP ของรถไฟฟ้ารุ่นต่างๆและแบตเตอรี่ชนิด NiMH กับ lead (Pb) -acid.....	7
2.7 ระยะทางเฉลี่ยที่รถไฟฟ้าเคลื่อนที่ได้ต่อพลังงาน 1 kWh.....	7
2.8 โครงสร้างของมอเตอร์เชิงโครนิส.....	9
2.9 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส.....	10
2.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้า 3 เฟส.....	11
2.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วต่างๆของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	12
2.12 กราฟอัตราการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด.....	13
2.13 ลำดับขั้นตอนการเดินของสปริง.....	14
2.14 โครงสร้างส่วนประกอบของสปริงแหนบ.....	15
2.15 ส่วนโค้งของสปริงแหนบ (นิป) และส่วนโค้งรวม (แคมเบอร์).....	15
2.16 ตำแหน่งติดตั้งแหนบช่วยในรถยนต์บรรทุก.....	16
2.17 กราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ในการทำงานร่วมกับแหนบหลักและแหนบช่วย.....	16
2.18 หน้าที่การทำงานของโช้กอัพซอร์บเบอร์เมื่อรถวิ่งบนถนนที่มีสภาพที่ขรุขระ.....	16
2.19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความถี่การเดินของสปริงในระบบรองรับน้ำหนักที่ไม่ใช้โช้กอัพซอร์บเบอร์กับใช้โช้กอัพซอร์บเบอร์.....	17
2.20 หลักการทำงานของโช้กอัพซอร์บเบอร์รูปทรงกระบอก.....	17
3.1 รถกอล์ฟไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ.....	20
3.2 GPS data logger ที่ใช้บันทึกข้อมูลการทดสอบ.....	21
3.3 ลักษณะการแสดงผลของโปรแกรม Q-Travel.....	21
3.4 การวัดระยะเบรก.....	24
3.5 การทดสอบวงเลี้ยว.....	25

สารบัญรูปรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 การเปรียบเทียบระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ต่อการชาร์จระหว่างการบรรจุทุกและไม่บรรจุทุก น้ำหนั.....	26
4.2 ระยะหน่วงของรถกอล์ฟไฟฟ้าระหว่างบรรจุทุกและไม่บรรจุทุกน้ำหนั.....	27
4.3 ระยะเบรกของรถกอล์ฟไฟฟ้าระหว่างบรรจุทุกและไม่บรรจุทุกน้ำหนั.....	28
4.4 เปรียบเทียบระหว่างระยะหน่วงกับระยะเบรกของรถกอล์ฟไฟฟ้าที่บรรจุทุกและไม่ บรรจุทุกน้ำหนั.....	29
4.5 เปรียบเทียบค่าของความเร็วที่เพิ่มขึ้นกับระยะเวลาของรถที่ไม่บรรจุทุกน้ำหนั.....	29
4.6 เปรียบเทียบค่าของความเร็วที่เพิ่มขึ้นกับระยะเวลาของรถที่บรรจุทุกน้ำหนั.....	30
4.7 เปรียบเทียบความเร่งระหว่างรถที่บรรจุทุกและไม่บรรจุทุกน้ำหนั.....	30
4.8 ผลการทดสอบวงเลี้ยวด้านนอก.....	31



สารบัญตัวแปร

ตัวแปร	ความหมาย	หน่วย
N_s	คือ ความเร็วซิงโครนัส	(rpm)
f	คือ ความถี่ของระบบไฟฟ้า	(Hz)
P	คือ จำนวนขั้วแม่เหล็ก	-
s	คือ สลิป	-
N_m	คือ ความเร็วของโรเตอร์	(rpm)
ω_s	คือ ความเร็วเชิงมุมซิงโครนัส	(rad / sec)
ω_m	คือ ความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์	(rad / sec)
P_i	คือ กำลังที่ให้กับมอเตอร์	(W)
V	คือ แรงดันไฟฟ้า	(V)
I	คือ กระแสไฟฟ้า	(A)
P_o	คือ กำลังที่ได้จากมอเตอร์	(W)
T	คือ แรงบิด	(Nm)
ω	คือ ความเร็วเชิงมุม	(rad / sec)
η	คือ ประสิทธิภาพ	-
k	คือ ค่าคงที่สปริง	(kg / mm)
w	คือ โหลดที่มากกระทำกับสปริง	(kg)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

เนื่องด้วยทางมหาวิทยาลัยนเรศวรต้องการให้เพิ่มจำนวนของรถไฟฟ้าที่ใช้รับส่งบุคลากรภายในมหาวิทยาลัย จึงได้มีการสร้างรถไฟฟ้าต้นแบบมหาวิทยาลัยนเรศวรขึ้นมาเพื่อนำมาทดสอบหาสมรรถนะและแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงเพื่อให้ได้รถไฟฟ้าที่มีความเหมาะสมสำหรับการใช้ภายในมหาวิทยาลัยนเรศวร

ดังนั้นจึงมีการจัดทำโครงการการทดสอบรถกอล์ฟไฟฟ้าขึ้นมาเพื่อทดสอบสมรรถนะของรถกอล์ฟไฟฟ้า และใช้ข้อมูลในการทดสอบครั้งนี้เป็นแนวทางสำหรับการทดสอบรถไฟฟ้าต้นแบบมหาวิทยาลัยนเรศวรต่อไป

การทำวิจัยครั้งนี้ได้ทำการออกแบบการทดสอบตามแนวทางการทดสอบของ SAE Standard (Society of Automotive Engineer) ซึ่งเป็นมาตรฐานการทดสอบสมรรถนะในด้านต่างๆของรถไฟฟ้า เช่น SAE Standard J1666 เป็นการทดสอบอัตราเร่ง ETA-TP006 เป็นการทดสอบการเบรก เป็นต้น เพื่อมาประยุกต์ใช้เพื่อให้มีความเหมาะสมกับการทดสอบรถไฟฟ้า และทำการทดสอบสมรรถนะของรถไฟฟ้า เพื่อหาค่าสมรรถนะของรถไฟฟ้า

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 ศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทฤษฎีมอเตอร์ไฟฟ้า แบตเตอรี่ และระบบช่วงล่างชนิด แหนบ-โซ้ค เพื่อนำความรู้ที่ได้มาทำการทดสอบสมรรถนะของรถไฟฟ้า

1.2.2 ออกแบบการทดสอบสมรรถนะของรถกอล์ฟไฟฟ้าเพื่อเป็นแนวทางในการทดสอบรถไฟฟ้าต้นแบบมหาวิทยาลัยนเรศวร

1.2.3 ทดสอบสมรรถนะของรถกอล์ฟไฟฟ้าเพื่อหาสมรรถนะของรถกอล์ฟไฟฟ้า

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 เพื่อหาสมรรถนะเฉพาะของรถกอล์ฟไฟฟ้า

1.3.2 เพื่อนำข้อมูลสมรรถนะและวิธีการทดสอบไปเป็นแนวทางในการทดสอบปรับปรุง และพัฒนารถไฟฟ้าต้นแบบมหาวิทยาลัยนเรศวรต่อไปในอนาคต

1.4 ขอบเขตการทำโครงการ

1.4.1 ทำการทดสอบสมรรถนะของรถไฟฟ้าต้นแบบทั้งหมด 4 การทดสอบ ดังนี้

1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ

ตารางที่ 1.2 รายละเอียดงบประมาณ

ลำดับที่	รายการ	ราคา	
1	อุปกรณ์การทดสอบ	1000	บาท
2	หนังสือและเอกสารที่เกี่ยวข้อง	500	บาท
3	จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์	1500	บาท
รวม		3000	บาท



บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

รถไฟฟ้ามีองค์ประกอบอยู่ 3 ส่วนหลักในการพิจารณาเพื่อการออกแบบและเลือกใช้งาน คือ ระบบขับเคลื่อน แหล่งพลังงาน และความสบายของผู้ใช้งาน (ความสิ้นเปลือง) จึงจำเป็นต้องมีข้อมูลประกอบการพิจารณา ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการออกแบบการทดสอบและทดสอบสมรรถนะของรถไฟฟ้าต้นแบบ จึงได้นำแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็นแนวทางในการศึกษา และสร้างกรอบแนวคิดในการศึกษาครั้งนี้ ดังนี้

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ
3. ระบบรองรับน้ำหนักชนิด แหนบ-โช๊ค (leaf spring –shock absorber)
4. แบตเตอรี่ ชนิดตะกั่ว-กรด

2.1 วรรณกรรมปริทัศน์

1. จากงานวิจัยของ James E. Francfort (Idaho National Engineering and Environmental Laboratory) กับ Lee A. Slezak (U.S. Department of Energy) เรื่อง Electric and Hybrid Vehicle Testing [1]

เป็นการทดสอบรถไฟฟ้า 3 ประเภทด้วยกัน คือ NEVs (Neighborhood Electric Vehicles) จะเป็นรถไฟฟ้าขนาดเล็กความเร็วต่ำใช้ขับเคลื่อนในระยะใกล้ๆ, HEVs (Hybrid Electric Vehicles) เป็นรถผสมระหว่างรถที่ใช้น้ำมันกับใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงาน และ UEVs (Urban Electric Vehicles) เป็นรถที่มีลักษณะคล้ายกับ HEV แต่จะใช้เพียงพลังงานจากไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานเพียงอย่างเดียว มีจำนวนรูปแบบของรถที่นำมาทดสอบ 21 รูปแบบ



รูปที่ 2.1 FORD THINK รถไฟฟ้าประเภท NEV

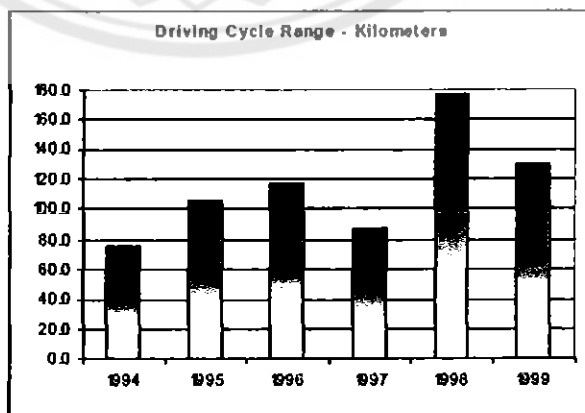


รูปที่ 2.2 Toyota e-com รถไฟฟ้าประเภท UEV

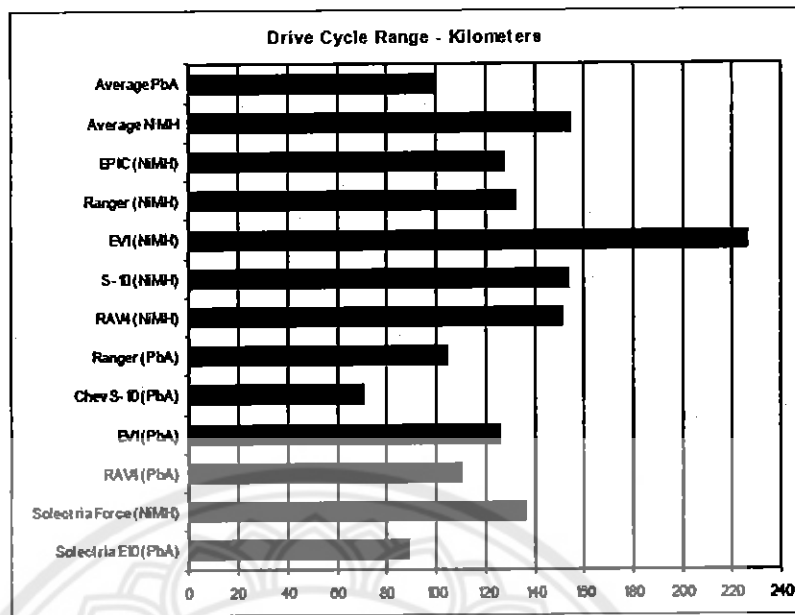


รูปที่ 2.3 Honda Insight รถไฟฟ้าประเภท HEV

โดยทดสอบตัวแปรต่างๆ ดังนี้ อัตราเร่ง การควบคุมรถ ระยะทางสูงสุดต่อการชาร์จ ความเร็วสูงสุด การเบรก การชาร์จแบตเตอรี่ และระดับมาตรฐานความปลอดภัยขั้นต่ำ โดยอ้างอิงมาตรฐานการทดสอบของ SAE ใช้เวลาในการทดสอบและเก็บข้อมูลเป็นเวลา 5 ปี ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1994-1999 โดยใช้รถไฟฟ้าในการทดสอบเป็นรถส่วนบุคคลทั่วไป เช่น เช่น Chevrolet S-10, Chrysler EPIC, Ford Ranger, General Motors EV1 และ Toyota RAV4 เป็นต้น โดยภาพรวมของผลจากการวิจัยในครั้งนี้ คือ มีการพัฒนาสมรรถนะของรถไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง ทำให้สมรรถนะของรถไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในแต่ละปี (ในด้านของระยะทางสูงสุดที่วิ่งได้ต่อการชาร์จแบตเตอรี่เต็ม)



รูปที่ 2.4 ระยะทางสูงสุดที่วิ่งได้ต่อการชาร์จแบตเตอรี่เต็มในแต่ละปี



รูปที่ 2.5 ประเภทของแบตเตอรี่กับระยะทางที่วิ่งได้ต่อการชาร์จ

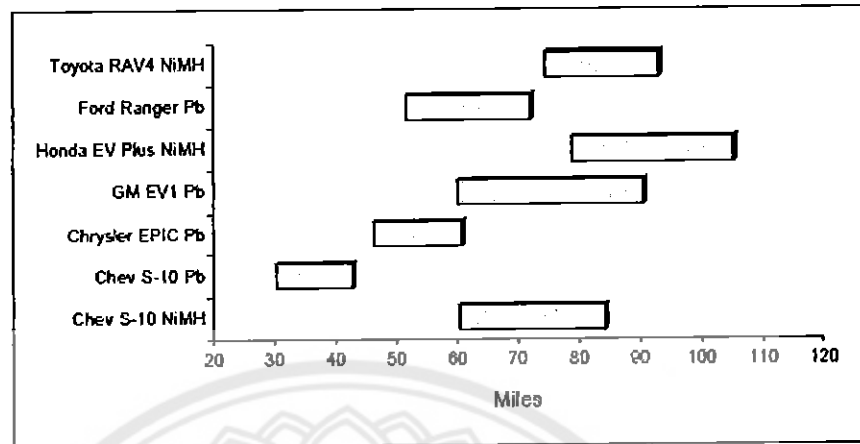
งานวิจัยดังกล่าวมีส่วนที่สอดคล้องกับงานวิจัยในครั้งนี้ คือ ในส่วนของระยะทางที่วิ่งได้กับประเภทของแบตเตอรี่ ซึ่งในงานวิจัยสรุปผลได้ว่า รถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้แบตเตอรี่ชนิด NiMH จะทำระยะทางสูงสุดต่อการชาร์จแบตเตอรี่เต็มเฉลี่ยเท่ากับ 170 กิโลเมตร ส่วนรถยนต์ที่ใช้แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด จะทำระยะทางสูงสุดต่อการชาร์จแบตเตอรี่เต็มเฉลี่ยเท่ากับ 100 กิโลเมตร ดังนั้น จึงสามารถนำมาประยุกต์ในการทำวิจัยในครั้งนี้ โดยรถไฟฟ้าต้นแบบมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ใช้แบตเตอรี่ชนิด ตะกั่ว-กรด ทำให้สามารถทราบถึงระยะทางสูงสุดที่รถไฟฟ้าวิ่งได้ต่อการชาร์จแบตเตอรี่เต็มอย่างคร่าวๆ ซึ่งจะมีส่วนที่แตกต่างกันคือประเภทของรถไฟฟ้า ซึ่งในงานวิจัยที่ศึกษานั้นเป็นรถไฟฟ้าขนาดเล็กดังที่กล่าวไปข้างต้น ส่วนในงานวิจัยนี้เป็นรถไฟฟ้าประเภทรถโดยสารขนาดเล็ก ซึ่งมีความแตกต่างกันในส่วนของน้ำหนักบรรทุก

2. ผลงานวิจัยของ J. E. Francfort (Idaho National Engineering and Environmental Laboratory) และ D. V. O'Hara, L. A. Slezak (U.S. Department of Energy) เรื่อง Electric Vehicle Field Operations Program [2]

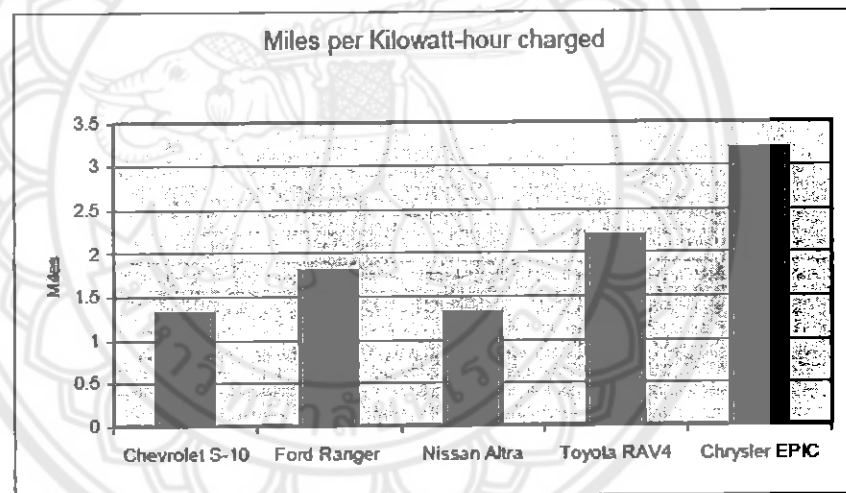
จากการศึกษาพบว่า รถไฟฟ้าได้มีการพัฒนาคุณภาพในด้านต่างๆจนมีสมรรถนะในระดับที่สูงและยังพบว่าประสิทธิภาพรถยนต์ไฟฟ้ายังคงมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในด้านต่างๆโดยเฉพาะเทคโนโลยีแบตเตอรี่และระบบขับเคลื่อนซึ่งพัฒนาเพื่อรองรับความต้องการของผู้ใช้อย่างแพร่หลาย

จากการศึกษาพบว่าตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะของรถไฟฟ้าซึ่งแทรกอยู่ในการทดสอบประสิทธิภาพในด้านต่างๆประกอบด้วย การทดสอบประสิทธิภาพพื้นฐาน ซึ่งเป็นที่รู้จักในฐานการทดสอบ EVAmerica ประกอบไปด้วยการทดสอบด้านต่างๆ เช่น อัตราเร่ง เบรก อัตราการชาร์จ ประสิทธิภาพพลังงานของรถและระยะที่รถสามารถทำได้ เป็นต้น และทดสอบตามมาตรฐาน SAE J1634 โดยทำการทดสอบบนไดนาโมมิเตอร์ (dynamometer)

การทดสอบ POMONA LOOP คือการทดสอบการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้าในพื้นที่ที่แตกต่างกันของระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลในระยะทางสั้นๆ



รูปที่ 2.6 ระยะทางที่ได้จากการทดสอบ POMONA LOOP ของรถไฟฟ้ารุ่นต่างๆและแบตเตอรี่ชนิด NiMH กับ lead-acid (Pb)



รูปที่ 2.7 ระยะทางเฉลี่ยที่รถไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปได้ต่อพลังงาน 1 kWh

จากบทความงานวิจัยนี้แสดงถึงการทดสอบรถไฟฟ้าในด้านต่างๆ ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับการทดสอบรถไฟฟ้าต้นแบบของมหาวิทยาลัยนเรศวร ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ทฤษฎีและวิธีการทดสอบเดียวกันนี้ในการทดสอบรถไฟฟ้าต้นแบบของมหาวิทยาลัยนเรศวร คือ การเบรก อัตราการเร่ง การทดสอบระยะทางสูงสุดต่อการชาร์จ และการหาค่าใช้จ่ายต่อระยะทางของรถไฟฟ้า

3. งานวิจัยของ Paul Ruetschi เรื่อง Aging mechanisms and service life of lead-acid batteries [3] มีใจความสำคัญของงานวิจัยโดยสรุป ดังนี้

ในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ที่มีกระบวนการเสื่อมสภาพต่างๆที่มีอยู่ในแบตเตอรี่ จะค่อยๆนำไปสู่การสูญเสียประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่จนในที่สุดก็จะถึงจุดเสื่อมประสิทธิภาพ ดังนี้

- การกัดกร่อนที่ขั้วบวก (แผงตะกั่ว, ตัวยึดแผงตะกั่ว, สายรัด)

- การสลายมวลที่ขั้วบวกและความสูญเสียของตัวยึดแผงตะกั่ว (เกิดตะกอน)
- การย้อนกลับไม่ได้ของเลดซัลเฟต (lead sulfate) ในกระบวนการ (เกิดการตกผลึก, sulfation)

- เกิดการลัดวงจร
- เกิดการสูญเสียน้ำ

กลไกการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ เช่น การกักถ้อนของแผงตะกั่ว ซึ่งจะทำให้เกิดความต้านทานการไหลของกระแสทำให้เกิดการขัดขวางการชาร์จที่เหมาะสมเป็นผลทำให้เกิด sulfation การลดลงของความเข้มข้นของสารละลายทำให้เกิดการลัดวงจร Sulfation เกิดจากการสูญเสียน้ำ

อัตราการเกิดกระบวนการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่มีความแตกต่างกันมาก ขึ้นอยู่กับรูปแบบและลักษณะการใช้งานของแบตเตอรี่ การชาร์จเกินความจุ (over-charge) จะนำไปสู่การกักถ้อนและยังเพิ่มการสูญเสียน้ำในแบตเตอรี่ การเพิ่มความลึกของการคายประจุ (depth of discharge) ในระหว่างวัฏจักรจะเพิ่มการสลายความเข้มข้นของสารละลาย บางกลไกการเสื่อมสภาพจะเกิดขึ้นเฉพาะเมื่อใช้ผิดวิธีหรือลักษณะ การลัดวงจร เนื่องมาจากการสะสมของตะกั่ว ซึ่งจะเกิดขึ้นเป็นปกติเฉพาะหลังจากการคายประจุเชิงลึกที่มากเกินไป แบตเตอรี่ที่จ่ายกระแสคงที่ (stationary battery) ทำงานภายใต้สภาวะการชาร์จแบบแรงดันพิกัดไม่สูงมาก (float charge) การเสื่อมสภาพโดยปกติเกิดขึ้นจากการกักถ้อนที่แผงตะกั่วขั้วบวก ในทางด้านอื่นๆ อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ขึ้นอยู่กับวัฏจักรแฝง การเสื่อมสภาพโดยปกติเกิดจากสลายของโครงสร้างมวลขั้วบวก (positive active mass) การเริ่มต้นการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่โดยปกติจะเริ่มจากการกักถ้อนที่แผงตะกั่ว ซึ่งจะเกิดกับแบตเตอรี่รถยนต์โดยทั่วไป ส่วนการเริ่มต้นการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ของรถบัสซึ่งมีการหยุดบ่อย การเสื่อมสภาพอาจจะเกิดจากการสลายมวลขั้วบวกก่อน เพราะว่าแบตเตอรี่มีวัฏจักรการคายประจุตื้น (shallow discharge) มาก วาล์วควบคุม (valve regulated) ของแบตเตอรี่มักจะเกิดการล้นเหลวเป็นผลมาจาก sulfation ที่ขั้วลบหรือการสูญเสียน้ำ สำหรับการออกแบบแบตเตอรี่แต่ละครั้งและลักษณะการใช้โดยปกติจะมีลักษณะกลไกการเสื่อมสภาพที่แตกต่างกัน จึงสามารถหาอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้

อุณหภูมิที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพ อัตราการกักถ้อนแผงตะกั่วและอัตราการสูญเสียน้ำ เนื่องจากการระเหยหรือการเกิดแก๊สไฮโดรเจนที่แผ่นขั้วลบหรือการคายประจุเอง (self-discharge) เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ในทางอื่นอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (พอสมควร) อาจเพิ่มอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกรดและการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น เช่น เกิดขึ้นของกรดขึ้นในแบตเตอรี่ โดยทั่วไปความเข้มข้นของกรดที่ต่ำจะเป็นสาเหตุหลักต่อความเสียหายของแผ่นตะกั่วในขณะที่ความเข้มข้นที่สูงมากของกรดอายุการใช้งาน

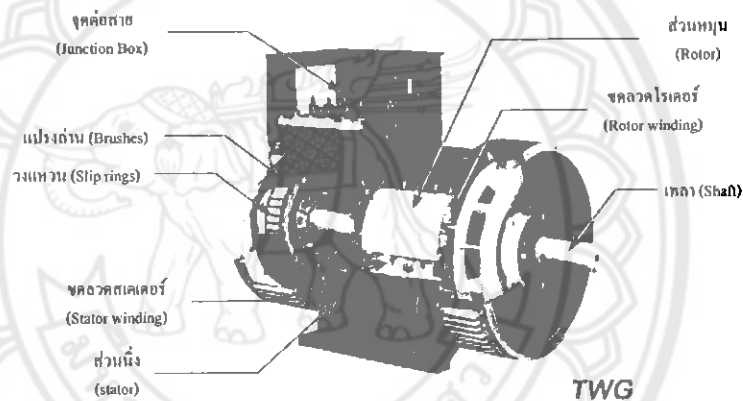
ของแบตเตอรี่จะลดลง โดยเฉพาะกรณีใช้อัตรการคายประจุเองสูง เนื่องจากมีแก๊สเกิดขึ้นส่งผลให้วัสดุได้รับผลจาก sulfation

2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ [4]

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ประกอบด้วยวงจรที่มีการเหนี่ยวนำทางด้านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งการเหนี่ยวนำนี้จะผ่านช่องว่างของอากาศที่อยู่ระหว่างส่วนโรเตอร์ (Rotor) และส่วนสเตเตอร์ (Stator) โดยกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าไปในขดลวดสเตเตอร์ ซึ่งจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับขึ้น มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ สามารถแยกออกเป็น 2 ชนิดหลัก คือ มอเตอร์ซิงโครนัส (Synchronous motor) และมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction motor)

2.2.1 มอเตอร์ซิงโครนัส

มอเตอร์ชนิดนี้ เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานในระบบที่ต้องการให้มีความเร็วรอบในการหมุนคงที่ และความเร็วรอบย้อนกลับได้ (Reversed-speed)



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของมอเตอร์ซิงโครนัส

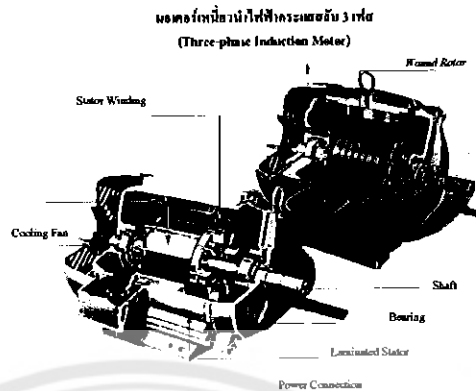
ที่มา (http://eng.rmutsb.ac.th/events/admin2/data/2012/Fundamental_502-21-01)

หลักการทำงานของมอเตอร์ซิงโครนัส คือ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าจ่ายเข้าไปในขดลวดสเตเตอร์แล้ว สนามแม่เหล็กหมุน (Rotating magnetic field) จะถูกสร้างขึ้นในขดลวดแบบกรงกระรอกหรือขดลวดห่วง ทำให้การเหนี่ยวนำเกิดเป็นกระแสไฟฟ้าไหลและเกิดสนามแม่เหล็กในขดลวดแบบกรงกระรอก ในสภาพที่ต้านทานกับสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์ จึงทำให้เกิดการหมุนขึ้นและจะเพิ่มความเร็วย้อนขึ้นเรื่อยๆจนใกล้จุดซิงโครไนซ์ ซึ่งที่จุดนี้ขดลวดโรเตอร์จะถูกกระตุ้นด้วยไฟฟ้ากระแสตรงทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กเป็นจำนวนมากบนโรเตอร์ ดังนั้น ความเร็วจึงเพิ่มขึ้นจนกระทั่งโรเตอร์หมุนได้ด้วยความเร็วรอบที่เท่ากับสนามแม่เหล็กหมุน

2.2.2 มอเตอร์เหนี่ยวนำ

มอเตอร์ชนิดนี้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรมและตามบ้านเรือนที่อยู่อาศัย โดยแทบจะกล่าวได้ว่ามีมากที่สุด เนื่องจากมีขั้นตอนการรับกระแสไฟฟ้าไม่ยุ่งยาก กล่าวคือ ระบบ

ป้อนกำลังไฟฟ้าจัดให้มีเพียงไฟฟ้ากระแสสลับก็เพียงพอแล้ว ซึ่งไม่เหมือนกับมอเตอร์ซิงโครนัสที่ จะต้องมีทั้งไฟฟ้ากระแสสลับด้านเข้า และจะต้องมีไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับขดลวดกระตุ้นอีกด้วย



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

ที่มา (http://eng.rmutsb.ac.th/events/admin2/data/2012/Fundamental_502-21-01)

มอเตอร์เหนี่ยวนำแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ มอเตอร์เหนี่ยวนำตัวหมุนกรงกระรอก (Squirrel cage rotor) คือ มอเตอร์เหนี่ยวนำตัวหมุนพันด้วยขดลวด (Wound rotor) และคือ มอเตอร์เหนี่ยวนำตัวหมุนแบบเหล็กตัน (Solid rotor)

2.2.3 แรงบิด กำลัง และประสิทธิภาพของมอเตอร์

เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ที่ขดลวดสเตเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนวิ่งตัดผ่านลวดตัวนำที่โรเตอร์ และจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induce Voltage) เกิดขึ้นที่ขดลวดตัวนำนั้น แต่เนื่องจากขดลวดตัวนำที่โรเตอร์ถูกต่อลัดวงจร จึงเกิดกระแสไหลวนในขดลวด และทิศทางการหมุนของโรเตอร์เป็นไปตามกฎของเส้นซ์ และความเร็วของโรเตอร์ N_m ที่หมุนจะไม่มีทางเท่ากับความเร็วซิงโครนัส N_s ซึ่งเรียกความต่างความเร็วนี้ว่า สลิป (Slip) ความเร็วซิงโครนัส

$$N_s = \frac{120f}{P} \quad (2.1)$$

ตารางที่ 2.1 จำนวนขั้วแม่เหล็กที่ความเร็วซิงโครนัสต่างๆสำหรับความถี่ 50 Hz

p (pole)	N_s (rpm)
2	3000
4	1500
6	1000

สลลิป

$$S = \frac{N_s - N_m}{N_s} = \frac{\omega_s - \omega_m}{\omega_s} \quad (2.2)$$

เปอร์เซ็นต์สลลิป

$$S = \frac{N_s - N_m}{N_s} \times 100 \quad (2.3)$$

กำลังที่ให้กับมอเตอร์

$$P_i = V \times I \quad (2.4)$$

กำลังที่ได้จากมอเตอร์

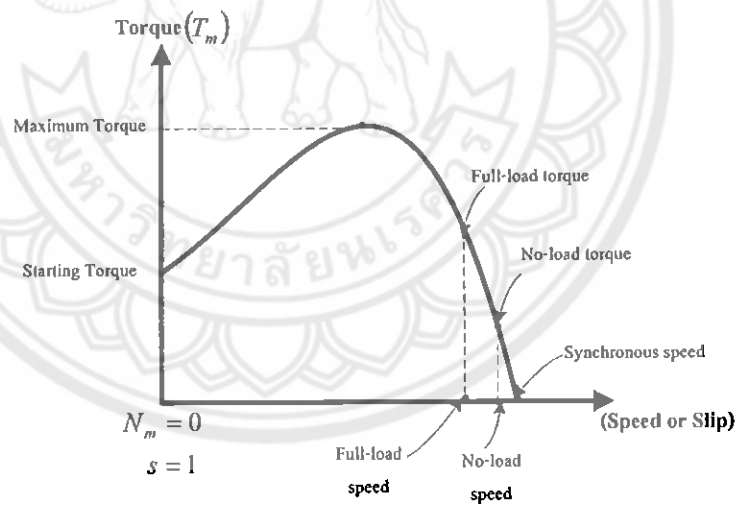
$$P_o = T \times \omega \quad (2.5)$$

แรงบิด

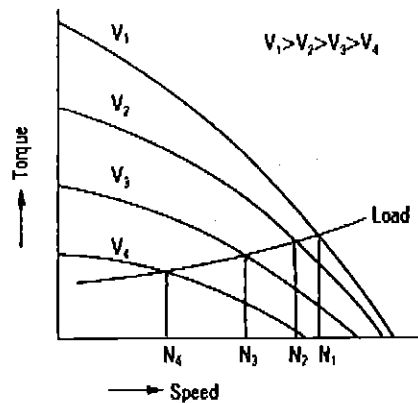
$$T = \frac{P_o}{\omega} \quad (2.6)$$

ประสิทธิภาพ

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \quad (2.7)$$



รูปที่ 2.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้า 3 เฟส
 ทีมา (http://eng.rmutsb.ac.th/events/admin2/data/2012/Fundamental_502-21-01)



รูปที่ 2.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วต่างๆของมอเตอร์เหนี่ยวนำ
ที่มา (http://www.orientalmotor.co.th/products/ac/torque_k_f/)

2.3 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด [5]

ในปัจจุบันแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด เป็นทางเลือกของแบตเตอรี่ที่ความจุพลังงานต่อน้ำหนักต่ำ แต่ก็มีราคาเริ่มต้นที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับหน่วยพลังงานด้วย ดังนั้น จึงเหมาะกับยานยนต์ไฟฟ้าที่ทำงานที่ความเร็วต่ำ ทั้งนี้ก็ด้วยน้ำหนักที่มากของแบตเตอรี่ในรถ ตัวอย่างการใช้งานได้แก่ รถกอล์ฟไฟฟ้า รถฟอร์กลิฟต์ไฟฟ้า หรือรถโดยสารไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้กันอยู่ค่อนข้างกว้างขวางในประเทศไทยในปัจจุบัน

2.3.1 รูปแบบของแบตเตอรี่

การจำแนกแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดอาจจำแนกได้ 2 รูปแบบคือ การจำแนกรูปแบบแรกแบ่งตามลักษณะการออกแบบแผ่นตะกั่วและสารอิเล็กโทรไลต์ การจำแนกรูปแบบที่สองแบ่งตามความสามารถในการจ่ายพลังงานได้เทียบกับพิกัดของแบตเตอรี่

ตารางที่ 2.2 ลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

ความจุพลังงาน (Wh/kg)	30-40
พลังงานต่อปริมาตร (Wh/L)	54-95
กำลังจำเพาะ (W/kg)	200-400 (SLI) 600-800 (traction)
แรงดันต่อหน่วยย่อย (V)	2.1
ประสิทธิภาพการประจุไฟ	> 80%
ราคา ($\$/kWh$)	35 (SLI) 100-150 (traction)
การคายประจุด้วยตัวเอง	0.3%/วัน
อายุวัฏจักรใช้งาน (ที่ระดับการคายประจุ 80 %)	300-800
เวลาประจุไฟ	8 ชม.

2.3.2 รูปแบบการประจุไฟฟ้า

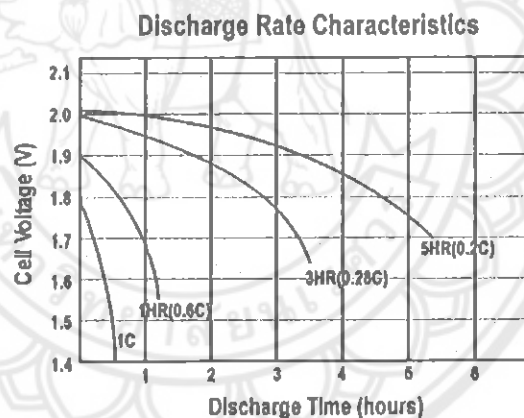
ในการประจุไฟฟ้าแก่แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดนั้น ขั้นตอนที่ครบถ้วนจะประกอบด้วยวิธีการประจุไฟฟ้าใน 3 ขั้นตอนด้วยกัน

Bulk charge โดยเป็นการจ่ายกระแสในช่วงแรกด้วยระดับกระแสสูงสุดเท่าที่จะรับได้ สำหรับการจำกัดค่ากระแสนั้น ในแบตเตอรี่ขนาดปกติจะใช้ค่ากระแสที่ 10-30% ของค่าพิกัด AH แรงดันของแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนได้ประมาณ 80%

Absorption charge ซึ่งค่ากระแสในการประจุไฟจะลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากสารเคมีที่มีอยู่ถูกใช้ไปหมดมากแล้ว แบตเตอรี่จะเริ่มร้อนขึ้น แรงดันจะถึงระดับสิ้นสุดพร้อมการตั้งกระแสในการประจุที่ลดลงเหลือต่ำกว่า 3%

Float charge, maintenance charge หรือ trickle charge มีเป้าหมายจ่ายแรงดันเพื่อชดเชยการสูญเสียประจุด้วยตัวเองและรักษาแบตเตอรี่เต็มอยู่เสมอ พร้อมช่วยลดการเกิดแก๊สและช่วยยืดอายุของแบตเตอรี่ได้ โดยจะเป็นการลดระดับแรงดันประจุไฟฟ้าลดลงเหลือ 12.8-13.2 โวลต์ สมการการคำนวณเวลาในชาร์จ

$$t = \frac{C}{I} \times 1.2 \quad (2.8)$$



รูปที่ 2.12 กราฟอัตราการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

ที่มา (<http://iranbattery.ir/university/print-partone-16a.htm>)

2.4 ระบบรองรับน้ำหนักชนิด แหนบ-โซ็ค [6]

สภาพของพื้นผิวถนนนั้นย่อมไม่ราบเรียบเสมอไปขณะที่รถกำลังเคลื่อนที่ ด้วยเหตุนี้รถยนต์ทั่วไปจึงต้องมีระบบรองรับน้ำหนักเชื่อมต่ออยู่ระหว่างตัวถังกับล้อรถ เพื่อทำหน้าที่ดูดกลืนอาการสั่นสะเทือน อาการส่าย และอาการกระแทกที่เกิดขึ้นจากผิวถนน ซึ่งจะมีผลทำให้ผู้โดยสารและสัมภาระที่บรรทุกได้รับความปลอดภัยและมีเสถียรภาพในการขับขี่ที่ดี

2.4.1 สปริง

สปริง (Spring) ในระบบรองรับน้ำหนักมีหน้าที่รับน้ำหนักและเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างช่วงล่างกับตัวถังรถยนต์ และจะดูดกลืนอาการสั่นสะเทือนของล้อไปยังตัวถัง เป็นผลให้ผู้โดยสารหรือสินค้าได้รับการสั่นสะเทือนน้อยลง ดังนั้น สปริงที่นำมาใช้ในระบบรองรับน้ำหนักต้องมีคุณสมบัติเฉพาะดังนี้


1. การยืดหยุ่น เมื่อมีแรงมากระทำต่อวัสดุที่ทำจากยาง มันจะเกิดแรงคืนในวัสดุนั้น ทำให้มีรูปร่างที่เปลี่ยนแปลงไป แต่เมื่อเอาแรงที่มากระทำนั้นออก แรงคืนก็จะหมดไป ทำให้วัสดุนั้นคืนสภาพดั้งเดิม เราเรียกคุณสมบัตินี้ว่า การยืดหยุ่น สปริงที่นำมาใช้กับรถยนต์จึงอาศัยหลักการยืดหยุ่นนี้เพื่อดูดกลืนการสั่นสะเทือนจากพื้นถนนไปยังตัวถังรถ และสะสมพลังงานและความเค้นเอาไว้เพียงชั่วคราว ดังนั้น สปริงที่ทำจากโลหะแผ่น เช่น สปริงแหนบจะสามารถสะสมพลังงานไว้ได้โดยการโค้งงอหรือการบิดตัว เช่น คอยล์สปริง ทอร์ชันบาร์ พลังงานที่ถูกสะสมนี้จะถูกคายออกเมื่อสปริงนั้นคืนกลับสู่สภาพปกติ

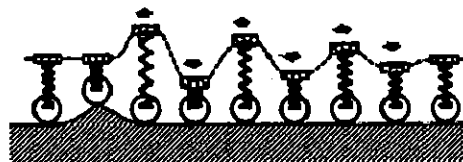
2. ค่าคงที่ของสปริง การบิดตัวของสปริงจะเป็นสัดส่วนกับโหลดที่มากระทำ นั่นก็คือค่าคงที่จะได้จากการหารโหลด (w) ด้วยขนาดของเสียดรูป (a) ดังนั้นค่าคงที่ (k) จึงเป็นค่าคงที่ของสปริงตามสูตรคำนวณ

$$k = \frac{w}{a} \quad (2.9)$$

3. การคืนของสปริง เมื่อล้อรถเกิดชนกับสิ่งกีดขวางขึ้น สปริงของรถจะถูกอัดตัวอย่างรวดเร็วและพยายามที่จะคืนสู่สภาพดั้งเดิมในทันที จึงทำให้ตัวถังรถถูกดันให้ยกตัวลอยขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม สปริงจะดูดซับพลังงานเอาไว้ในขณะที่ถูกอัดตัวตกลงนั้น ดังนั้นจึงทำให้มันเกิดการกระด้างขึ้นจนเลเยระดับความสูงปกติ ทั้งนี้เป็นเพราะได้คลายพลังงานที่ได้สะสมเอาไว้ออกไป จากการเคลื่อนตัวให้ลอยขึ้นของรถ จึงเป็นสาเหตุที่ช่วยให้สปริงถูกยืดตัวให้มีความสูงเหนือความสูงเดิม แต่เมื่อตัวถังรถเคลื่อนตัวกลับสู่สภาพเดิม มันก็จะดันให้สปริงนั้นกลับความสูงของโหลดเดิมเช่นกันจากนั้นสปริงก็เริ่มยืดตัวขึ้นอีกครั้ง

จากลำดับขั้นตอนข้างต้นเราเรียกว่า การคืนของสปริง และจะกระทำซ้ำๆ กันหลายครั้งแต่อาการคืนในลำดับต่อมาจะน้อยกว่าครั้งแรกที่เกิดขึ้นก่อนหน้านี้ จนในที่สุดการคืนก็จะหยุดลง

รูปแบบของการคืนของสปริง 



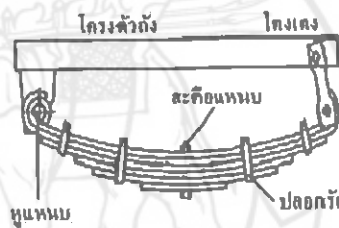
รูปที่ 2.13 ลำดับขั้นตอนการคืนของสปริง

2.4.2 ชนิดของสปริง

ชนิดของสปริง (Type of spring) สปริงที่ใช้ในระบบรองรับของรถยนต์จะทำจากวัสดุอยู่ 2 ชนิดก็คือ ทำจากโลหะ เช่น สปริงแหนบ ทอร์ชันบาร์และคอยล์สปริง เป็นต้น ส่วนสปริงที่ไม่ได้ทำจากโลหะ เช่น ยางและสปริงถุงลมในระบบรองรับด้วยอากาศ ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียงสปริงแหนบ เท่านั้น

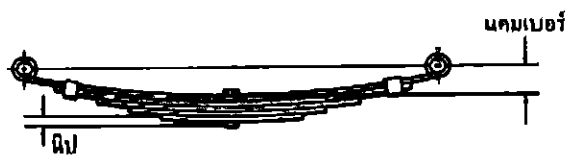
สปริงแหนบ (Leaf spring)

แหนบทำจากเหล็กสปริงที่มีลักษณะเป็นรูปโค้งเรียกว่า แผ่นแหนบ โดยจะวางเรียงซ้อนกันตามลำดับแผ่นที่สั้นที่สุดไปจนถึงแผ่นที่ยาวที่สุด แผ่นแหนบที่ซ้อนกันจะถูกยึดเข้าด้วยกันที่จุดศูนย์กลางของแผ่นแหนบแต่ละแผ่นด้วยโบลต์ ซึ่งจุดศูนย์กลางของแผ่นแหนบนี้เรียกว่า สะตือแหนบ (Center bolt) ซึ่งจะมีหน้าที่ป้องกันไม่ให้แผ่นแหนบเกิดการเลื่อนหลุดออกจากกัน และมีปลอกรัดแผ่นแหนบทั้งหมดที่ปลายทั้งสองด้าน โดยทั่วไปแผ่นแหนบที่มีความยาวมากที่มีความยาวมากที่สุด ปลายทั้งสองด้านจะถูกม้วนงอมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก เพื่อใช้ยึดกับตัวถังรถยนต์เรียกว่า หูแหนบ



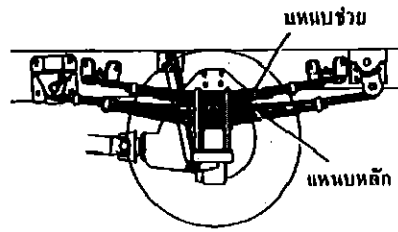
รูปที่ 2.14 โครงสร้างส่วนประกอบของสปริงแหนบ

สำหรับส่วนโค้งของแผ่นแหนบเรียกว่า นิป (Nip) ดังนั้นแผ่นแหนบที่สั้นที่สุดจะมีความโค้งหรือนิปมากที่สุด ด้วยเหตุนี้เมื่อนำแผ่นแหนบแต่ละแผ่นมาประกอบกัน จึงทำให้ปลายทั้งสองกดแนบสนิท และเกิดความโค้งรวมที่เรียกว่า แคมเบอร์ (Camber) สปริงแหนบเมื่อเกิดการยืดหยุ่นก็จะเกิดการเสียดสีกันขึ้น จากสาเหตุความยืดจึงช่วยการดูดกลืนอาการเต้นและป้องกันการเกิดช่องว่างของแผ่นแหนบแต่ละแผ่นขณะที่แหนบกระด้างขึ้น

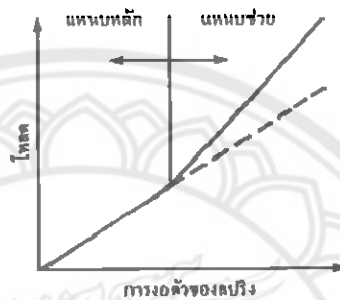


รูปที่ 2.15 ส่วนโค้งของสปริงแหนบ (นิป) และส่วนโค้งรวม (แคมเบอร์)

แหนบช่วย (Helper spring) นิยมใช้กับรถบรรทุกน้ำหนักไม่แน่นอน โดยจะติดตั้งให้อยู่เหนือสปริงแหนบหลัก ขณะที่บรรทุกน้อยแหนบหลักจะทำงานปกติ แต่ถ้ามีน้ำหนักในการบรรทุกเกินพิกัดที่ได้กำหนดไว้ แหนบช่วยก็จะทำงานร่วมกับแหนบหลักทันที



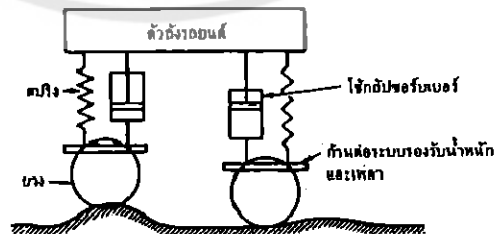
รูปที่ 2.16 ตำแหน่งติดตั้งแหนบช่วยในรถยนต์บรรทุก



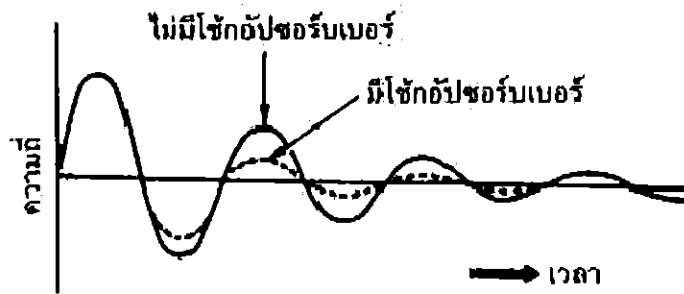
รูปที่ 2.17 กราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ในการทำงานร่วมกับแหนบหลักและแหนบช่วย

2.4.3 โช้กอัปซอร์เบอร์ (shock absorber)

ในขณะที่ขับเคลื่อนไปบนพื้นผิวถนนที่มีสภาพขรุขระ ระบบรองรับน้ำหนักจะได้รับการสั่นสะเทือน ซึ่งก็เป็นสาเหตุที่ทำให้สปริงของระบบรองรับน้ำหนักนั้นเกิดการอัดตัวและขยายตัวขึ้นเพื่อที่จะดูดกลืนแรงสั่นสะเทือนนั้นเอาไว้ อย่างไรก็ตาม สปริงนั้นจะมีคุณสมบัติในการคืนอยู่อย่างต่อเนื่อง และต้องใช้ระยะเวลาที่ยาวนานที่จะหยุดได้ ดังนั้นจึงทำให้การขับขี่ไม่มีความสะดวกสบายด้วยเหตุนี้ในระบบรองรับน้ำหนักจึงจำเป็นต้องติดตั้งโช้กอัปซอร์เบอร์ เพื่อทำหน้าที่ในการที่จะหยุดการคืนของสปริงและทำให้การขับขี่มีความสะดวกสบายดีขึ้น นอกจากนี้ก็ยังทำให้การเกาะถนนของยาง และเสถียรภาพในการบังคับเลี้ยวดีอีกด้วย



รูปที่ 2.18 หน้าที่การทำงานของโช้กอัปซอร์เบอร์เมื่อรถวิ่งบนถนนที่มีสภาพที่ขรุขระ

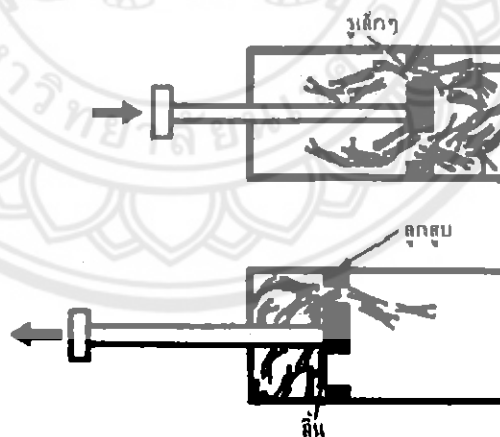


รูปที่ 2.19

กราฟแสดงการเปรียบเทียบความถี่การเต้นของสปริงในระบบรองรับน้ำหนักที่ไม่ใช้โซ่ก้อปซอร์บเบอร์ กับใช้โซ่ก้อปซอร์บเบอร์

หลักการทำงานของโซ่ก้อปซอร์บเบอร์

ในรูปที่ 2.20 ภายในกระบอกลูกสูบของโซ่ก้อปซอร์บเบอร์จะบรรจุน้ำมันเป็นตัวกลางในการทำงาน เพื่อให้เกิดแรงต้านขึ้นภายในกระบอกลูกสูบ ซึ่งเป็นสาเหตุมาจากเกิดความต้านทานในการไหลของ น้ำมัน โดยผ่านรูเล็กๆ ของลูกสูบในขณะที่เคลื่อนที่ แรงต้านภายในของโซ่ก้อปซอร์บเบอร์จะมีมากขึ้น ก็ต่อเมื่อเกิดการเคลื่อนที่และการเต้นอย่างรวดเร็วของตัวถัง แรงกระแทกจากตัวถังจะเป็นผลลัพธ์ โดยตรงกับแรงต้าน อย่างไรก็ตาม แรงต้านที่เกิดขึ้นภายในโซ่ก้อปซอร์บเบอร์นั้นจะถูกแปรเปลี่ยนไปตามความเร็วของลูกสูบ โดยจะสอดคล้องกับสภาพของพื้นถนนที่อยู่ในสภาวะการขับเคลื่อนในตารางที่ 2.3 แสดงอัตราความเร็วลูกสูบภายในโซ่ก้อปซอร์บเบอร์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพถนน



รูปที่ 2.20 หลักการทำงานของโซ่ก้อปซอร์บเบอร์รูปทรงกระบอกลูกสูบ

ตารางที่ 2.3 อัตราความเร็วลูกสูบภายในไซกัลป์เซอร์บเบอร์ที่เปลี่ยนไปตามสภาพของผิวถนน

สภาพพื้นผิวถนน	ความเร็วลูกสูบ เมตรต่อวินาที(นิ้วต่อวินาที)
ถนนลาดยางแอสฟัลต์ราบเรียบ	0.08 (3.1)
ถนนลาดยางแอสฟัลต์และขรุขระเล็กน้อย	0.10 – 0.15 (3.9 – 5.9)
ถนนลาดยางแอสฟัลต์ขรุขระ	0.20 – 0.30 (7.8 – 11.7)
ถนนไม่ได้ลาดยางแอสฟัลต์	0.40 – 0.60 (15.6 – 23.4)
ถนนไม่ได้ลาดยางแอสฟัลต์และขรุขระอย่างมาก	0.80 – 1.00 (31.2 – 39.3)



บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

เนื้อหาในส่วนนี้จะกล่าวถึงการออกแบบการทดสอบสมรรถนะรถกอล์ฟไฟฟ้า รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ และวิธีการทดสอบสมรรถนะ

3.1 รายละเอียดอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้

3.1.1 รถกอล์ฟไฟฟ้า

การทดสอบสมรรถนะในครั้งนี้ได้ทำการทดสอบกับรถกอล์ฟไฟฟ้าของบริษัท UE (united electric) รุ่น UG (B) 04 ซึ่งมีรายละเอียดและสมรรถนะของรถดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของรถกอล์ฟไฟฟ้า

1. มอเตอร์ขับ	3 kW (DC)
2. แบตเตอรี่ (Deep Cycle)	48 V (USA)
3. ระยะทางต่อการชาร์จ (บรรทุก)	80 km
4. เวลาในการชาร์จ	8 h
5. จำนวนที่นั่ง	4
6. ความเร็วสูงสุด	27 km/h
7. ชุดควบคุม	Curtis (USA)
8. โครงรถ	เหล็กพ่นกันสนิม
9. ตัวถัง	PP Plastic
10. กระจกหน้า	Acrylic
11. ชุดบังคับเลี้ยว	Rack & Pinion
12. ระบบกันสะเทือน	แหนบพร้อมโช้ค
13. ระบบเบรก (Self-Adjusting)	Drum Brake 2 ล้อหลัง
14. มุมไต่ทางชัน (บรรทุก)	20 %
15. รัศมีวงเลี้ยว	4.5 m
16. ขนาดล้อ	205/50-10 4PR
17. สัญญาณไฟ	ไฟหน้า, ไฟเลี้ยว, ไฟเบรก, แตร, เสียงขณะถอยหลัง
18. ขนาดรถ (ก*ย*ส)	1.2 x 3.1 x 1.9 m



รูปที่ 3.1 รถกอล์ฟไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.2 GPS data logger

ในการทดสอบครั้งนี้ใช้ GPS data logger ในการเก็บข้อมูลการทดสอบ ใช้ GPS ยี่ห้อ QSTARZ รุ่น BT-Q1000eX ซึ่งรายละเอียดมีดังตามตารางด้านล่าง
 ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดของ GPS data logger

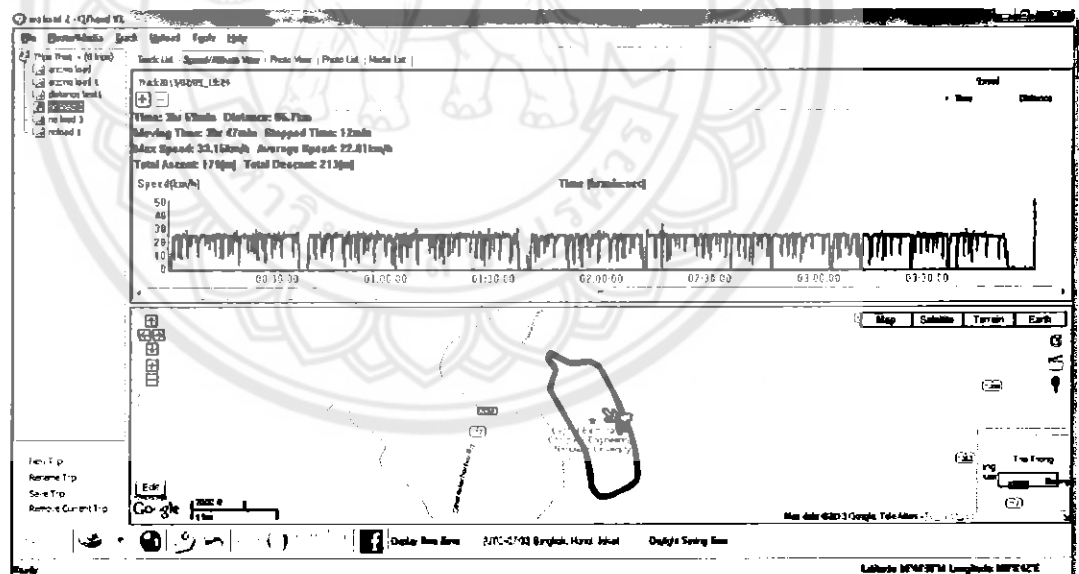
Accuracy (none DGPS)	
Position	Without aid : 3.0 m 2D-RMS < 3 m CEP (50%) without SA (horizontal) DGPS (WAAS, EGNOS, MSAS) : 2.5 m
Velocity	Without aid : 0.1 m/s DGPS (WAAS, EGNOS, MSAS, RTCM) : 0.05 m/s
Time	50 ms RMS
Datum	WGS-84
Dynamic Conditions	
Altitude	< 18,000 m
Velocity	< 515 m/s
Acceleration	< 4 g
Update/Log	1Hz or 5Hz (1-5Hz changeable by software utility)



รูปที่ 3.2 GPS data logger ที่ใช้บันทึกข้อมูลการทดสอบ

3.1.3 โปรแกรม Q-Travel

โปรแกรม Q-Travel เป็นโปรแกรมที่มาพร้อมกับ GPS data logger ซึ่งใช้ในการอ่านและแสดงผลจากข้อมูลที่บันทึกอยู่ใน GPS data logger ซึ่งข้อมูลที่โปรแกรมจะแสดงผลคือ ระยะเวลาที่ใช้ ระยะทางที่เคลื่อนที่ เวลาที่เคลื่อนที่ เวลาที่หยุดเคลื่อนที่ ความเร็วสูงสุด ความเร็วเฉลี่ย และมีการแสดงผลเป็นกราฟความเร็วเทียบกับเวลาและกราฟความเร็วเทียบกับระยะทาง และแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่



รูปที่ 3.3 ลักษณะการแสดงผลของโปรแกรม Q-Travel

3.2 การออกแบบวิธีการทดสอบสมรรถนะ

ในการออกแบบการทดสอบสมรรถนะของรถกอล์ฟไฟฟ้าครั้งนี้ ได้นำมาตรฐานการทดสอบสมรรถนะของสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ SAE (Societies of Automotive Engineering) มาใช้เป็น

แนวทางในการออกแบบการทดสอบสมรรถนะ เพื่อให้ได้การทดสอบที่มีความเหมาะสมกับเครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่ที่มีอยู่ โดยการทดสอบมี 4 การทดสอบ มีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 การทดสอบระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ต่อการชาร์จ

อุปกรณ์ที่ใช้

- 1) GPS data logger

วิธีการทดสอบ

- 1) นำรถกอล์ฟไฟฟ้ามาตรวจสอบแรงดันลมยาง และปริมาณแบตเตอรี่ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน (แรงดันที่เหมาะสมสำหรับพื้นคอนกรีตประมาณ 30 psi แถบแสดงปริมาณแบตเตอรี่ควรอยู่ที่ขีดบนสุด)

- 2) ติด GPS ไว้บริเวณด้านหน้ารถ และขับรถไปที่จุดเริ่มต้นการทดสอบ

- 3) เปิด GPS ไปที่ 10Hz รอจนมีเสียงสัญญาณดังขึ้น 2 ครั้ง (ประมาณ 30 วินาที) เพื่อให้ GPS จับสัญญาณดาวเทียม

- 4) เริ่มทำการขับทดสอบโดยขับไปตามถนนรอบมหาวิทยาลัยนเรศวร คอยสังเกตแถบแสดงปริมาณแบตเตอรี่

- 5) เมื่อแถบแสดงปริมาณแบตเตอรี่เลื่อนลงมาอยู่ที่ขีดที่ 9 (แถบแสดงแบตเตอรี่จะกระพริบ ซึ่งเป็นสัญญาณแสดงว่าแบตเตอรี่ถูกใช้ไป 80 % ของความจุแล้ว ควรนำกลับไปชาร์จใหม่) หยุดรถและทำการปิด GPS

- 6) นำรถกลับไปชาร์จแบตเตอรี่ (ใช้เวลาชาร์จประมาณ 8-10 ชั่วโมง) ถอด GPS ออกจากรถ

- 7) นำ GPS มาต่อกับคอมพิวเตอร์ เปิด GPS ไปที่ 1 Hz (เพื่อป้องกันการบันทึกข้อมูลซ้ำของ GPS ขณะทำการดึงข้อมูล) เปิดโปรแกรม Q-Travel ดึงข้อมูลจาก GPS แล้วบันทึกไว้ในคอมพิวเตอร์

- 8) ทำการล้างข้อมูลที่อยู่ใน GPS เพื่อนำไปเก็บข้อมูลการทดสอบครั้งต่อไป

- 9) ทำการทดสอบซ้ำอีก 2 ครั้ง จากนั้นทำการทดสอบใหม่โดยเพิ่มการบรรทุกผู้โดยสารจนเต็มที่นั่ง (น้ำหนักบรรทุกอยู่ที่ประมาณ 200 กิโลกรัม ไม่รวมคนขับ)

- 10) เปรียบเทียบความแตกต่างของระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ระหว่างการบรรทุกน้ำหนักและไม่บรรทุกน้ำหนัก โดยอ่านข้อมูลจากโปรแกรม Q-Travel

โดยการทดสอบนั้นจะให้รถใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ 80% ของความจุแบตเตอรี่ ซึ่งถ้าใช้พลังงานจากแบตเตอรี่จนหมดจะทำให้แบตเตอรี่เกิดการเสื่อมสภาพเร็วขึ้นส่งผลให้มีอายุการใช้งานที่ลดลง

3.2.2 การทดสอบอัตราเร่งและความเร็วสูงสุด

อุปกรณ์ที่ใช้

- 1) GPS data logger

วิธีการทดสอบ

1) นำรถกอล์ฟไฟฟ้ามาตรวจสอบแรงดันลมยาง และปริมาณแบตเตอรี่ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน (แรงดันที่เหมาะสมสำหรับพื้นคอนกรีตประมาณ 30 psi แถบแสดงปริมาณแบตเตอรี่ควรอยู่ที่ขีดบนสุด)

2) ติด GPS ไว้บริเวณด้านหน้ารถ และขับรถไปที่จุดเริ่มต้นการทดสอบ

3) เปิด GPS ไปที่ 10Hz รอจนมีเสียงสัญญาณดังขึ้น 2 ครั้ง (ประมาณ 30 วินาที) เพื่อให้ GPS จับสัญญาณดาวเทียม

4) เริ่มทดสอบโดยการเหยียบคันเร่งจนสุดไปเป็นระยะประมาณ 200 เมตร แล้วหยุดรถ ถอด GPS ออกจากรถ

5) นำ GPS มาต่อกับคอมพิวเตอร์ เปิด GPS ไปที่ 1 Hz เปิดโปรแกรม Q-Travel ดึงข้อมูลจาก GPS แล้วบันทึกไว้ในคอมพิวเตอร์

6) ทำการล้างข้อมูลที่อยู่ใน GPS เพื่อนำไปเก็บข้อมูลการทดสอบครั้งต่อไป

7) ทำการทดสอบซ้ำอีก 4 ครั้ง จากนั้นทำการทดสอบใหม่โดยเพิ่มการบรรทุกผู้โดยสารจนเต็มที่นั่ง (น้ำหนักบรรทุกอยู่ที่ประมาณ 200 กิโลกรัม ไม่รวมคนขับ)

8) นำข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม Q-Travel มาหาความเร่ง

9) เปรียบเทียบความแตกต่างของความเร่งระหว่างการบรรทุกและไม่บรรทุกน้ำหนัก

3.2.3 การทดสอบระยะเบรก

อุปกรณ์

1) เทปขาวสำหรับทำสัญลักษณ์

2) สายวัดระยะทาง

วิธีการทดสอบ

1) นำรถกอล์ฟไฟฟ้ามาตรวจสอบแรงดันลมยาง และปริมาณแบตเตอรี่ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน (แรงดันที่เหมาะสมสำหรับพื้นคอนกรีตประมาณ 30 psi แถบแสดงปริมาณแบตเตอรี่ควรอยู่ที่ขีดบนสุด)

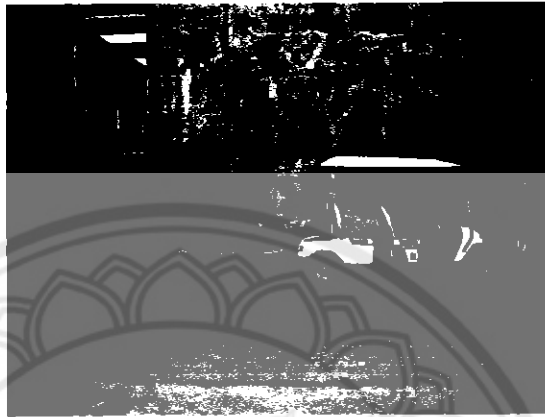
2) ทำการติดเทปขาวบริเวณพื้นถนนเพื่อเป็นสัญลักษณ์ในการหยุดรถ และห่างจากจุดเบรกไปอีก 100 เมตร สำหรับเป็นจุดที่รถออกตัว และมีระยะทางหลังเส้นหยุดรถอีกประมาณ 30 เมตร เพื่อให้เป็นระยะที่รถใช้หยุด

3) เริ่มทดสอบโดยนำรถไปอยู่ที่จุดออกตัวจากนั้นเหยียบคันเร่งจนสุดจนล้อหน้าของรถเคลื่อนที่มาถึงจุดหยุดรถ จากนั้นจึงปล่อยคันเร่งรอให้รถชะลอความเร็วจนรถหยุดนิ่ง จากนั้นทำการวัดระยะจากจุดหยุดไปจนถึงกึ่งกลางของล้อหน้ารถ บันทึกผลที่ได้

4) ทำการทดสอบซ้ำอีก 4 ครั้ง จากนั้นทำการทดสอบใหม่โดยเพิ่มการบรรทุกผู้โดยสารจนเต็มที่นั่ง (น้ำหนักบรรทุกอยู่ที่ประมาณ 200 กิโลกรัม ไม่รวมคนขับ)

5) ทำการทดสอบเหมือนเดิมแต่เปลี่ยนจากการปล่อยคันเร่งอย่างเดียวมาเป็นการเหยียบเบรกเต็มแรงแทน บันทึกผลที่ได้

6) เปรียบเทียบความแตกต่างของระยะหน่วง (ระยะที่รถหยุดเองโดยไม่ใช้เบรก) ระหว่างการบรรทุกและไม่บรรทุกน้ำหนัก ระยะเบรกระหว่างการบรรทุกและไม่บรรทุกน้ำหนัก และระยะหน่วงกับระยะเบรก



รูปที่ 3.4 การวัดระยะเบรก

3.2.4 การทดสอบวงล้อวแคบสุด

อุปกรณ์ในการทดสอบ

- 1) ขวดพลาสติก
- 2) เทปกาว
- 3) สายวัดระยะทาง

วิธีการทดสอบ

1) นำรถกอล์ฟไฟฟ้ามาตรวจสอบแรงดันลมยาง และปริมาณแบตเตอรี่ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน (แรงดันที่เหมาะสมสำหรับพื้นคอนกรีตประมาณ 30 psi แถบแสดงปริมาณแบตเตอรี่ควรอยู่ที่ขีดบนสุด)

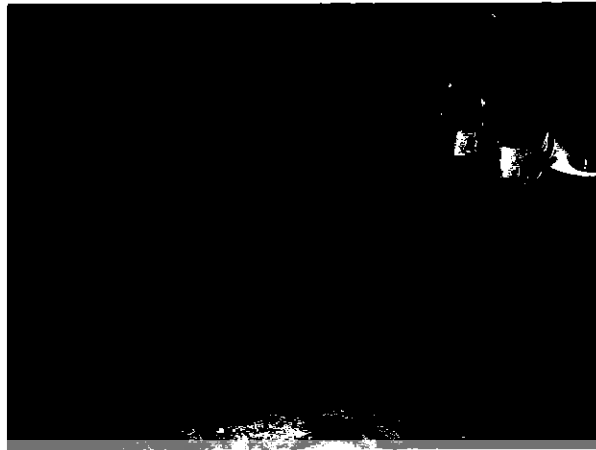
2) นำขวดมาเจาะรูที่ฝาขวดและกันขวดปิดรูที่เจาะไว้ด้วยเทปกาว นำไปเติมน้ำจนเต็มจากนั้นนำมาติดไว้ที่บริเวณล้อหน้าของรถด้วยเทปกาว

3) เริ่มทดสอบโดยหมุนพวงมาลัยให้เลี้ยวขวาจนสุด นำเทปกาวที่ปิดขวดออกจากรถให้เคลื่อนที่ไปจนน้ำหยดลงพื้นเป็นวงกลม

4) ทำการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของวงกลมที่ได้ บันทึกผล

5) ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง จากนั้นทำการทดสอบใหม่โดยเปลี่ยนจากเลี้ยวขวาเป็นเลี้ยวซ้าย

6) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างวงล้อซ้ายและวงล้อขวา



รูปที่ 3.5 การทดสอบวงเล็บ



บทที่ 4

ผลการทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงผลที่ได้จากการทดสอบสมรรถนะของรถกอล์ฟไฟฟ้า โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 4 การทดสอบ คือ

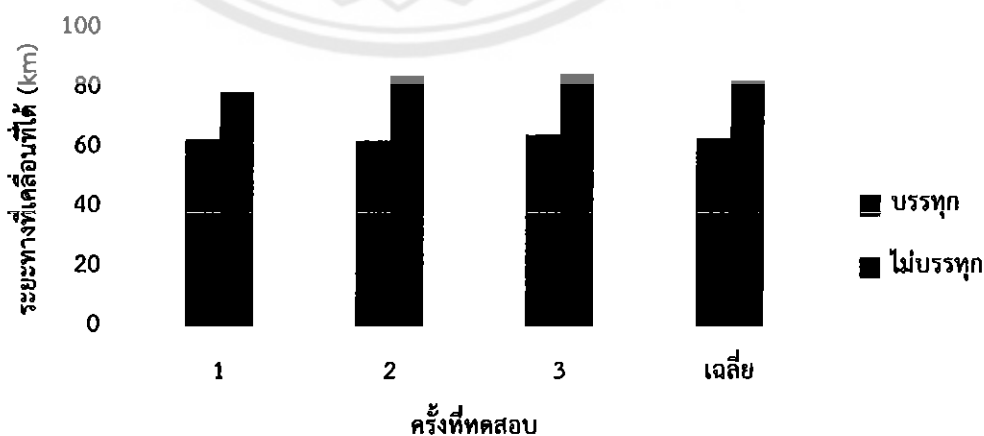
1. การทดสอบระยะทางสูงสุดที่เคลื่อนที่ได้ต่อการชาร์จ (ที่ 80% ของความจุแบตเตอรี่)
2. การทดสอบระยะเบรกและระยะหน่วง
3. การทดสอบอัตราเร่ง
4. การทดสอบวงเลี้ยวแคบสุด

ได้ผลการทดสอบดังนี้

4.1 การทดสอบระยะทางสูงสุดที่เคลื่อนที่ได้ต่อการชาร์จ (ที่ 80% ของความจุแบตเตอรี่)

การทดสอบนี้จะใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ 80% ของความจุ เพื่อเป็นการลดการเสื่อมสภาพ และเพิ่มอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ และในส่วนของน้ำหนักบรรทุก เราวัดจากน้ำหนักรวมของผู้โดยสารที่มาพร้อมทดสอบโดยอยู่ที่ระหว่าง 190 – 210 กิโลกรัม และไม่รวมน้ำหนักคนขับ

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ต่อการชาร์จของรถกอล์ฟไฟฟ้าระหว่างการบรรทุกและไม่บรรทุกน้ำหนักนั้น ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ของการบรรทุกน้ำหนักเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 63.3 กิโลเมตร มีค่าน้อยกว่าระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ขณะที่ไม่บรรทุกน้ำหนักระยะทางเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 82.8 กิโลเมตร แสดงให้เห็นว่าน้ำหนักบรรทุกมีผลต่อระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ของรถกอล์ฟไฟฟ้าซึ่งระยะที่บรรทุกน้อยกว่าระยะทางที่ไม่ได้บรรทุกอยู่ 23.55 % และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ของการบรรทุกที่ได้จากการทดสอบกับที่ระบุไว้ในสเปคซึ่งระบุไว้ที่ 80 กิโลเมตร พบว่าระยะที่ได้จากการทดสอบจริงน้อยกว่าค่าที่ระบุตามสเปคอยู่ 20.88 %



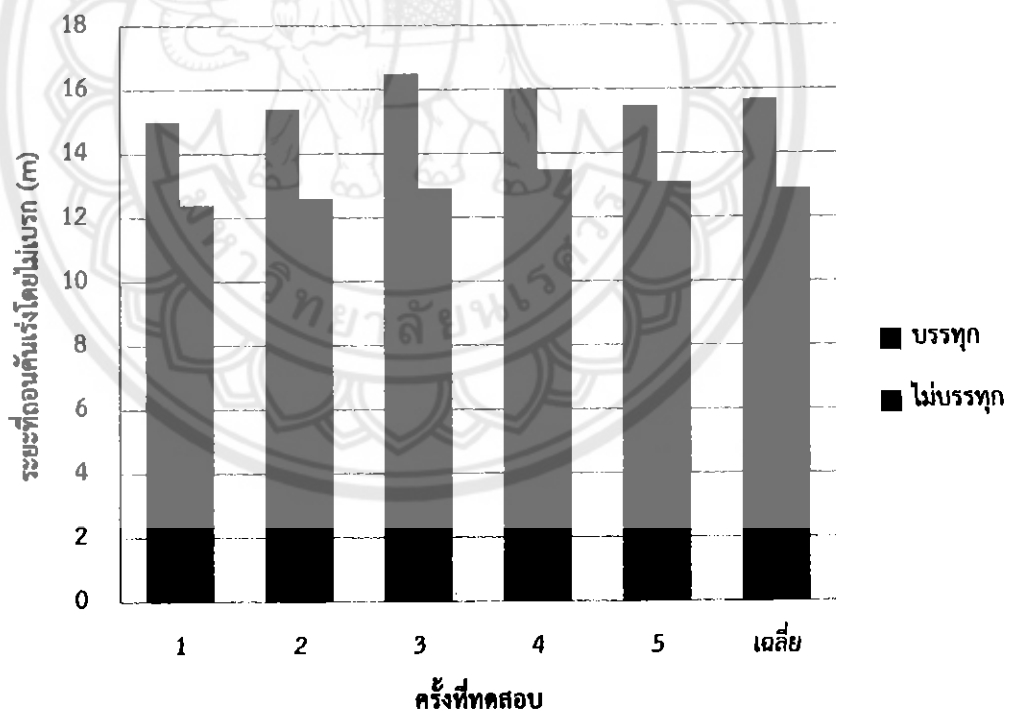
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ต่อการชาร์จระหว่างการบรรทุกและไม่บรรทุกน้ำหนัก

4.2 การทดสอบระยะเบรกและระยะหน่วง

ในรถกอล์ฟไฟฟ้าที่เมื่อปล่อยคันเร่งจะมีแรงหน่วงสูงกว่ารถยนต์ทั่วไป ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อมีการปล่อยคันเร่งของรถไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าก็จะไม่ถูกส่งไปยังมอเตอร์ทำให้มอเตอร์หยุดทำงาน ดังนั้นจึงเกิดแรงหน่วงที่สูงในระบบส่งกำลังของมอเตอร์ แต่สำหรับรถยนต์ทั่วไปนั้นขณะปล่อยคันเร่งแล้วแต่เครื่องยนต์ก็ยังคงทำงานอยู่จึงทำให้เกิดแรงหน่วงน้อยกว่าในรถกอล์ฟไฟฟ้า

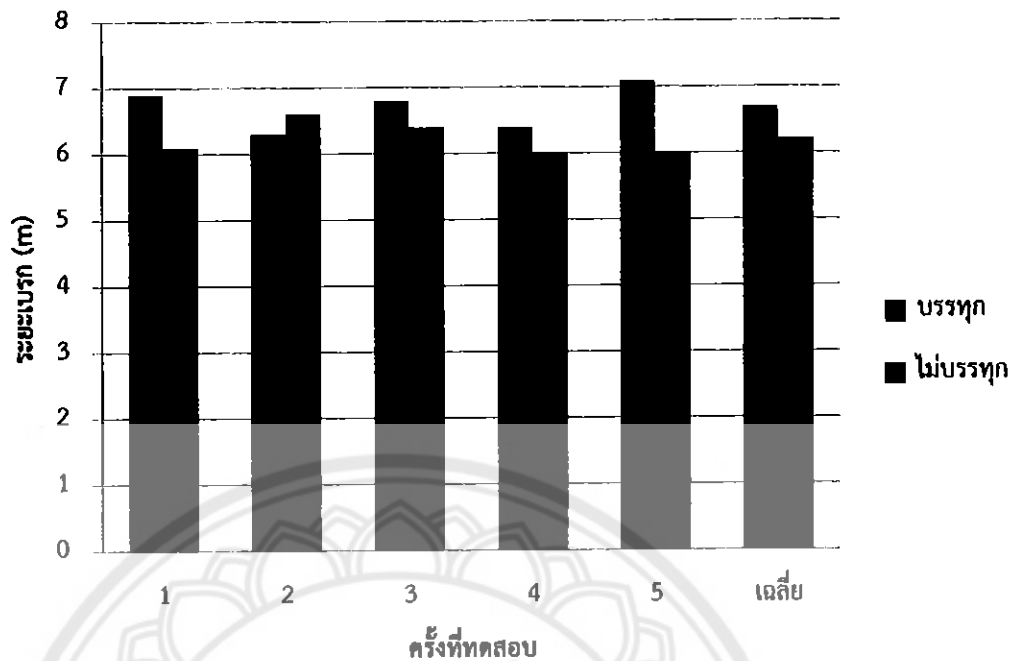
รถกอล์ฟไฟฟ้าที่เมื่อมีการหน่วงสูงหลังจากการปล่อยคันเร่งจะช่วยชะลอความเร็วของรถได้ และทำให้ไม่ต้องใช้การเหยียบเบรกช่วยซึ่งผู้ขับขี่ส่วนใหญ่ก็จะใช้การปล่อยคันเร่งแทนการเบรกเพราะเป็นสิ่งที่สะดวกกว่า อย่างไรก็ตามการปล่อยคันเร่งโดยไม่เบรคนั้นก็เป็นการเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุเพราะในเวลาที่ปล่อยคันเร่งนั้นสัญญาณไฟเบรกจะไม่ปรากฏแต่จะปรากฏเฉพาะกรณีที่ใช้เหยียบเบรกเท่านั้น และในเวลาที่คับขันก็ต้องมีการใช้เบรกช่วยเพื่อความปลอดภัย หากเป็นไปได้ก็ควรมีการปรับปรุงหรือแก้ไขให้มีสัญญาณไฟเบรกปรากฏขึ้นขณะที่มีการปล่อยคันเร่งด้วย

จากรูปที่ 4.2 เป็นการเปรียบเทียบกันระยะหน่วงของรถกอล์ฟไฟฟ้าระหว่างบรรทุกและไม่บรรทุกน้ำหนัก ระยะหน่วงขณะที่ไม่ได้บรรทุกอยู่ที่เฉลี่ยอยู่ที่ 15.6 เมตร ส่วนระยะหน่วงขณะที่บรรทุกเฉลี่ยอยู่ที่ 12.9 เมตร ซึ่งต่างกัน 2.7 เมตร คิดเป็น 17.31 %



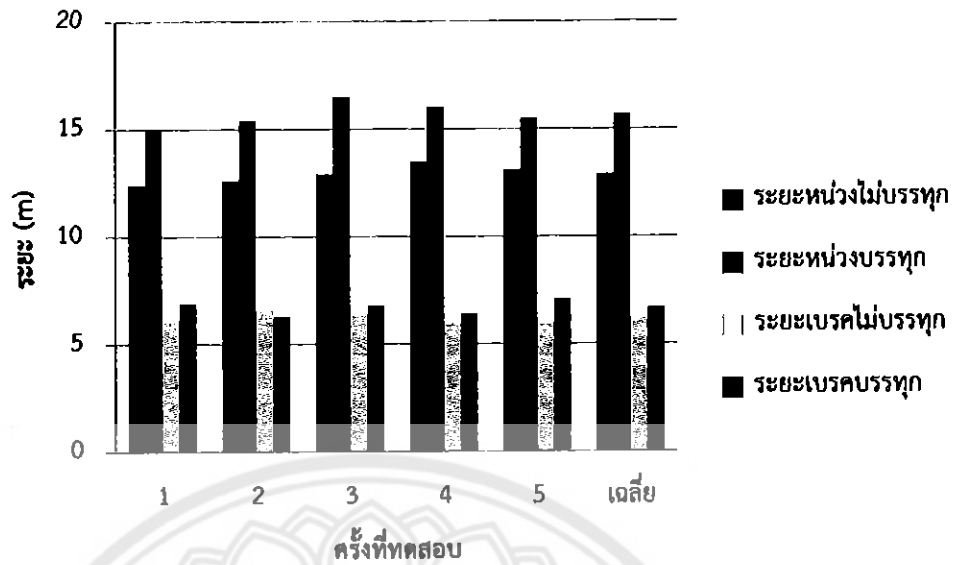
รูปที่ 4.2 ระยะหน่วงของรถกอล์ฟไฟฟ้าระหว่างบรรทุกและไม่บรรทุกน้ำหนัก

จากรูป 4.3 เป็นการเปรียบเทียบระยะเบรกของรถกอล์ฟไฟฟ้าระหว่างที่บรรทุกและไม่บรรทุกน้ำหนัก ระยะเบรกที่ไม่มีการบรรทุกเฉลี่ยอยู่ที่ 6.2 เมตร และระยะเบรกที่มีการบรรทุกอยู่ที่ 6.7 เมตร มีค่าต่างกัน 0.5 เมตร คิดเป็น 7.46 %



รูปที่ 4.3 ระยะเบรกของรถกอล์ฟไฟฟ้าระหว่างบรรทุกและไม่บรรทุกน้ำหนัก

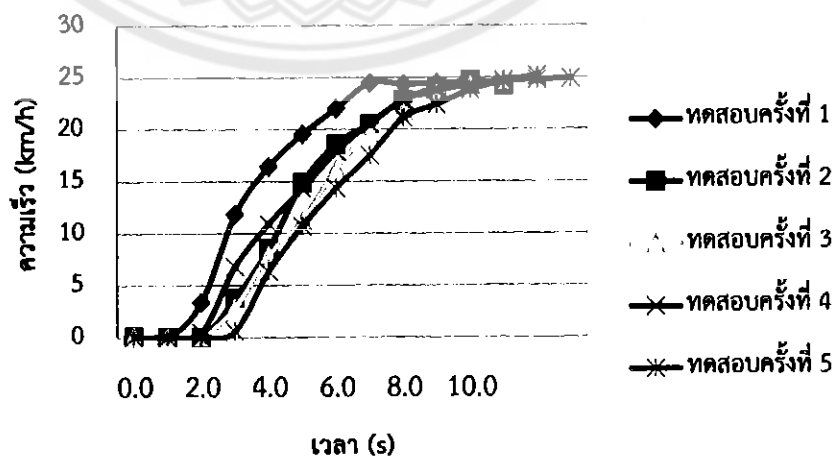
จากรูปที่ 4.4 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างระยะหน่วงกับระยะเบรกของรถกอล์ฟไฟฟ้าที่บรรทุกและไม่ได้บรรทุกน้ำหนัก ระยะหน่วงและระยะเบรกที่ไม่ได้บรรทุกมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 12.9 และ 6.2 เมตร ตามลำดับ มีค่าแตกต่างกันอยู่ที่ 6.7 เมตร คิดเป็น 51.64 % ส่วนระยะหน่วงและระยะเบรกที่บรรทุกมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 15.7 และ 6.7 เมตร ตามลำดับ มีค่าต่างกัน 9 เมตร คิดเป็น 57.32 % จะเห็นได้ว่ามีค่าที่แตกต่างกันไม่มากซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากความเร็วที่ใช้ในการทดสอบไม่สูงมาก คือความเร็วสูงสุดและที่ใช้ในการทดสอบเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดังนั้นสรุปได้ว่าที่ความเร็วต่ำน้ำหนักบรรทุกจะมีผลต่อระยะการเบรกของรถน้อย แต่จะมีผลกับระยะหน่วงของรถที่มากกว่า คือน้ำหนักบรรทุก 200 กิโลกรัม จะมีผลต่อระยะการเบรกของรถ 7.46 % และมีผลต่อระยะหน่วงของรถ 17.31 % และเมื่อใช้การเบรกแทนการปล่อยให้รถหยุดเองโดยแรงหน่วงระหว่างขณะไม่บรรทุกและบรรทุกจะลดระยะทางได้ 51.64 % และ 57.32 % ตามลำดับ



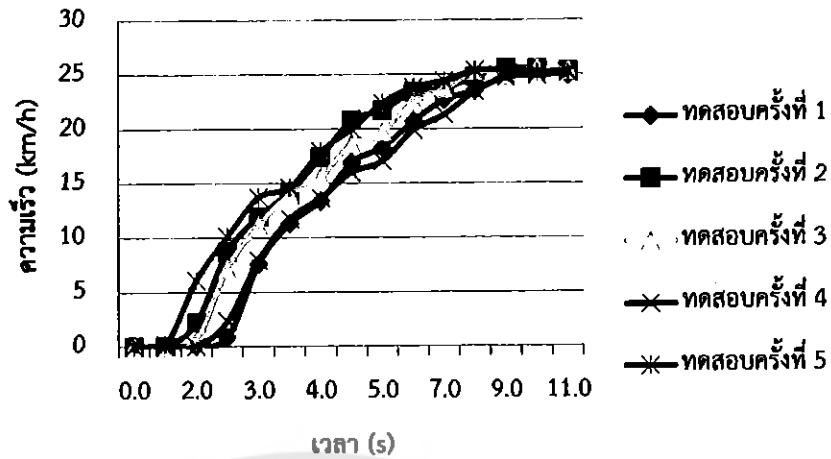
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบระหว่างระยะหน่วงกับระยะเบรกของรถกอล์ฟไฟฟ้าที่บรรทุกและไม่บรรทุก

4.3 การทดสอบอัตราเร่งและความเร็วสูงสุด

ในการทดสอบอัตราเร่งของรถกอล์ฟไฟฟ้า เราใช้ GPS เป็นตัวเก็บข้อมูลและใช้โปรแกรม Q-Travel ในการแสดงผลข้อมูลจาก GPS ซึ่งอุปกรณ์ GPS และโปรแกรม Q-Travel จะอธิบายไว้ในภาคผนวก ก จากข้อมูลจากโปรแกรม Q-Travel เรานำเอาข้อมูลบางส่วนมาสร้างเป็นกราฟใหม่ เพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจนขึ้นได้ตามรูปที่ 4.5 และ 4.6 จากรูปที่ 4.5 และ 4.6 เป็นกราฟความสัมพันธ์ความเร็วและเวลาของรถที่บรรทุกและไม่บรรทุกน้ำหนัก โดยเริ่มต้นจะให้รถหยุด (ความเร็ว 0 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) และเริ่มทำความเร็วจนถึงความเร็วสูงสุดของรถคือประมาณ 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จากการทดสอบพบว่าความเร็วสูงสุดระหว่างรถที่บรรทุกและไม่บรรทุกน้ำหนักนั้นไม่แตกต่างกันเฉลี่ยอยู่ที่ 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



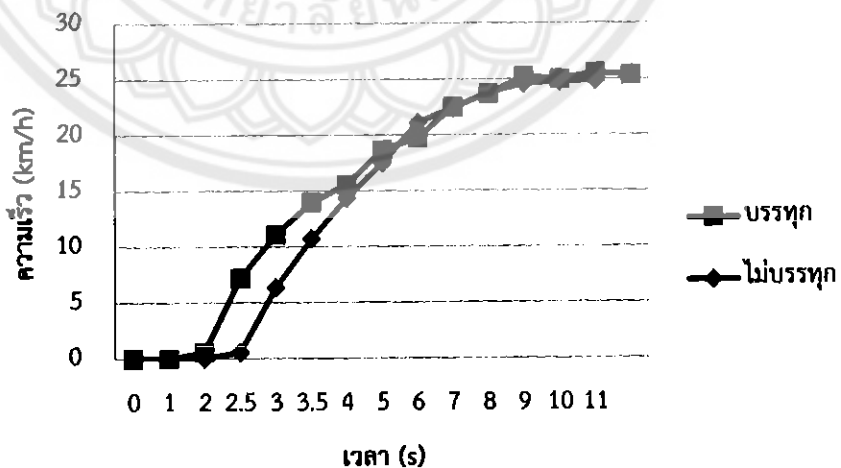
รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าของความเร็วที่เพิ่มขึ้นกับระยะเวลาของรถที่ไม่บรรทุกน้ำหนัก



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าของความเร็วที่เพิ่มขึ้นกับระยะเวลาของรถที่บรรทุกน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.7 เป็นการนำกราฟความเร็วกับเวลาระหว่างรถที่บรรทุกและไม่บรรทุกน้ำหนักมาเปรียบเทียบกัน จะสังเกตได้ว่ากราฟทั้งสองมีความคล้ายคลึงกัน แต่มีความแตกต่างกันตรงที่ความชันของกราฟซึ่งคือความเร่งของรถนั่นเอง จะเห็นได้ว่าความชันของกราฟของรถที่ไม่ได้บรรทุกน้ำหนักจะมากกว่ารถที่บรรทุกน้ำหนัก และเมื่อทำการคำนวณความเร่งของรถระหว่างที่บรรทุกและไม่บรรทุกน้ำหนักจากการทดสอบแต่ละครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยได้เท่ากับ 0.84 m/s^2 และ 0.92 m/s^2 ตามลำดับ ซึ่งความเร่งขณะบรรทุกน้ำหนักน้อยกว่าไม่บรรทุกอยู่ 8.7 %

เมื่อนำค่าของความเร่งมาหาค่าระยะทางและเวลาที่ใช้ในการทำความเร็วสูงสุดของรถกอล์ฟไฟฟ้า ได้ดังนี้ สำหรับรถที่บรรทุกน้ำหนักระยะทางและเวลาที่ใช้ในการทำความเร็วสูงสุดอยู่ที่ 28.66 เมตร และ 8.26 วินาที ตามลำดับ ส่วนขณะไม่บรรทุกอยู่ที่ 26.16 เมตร และ 7.54 วินาที ตามลำดับ

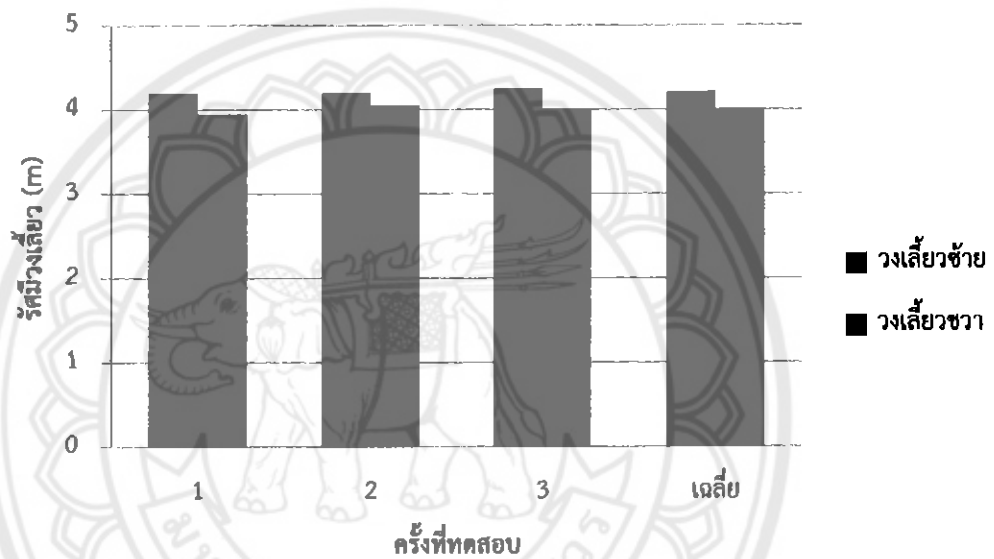


รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบความเร่งระหว่างรถที่บรรทุกและไม่บรรทุกน้ำหนัก

4.4 การทดสอบวงเลี้ยว

ในการทดสอบวงเลี้ยว นั้น มีการวัดทั้งวงเลี้ยวด้านในและวงเลี้ยวด้านนอก เช่น การทดสอบวงเลี้ยวด้านขวา วงเลี้ยวด้านในคือล้อด้านขวา ส่วนวงเลี้ยวด้านนอกคือล้อด้านซ้าย เป็นต้น ซึ่งวงเลี้ยวด้านนอกจะสำคัญกว่าเพราะเป็นตัวบ่งบอกว่ารถใช้พื้นที่หรือระยะทางเท่าไรสำหรับการกลับรถหรือเลี้ยวรถ

วงเลี้ยวด้านซ้ายมีรัศมีวงเลี้ยวคือ วงเลี้ยวด้านใน 3.2 เมตร วงเลี้ยวด้านนอก 4.22 เมตร และวงเลี้ยวด้านขวามีรัศมีวงเลี้ยวคือ วงเลี้ยวด้านใน 3.02 เมตร วงเลี้ยวด้านนอก 4.0 เมตร ซึ่งวงเลี้ยว (ด้านนอก) ด้านซ้ายมากกว่าด้านขวา 5.21 % และวงเลี้ยวเฉลี่ยของทั้งสองด้าน คือ 4.11 เมตร



รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบวงเลี้ยวด้านนอก

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดสอบ

5.1.1 ผลการทดสอบสมรรถนะรถกอล์ฟไฟฟ้า

ในการทดสอบสมรรถนะรถกอล์ฟไฟฟ้า 4 การทดสอบ สามารถสรุปผลการทดสอบได้ตามตารางด้านล่าง

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบสมรรถนะของรถกอล์ฟไฟฟ้า

หัวข้อการทดสอบ	ระบุตามสเปค	จากการทดสอบ	
		บรรทุกน้ำหนัก	ไม่บรรทุกน้ำหนัก
ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ต่อการชาร์จ (km)	80.0 (บรรทุก)	63.3	82.8
ความเร็วสูงสุด (km/h)	27.0	25.0	25.0
ความเร่ง (m/s^2)	ไม่ระบุ	0.84	0.92
ระยะหน่วง (m)	ไม่ระบุ	15.7	12.9
ระยะเบรก (m)	ไม่ระบุ	6.7	6.2
วงเลี้ยวด้านนอก (m)	4.5	4.11	4.11

จากตารางที่ 5.1 แสดงให้เห็นว่าน้ำหนักบรรทุก (200 กิโลกรัม) เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ

1. ส่งผลให้ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ต่อการชาร์จลดลงจากการไม่บรรทุกน้ำหนัก โดยที่ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ขณะบรรทุกน้ำหนักอยู่ที่ 63.3 กิโลเมตร ส่วนที่ไม่ได้บรรทุกน้ำหนักเท่ากับ 82.8 กิโลเมตร ต่างกัน 23.55 % เนื่องจากระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ต่อการชาร์จมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักและความเร็ว เมื่อบรรทุกน้ำหนักเพิ่มขึ้นและยังทำความเร็วที่ระดับเดิม ทำให้ภาระที่มอเตอร์ต้องทำให้รถเคลื่อนที่มากขึ้นทำให้การสิ้นเปลืองแบตเตอรี่มีระดับที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ระยะทางที่ทำได้ต่อการชาร์จลดลง

2. ส่งผลให้ความเร่งลดลงจากการไม่บรรทุกน้ำหนัก โดยที่ความเร่งขณะบรรทุกน้ำหนักเท่ากับ $0.84 m/s^2$ และขณะไม่บรรทุกน้ำหนักเท่ากับ $0.92 m/s^2$ ต่างกัน 8.7 % เนื่องจากอัตราเร่งมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันตรงกับแรงที่กระทำของมอเตอร์และมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับน้ำหนัก เมื่อน้ำหนักที่บรรทุกเพิ่มขึ้นแต่มอเตอร์ยังให้แรงในระดับเดิมทำให้อัตราเร่งที่ได้มีระดับที่ต่ำลง

3. ส่งผลให้ระยะหน่วงเพิ่มขึ้นจากการไม่บรรทุกน้ำหนัก คือขณะบรรทุกน้ำหนักระยะหน่วงเท่ากับ 15.7 เมตร และไม่บรรทุกน้ำหนักเท่ากับ 12.9 เมตร ซึ่งแตกต่างกัน 17.83 % เนื่องจาก

ปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะห่างประกอบด้วย ความหน่วงของมอเตอร์ที่มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับระยะห่าง ความเร็วของรถและน้ำหนักที่บรรทุกซึ่งมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับระยะห่าง ในการทดสอบระยะห่างของรถกอล์ฟไฟฟ้า ความเร็ว (ความเร็วสูงสุด) และความหน่วงมีค่าคงที่ทุกการทดสอบ ดังนั้นเมื่อรถมีน้ำหนักที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ระยะห่างที่ทำให้รถหยุดมีค่ามากขึ้น

4. ส่งผลให้ระยะเบรกเพิ่มขึ้นจากการไม่บรรทุกน้ำหนัก คือขณะบรรทุกเท่ากับ 6.7 เมตร และไม่บรรทุกเท่ากับ 6.2 เมตร แตกต่างกันเป็น 7.46 % เนื่องจาก ปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเบรกประกอบด้วย อัตราการเบรกที่มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับระยะเบรก ความเร็วของรถและน้ำหนักที่บรรทุก ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับระยะห่าง ในการทดสอบระยะเบรกของรถกอล์ฟไฟฟ้า ความเร็ว (ความเร็วสูงสุด) และอัตราเบรก (เหยียบเบรกจนสุด) มีค่าคงที่ทุกการทดสอบ ดังนั้นเมื่อรถมีน้ำหนักที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ระยะเบรกที่ทำให้รถหยุดมีค่ามากขึ้น

5.1.2 การนำไปใช้กับการทดสอบรถไฟฟ้าต้นแบบมหาวิทยาลัยนเรศวร

ในการทดสอบสมรรถนะรถไฟฟ้าต้นแบบมหาวิทยาลัยนเรศวรสามารถนำวิธีการทดสอบ และอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบในบทที่ 3 และตารางการบันทึกผลในภาคผนวก ข มาใช้ทดสอบได้ แต่ผลการทดสอบที่ได้ออกมาอาจจะต่างจากผลการทดสอบสมรรถนะรถกอล์ฟไฟฟ้า ทั้งนี้เนื่องจากขนาดกำลังขับ และน้ำหนักบรรทุกที่แตกต่างกันมาก ทั้งนี้ อาจจะมีการแก้ไขปรับปรุงวิธีการทดสอบบางส่วนเพื่อให้มีความเหมาะสมกับการทดสอบรถไฟฟ้าต้นแบบมหาวิทยาลัยนเรศวร

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะในการทดสอบ

5.2.1. ปัญหาที่พบในการทดสอบ

1. ขาดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดสอบ ถ้าเครื่องมือและอุปกรณ์มีความพร้อมอาจจะสามารถทำการทดสอบได้มากขึ้น และข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น
2. เวลาในการทดสอบมีจำกัดทำให้ผลการทดสอบมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากผลการทดสอบมีจำนวนน้อย
3. สถานที่ที่ใช้ในการทดสอบไม่มีความสม่ำเสมอของสภาพผิวถนน เช่น บางจุดของถนนมีรอยแตก หลุม และลูกระนาด ซึ่งอาจจะที่ผลต่อผลการทดสอบได้
4. เส้นทางทดสอบเป็นเส้นทางที่ใช้สัญจรจริงของรถทั่วไปจึงทำให้บางเวลาอาจเกิดการติดขัดของการจราจร ซึ่งจะมีผลต่อการทดสอบได้

5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทดสอบ

1. ในการทดสอบระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ต่อการชาร์จ ไม่ควรหยุดรถหรือชะลอความเร็วของรถบ่อยเพราะรถใช้พลังงานมากในการออก และควรขับทดสอบที่ความเร็วคงที่
2. ในการทดสอบความเร่ง ควรมีระยะทางที่ไกลพอสมควรเพื่อให้แน่ใจว่ารถสามารถที่จะทำความเร็วสูงสุดได้

3. การทดสอบระยะเบรก ควรมีระยะทางหลังจุดสัญญาณหยุดมากพอสมควรเพื่อความปลอดภัยในการทดสอบ

4. ในขณะที่ขับขี่ไม่ควรปล่อยคันเร่งจนสุดเพราะจะทำให้รถกอล์ฟไฟฟ้าเกิดการหน่วงที่สูงซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดอุบัติเหตุได้สำหรับผู้ที่ไม่เคยชินกับการขับรถกอล์ฟไฟฟ้า



บรรณานุกรม

- [1] J. E. Francfort and L. A. Slezak, "Electric and Hybrid Vehicle Testing," SAE Technical Paper, 2002.
- [2] J. E. Francfort, et al., "Electric Vehicle Field Operations Program," SAE Technical Paper, 1998.
- [3] P. Ruetschi, "Aging mechanisms and service life of lead-acid batteries," Journal of Power Sources, vol. 127, pp. 33-44, 2004.
- [4] ไชยชาญ หินเกิด, เครื่องกลไฟฟ้า 2. กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2547.
- [5] อังครีร์ ศรีภคากกร, ยานยนต์ไฟฟ้า พื้นฐานการทำงานและการออกแบบ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.
- [6] ประสานพงษ์ หาเรือนชัย, ทฤษฎีและปฏิบัติเครื่องล้าจรยนต์. กรุงเทพฯ: เอช.เอ็น.กรุ๊ป, 2540.





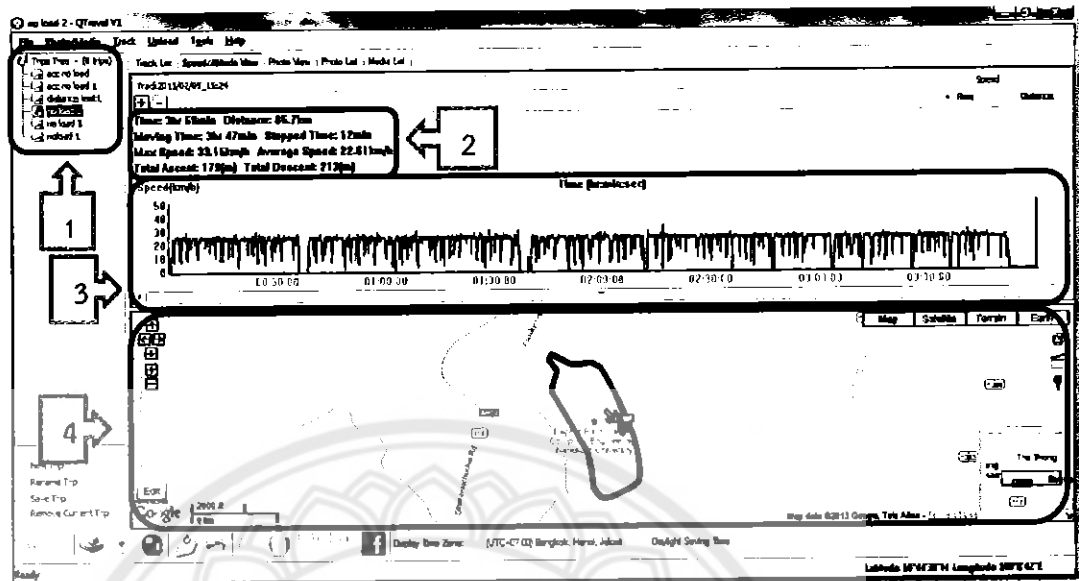


ภาคผนวก ก

รายละเอียดโปรแกรม Q-Travel

มหาวิทยาลัยนเรศวร

รายละเอียดของโปรแกรม Q-Travel มีดังนี้

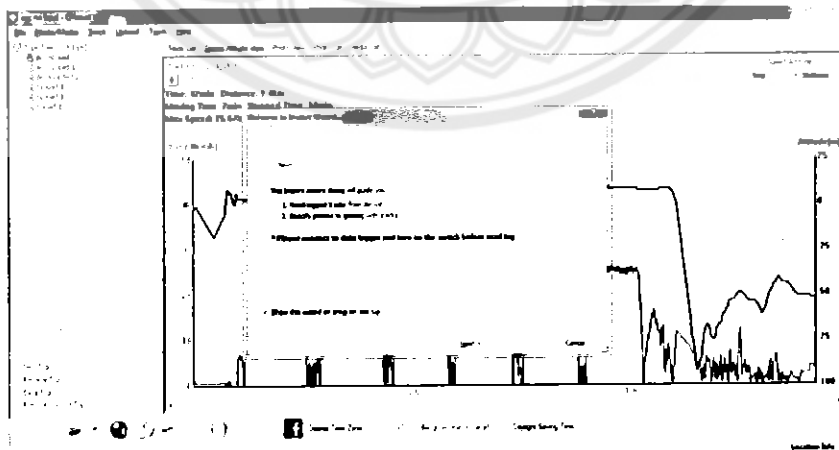


รูปที่ ก.1 หน้าต่างของโปรแกรม Q-Travel

1. แสดงจำนวนไฟล์ข้อมูลของการทดสอบ
2. แสดงข้อมูลของแต่ละการทดสอบดังนี้ เวลาทั้งหมดในการทดสอบ ระยะทางรวมของการทดสอบ เวลาที่รถเคลื่อนที่ เวลาที่รถหยุดเคลื่อนที่ ความเร็วสูงสุด ความเร็วเฉลี่ย
3. กราฟความเร็วกับเวลา
4. แผนที่แสดงเส้นทางที่รถเคลื่อนที่

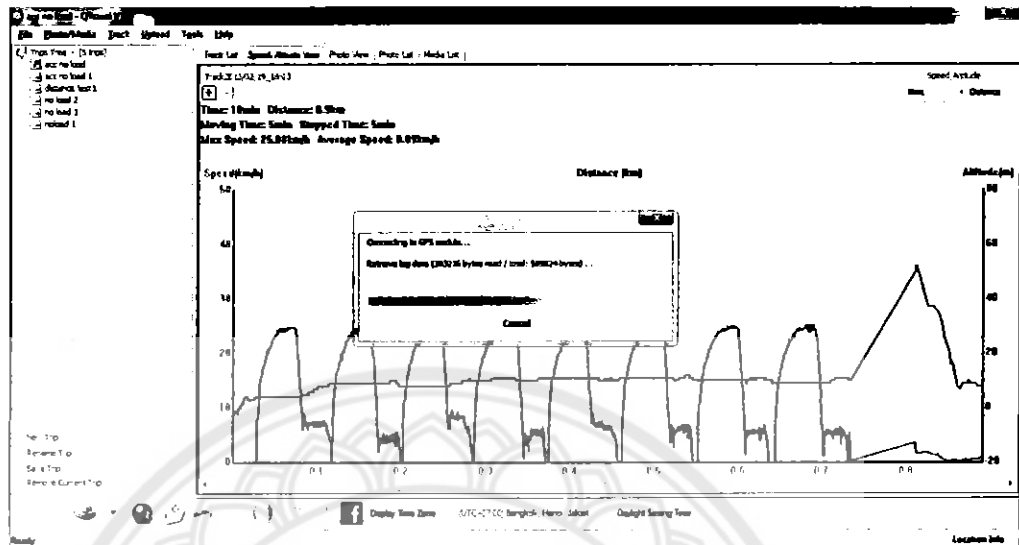
วิธีการอ่านข้อมูลจาก GPS

1. เชื่อมต่อ GPS กับคอมพิวเตอร์ เปิด GPS ไปที่ 1 Hz
2. เปิดโปรแกรม Q-Travel เลือก file > import wizard > next



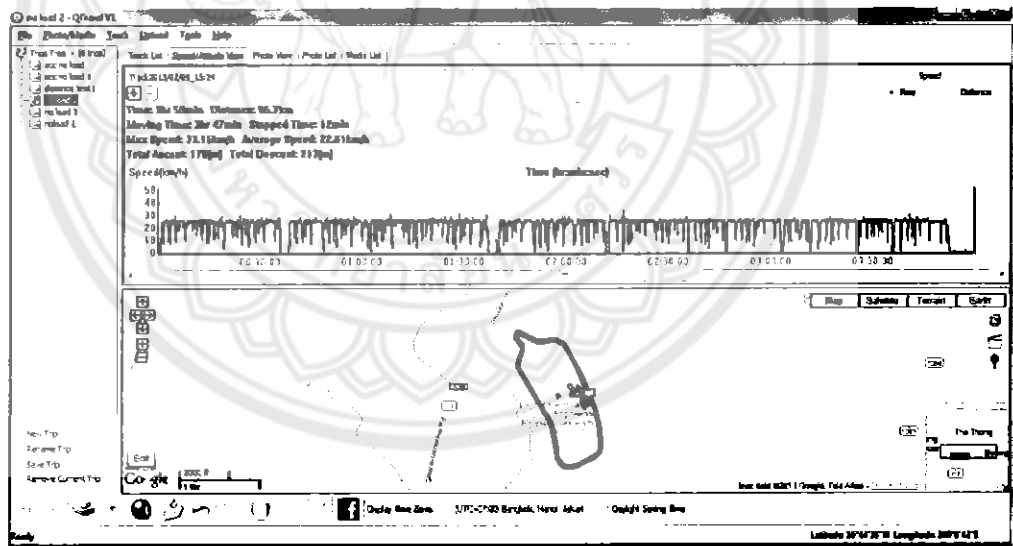
รูปที่ ก.2 รายละเอียดของโปรแกรม Q-Travel

3. เลือก import tracks and photos into new trip > ตั้งชื่อไฟล์ > next > รอให้แถบความไหล
หายไป



รูปที่ ก.3 รายละเอียดของโปรแกรม Q-Travel

4. เลือก Speed/Altitude View จะได้หน้าต่างตามด้านล่าง ที่ใช้สำหรับการนำไปวิเคราะห์ข้อมูล



รูปที่ ก.4 รายละเอียดของโปรแกรม Q-Travel



ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกผลการทดสอบระยะทางที่รถกอล์ฟไฟฟ้าเคลื่อนที่ได้ต่อการชาร์จ

ครั้งที่	น้ำหนักบรรทุก (kg)	ความดันลมยาง (bar)	ความเร็วเฉลี่ย (km/h)	ระยะทางที่เคลื่อนที่ (km)	เวลาที่ใช้ (h)	หมายเหตุ
1	200	1.4	24.5	63	2:40 (16.00-18.40 น.)	(ผู้โดยสาร 3 คน)
2	200	2	23.5	62.5	2:50 (15.30-18.20 น.)	(ผู้โดยสาร 3 คน)
3	200	2	23	64.5	2:50 (16.00-18.50 น.)	(ผู้โดยสาร 3 คน)
4	0	2	23	79	3:30 (16.00-19.30 น.)	(ไม่บรรทุกผู้โดยสาร)
5	0	2	22	84.5	3:20 (16.00-19.20 น.)	(ไม่บรรทุกผู้โดยสาร)
6	0	2	23	85	3:40 (16.00-19.40 น.)	(ไม่บรรทุกผู้โดยสาร)

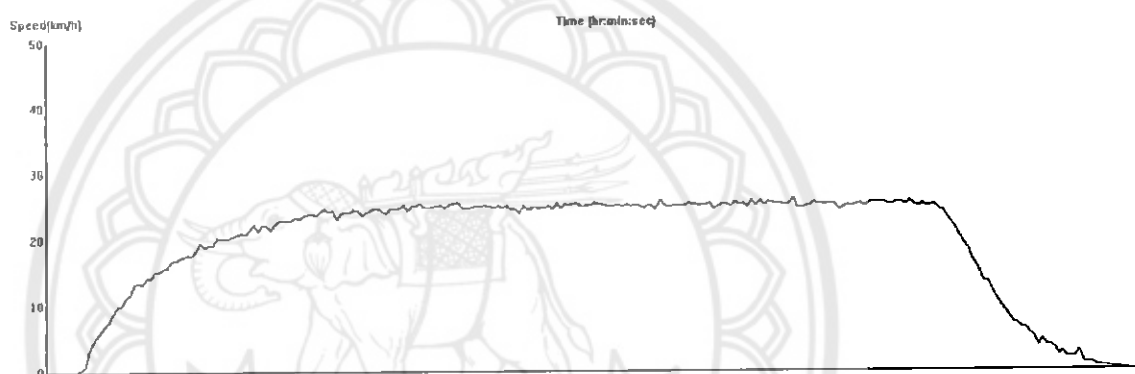
ตารางที่ ข.2 ตารางบันทึกผลการทดสอบระยะหน่วงของรถกอล์ฟไฟฟ้า

ครั้งที่	ความเร็ว (km/h)	ระยะ (m)	
		ไม่บรรทุก	บรรทุก
1	25	12.4	15.0
2	25	12.6	15.4
3	25	12.9	16.5
4	25	13.5	16.0
5	25	13.1	15.5

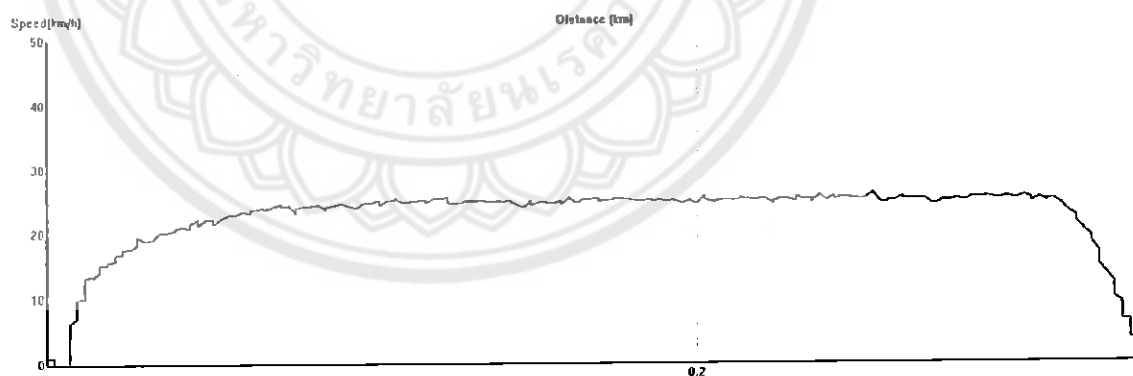
ตารางที่ ข.3 ตารางบันทึกผลการทดสอบระยะเบรกของรถกอล์ฟไฟฟ้า

ครั้งที่	ความเร็ว (km/h)	ระยะ (m)	
		ไม่บรรทุก	บรรทุก
1	25	6.1	6.9
2	25	6.6	6.3
3	25	6.4	6.8
4	25	6.0	6.4
5	25	6.0	7.1

ตัวอย่างกราฟที่ได้จากโปรแกรม Q-Travel



รูปที่ ข.1 กราฟแสดงความเร็วกับระยะเวลาที่ได้จากโปรแกรม Q-Travel



รูปที่ ข.2 กราฟแสดงความเร็วกับระยะทางที่ได้จากโปรแกรม Q-Travel

ตารางบันทึกผลการทดสอบอัตราเร่ง

ตารางที่ ข.4 ตารางบันทึกผลการทดสอบอัตราเร่งขณะบรรทุกน้ำหนัก

ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2		
ความเร็ว (km/h)	เวลา (s)	ระยะทาง (km)	ความเร็ว (km/h)	เวลา (s)	ระยะทาง (km)
0.03	0.0	0.000	0.00	0.0	0.000
0.01	1.0	0.000	0.03	1.0	0.001
0.04	2.0	0.000	2.21	1.5	0.001
0.85	2.5	0.000	8.70	2.0	0.001
7.58	3.0	0.001	11.92	2.5	0.003
11.31	3.5	0.002	14.23	3.0	0.005
13.38	4.0	0.004	17.39	4.0	0.009
16.93	4.5	0.006	20.80	5.0	0.014
18.26	5.0	0.008	21.69	6.0	0.020
20.68	6.0	0.014	23.40	7.0	0.027
22.64	7.0	0.020	23.69	8.0	0.033
23.48	8.0	0.026	24.79	9.0	0.040
24.86	9.0	0.033	25.58	10.0	0.047
25.61	10.0	0.040	25.49	11.0	0.054
24.87	11.0	0.046	25.31	12.0	0.061

ครั้งที่ 3			ครั้งที่ 4		
ความเร็ว (km/h)	เวลา (s)	ระยะทาง (km)	ความเร็ว (km/h)	เวลา (s)	ระยะทาง (km)
0.00	0.0	0.000	0.01	0.0	0.000
0.00	1.0	0.000	0.01	1.0	0.000
0.59	2.0	0.000	0.02	2.0	0.000
7.20	2.5	0.000	2.34	2.5	0.000
11.10	3.0	0.002	7.93	3.0	0.001
13.96	3.5	0.003	11.74	3.5	0.002
15.56	4.0	0.005	13.64	4.0	0.004
18.67	5.0	0.010	16.00	4.5	0.006

19.73	6.0	0.016	17.05	5.0	0.008
22.5	7.0	0.022	19.87	6.0	0.013
23.67	8.0	0.028	21.30	7.0	0.019
25.21	9.0	0.035	23.43	8.0	0.025
24.98	10.0	0.042	24.72	9.0	0.032
25.56	11.0	0.049	24.90	10.0	0.039
25.35	12.0	0.056	25.14	11.0	0.046

ครั้งที่ 5

ความเร็ว (km/h)	เวลา (s)	ระยะทาง (km)
0.00	0.0	0.000
0.18	1.0	0.000
6.09	1.5	0.000
10.11	2.0	0.001
13.70	2.5	0.003
14.60	3.0	0.005
17.95	4.0	0.010
19.96	5.0	0.015
22.36	6.0	0.021
23.80	7.0	0.027
24.41	8.0	0.034
25.36	9.0	0.041
25.42	10.0	0.048
25.17	11.0	0.055
25.27	12.0	0.062

ตารางที่ ข.5 ตารางบันทึกผลการทดสอบอัตราเร่งขณะไม่บรรทุกน้ำหนัก

ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2		
ความเร็ว (km/h)	เวลา (s)	ระยะทาง (km)	ความเร็ว (km/h)	เวลา (s)	ระยะทาง (km)
0.03	0.0	0.000	0.09	0.0	0.000
0.04	1.0	0.000	0.01	1.0	0.000
3.38	2.0	0.000	0.02	2.0	0.000
11.82	3.0	0.002	3.77	2.5	0.000
16.43	4.0	0.006	8.53	3.0	0.001
19.56	5.0	0.011	14.88	4.0	0.005
22.00	6.0	0.017	18.58	5.0	0.009
24.49	7.0	0.023	20.54	6.0	0.015
24.36	8.0	0.030	22.82	7.0	0.021
24.46	9.0	0.037	23.98	8.0	0.027
24.49	10.0	0.044	24.69	9.0	0.034
			24.21	10.0	0.041

ครั้งที่ 3			ครั้งที่ 4		
ความเร็ว (km/h)	เวลา (s)	ระยะทาง (km)	ความเร็ว (km/h)	เวลา (s)	ระยะทาง (km)
0.07	0.0	0.000	0.02	0.0	0.000
0.01	1.0	0.000	0.01	1.0	0.000
0.10	1.5	0.001	0.50	1.5	0.001
2.83	2.0	0.001	6.82	2.0	0.001
7.92	2.5	0.001	10.94	2.5	0.003
11.23	3.0	0.002	14.30	3.0	0.004
16.25	4.0	0.006	17.89	4.0	0.009
19.59	5.0	0.011	20.55	5.0	0.014
21.79	6.0	0.017	22.82	6.0	0.020
23.51	7.0	0.023	23.83	7.0	0.027
24.23	8.0	0.030	24.28	8.0	0.033
24.69	9.0	0.037	24.68	9.0	0.040
25.11	10.0	0.044	25.17	10.0	0.047

ครั้งที่ 5		
ความเร็ว (km/h)	เวลา (s)	ระยะทาง (km)
0.02	0.0	0.000
0.02	1.0	0.000
0.04	2.0	0.000
0.59	2.5	0.000
6.36	3.0	0.000
10.71	3.5	0.002
14.36	4.0	0.003
17.5	5.0	0.008
21.11	6.0	0.013
22.40	7.0	0.019
23.78	8.0	0.026
24.59	9.0	0.032
24.77	10.0	0.039
24.87	11.0	0.046

ตารางที่ ข.6 ตารางบันทึกผลการทดสอบวงเลี้ยวแคบสุด

ครั้งที่ทดสอบ	รัศมีวงเลี้ยวด้านใน (m)		รัศมีวงเลี้ยวด้านนอก (m)	
	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา
1	3.1	3.1	4.2	3.95
2	3.25	3.05	4.2	4.05
3	3.25	2.9	4.25	4.0
เฉลี่ย	3.2	3.02	4.22	4.0

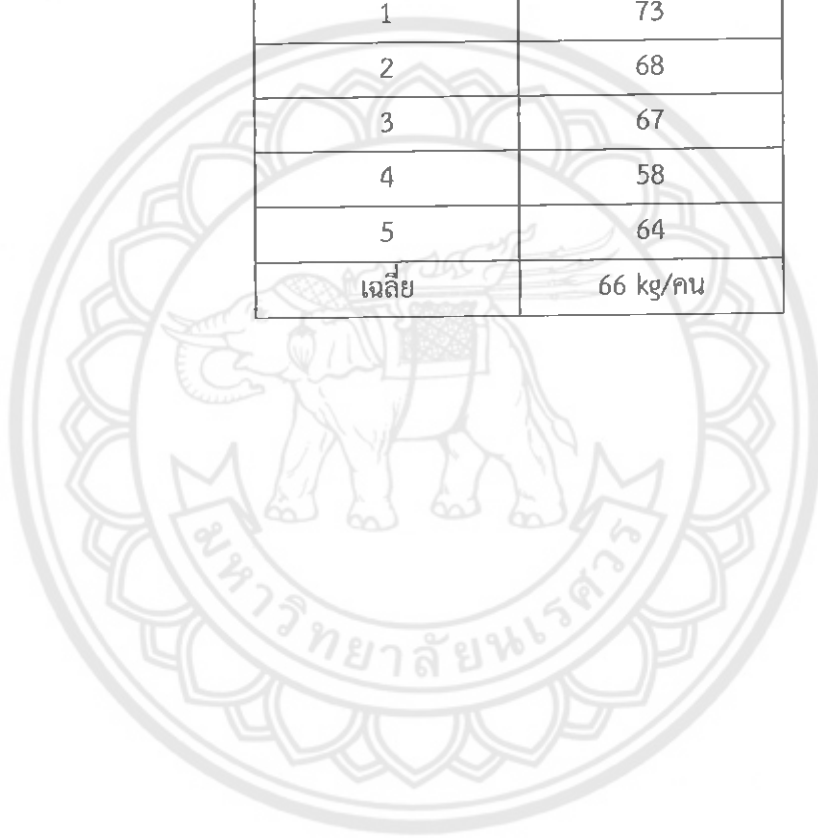
ตารางที่ ข.7 ตารางบันทึกผลระยะเวลาการชาร์จแบตเตอรี่

ครั้งที่	เวลา		เวลาที่ใช้ในการชาร์จ (h)
	เริ่มชาร์จ	แบตเตอรี่เต็ม	
1	8.00 น.	17.30 น.	9.5
2	8.00 น.	17.00 น.	9

3	8.00 น.	17.00 น.	9
4	10.00 น.	19.30 น.	9.5
5	9.00 น.	18.00 น.	9
6	9.00 น.	18.30 น.	9.5
เฉลี่ย			9.25

ตารางที่ ข.8 น้ำหนักเฉลี่ยของผู้โดยสาร

คนที่	น้ำหนัก (kg)
1	73
2	68
3	67
4	58
5	64
เฉลี่ย	66 kg/คน





เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง

ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ระหว่างบรรทุกและไม่บรรทุกน้ำหนักจากการทดสอบ

$$\frac{(82.8 - 63.3) \times 100}{82.8} = 23.55\%$$

ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ขณะบรรทุกน้ำหนักระหว่างจากการทดสอบและจากสเปค

$$\frac{(80 - 63.3) \times 100}{80} = 20.88\%$$

ระยะหน่วงระหว่างบรรทุกและไม่บรรทุกน้ำหนัก

$$\frac{(15.6 - 12.9) \times 100}{15.6} = 17.31\%$$

ระยะเบรกระหว่างบรรทุกและไม่บรรทุกน้ำหนัก

$$\frac{(6.7 - 6.2) \times 100}{6.7} = 7.46\%$$

ระยะเบรกและระยะหน่วงขณะบรรทุกน้ำหนัก

$$\frac{(15.7 - 6.7) \times 100}{15.7} = 57.32\%$$

ความเร่งระหว่างบรรทุกและไม่บรรทุกน้ำหนัก

$$\frac{(0.92 - 0.84) \times 100}{0.92} = 8.7\%$$

เส้นผ่านศูนย์กลางวงเลี้ยวระหว่างซ้ายและขวา

$$\frac{(4.22 - 4.0) \times 100}{4.22} = 5.21\%$$

ความเร่ง

หาได้จากสูตร $a = \frac{v}{t}$ ของการทดสอบแต่ละครั้งจากตารางที่ ข.5 แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ได้ดังนี้

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบความเร่ง

ทดสอบครั้งที่	ความเร่ง (m/s ²)	
	บรรทุกน้ำหนัก	ไม่บรรทุกน้ำหนัก
1	0.89	1.13
2	0.79	0.98
3	0.88	0.77
4	0.86	0.86
5	0.78	0.86
เฉลี่ย	0.84	0.92

จากสูตรการเคลื่อนที่แนวราบ

$$v = u + at$$

หาเวลาที่ใช้สำหรับการทำความเร็วสูงสุด

ขณะบรรทุกน้ำหนัก

$$\frac{25 \times 1000}{3600} = 0 + 0.84t$$

$$t = 8.26 \text{ sec.}$$

ขณะไม่บรรทุกน้ำหนัก

$$\frac{25 \times 1000}{3600} = 0 + 0.92t$$

$$t = 7.54 \text{ sec.}$$

เวลาที่ใช้ในการทำความเร็วสูงสุดอยู่ที่ 8.26 วินาที สำหรับการบรรทุกน้ำหนัก และ 7.54 วินาที สำหรับการไม่บรรทุกน้ำหนัก

หาระยะทางที่ใช้เพื่อทำความเร็วสูงสุดจากสูตร

$$s = \left(\frac{u + v}{2} \right) t$$

บรรทุกน้ำหนัก

$$s = \left[\frac{0 + \left(\frac{25 \times 1000}{3600} \right)}{2} \right] \times 8.26$$

$$s = 28.66 \text{ m}$$

ไม่บรรทุกน้ำหนัก

$$s = \left[\frac{0 + \left(\frac{25 \times 1000}{3600} \right)}{2} \right] \times 7.54$$

$$s = 26.16m$$

ระยะทางที่รถใช้สำหรับการทำความเร็วสูงสุดอยู่ที่ 28.66 เมตร สำหรับการบรรทุกน้ำหนัก และ 26.16 เมตร สำหรับการไม่บรรทุกน้ำหนัก





GPS data logger ยี่ห้อ QSTARZ รุ่น BT-Q1000eX

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลเฉพาะของ GPS

General		Accuracy (none DGPS)	
GPS Chip	MTK II GPS Module	Position	
Frequency	L1, 1575.42 MHz	Without aid : 3.0 m 2D-RMS < 3 m CEP (50%) without SA (horizontal) DGPS (WAAS, EGNOS, MSAS) : 2.5 m) :2.5 m	
C/A Code	1.023 MHz Chip rate	Velocity	Without aid : 0.1 m/s, DGPS (WAAS, EGNOS, MSAS, RTCM) : 0.05 m/s
Channels	66 CH performance tracking	Time	50 ms RMS
Antenna (Intimal)	Built-in patch antenna with LNA	Datum	WGS-84
Sensitivity		Dynamic Conditions	
Cold Start	35 sec. average	Altitude	< 18,000 m
Warm Start	33 sec. average	Velocity	< 515 m/s
Hot Start	1 sec. average	Acceleration	< 4 g
Reacquisition	< 1 sec.	Update/Log	1Hz or 5Hz (1-5Hz changeable by software utility)
AGPS	< 15 sec.	Interface	
Power		Bluetooth	V 1.2 compliant (SPP profile)
Built-in rechargeable Li-ion battery			Class 2 (10 meters in open space)
Input Voltage	DC 3.0 – 5.0 V		Frequency 2.4 – 2.4835 GHz

Backup Voltage	DC 1.2 +/- 10 %	Power On/Off	Slide switch (Off-1Hz-5Hz)
Charging time	3 hrs. (Typical)	Power Charge	Mini USB
Environment		GPS Protocol	
Operating Temperature	-10 – 60 °C	NMEA-0183 (V3.01) – GGA, GSA, GSV, RMC (default); VTG, GLL (Optional), Baud rate 115200 bps, Data bit :8, stop bit : 1 (default)	
Storage Temperature	-20 – 60 °C		
Charging	0 – 45 °C	Device Size	
Accessories		72.2 (L) x 46.5 (w) x 20 (H) mm	
Car Charger	USB Cable	USB Bridge	
Rechargeable Battery	Software CD	Standard	Fully Compliant with USB 2.0
Multi-language Quick Guide	Leather Case	Full - Speed	12 Mbps

ความหมายของตัวย่อ	
DGPS	Differential Global Positioning System (DGPS) เป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อปรับปรุงความแม่นยำตำแหน่งหรือนำทางโดยการกำหนดข้อผิดพลาดตำแหน่งที่สถานีที่รู้จักกันและต่อมาผสมผสานลงในการแก้ไขปัจจัยการคำนวณตำแหน่งของการรับสัญญาณในพื้นที่เดียวกันและพร้อมกันติดตามดาวเทียมเดียวกัน มันเป็นระบบของบีกอนซึ่งออกอากาศสัญญาณเพื่อช่วยเพิ่มความแม่นยำของการวางตำแหน่งจีพีเอส ระบบ GPS ที่มีการใช้สัญญาณภาคพื้นดินในการช่วยระบุตำแหน่ง โดยจะมีจุดหมุดพิกัดอ้างอิงเพื่อเทียบตำแหน่ง
WAAS	Wide Area Augmentation System (WAAS) คือระบบของดาวเทียมที่ทำงานร่วมกับสถานีฐานเพื่อให้ดาวเทียมส่งค่าตำแหน่ง ที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้นแก่ผู้ใช้ สามารถทำให้ค่าความถูกต้องของเครื่องรับ GPS ดีขึ้นประมาณ 5 เท่าจากระบบธรรมดา โดยจะมีค่าความถูกต้องดีกว่า 3 เมตร และที่สำคัญ ในการใช้ระบบ WAAS ดาวเทียม WAAS เป็นเหมือนดาวเทียมพิเศษที่คอยส่งสัญญาณ เพื่อแก้ไขความคลาดเคลื่อนให้กับดาวเทียม GPS ปรกติ โดยหลักการคือ จะต้องมียุทธศาสตร์ ย่อยภาคพื้นดิน คอยตรวจสอบเปรียบเทียบค่าพิกัดที่คำนวณได้จากสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส เทียบกับค่าพิกัดที่แท้จริงของพื้นที่นั้นๆ ความคลาดเคลื่อนที่

	<p>ตรวจพบจากสถานีย่อยต่างๆ จะถูกส่งมาสรุปที่สถานีแม่ แล้วส่งเป็นข้อมูลแก้ไขขึ้นไปสู่ดาวเทียม WAAS จากนั้น ดาวเทียม WAAS ก็จะส่งข้อมูลนี้กลับลงมาสู่เครื่องรับจีพีเอสของเราข้อมูลจากดาวเทียมจีพีเอสดวงใดที่ได้รับการแก้ไขแล้ว จะปรากฏเป็นตัว D ที่แจ้งสัญญาณบนจอเรา ใช้ใน USA</p>
EGNOS	<p>EGNOS (European GEO-stationary ระบบนำทางทับซ้อน) เป็นระบบเสริมดาวเทียมที่ใช้สำหรับ GPS ที่มีอยู่และดาวเทียม Glonass ระบบนำทาง เครือข่ายยุโรปของการรับ GPS / Glonass ได้รับการสร้างขึ้นมารับสัญญาณดาวเทียมที่สอดคล้องกันและการถ่ายทอดเหล่านี้เพื่อข้อมูลกลางสถานีการประมวลผลคล้ายกับ WAAS สัญญาณที่ได้รับจะถูกประเมินโดยคำนึงถึงตำแหน่งที่รู้จักกันที่แน่นอนของสถานีรับ ด้วยวิธีนี้แก้ไขข้อมูลสามารถกำหนดที่ออกอากาศในท้ายที่สุดให้กับผู้ใช้ผ่านทางภูมิศาสตร์นี้การสื่อสารผ่านดาวเทียม ด้วยความช่วยเหลือของเหล่านี้มีความถูกต้องตำแหน่งการแก้ไขจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญใช้ในยุโรป</p>
MSAS	<p>Multi-functional Satellite Augmentation (MSAS) ระบบดาวเทียมที่มีดาวเทียมเป็นสถานีฐาน ใช้ในญี่ปุ่น</p>