



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การรีไซเคิลรถกระบะเก่าโดยดัดแปลงให้เป็นรถยนต์ไฟฟ้าประหยัดพลังงาน

(Recycling Old Pick-up Truck by Means of Energy Efficient Electric Vehicle (EV) Conversion)

คณะผู้วิจัย สังกัด

1. ผศ.ดร. อนันต์ชัย อยู่แก้ว ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน: 30 ก.ค. 2561
เลขทะเบียน: 104107
เลขเรียกหนังสือ: ๗
220

๑16๙๖
๒๕๖1

สนับสนุนโดยงบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยนเรศวร

บทคัดย่อ

เพื่อเป็นการลดมลภาวะที่เกิดจากขี้นยานพาหนะในเมือง การใช้ยานยนต์ที่ไม่ปลดปล่อยก๊าซไอเสียเพื่อการขนส่งสินค้าในระยะทางสั้นๆ จึงเป็นหนึ่งในแนวคิด โดยการพัฒนาสามารถกระทำได้โดยการดัดแปลงรถยนต์ไฟฟ้าจากรถกระบะเก่า ในกรณีนี้การออกแบบรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อลดต้นทุนในการประกอบและระยะเวลาของกระบวนการประกอบสามารถกระทำได้โดยการนำแนวทางการออกแบบเชิงการสร้างแบบจำลองมาใช้ โดยกระบวนการออกแบบดังกล่าวจะสร้างแบบจำลองของรถไฟฟ้าดัดแปลงขึ้น และทำการจำลองโดยใช้ข้อมูลเฉพาะข้อรถกระบะ และวัฏจักรดัดแปลงของรูปแบบการขับขี่ในเมือง (MSFUD) โดยการสร้างแบบจำลองและกระบวนการจำลองจะกระทำโดยใช้การเขียนโปรแกรม MATLAB ซึ่งสามารถสร้างแบบจำลองของชิ้นส่วนประกอบของระบบขับเคลื่อนไฟฟ้าและการไหลเวียนของพลังงานไฟฟ้าในระบบได้ โดยการออกแบบระบบดังกล่าวสามารถสร้างรูปแบบจำลองรถไฟฟ้าได้หลายแบบเพื่อช่วยเป็นข้อมูลในการตัดสินใจการออกแบบในขั้นระบบ โดยสามารถแสดงผลทำนายคุณลักษณะของรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงที่ใช้แบตเตอรี่และที่ใช้ระบบเซลล์เชื้อเพลิงได้ เช่น ระยะทาง, สมรรถนะ, แผนภาพแรงบิดและความเร็วรอบ, และพลศาสตร์ของมอเตอร์ขับเคลื่อนไฟฟ้าที่ใช้ได้ ในการจำลองการออกแบบโดยเปรียบเทียบการใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน และใช้เซลล์เชื้อเพลิงพบว่า การใช้เซลล์เชื้อเพลิงจะสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานได้เป็นอย่างดีสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงจากรถกระบะในอนาคตต่อไปทั้งในแง่สมรรถนะและระยะทางในการขับขี่.

Abstract

To reduce such pollution in the city area, zero emission fleet vehicles can be employed for a short distance goods transport. In current development, old pickup trucks are targeted as the vehicle to be converted to an electric vehicle. In this case, model based system design were employed to reduce the design cost and process time. Vehicle specification and the Modified and Simplified Federal Urban Driving (MSFUD) cycles were used as inputs to the MATLAB scripted program represented the models of EV components and the power flow in the system. The simulation shows different scenarios that could be used as the decision making support information and EV design exploration. It can predict several various EV and fuel cell characteristics, such as driving range, performance, torque speed map, and motor power dynamics. Lithium Ion batteries and Hydrogen fuel cell system were also employed as the power sources for the electric propulsion. The simulation study has shown, by comparison, employing fuel cell as the power sources will improve electric vehicle conversion of the pickup truck in terms of both performance and range in the long run.

1. บทสรุปผู้บริหาร

โครงการวิจัยนี้เป็นโครงการที่วิจัยและพัฒนาเพื่อสร้างเทคโนโลยีและกระบวนการประกอบรถยนต์ไฟฟ้าจากรถกระบะเก่าเพื่อใช้เป็นยานพาหนะที่สามารถกลมกลืนในเมืองโดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

- วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีในการดัดแปลงรถยนต์ไฟฟ้าที่ประหยัดพลังงานจากรถกระบะที่มีอายุการใช้งานสูง
- เผยแพร่ โดยการ เข้าร่วมนำเสนอผลงานในงานประชุมวิชาการด้านวิศวกรรมยานยนต์ การตีพิมพ์ลงในบทความทางวิชาการ

และการดำเนินโครงการวิจัยและพัฒนาารถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงจะถูกแบ่งออกได้ดังนี้

- ออกแบบและจำลองการขับเคลื่อนทางถนนในสภาพการจราจรทั้งเมืองและทางหลวงในเพื่อหาค่าจำกัด (specification) ในการออกแบบที่เหมาะสม
- ใช้โครงรถยนต์กระบะเก่าอายุกว่า 10 ปีขึ้นไปในการสร้างรถยนต์ดัดแปลงไฟฟ้าต้นแบบ
- ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรง DC ขนาดไม่เกิน 30 กิโลวัตต์ และชุดควบคุมมอเตอร์ สร้างชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า
- ใช้แบตเตอรี่ตะกั่วกรดชนิด EV deep cycles และระบบควบคุมแบตเตอรี่สำหรับการประจุและจ่ายพลังงานไฟฟ้า

เมื่อได้ดำเนินการตามกำหนดเวลาแล้วสามารถสร้างผลงานที่ได้จากการดำเนินโครงการกล่าวคือ

- กระบวนการออกแบบระบบเพื่อการประกอบรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงโดยการสร้างแบบจำลอง (model based design of electric vehicle conversion) โดยหลักการออกแบบระบบรถยนต์ไฟฟ้าโดยการสร้างแบบจำลองสามารถนำมาใช้ในกระบวนการออกแบบรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อการขนส่งสินค้าได้เพราะสามารถลดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการออกแบบลงได้โดยสามารถช่วยลดความผิดพลาดและคลาดเคลื่อนระหว่างการออกแบบได้ ข้อมูลที่ได้จากการจำลองสามารถนำมาใช้ในการทำนายตัวแปรของรถยนต์ไฟฟ้าที่มีความสำคัญสำหรับการสร้างหรือประกอบรถยนต์ไฟฟ้าเช่นสมรรถนะและระยะทางที่ได้ต่อการประจุแต่ละครั้ง
- การประกอบรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงต้นแบบจากรถกระบะเก่าโดยใช้หลักการออกแบบระบบรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงที่ได้กล่าวไว้โดยประยุกต์ใช้กับลักษณะทางเทคนิคของรถกระบะที่ใช้สำหรับดำเนินโครงการปัจจุบัน

นอกจากนั้นโครงการวิจัยสามารถผลิตองค์ความรู้ที่ได้รับการตีพิมพ์ในบทความวิชาการระดับนานาชาติดังนี้

Ukaew A. "Model based system design for electric vehicle conversion," **New Trends in Electrical Vehicle Powertrains - Reliability and Resilience**", Intech ISBN 978-953-51-6246-9ม 2018.



2. บทนำ

รายงานภายใต้แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (2554-2573) [1] ระบุว่าจะมีการความต้องการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นโดยรวมกว่า 2 เท่าตัว ซึ่งสร้างความท้าทายในหลายๆ ด้านตามมากล่าวคือ การจัดหาพลังงานเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการภายในประเทศ และต้องเผชิญกับต้นทุนพลังงานที่มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งประเทศไทยยังต้องพึ่งพาการนำเข้าเชื้อเพลิงพลังงานจากต่างประเทศในปริมาณมากต่อปี โดยเฉพาะเชื้อเพลิงที่ใช้ในภาคการขนส่ง อีกทั้งเชื้อเพลิงที่มาจากฟอสซิลยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องมาจากการปล่อยมลพิษสู่อากาศในรูปของไอเสีย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งกระบวนการผลิต กลั่นและการใช้พลังงาน ซึ่งในส่วนของภาคการขนส่งเอง แผนการอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี ระบุว่าศักยภาพในการใช้ยานยนต์ที่มีประสิทธิภาพจะสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 12,470 ktoe โดยคิดเป็นสัดส่วน 77 เปอร์เซ็นต์ของศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานทั้งหมดในภาคขนส่งซึ่งมีรวมทั้งสิ้น 16,250 ktoe.

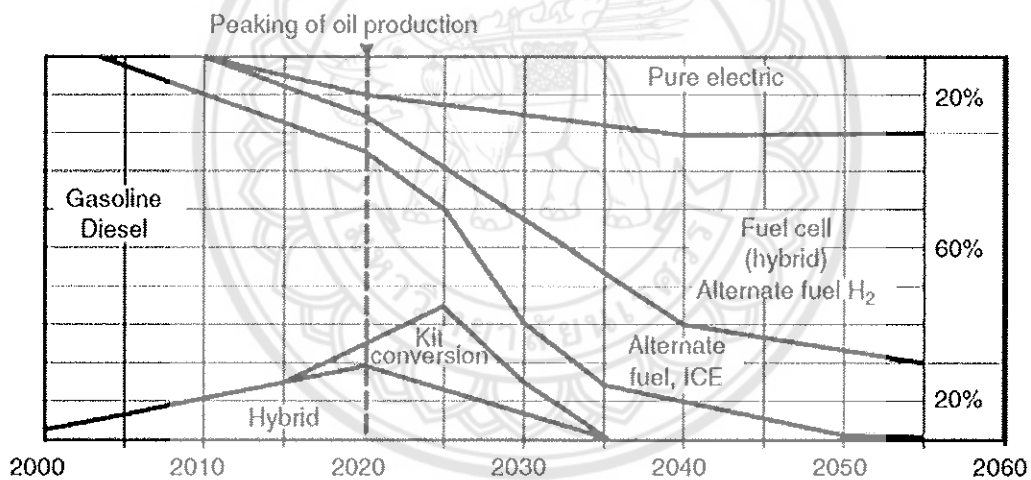
กระบวนการหนึ่งที่จะช่วยในการประหยัดพลังงาน หรือการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของยานยนต์ ก็คือ การเปลี่ยนระบบขับเคลื่อนของรถยนต์จากเครื่องยนต์สันดาปภายในชนิดเครื่องยนต์ดีเซลให้มาเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าแทน เรียกว่ารถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง (Electric Vehicle Kit Conversion) ซึ่งในทางทฤษฎี มอเตอร์มีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องยนต์ 2-3 เท่าตัว และไม่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกและก่อมลภาวะขณะขับขี่ อันจะมีบทบาทในการแก้ปัญหาการขาดแคลนพลังงานได้ในระยะยาวดังแสดงในแผนภาพรูปที่ 1

ทั้งนี้ยังช่วยลดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศได้ในอนาคต เพราะพลังงานไฟฟ้าสามารถหาได้จากพลังงานหลายแหล่ง รวมทั้งแหล่งพลังงานทดแทน และ พลังงานนิวเคลียร์ ทั้งยังช่วยลดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ อีกทั้งยังช่วยส่งผลดีต่อประชาชนผู้ใช้รถยนต์กระบะโดยตรง นอกจากนั้นยังสามารถก่อให้เกิดกลุ่มผู้ผลิตอุตสาหกรรมยานยนต์กลุ่มใหม่ ถ้ามีการถ่ายทอดเทคโนโลยีดังกล่าวไปสู่กลุ่มผู้ผลิตเป้าหมายหรือผู้ผลิตรายใหม่ที่ให้ความสนใจลงทุน อันจะส่งผลดีต่อเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศ

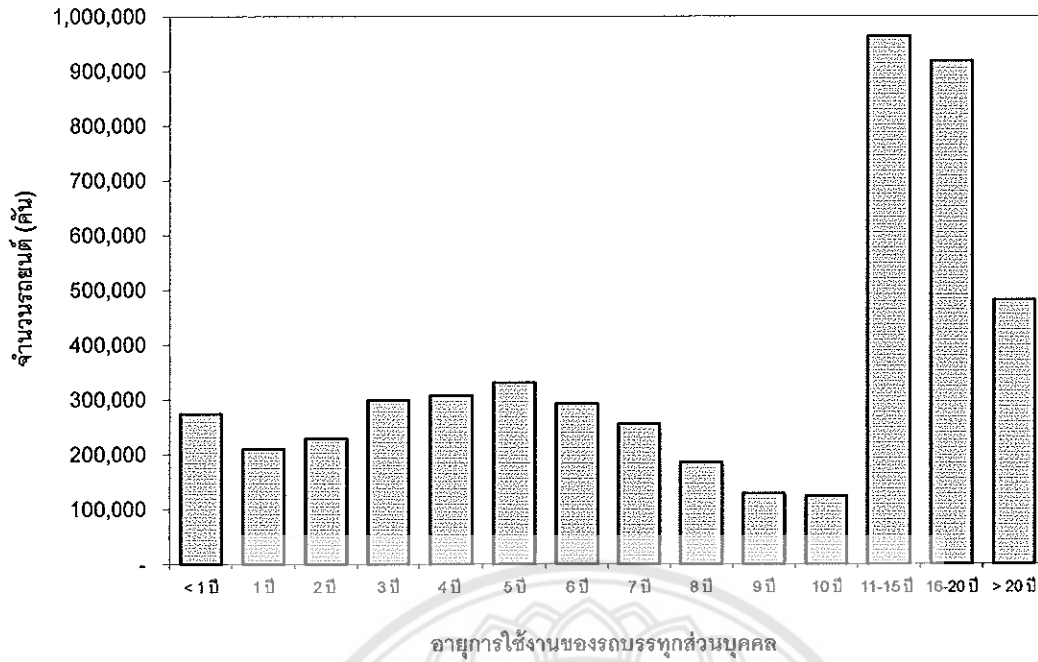
นอกจากนั้นจากการสืบค้นข้อมูลพบว่าจำนวนรถบรรทุกส่วนบุคคลในประเทศไทยมีทั้งหมด 4,998,357 คัน คิดเป็นกว่าครึ่งของจำนวนรถยนต์ทั้งหมดภายในประเทศ ณ วันที่ 30 เมษายน 2554 ระบุโดยสำนักงานสถิติ กรมการขนส่งทางบก กระทรวงคมนาคม ดังแสดงในแผนภาพรูปที่ 2 ซึ่งในบรรดารถกระบะทั้งหมดจะพบว่า ณ ปัจจุบันมีรถกระบะกว่า สองล้านคันที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี รถกระบะที่มีอายุการใช้งานสูงดังกล่าว จะมีเครื่องยนต์ขนาด 2500 ถึง 3500 ซีซี ซึ่งมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงสูงและ จะผ่านการใช้งานมามาก ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์เสื่อมสภาพ อันจะส่งผลให้มีการใช้พลังงานในอัตราที่สูงกว่าปกติขึ้นอยู่กับการบำรุงรักษา และไม่ส่งผลดีต่อสภาวะสิ่งแวดล้อม เนื่องจากอาจจะปล่อยไอเสียในอัตราที่สูงมากกว่าปกติ

ในแง่ของการใช้เชื้อเพลิงจะพบว่า สภาวะแนวโน้มน้ำมันเชื้อเพลิงจากฟอสซิลที่มีความผันผวนและการปรับราคาขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่กลับมีความต้องการใช้เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นกันดังแสดงในแผนภาพรูปที่ 3 อาจทำให้เกิดความไม่มั่นคงทางพลังงานโดยเฉพาะในภาคการขนส่งตั้งแต่ปี 2030 เป็นต้นไป ซึ่งมีการคาดการณ์ว่าจะเป็นที่มีการเปลี่ยนกระบวนทัศน์ในภาคการขนส่ง เช่นการเปลี่ยนเชื้อเพลิงและระบบขับเคลื่อนของรถยนต์ เป็นต้น

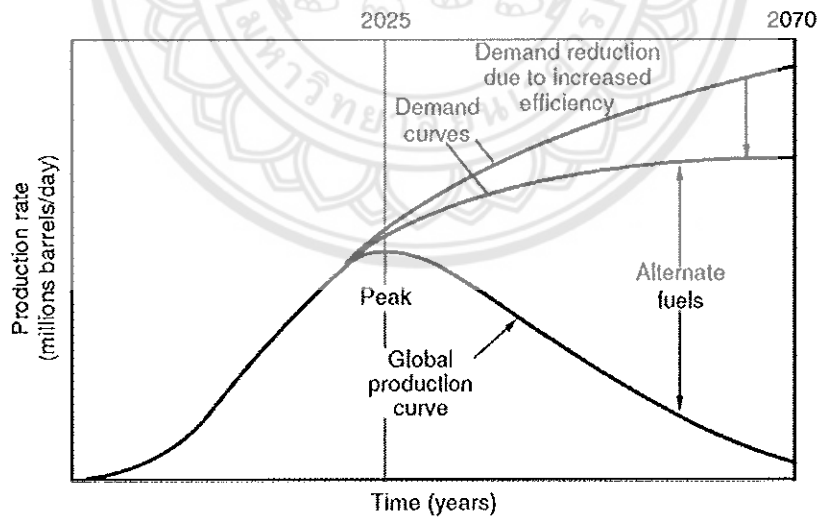
ทางผู้วิจัยในศูนย์วิจัยและพัฒนานวัตกรรมยานยนต์ (Development and Research of Innovative Vehicle Engineering) หรือ DRIVE ภายใต้กำกับ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ ได้เล็งเห็นซึ่งปัญหาดังกล่าว จึงได้วางแนวทางในการดำเนินการพัฒนาเทคโนโลยีที่สร้างขึ้นด้วยคนไทยเพื่อให้เป็นประโยชน์ต่อประชาชนในประเทศ โดยวางแผนการดำเนินงานออกเป็น 3 ช่วงระยะเวลาหลัก ได้แก่ ระยะเวลาออกแบบระบบขับเคลื่อนรถระบบไฟฟ้าตัดแปลงและจำลองเพื่อกำหนดหาค่าจำกัดเบื้องต้น เช่น กำหนดการเลือกใช้ขนาดมอเตอร์ ให้เหมาะสมกับระยะเวลาขับขี่ เป็นต้น ระยะเวลาที่สองจะเป็นส่วนของการประกอบชิ้นส่วนของระบบเพื่อสร้างรถยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงต้นแบบ ระยะเวลาสามจะเป็นการทดสอบการทำงานของระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงการทำนายสัดส่วนของจำนวนประเภทของรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์แต่ละประเภททั้งก่อนและหลังช่วงปีการผลิตน้ำมันดิบสูงสุด [5]



รูปที่ 2 แสดงจำนวนรถบรรทุกส่วนบุคคลในประเทศไทยเรียงตามอายุการใช้งาน ณ วันที่ 30 เมษายน 2554 จากสำนักงานสถิติ กรมการขนส่งทางบก [2]



รูปที่ 3 แผนภาพแสดงแนวโน้มความต้องการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลเทียบกับปริมาณการผลิตเทียบกับระยะเวลาเป็นรายปีทั้งก่อนและหลังช่วงการผลิตสูงสุด (peak production) [5]

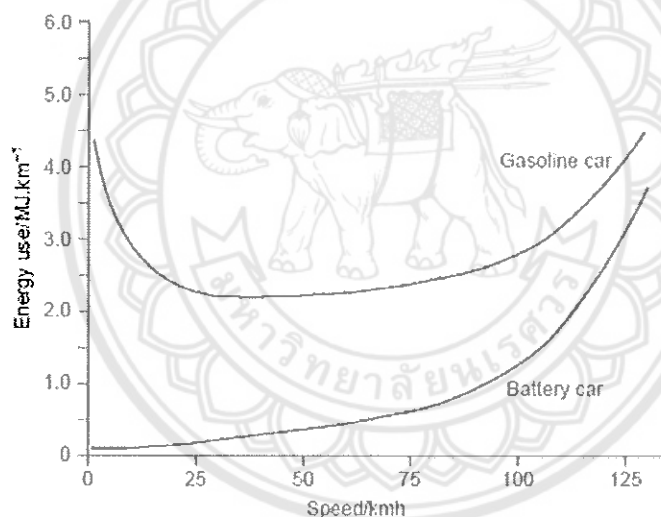
2.1 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีในการดัดแปลงรถยนต์ไฟฟ้าที่ประหยัดพลังงานจากรถกระบะที่มีอายุการใช้งานสูง
- เผยแพร่ โดยการ เข้าร่วมนำเสนอผลงานในงานประชุมวิชาการด้านวิศวกรรมยานยนต์ การตีพิมพ์ลงในบทความทางวิชาการ

3 เนื้อหางานวิจัย

3.1 การทบทวนวรรณกรรม

การเปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิงจากฟอสซิลมาเป็นพลังงานไฟฟ้านั้นจะทำให้เกิดการประหยัดพลังงานในการขับเคลื่อนแสดงในรูปที่ 4 โดยเฉพาะในกรณีการขับขี่ที่ความเร็วต่ำ



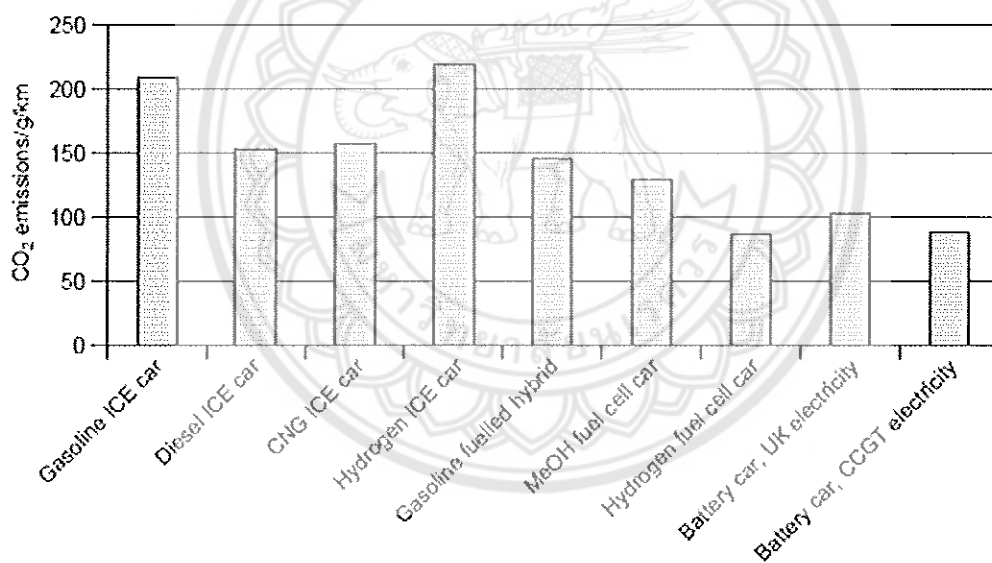
รูปที่ 4 แผนภาพแสดงอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในเทียบกับรถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้แบตเตอรี่ตามอัตราความเร็วที่ขับขี่ [7]

นอกจากนั้นจะสามารถลดมลภาวะเป็นพิษเนื่องจากการปล่อยไอเสียขณะขับขี่ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งจะพบว่าไอเสียเกือบทุกชนิดจะถูกปล่อยจากการใช้รถยนต์ที่มีเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE) ในปริมาณที่มาก โดยเฉพาะ CO โดยเปรียบเทียบจากระบวนการผลิตถึงการขับขี่ (Well to Wheel) แต่พลังงานไฟฟ้าสามารถหาได้จากแหล่งพลังงานหมุนเวียนและพลังงานทดแทนซึ่งจะช่วยลดการสร้างมลภาวะที่เป็นพิษได้ในอนาคต

ตารางที่ 1 ตารางการปล่อยไอเสียแต่ละชนิดและการใช้พลังงานแบ่งตามเทคโนโลยีของเครื่องยนต์ [6]

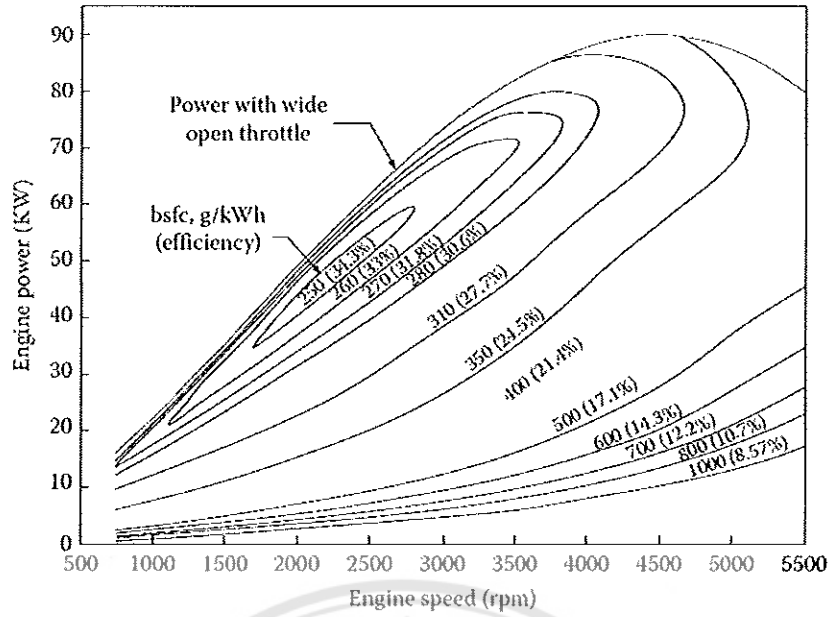
Vehicle type	NO _x , g.km ⁻¹	SO _x g.km ⁻¹	CO g.km ⁻¹	PM g.km ⁻¹	CO ₂ g.km ⁻¹	Energy MJ.km ⁻¹
Gasoline ICE car	0.26	0.20	2.3	0.01	209	3.16
Diesel ICE car	0.57	0.13	0.65	0.05	154	2.36
CNG ICE car	0.10	0.01	0.05	<0.0001	158	2.74
Hydrogen ICE car	0.11	0.03	0.04	0.0001	220	4.44
Gasoline fuelled hybrid	0.182	0.14	1.61	0.007	146.3	2.212
MeOH fuel cell car	0.04	0.006	0.014	0.0015	130	2.63
Hydrogen fuel cell car	0.04	0.01	0.02	<0.0001	87.6	1.77
Battery car, British electricity	0.54	0.74	0.09	0.05	104	1.98
Battery car, CCGT electricity	0.17	0.06	0.08	0.0001	88.1	1.71

นอกจากนี้ถ้าเปรียบเทียบในแง่ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CO₂) จะพบว่าในกระบวนการใช้รถยนต์ไฟฟ้า จะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่น้อยกว่ากระบวนการใช้รถยนต์ที่มีเครื่องยนต์สันดาปภายในดังแสดงในรูปที่ 5

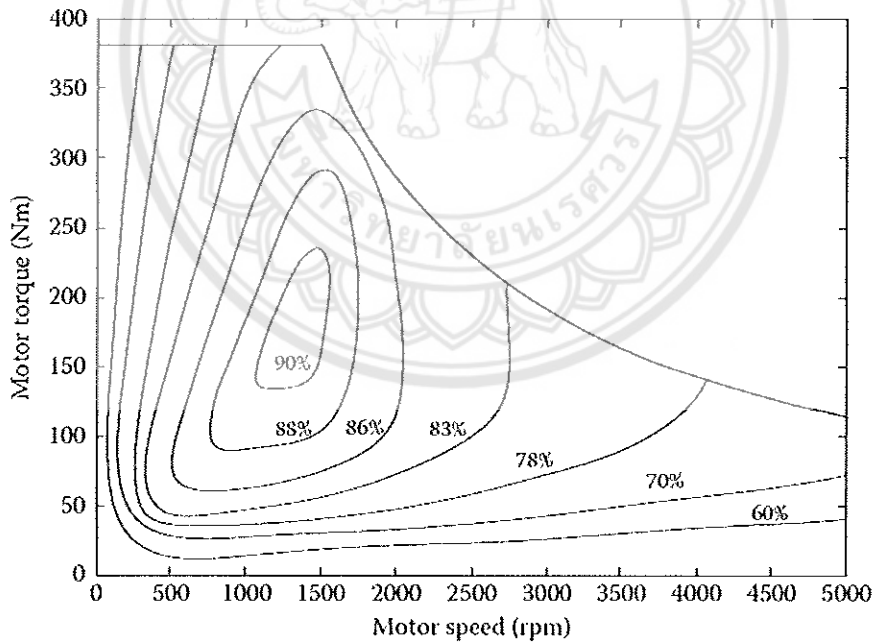


รูปที่ 5 ตารางการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CO₂) แบ่งตามเทคโนโลยีของเครื่องยนต์แต่ละชนิด [6]

การเปลี่ยนระบบขับเคลื่อนจากเครื่องยนต์สันดาปภายในมาเป็นระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ายังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพและแรงบิดช่วงต้นดังแสดงในรูปที่ 6 และ 7 ซึ่งจะพบว่าประสิทธิภาพสูงสุดจะเพิ่มจากเป็น 34.3 เปอร์เซ็นต์ ได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์

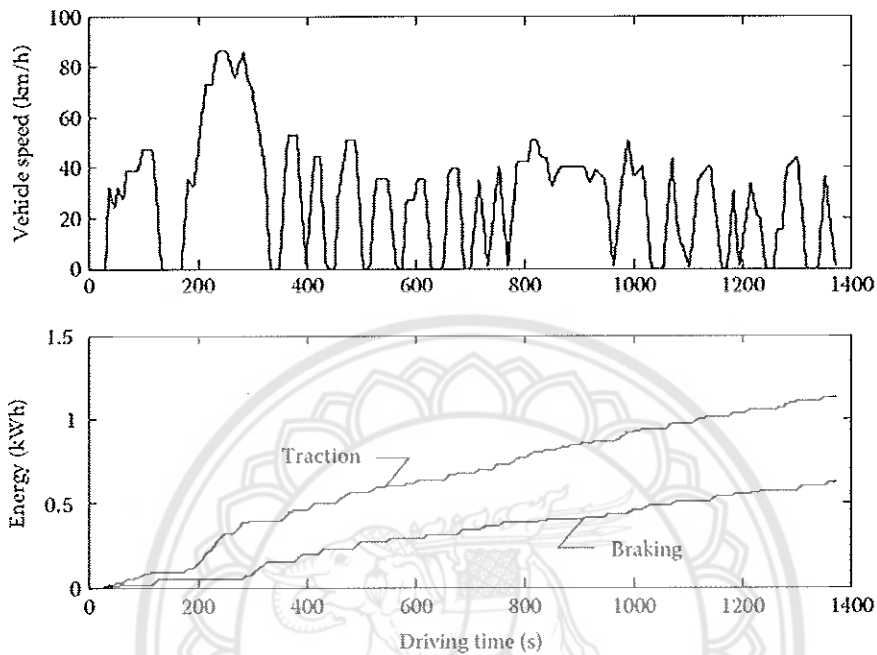


รูปที่ 6 แผนภาพก้นหอย (contour) แสดงพฤติกรรมและประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์สันดาปภายในในแต่ละช่วงการทำงานของเครื่องยนต์ [6]



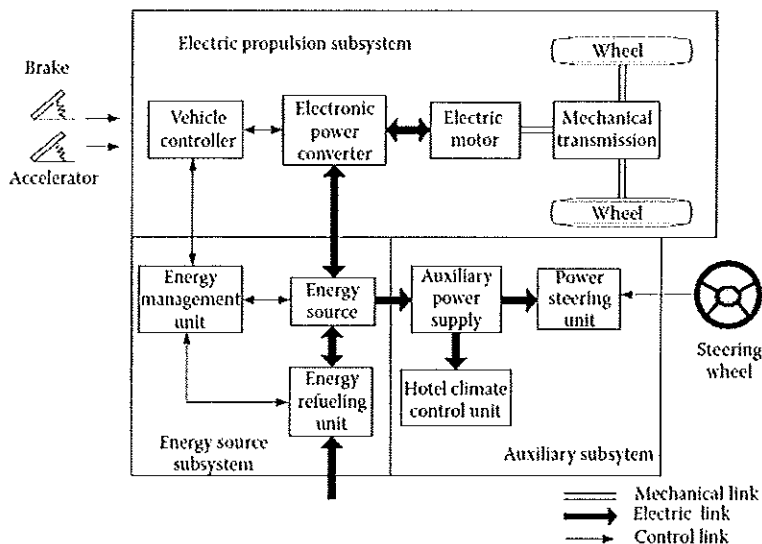
รูปที่ 7 แผนภาพก้นหอย (contour) แสดงพฤติกรรมและประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ในแต่ละช่วงทำงาน [3]

ผลพลอยได้จากการเปลี่ยนระบบขับเคลื่อนมาใช้ระบบมอเตอร์ไฟฟ้าก็คือ ความสามารถในการประจุพลังงานกลับเข้าแบตเตอรี่เวลาทำการเบรก (Regenerative braking) โดยมีศักยภาพในการประจุได้ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แผนภาพแสดงศักยภาพพลังงานที่สามารถประจุกลับเข้าแบตเตอรี่ในระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า [3]

นอกจากนั้นการใช้ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าจะลดจำนวนอุปกรณ์ทางกล เช่น ระบบเกียร์ลงทำให้ลดการสูญเสียพลังงานได้และยังสามารถสร้างระบบควบคุมการขับขี่ (ECU) สำหรับรถยนต์ดัดแปลงไฟฟ้าเพื่อสร้างความปลอดภัยและประหยัดพลังงานดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 แผนภาพแสดงระบบการทำงานภายในรถยนต์ไฟฟ้า [3]

3.2 การดำเนินโครงการ

กระบวนการดำเนินโครงการจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลักได้แก่

1. กระบวนการออกแบบ สร้างแบบจำลองและคำนวณหาค่าจำกัด (specification)

กระบวนการออกแบบรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงพื้นฐานซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อคำนวณหาค่าจำกัด (specification) เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบระบบและส่วนประกอบของรถยนต์ไฟฟ้า โดยเบื้องต้นจะทำการคำนวณทางด้านพลศาสตร์ยานยนต์จากข้อมูลเฉพาะของรถยนต์กระบะในรุ่นที่จะนำมาดัดแปลงเพื่อคำนวณหาแรงขับเคลื่อน F_{te} (total tractive effort) ที่เป็นผลรวมจากแรงย่อยต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 10 ประกอบไปด้วย

$$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} + F_{la} + F_{oa} \quad (i)$$

โดยที่ F_{rr} คือ แรงเสียดทานระหว่างล้อกับพื้น

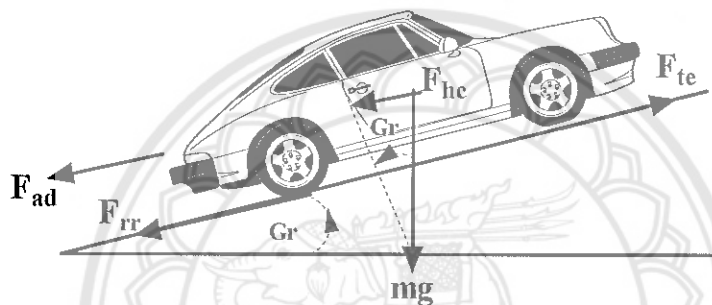
F_{ad} คือ แรงต้านของอากาศ

F_{hc} คือ แรงต้านที่เกิดจากการขึ้นเขา

F_{la} คือ แรงที่เกิดจากความเร่งในแนวเชิงเส้น

F_{oa} คือ แรงที่เกิดจากความเร่งในแนวเชิงมุม

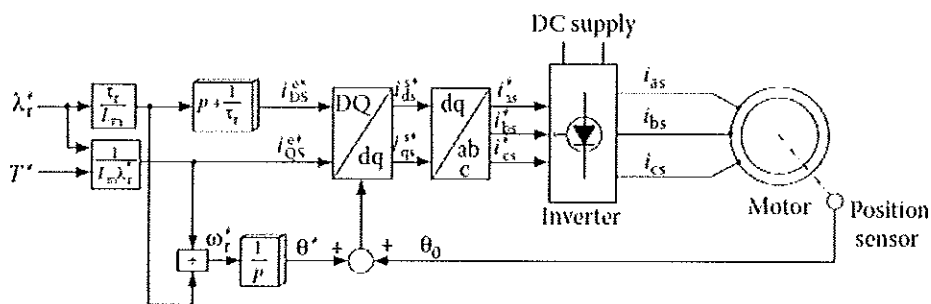
ซึ่งรายละเอียดการคำนวณหาแรงและตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสมการที่ i สามารถหาได้จากแหล่งข้อมูลที่เป็นตำราที่เกี่ยวข้องกับพลศาสตร์ยานยนต์ไฟฟ้า [3] ซึ่งเมื่อคำนวณหา แรงขับเคลื่อนได้แล้ว ก็สามารถที่จะได้กฎข้อที่สองของ Newton สำหรับการคำนวณอัตราเร่ง ความเร็ว และระยะทาง ณ เวลาต่างๆ รวมทั้ง สามารถคำนวณหาภาระทางพลศาสตร์ของรถยนต์ไฟฟ้าในรูปแบบของวัฏจักรการขับขี่โดยเฉพาะการขับขี่ในเมืองและการขับขี่บนทางหลวง เช่น Federal Urban Driving Schedule (FUD) หรือ Extra Urban Driving Cycle (EUDC) เป็นต้น ตาม specification ของรถยนต์ไฟฟ้า โดยข้อมูลส่วนนี้จะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบระบบควบคุมพลศาสตร์ของมอเตอร์ได้ ส่วนการทำแบบจำลอง เราสามารถใช้ โปรแกรม Matlab/Simulink ในการสร้างแบบจำลองและคำนวณหาตัวแปรที่เราต้องการ หรือ ใช้โปรแกรมที่ทำหน้าที่สร้างแบบจำลองทางด้าน พลศาสตร์ยานยนต์ เช่น CarSim เป็นต้น ทำการคำนวณและแสดงผลได้เช่นกัน



รูปที่ 10 แสดงแรงที่กระทำต่อรถยนต์ตามหลักพลศาสตร์ยานยนต์ [8]

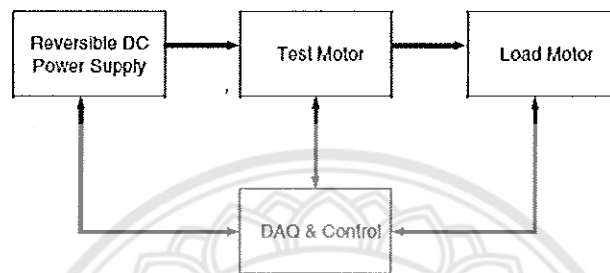
2. การออกแบบระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า (EV motor drive system design)

ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์และการควบคุมมอเตอร์แบบ แสดงในรูปที่ 11 จะถูกออกแบบและจำลองโดยโปรแกรม Matlab\Simulink หรือ control toolbox ของ Matlab ซึ่งจะถูกนำไปเชื่อมโยงเป็นแบบจำลองในระบบทดสอบ HIL simulation เพื่อสร้างสภาวะเสมือนจริงในการทดสอบ



รูปที่ 11 แสดงตัวอย่างแผนภาพ block diagram ของระบบควบคุมพลศาสตร์ของมอเตอร์ [4]

หลังจากนั้นชุดต้นแบบจะถูกนำไปทดสอบบนฐานทดสอบ (Bench test) จะถูกนำมาเชื่อมต่อสัญญาณเข้ากับอุปกรณ์อื่นๆ ในระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เพื่อที่จะสามารถทดสอบการทำงานของ ECU จริง โดยจะมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์เป็นไปดังแผนภาพแสดงในรูปที่ 12 โดย dynamometer จะทำหน้าที่เป็น load motor ในแผนภาพ ส่วนตัวแปรที่สนใจเพื่อทดสอบ ได้แก่ แรงบิด ความเร็วรอบ กำลังต่อเนื่อง และการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของภาระที่ถูกสร้าง จากนั้นจะทำการปรับจูน แกะไขการจ่ายไฟฟ้าให้เหมาะสมกับภาระที่เกิดขึ้น



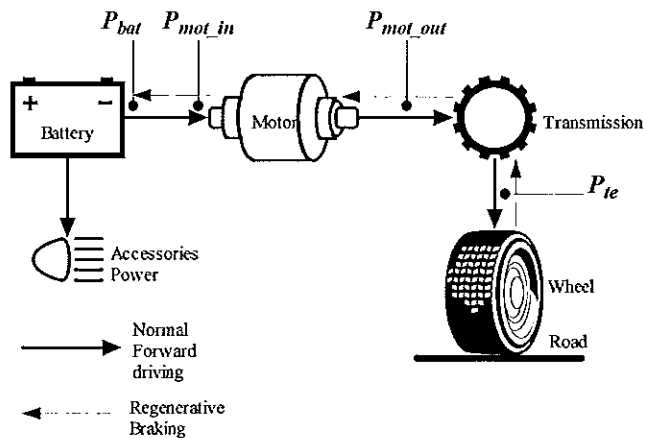
รูปที่ 12 แผนภาพแสดงระบบทดสอบ ECU ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ด้วย dynamometer [4]

3. การออกแบบและพัฒนาสร้างระบบควบคุมการขับเคลื่อน (Electronic control unit ECU)

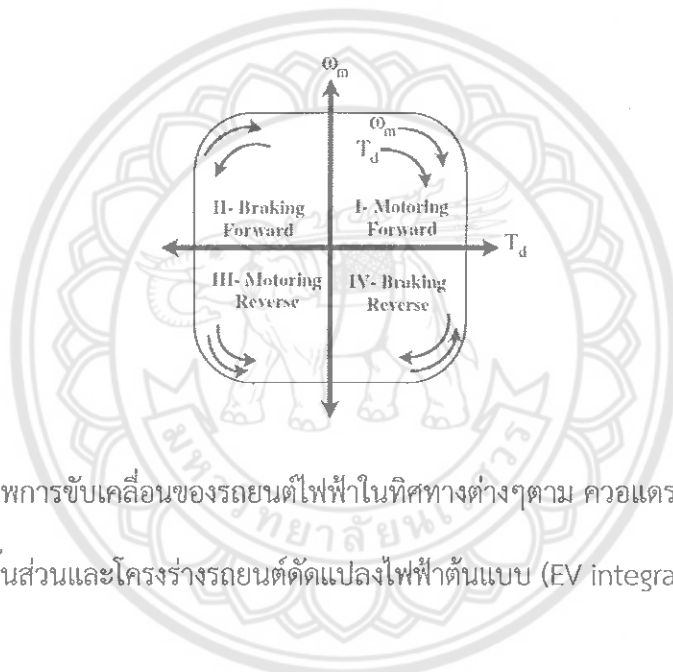
ข้อมูลแบบจำลองที่ได้จากการคำนวณพลศาสตร์จะถูกนำมาคำนวณใช้ในการสร้างแบบจำลองการถ่ายเทกำลังในระบบของรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง ดังแสดงในรูปที่ 13 เพื่อจำลองแผนภาพแรงบิดเทียบกับความเร็วที่ใช้ในการขับเคลื่อนไฟฟ้าทั้ง 4 ควอเตอร์ กล่าวคือ มอเตอร์ขับเคลื่อนไปข้างหน้า มอเตอร์เบรก มอเตอร์ขับเคลื่อนกลับที่ศอຍหลัง และ มอเตอร์เบรกกลับที่ศอຍหลัง ดังแสดงในแผนภาพที่ 14

จากนั้นข้อมูลการขับเคลื่อนมอเตอร์จะถูกนำไปบันทึกในหน่วยความจำ (ROM) ในรูป แผนที่แรงบิด (torque map) ของ หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (ECU) ต้นแบบที่จะถูกพัฒนาขึ้น โดย ECU จะทำหน้าที่รับสัญญาณจากคันเร่งและประมวลผลการใช้พลังงานที่ต้องใช้ในการขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้า แล้วส่งสัญญาณคำสั่งแรงบิดไปยังระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เพื่อให้มอเตอร์ทำงานได้อย่างเหมาะสม

จากนั้นหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ จะถูกนำไปทดสอบสัญญาณในระบบทดสอบแบบ Hardware in the loop และการทดสอบภาคสนาม เพื่อทำการเช็คสัญญาณ และการทำงานในสภาวะต่างๆ ดังจะแสดงรายละเอียดต่อไป



รูปที่ 13 แผนภาพแสดงการจำลองการถ่ายเทกำลังภายในระบบรถยนต์ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่สู่ถนน และการประจุไฟฟ้ากลับเมื่อมีการเบรก (regenerative braking)



รูปที่ 14 แผนภาพการขับเคลื่อนของรถยนต์ไฟฟ้าในทิศทางต่างๆตาม คอแวนแดนต์ [4]

4. การประกอบชิ้นส่วนและโครงสร้างรถยนต์ดัดแปลงไฟฟ้าต้นแบบ (EV integration and prototyping)

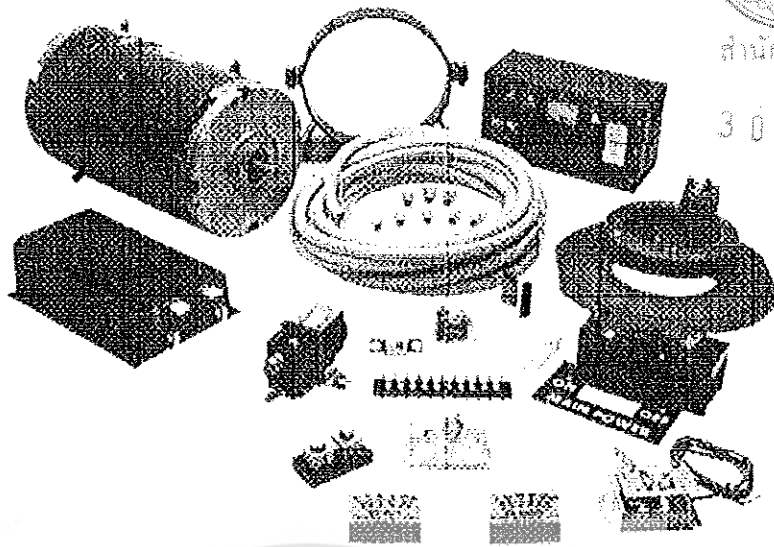
การสร้างรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงจากรถกระบะนั้นสามารถแบ่งออกได้สามช่วงหลักๆได้แก่ ช่วงเตรียมส่วนประกอบดัดแปลง (pre-conversion) ช่วงประกอบ (conversion) และช่วง (post-conversion) โดยมีรายละเอียดของงานแต่ละส่วนดังนี้

โดยช่วงการเตรียมส่วนประกอบจะนำข้อมูลเฉพาะที่ได้จากการออกแบบและคำนวณ เช่น ขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้า และแบตเตอรี่และจำนวนเซลล์ เป็นต้น มาใช้ประกอบการพิจารณาในการซื้อส่วนประกอบและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องดังแสดงในรูปที่ 15 และ 16 โดยจะจัดหาโครงรถยนต์กระบะที่มีอายุมากกว่า 10 ปี แล้วทำการยกเครื่องยนต์และส่วนที่ติดมากับเครื่องยนต์ เช่นระบบหล่อเย็นออกเพื่อเตรียมบริหารจัดการพื้นที่ติดตั้งมอเตอร์ แบตเตอรี่และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องอื่นๆ ให้พร้อม จากนั้นจะจัดเตรียมอุปกรณ์เครื่องมือช่างและสถานที่ให้พร้อมต่อการทำงาน

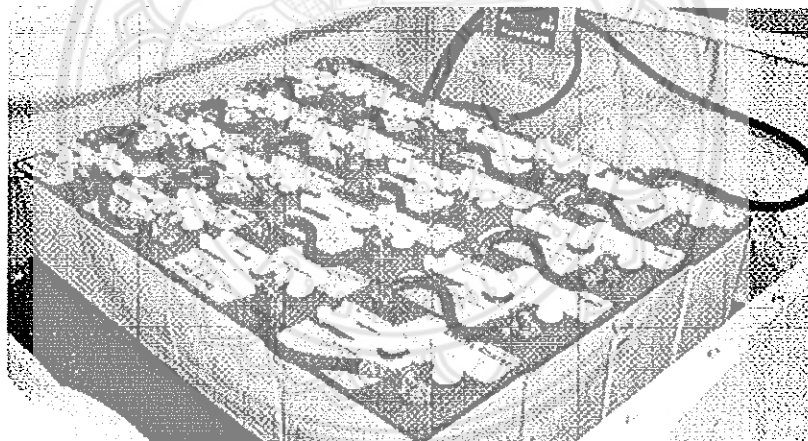


สำนักทดสอบ

30 ก.ค. 2564

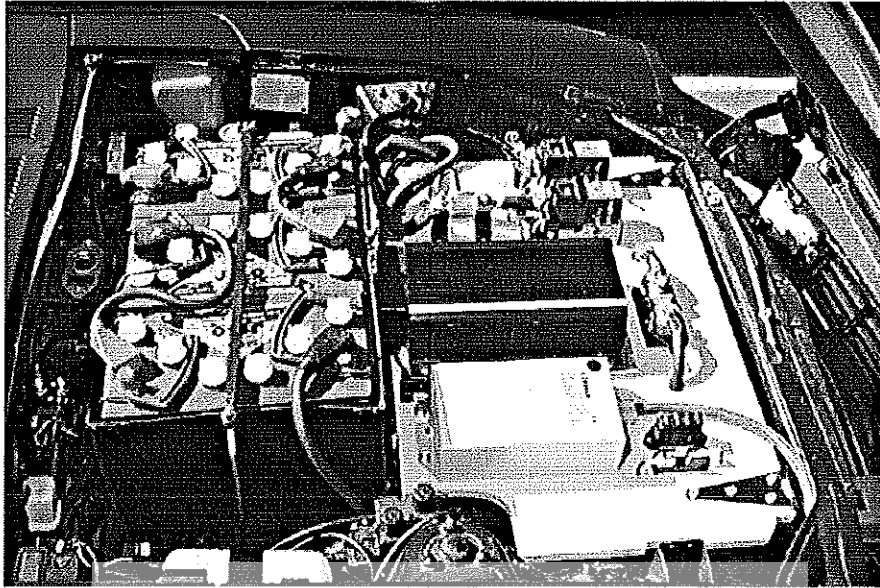


รูปที่ 15 แสดงภาพอุปกรณ์ส่วนประกอบต่างที่จะใช้ในการประกอบชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า [7]



รูปที่ 16 แสดงตัวอย่างแผงเบตเตอร์ที่ใช้ในการประกอบรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง [7]

ส่วนในช่วงติดตั้งการทำงานจะถูกแบ่งออกเป็น สองส่วนหลัก กล่าวคือส่วนที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ทางกล (mechanical components) และส่วนที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (electrical components) โดยส่วนที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ทางกลจะเป็นการสร้างฐานรองยึดมอเตอร์ เพลาและลูกปืนต่อเข้ากับมอเตอร์ วางฐานรองเบตเตอร์ ส่วนอุปกรณ์ทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์จะประกอบไปด้วยการเชื่อมต่ออุปกรณ์ชนิดไฟฟ้าแรงสูง การเชื่อมต่อสายอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อเชื่อมต่อสัญญาณ การติดตั้งอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าและแผงเบตเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 17



รูปที่ 17 แสดงสายไฟที่เชื่อมต่อระหว่างแบตเตอรี่และอุปกรณ์อื่นๆ ในรถยนต์ไฟฟ้า [7]

ส่วนในช่วงหลังการประกอบชิ้นส่วน จะเป็นการตรวจสอบการเชื่อมต่อของอุปกรณ์แต่ละชนิดทั้งทางกลและไฟฟ้า ด้วยการใช้สายตาและ เครื่องมือวัดต่างๆ เพื่อให้แน่ใจว่าส่วนประกอบต่างๆ ถูกเชื่อมต่อเข้ากันได้ดี ไม่หลวม ระบบไฟฟ้าได้ถูกต่อสายดินอย่างปลอดภัย และไม่มีอุปกรณ์เสียหายหรือชำรุดก่อนการทดสอบในลำดับต่อไป

4. ผลที่ได้รับจากโครงการวิจัย

4.1 กระบวนการออกแบบระบบเพื่อการประกอบรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงโดยการสร้างแบบจำลอง (model based design of electric vehicle conversion)

รถกระบะเป็นชนิดของรถยนต์ที่นิยมใช้ในการบรรทุกสินค้าและสัญจรส่วนบุคคลในประเทศแถบเอเชียเนื่องจากมีความทนทานและสามารถบรรทุกสินค้าได้ในปริมาณมากได้ จากรายงานสถิติของกรมการขนส่งพบว่า รถกระบะกว่า 5 ล้านคันในประเทศไทยที่ได้รับการจดทะเบียนและยังมีการใช้งานจริงอยู่ โดยคิดเป็นร้อยละ 70 ของรถยนต์ส่วนบุคคลและกว่าร้อยละ 50 เป็นรถยนต์ที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 10 ปีขึ้นไป ส่งผลให้มีการใช้เครื่องยนต์ดีเซลที่ด้อยประสิทธิภาพและยังต้องมีการพึ่งพาเชื้อเพลิงจากฟอสซิล โดยเฉพาะการขับขีรถกระบะเก่าในเขตชุมชนก็จะเป็นการสร้างความเสี่ยงในการก่อมลภาวะทางอากาศและเพิ่มการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังนั้นการลดมลภาวะในเขตชุมชนหรือเขตเมืองก็สามารถทำได้โดยการดัดแปลงรถกระบะเก่าให้เป็นรถไฟฟ้าที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่หรือจากเซลล์เชื้อเพลิงและขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ไฟฟ้า โดยการดัดแปลงจะทำให้รถกระบะได้ใช้ระบบขับเคลื่อนที่มีประสิทธิภาพและไม่ปลดปล่อยไอเสียเพื่อใช้ในการขนส่งสินค้าในระยะทางสั้นๆได้ [4-1]

อย่างไรก็ตามรถกระบะแต่ละชนิดมีลักษณะจำเพาะทางเทคนิคที่ต่างกัน ดังนั้นการทำชุดดัดแปลงสำหรับรถกระบะแต่ละชนิดแต่ละรุ่นจะมีความแตกต่างกันออกไปเพื่อให้สามารถทำงานได้ตามข้อกำหนดทั้งในเรื่องระยะทางต่อการประจุและสมรรถนะการออกตัว ดังนั้นวิศวกรในฐานะผู้ออกแบบต้องตัดสินใจว่าจะใช้แบตเตอรี่ชนิดใดขนาดเท่าใด หรือปริมาณไฮโดรเจนที่ต้องการใช้สำหรับเซลล์เชื้อเพลิง นอกจากนั้นการเลือกชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าก็เป็นข้อกำหนดที่สำคัญเช่นกัน [4-12]

เพื่อเป็นการเสริมกระบวนการออกแบบรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงให้ดีขึ้น กระบวนการออกแบบเชิงการสร้างแบบจำลองสามารถนำมาใช้ได้เพื่อจำลองการทำงานของระบบที่ขึ้นอยู่กับสภาพการใช้งานและข้อมูลทางเทคนิคของรถยนต์ไฟฟ้า วิธีการออกแบบนี้สามารถช่วยให้วิศวกรผู้ออกแบบสามารถตัดสินใจในการดัดแปลงรถยนต์ไฟฟ้าได้ดีขึ้นและสามารถใช้ในการประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการออกแบบโดยลดความผิดพลาดระหว่างการออกแบบ [4-2][4-4][4-7]

โดยในงานวิจัยชิ้นนี้มีเป้าหมายเพื่อนำกระบวนการออกแบบเชิงสร้างแบบจำลองในกระบวนการออกแบบรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง และนำผลการศึกษากลับมาเปรียบเทียบระหว่างการใช้แหล่งพลังงานจากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนและการใช้ระบบเซลล์เชื้อเพลิงสำหรับชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าในรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง

โดยการนำเสนอจะแบ่งเป็น สามส่วนหลักได้แก่ ส่วนแรกนำเสนอการสร้างแบบจำลองของรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งประกอบไปด้วย แบบจำลองส่วนประกอบรถยนต์ไฟฟ้า และแบบจำลองการถ่ายเทกำลังภายในระบบ ส่วนที่สองคือ การจำลองสมรรถนะและระยะทางต่อการประจุแต่ละครั้ง ส่วนสุดท้ายเป็นการศึกษาเปรียบเทียบผล

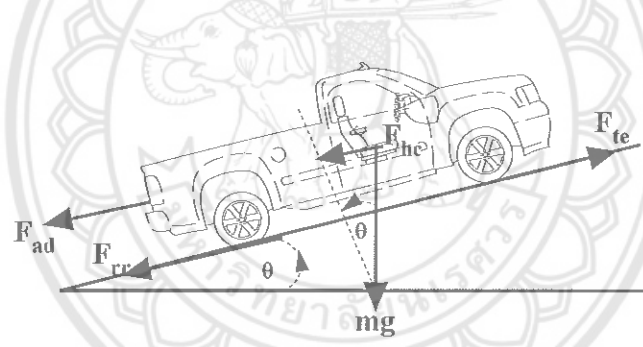
การจำลองการขับเคลื่อนไฟฟ้าตัดแปลงระหว่างแหล่งพลังงานสองแหล่งได้แก่แหล่งพลังงานชนิดแบตเตอรี่ เทียมไอออนและไฮโดรเจนผ่านเซลล์เชื้อเพลิง

4.1.1 การสร้างแบบจำลองรถกระบะไฟฟ้าตัดแปลง

ในการดำเนินการจำลองรถยนต์ไฟฟ้า จะเริ่มโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ ส่วนประกอบและระบบจากหลักการทางวิศวกรรมและทฤษฎีต่างๆ แบบจำลองหลักของรถยนต์ไฟฟ้าตัดแปลง ได้แก่ แบบจำลองพลศาสตร์ยานยนต์ แบบจำลองชุดขับเคลื่อนไฟฟ้า แบบจำลองแบตเตอรี่ แบบจำลองเซลล์ เชื้อเพลิงไฮโดรเจน และแบบจำลองการถ่ายเทกำลังโดยรายละเอียดการสร้างโมเดลแต่ละชนิดสามารถศึกษา ได้จากผลงานตีพิมพ์ของ Larminie and Lowry [4-8]

แบบจำลองพลศาสตร์ยานยนต์

แรงที่กระทำที่ตัวรถยนต์จะใช้กำหนดการเคลื่อนที่ของรถยนต์ดังแสดงในรูปที่ 18 โดยแรงกระทำ สามารถแบ่งได้เป็น แรงขับเคลื่อน (F_{te}) แรงเสียดทานที่ล้อ (F_{rr}) แรงต้านอากาศ (F_{ad}) แรงต้านการเร่ง (F_{al}) แรงต้านการเร่งที่ล้อ (F_{oa}) แรงไถ่ทางชัน (F_{hc})



รูปที่ 18 ส่วนประกอบของแรงในรถยนต์ไฟฟ้าตัดแปลง [8]

จากความสัมพันธ์ในสมการ (1) แสดงถึงแรงขับเคลื่อนต้องเอาชนะแรงต้านที่เกิดทั้งหมด

$$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} + F_{la} + F_{wa} \quad (1)$$

โดยแต่ละส่วนประกอบของแต่ละแรงสามารถแสดงได้ดังสมการ (2)-(6)

$$F_{hc} = mg \sin(\theta) \quad (2)$$

$$F_{rr} = \mu_r mg \quad (3)$$

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \rho AC_d v^2 \quad (4)$$

$$F_{\omega a} = I \frac{G^2}{\eta_g r^2} a \quad (5)$$

$$F_{la} = ma \quad (6)$$

แรงเสียดทานที่ล้อ (2) นั้นขึ้นอยู่กับมวลของรถยนต์ไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ล้อ (μ_{rr}) เช่นกัน พื้นที่หน้าตัดของรถยนต์ (A) ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ (C_d) ความเร็วรถยนต์ (v) และความหนาแน่นของอากาศ (ρ) ต่างมีผลกระทบต่อค่าแรงต้านอากาศในสมการที่ (4) ค่าน้ำหนักลงที่ล้อ ($F_{\omega a}$) สามารถคำนวณได้จาก ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย (I) ค่าอัตราการทดเกียร์ (G) และค่าประสิทธิภาพของชุดเกียร์ทดกำลัง (η_g) ค่ารัศมีวงล้อ และค่าความเร่งของรถยนต์ ในสมการ (6) และเมื่อมีการเร่งของรถยนต์ ไฟฟ้าก็จะสร้างโหลดขึ้นเช่นกัน (6)

สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงจากกระบะนี้ แบบจำลองการขับเคลื่อนจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ขึ้นกับลักษณะของแรงขับเคลื่อนของมอเตอร์ โดยมอเตอร์จะทำงานที่แรงบิดสูงสุด (T_{\max}) และหลังจากนั้น แรงบิดจะลดลงตามเส้นกำลังคงที่ ($T_{p_{const}}$) ตามปรากฏการณ์ “field weakening” โดยระดับความเร็วที่แรงบิดเริ่มเปลี่ยนจะเรียกว่าความเร็ววิกฤต (ω_c) โดยสามารถจำลองได้ดังสมการ (7) และ (8)

- Phase 1: $T = T_{\max}$

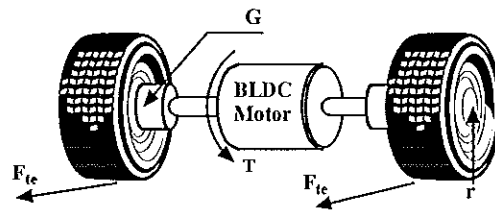
$$\eta_g \frac{G}{r} T_{\max} = \mu_{rr} mg + \frac{1}{2} \rho A C_d v^2 + \left(m + I \frac{G^2}{\eta_g r^2} \right) \frac{dv}{dt} \quad (7)$$

- Phase 2: $T = T_{p_{const}} = \frac{r T_{\max} \omega_c}{G v}$

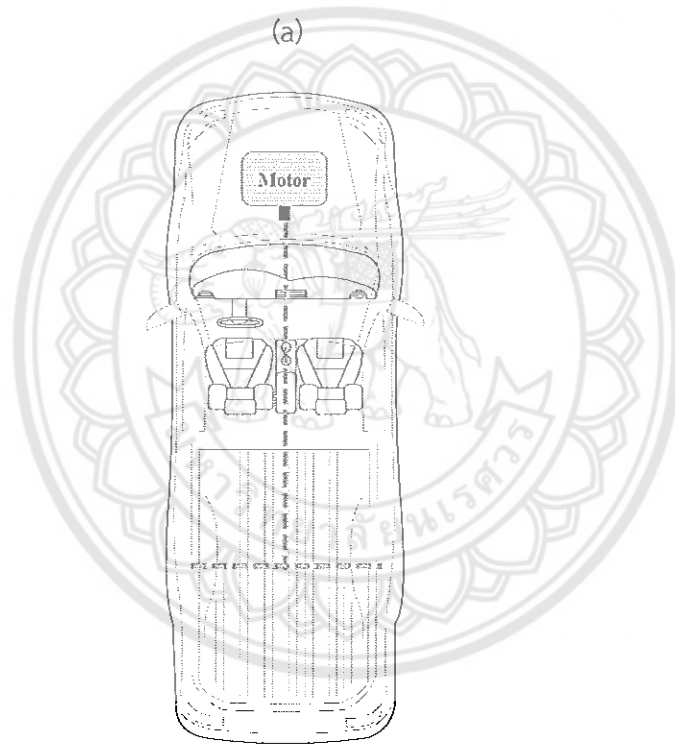
$$\eta_g \frac{G}{r} T_{p_{const}} = \mu_{rr} mg + \frac{1}{2} \rho A C_d v^2 + \left(m + I \frac{G^2}{\eta_g r^2} \right) \frac{dv}{dt} \quad (8)$$

แบบจำลองชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า

ในระบบรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงนั้น มอเตอร์จะใช้เป็นชุดขับเคลื่อนแทนที่เครื่องยนต์สันดาปภายใน ในการส่งแรงบิดไปขับเคลื่อนเพลาดังแสดงได้ในรูปที่ 19 ส่วน (a) ซึ่งจะส่งผลต่อการขับเคลื่อนรถยนต์ด้วย สำหรับรถ กระบะนั้น มอเตอร์จะถูกติดตั้งโดยต่อเพลาลงของมอเตอร์กับส่วนคลัชต์ของโครงเดิมดังแสดงในรูปที่ 2 ส่วน (b) แรงบิดของมอเตอร์ ความเร็ว และประสิทธิภาพจะแสดงในสมการ (9) (10) และ (11) ตามลำดับ



(a)



(b)

รูปที่ 19 (a) แบบจำลองมอเตอร์รถยนต์ไฟฟ้า

(b) การติดตั้งมอเตอร์ในรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงจากรถกระบะ [4-8]

- แรงบิดมอเตอร์ (T)

$$T = \frac{F_{te} r}{G} \text{ N.m} \quad (9)$$

- ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ (ω)

$$\omega = G \frac{v}{r} \text{ rad.s}^{-1} \quad (10)$$

- ประสิทธิภาพของมอเตอร์ (η_m)

$$\eta_m = \frac{T\omega}{T\omega + k_c T^2 k_t \omega + k_o \omega^3 + C} \quad (11)$$

โดยที่ k_c คือค่าการสูญเสียในลวดทองแดง k_t คือค่าการสูญเสียในเหล็ก k_o คือค่าการสูญเสียในการพันขดลวด และ C คือค่าการสูญเสียคงที่ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบ

แบบจำลองแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

พฤติกรรมของแบตเตอรี่จะมีผลต่อสมรรถนะและระยะทางการประจุอย่างมาก โดยในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนจะเป็นชนิดของแบตเตอรี่ที่ถูกเลือกใช้ ซึ่งค่าแรงดันเปิด (E) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนั้นค่อนข้างคงที่ในแต่ละสถานการณ์ประจุ ดังแสดงได้ในสมการ (12)

$$E = n \cdot 3.3 \quad (12)$$

โดยที่ n เป็นจำนวนของเซลล์แบตเตอรี่ และ DoD คือ อัตราส่วนร้อยละประจุที่เหลือ และ ค่าคงที่เฉลี่ยของแรงดันในเซลล์แบตเตอรี่จะถูกเก็บให้อยู่ 3.3 โวลต์ จนถึง ร้อยละ 80 ของ DoD

ซึ่งโดยปกติกระแสจากแบตเตอรี่จะถูกดึงมาใช้จากแบตเตอรี่มากกว่าปกติในกรณีที่มีการขับซีรยนต์ไฟฟ้าในกรณีที่ต้องใช้กระแสมาก เช่น การออกตัว การเร่ง เป็นต้น ซึ่งเราเรียกว่า ปรากฏการณ์ Peukert ซึ่งจะเป็นการสิ้นเปลืองกระแสมาก อย่างไรก็ตามปรากฏการณ์ดังกล่าวไม่มีเกิดขึ้นกับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน เนื่องจากสามารถจ่ายแรงดันที่คงที่ได้ตลอด [4-8].

แบบจำลองระบบเซลล์เชื้อเพลิง

เพื่อลดความซับซ้อนในการสร้างแบบจำลอง เซลล์เชื้อเพลิงประเภท PEM ที่มี ค่าความร้อนต่ำ (LHV) จะถูกเลือกใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า โดยจะทำการจำลองเป็นระบบที่มีค่าประสิทธิภาพอยู่ โดยมวลไฮโดรเจนเหลวที่ถูกบรรจุอยู่ในถังเยือกแข็ง จะถูกเทียบโดยจะต้องให้ค่าพลังงานเทียบเท่ากับปริมาณพลังงานที่บรรจุอยู่ในแบตเตอรี่ ระบบเซลล์เชื้อเพลิงจะไม่มีประจุพลังงานจากการเบรก รายละเอียดการทบทวนระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ และการกักเก็บไฮโดรเจนสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

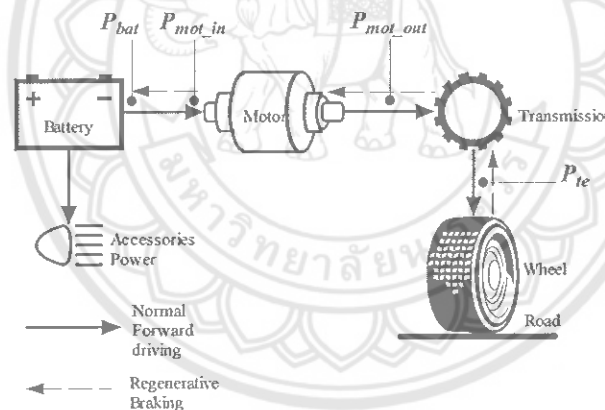
สามารถค้นหาเพิ่มเติมได้จากผลงานของ Larminie และ Lowry [4-8] โดยลักษณะจำเพาะที่ใช้สำหรับการจำลองสามารถแสดงได้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายละเอียดของถังเยือกแข็งบรรจุเชื้อเพลิงไฮโดรเจนสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า [4-8].

Mass of empty container	51.5 kg
Mass of hydrogen stored	6.03 kg
Storage efficiency (% mass H ₂)	14.2%
Specific energy	5.57 kWh.kg ⁻¹
Volume of tank	0.2 m ³
Mass of H ₂ per litre	0.0425 kg.L ⁻¹

แบบจำลองการถ่ายโอนกำลังในรถยนต์

สำหรับการจำลองระบบรถยนต์ไฟฟ้านั้น แบบจำลองการถ่ายโอนกำลังระหว่างส่วนประกอบต่างๆ จะช่วยให้สามารถคำนวณ และให้ค่าอัตราของพลังงานที่ไหลเข้าออกของเซลล์แบตเตอรี่ ส่วนของหลอดไฟและเครื่องปรับอากาศ มอเตอร์ และชุดทดกำลัง ตลอดไปจนถึงส่วนล้อ และถนน แล้วย้อนกลับได้ ดังนั้นแบบจำลองต้องสามารถคำนวณอัตราการถ่ายโอนกำลังทั้งในทิศทางการขับเคลื่อนและการเบรก ดังแสดงในรูปที่ 20



รูปที่ 20 แผนภาพแสดงการถ่ายโอนกำลังเข้าและออกจากส่วนประกอบต่างๆของรถยนต์ไฟฟ้าทั้งในทิศทางการขับเคลื่อนและการประจุไฟฟ้าจากการเบรก [4-8]

โดยที่ แบบจำลองการขับเคลื่อนจะให้ค่ากำลังที่ส่งผ่านจากรถยนต์ไฟฟ้าไปสู่ถนน (P_{te}) ดังแสดงในสมการ (13) นอกจากนั้นแบบจำลองมอเตอร์จะให้ค่ากำลังที่เข้า (P_{mot_in}) และออกจากมอเตอร์ (P_{mot_out}) ดังแสดงได้ในสมการ (14) และ (15) อย่างไรก็ตามค่ากำลังจะขึ้นอยู่กับค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ (η_m) และค่าประสิทธิภาพการทดกำลัง (η_g) กำลังที่ประจุหรือส่งออกจากแบตเตอรี่ ก็สามารถคำนวณและให้ค่าได้ดังสมการ (16) ระหว่างการประจุและดึงกระแสออกไปใช้ ส่วนค่ากำลัง (P_{ac}) จะถูกดึงออกมาคงที่เนื่องจากการใช้งานของวิทยุ และหลอดไฟ ดังแสดงในสมการ (16)

- พลังงานที่ต้องใช้ขับเคลื่อนในแต่ละวินาที

$$P_{te} = F_{te} \cdot v \quad (13)$$

- กำลังมอเตอร์ในแต่ละทิศทางการขับเคลื่อน

$$P_{mot_in} = \frac{P_{mot_out}}{\eta_m},$$

$$P_{mot_out} = \frac{P_{te}}{\eta_g} \quad (14)$$

- กำลังมอเตอร์ในทิศทางการเบรก

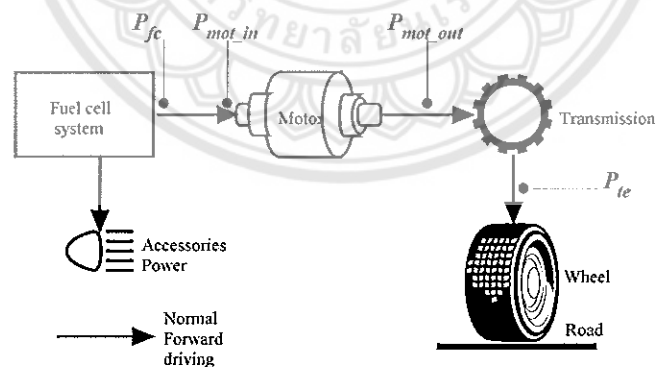
$$P_{mot_in} = P_{mot_out} \cdot \eta_m,$$

$$P_{mot_out} = P_{te} \cdot \eta_g \quad (15)$$

- กำลังในแบตเตอรี่

$$P_{bat} = P_{mot_in} + P_{ac} \quad (16)$$

ส่วนการสร้างแบบจำลองของกำลังที่ถ่ายโอนระหว่างส่วนประกอบของระบบเซลล์เชื้อเพลิงในรถยนต์ไฟฟ้านั้น จะใช้การแทนที่ส่วนของแบตเตอรี่ด้วยส่วนประกอบของเซลล์เชื้อเพลิง โดยที่จะเป็นการถ่ายโอนกำลังไปในทิศทางเดียวเนื่องจากไม่มีการประจุพลังงานที่เกิดจากการเบรกเกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 21



รูปที่ 21 แบบจำลองการถ่ายโอนกำลังของระบบเซลล์เชื้อเพลิงในรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง [4-8]

4.1.2 การจำลองสมรรถภาพรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง

ลักษณะจำเพาะและข้อกำหนด

แบบจำลองรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น โดยเฉพาะแบบจำลองการขับเคลื่อนจะถูกใช้เพื่อจำลองสมรรถนะของรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงได้โดยการคำนวณหาความเร็ว (กิโลเมตร ต่อ ชั่วโมง) ที่ขึ้นอยู่กับ เวลา (วินาที) ในงานวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้ลักษณะจำเพาะของรถกระบะรุ่น โตโยต้า ไมตี้เอ็กซ์ ปี 1993 ในการจำลองรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง ส่วนมอเตอร์ที่เลือกใช้จะเป็นชนิด Brushless DC โดยข้อมูลป้อนเข้าแต่ละค่า เช่น ลักษณะจำเพาะของมอเตอร์ ข้อกำหนดลักษณะถนน แบตเตอรี่ การขับขี่ ประสิทธิภาพของชุดขับเคลื่อน และลักษณะจำเพาะของระบบเซลล์เชื้อเพลิง [4-8] จะอธิบายในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ลักษณะจำเพาะและข้อกำหนดที่ใช้เป็นค่าป้อนเข้าสำหรับการจำลองรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง

Vehicle Mass	1300 kg
Passengers mass	140 (2x70) kg
Coefficient of drag	0.45
Frontal area	1,575 x 1,650 mm (H x W)
Tire radius	14" (0.36 m)
Moment of inertia	+5% of vehicle mass
Rolling resistance	0.015 (Radial tire)
Gear ratio	4.3:1
Gear efficiency	90%
Motor efficiency	90%
Regenerative ratio	40%
Power	22 kW (nominal)
Limit motor torque	200 Nm
Max motor speed	4000 rpm
Max car speed	120 km/h
Battery Type	Lithium-ion
Peukert coefficient	1.0
Number of cells	100
Cell voltage	3.2
Capacity (Ah)	100
Accessories loss	1000 W
limit discharge	80%
Open circuit voltage	Constant
Battery mass (per cell)	3.5 kg
Fuel cell system mass	150 kg
Mass of empty tank	51.5 kg
Specific energy	5.57 kWh/kg
Volume of tanks	0.2 m ³
Hydrogen mass	6.03 kg
Road condition	Long smooth surface
Driving cycle	Modified SFUD

เมื่อพิจารณาในตารางจะพบว่าค่าตัวแปรบางตัวจะใช้การประมาณได้แก่ ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย ค่ามวลรวมของระบบเซลล์เชื้อเพลิงและค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ แต่อยู่บนพื้นฐานของความเหมาะสม ทั้งนี้เนื่องจากบางค่าต้องได้จากการวัดค่าของอุปกรณ์จริงซึ่งไม่สามารถวัดได้ หรือเป็นไปได้ยากที่จะได้ค่ามาใช้ ยกตัวอย่างเช่น ค่ามวลของเชื้อเพลิงไฮโดรเจน จะใช้การเทียบเคียงกับพลังงานที่ได้จากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

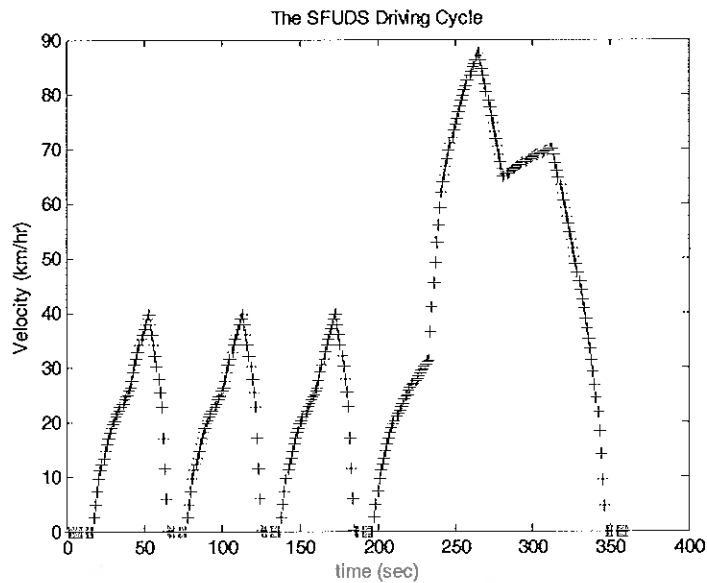
การเขียนโปรแกรมใน MATLAB

สำหรับการเขียนโปรแกรมจำลองสมรรถนะ สมการจำลองการขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้าในสมการที่ (7) และ (8) จะเป็นสมการที่ไม่เป็นเชิงเส้นลำดับที่หนึ่ง ซึ่งการเขียนโปรแกรมจำลองจะถูกแบ่งเป็นสองส่วน แล้วจะถูกแก้สมการด้วยกระบวนการทาง numerical โดยเขียนลงในไฟล์ MATLAB (m-file) สำหรับแต่ละช่วงชั้นเวลา และค่าตัวแปรจะถูกสร้างใน อาร์เรย์ (array) โดยค่าความเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าที่ได้จะถูกวาดรวมกับเวลา โดยค่าสมรรถนะจะใช้เกณฑ์ของระยะเวลาที่รถยนต์ไฟฟ้าเร่งจากความเร็วที่ศูนย์ไปจนถึง 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

4.1.3 การจำลองการขับขี่

วัฏจักรการขับขี่

ตัวแปรที่สำคัญที่เป็นข้อกำหนดในการออกแบบรถยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงคือ ระยะทางที่ได้ต่อการประจุแบตเตอรี่แต่ละครั้ง (range per charge) ซึ่งสามารถบอกได้ถึงระยะที่รถยนต์ไฟฟ้าสามารถใช้งานได้จนกว่าต้องมีการประจุกครั้ง เพื่อที่จะคำนวณหาค่าดังกล่าวได้อย่างเหมาะสม จะต้องใช้แบบจำลองมอเตอร์แบบจำลองแบตเตอรี่ และแบบจำลองการถ่ายเทกำลังร่วมกันในการจำลอง โดยใช้ค่าลักษณะจำเพาะของรถยนต์ไฟฟ้า อีกทั้งยังต้องใช้วัฏจักรการขับขี่ซึ่งใช้จำลองการขับขี่จริง สำหรับงานวิจัยนี้วัฏจักรการขับขี่ในเมือง (SFUD) [4-8] ได้ถูกปรับปรุงดังแสดงในรูปที่ 22 โดยให้ค่าความเร็วการขับขี่สูงสุดอยู่ที่ 90 km/hr (จากเดิมอยู่ที่ 54 km/hr) เพื่อให้เหมาะสมกับการขับขี่ในตัวเมืองและนอกเมืองบางส่วนที่ต้องใช้ความเร็วสูงขึ้นเนื่องจากพฤติกรรมการขับขี่ที่เปลี่ยนแปลงไปของรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อใช้ในการขนส่งสินค้า



รูปที่ 22 รูปแบบปรับปรุงของวัฏจักรการขับขี่ในเมือง (MSFUD) [4-8]

การจำลองการขับขี่

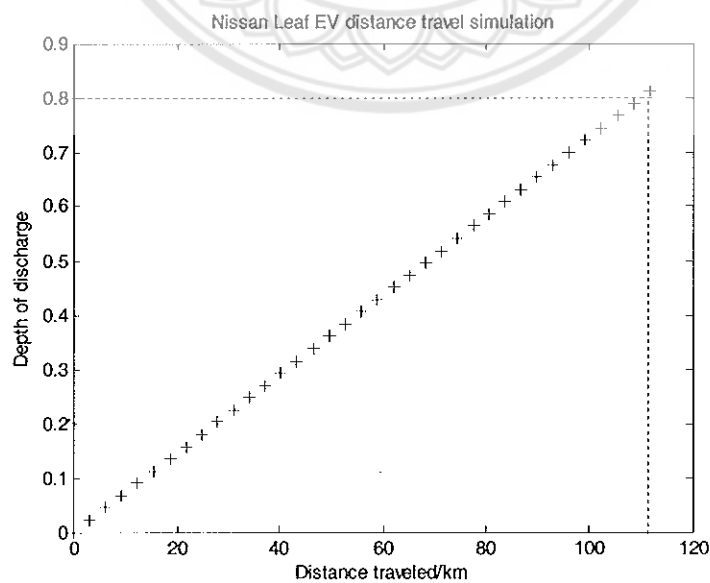
เพื่อจำลองระยะทางในการขับขี่ จะใช้การเขียนโปรแกรมหลักเพื่อใช้ในการจัดการโปรแกรมย่อยและเก็บค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้สำหรับการจำลอง แบบจำลองของแต่ละชิ้นส่วนเช่น แบตเตอรี่และมอเตอร์ สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงจะถูกเขียนลงในโปรแกรม MATLAB m-file [4-2][4-7][4-8] โดยการจัดเรียงกระบวนการเขียนโปรแกรมนี้จะใช้อำนาจการสร้างแบบจำลองโดยสามารถปรับใช้สำหรับการโปรแกรมระบบที่ค่อนข้างซับซ้อนได้เป็นอย่างดี

4.1.4 การรับรองการสร้างแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองรถไฟฟ้าและการจำลองการขับขี่จำเป็นต้องมีการรับรองความน่าเชื่อถือของการสร้างแบบจำลอง ในงานวิจัยนี้ จะใช้การสร้างแบบจำลองของรถยนต์ไฟฟ้าและเปรียบเทียบกับข้อมูลการทดสอบการขับขี่จริง โดยใช้รถยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อ นิสสัน รุ่น ลีฟ (Nissan Leaf) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบค่าระยะทางต่อการประจุแต่ละครั้งที่ได้จากการจำลองการขับขี่ที่แสดงในรูปที่ 23 โดยข้อมูลทางเทคนิคและข้อกำหนดการขับขี่จะถูกแสดงในตารางที่ 4 และถูกใช้เป็นค่าป้อนเข้าสำหรับการจำลองโดยค่าบางค่าจะเป็นค่าประมาณที่เหมาะสมเนื่องจากไม่สามารถหาค่าได้จริง โดยการจำลองการขับขี่พบว่า ระยะทางที่ได้ต่อการประจุแต่ละครั้งจะเป็น 112 กิโลเมตร ซึ่งค่าที่ได้จากการทดสอบจริงจะเป็น 117 กิโลเมตร (EPA) ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ซึ่งความแตกต่างกันอาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของตัวแปร

ตารางที่ 4 ค่าลักษณะจำเพาะของรถยนต์ไฟฟ้า นิสสัน ลีฟ ปี 2012

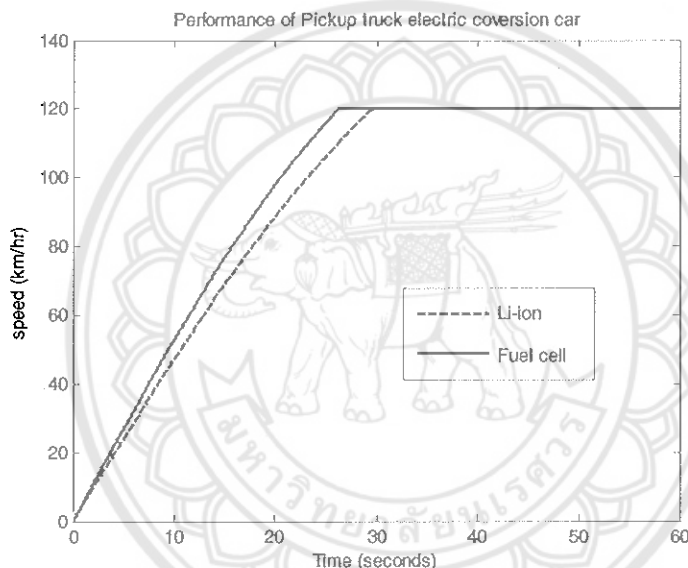
Vehicle Mass	1521 kg
Driver mass	70 kg
Coefficient of drag	0.35
Frontal area	1,550 x 1,770 mm (H x W)
Tire radius	16" (0,4 m)
Moment of inertia	Add 5% of vehicle mass
Rolling resistance	0.015 (Radial tire)
Gear ratio	8:1
Gear efficiency	90%
Motor efficiency	90%
Regenerative ratio	50%
Power	80 kW (nominal)
Limit motor torque	280 Nm
Max motor speed	6000 rpm
Max car speed	160 km/h
Battery Type	Lithium-ion
Peukert coefficient	1.0
Number of cells	192
Cell voltage	3.3
Capacity (Ah)	60
Accessories loss	250 W
limit discharge	80%
Open circuit voltage	Constant
Road condition	Long smooth surface
Driving cycle	Modified SFUD
Driving Range (EPA)	117 km



รูปที่ 23 ผลการจำลองระยะทางที่ได้ต่อการประจุ (DoD) ของรถยนต์ นิสสันลีฟ

การวิเคราะห์การจำลองรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง

ผลการจำลองสมรรถนะของรถยนต์ไฟฟ้าในรูปที่ 24 นั้นบ่งชี้ว่าการใช้ระบบเซลล์เชื้อเพลิงเป็นแหล่งพลังงานจะทำให้สมรรถนะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แหล่งพลังงานจากแบตเตอรี่ลิเทียม โดยดูจากข้อกำหนดของเวลาในการออกตัวของรถยนต์ไฟฟ้าจาก 0 ถึง 100 km/hr จากการใช้กำลังสูงสุดของมอเตอร์ ซึ่งรถยนต์ไฟฟ้าจำลองจะใช้เวลาประมาณ 20 วินาที ในการออกตัว ส่วนถ้าใช้แบตเตอรี่จะใช้เวลา 24 วินาทีในการออกตัวซึ่งใช้เวลามากกว่ารถยนต์ไฟฟ้าที่ติดตั้งระบบเซลล์เชื้อเพลิง ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยด้านน้ำหนักที่มากกว่า ทำให้รถยนต์ไม่คล่องตัวเมื่อเปรียบเทียบกับแล้ว อย่างไรก็ตามอาจจะไม่มีผลต่อการขับขี่จริงมากนักเพราะถ้าขับขี่ในเมืองอาจจะไม่ต้องใช้ความเร็วสูงนัก



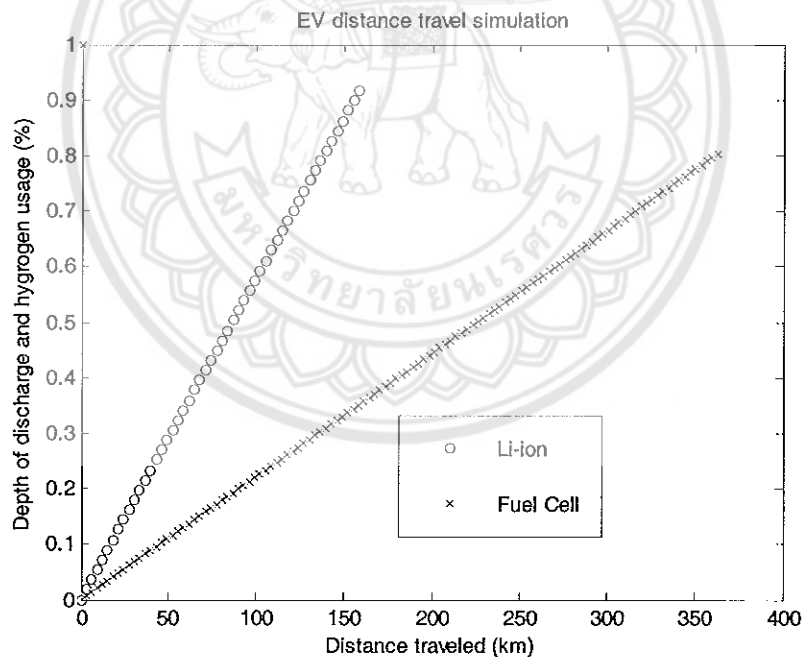
รูปที่ 24 การจำลองการทดสอบสมรรถนะของรถกระบะไฟฟ้าดัดแปลงโดยใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน และระบบเซลล์เชื้อเพลิง

ข้อได้เปรียบที่สำคัญของการใช้เซลล์เชื้อเพลิงเป็นแหล่งพลังงานสามารถแสดงได้ตามรูปที่ 25 โดยที่ระยะทางที่ได้ต่อการเติมเชื้อเพลิงจะเพิ่มจาก 140 กิโลเมตร ของการประจุแบตเตอรี่เป็น 363 กิโลเมตรเมื่อมีการเปลี่ยนมาใช้ระบบเซลล์เชื้อเพลิง โดยตัวเลขระยะทางอาจมีความคลาดเคลื่อน ไม่แน่นอนโดยขึ้นอยู่กับรูปแบบการขับขี่จริงและสภาพถนน อย่างไรก็ตามเราสามารถใช้เป็นข้อมูลประมาณเบื้องต้นอย่างมีเหตุผล โดยสามารถนำไปใช้ในการออกแบบระบบและตัวแปรชิ้นส่วนเบื้องต้น ซึ่งความถูกต้องใกล้เคียงกับการทดสอบจริงจะขึ้นอยู่กับความน่าเชื่อถือของข้อมูลและตัวแปรของรถยนต์และส่วนประกอบ

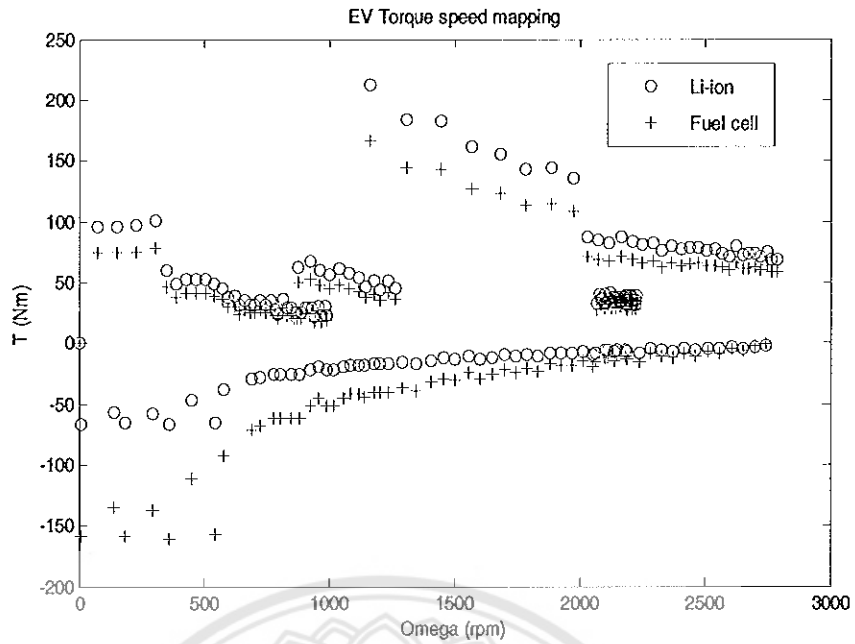
ข้อมูลที่เป็นประโยชน์อีกอย่างจากการใช้การออกแบบด้วยการสร้างแบบจำลองก็คือ สามารถคำนวณหาลักษณะการขับเคลื่อนของมอเตอร์และแผนภาพแรงบิดดังรูปที่ 26 โดยรถยนต์ไฟฟ้าตามทฤษฎีที่ใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเป็นแหล่งจ่ายพลังงานจะใช้ต้องแรงบิดที่มีค่าวกสูงโดยเฉพาะกรณีที่มีการเร่งของรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปเป็นข้อมูลสำหรับการคัดเลือกขนาดกำลังของมอเตอร์ได้ค่อนข้างสะดวก

โดยเมื่อรถระบบไฟฟ้ามีความเร่งตามวัฏจักรการขับขี่ MSFUD แรงบิดที่ต้องการใช้สำหรับการขับเคลื่อนจะมีค่าขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของมอเตอร์ อย่างไรก็ตามเมื่อรถยนต์ไฟฟ้าชะลอความเร็วลงจะค่าแรงบิดที่เป็นลบ โดยการแสดงแรงบิดที่เป็นลบจะบ่งชี้ถึงกระบวนการประจุพลังงานกลับเข้าแบตเตอรี่เมื่อมีการเบรกเกิดขึ้น

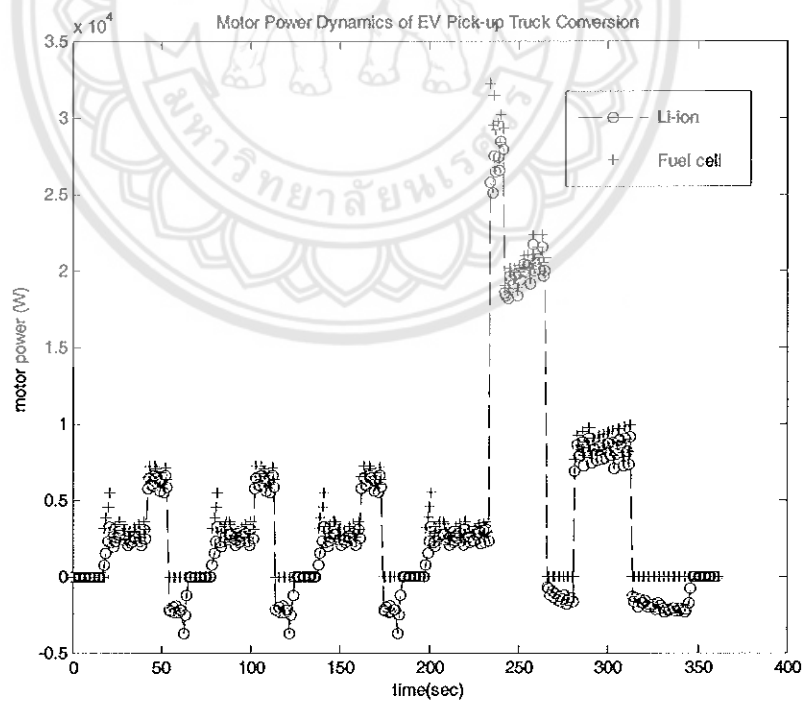
กำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ผลิตออกมาได้ระหว่างทำงานในรถยนต์ไฟฟ้าก็สามารถหาได้จากการสร้างแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 27 โดยรูปแบบของค่ากำลังที่มอเตอร์ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับวัฏจักรการขับขี่ในเมืองด้วย ซึ่งจะสังเกตได้ว่าในรถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้แบตเตอรี่จะแสดงถึงการประจุพลังงานกลับเมื่อมีการเบรกของรถยนต์ไฟฟ้า



รูปที่ 25 ระยะทางที่ได้ต่อการประจุแต่ละครั้งของรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงที่ใช้แหล่งพลังงานจากแบตเตอรี่และเซลล์เชื้อเพลิง [4-8]



รูปที่ 26 การจำลองการขับเคลื่อนโดยแสดงแผนภาพของค่าแรงบิดและความเร็วรอบของมอเตอร์จากแหล่งพลังงานสองรูปแบบ



รูปที่ 27 ค่าผลการจำลองพลศาสตร์กำลังของมอเตอร์สำหรับจักรการขับเคลื่อนในเมือง MSFUD โดยเปรียบเทียบระหว่างแหล่งพลังงานสองรูปแบบ

ถึงแม้ว่ารถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้แหล่งงานจากเซลล์เชื้อเพลิงจะให้ระยะทางต่อการเติมเชื้อเพลิงที่มากกว่า [4-13] การใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าก็ถือว่าเป็นทางเลือกที่สามารถปฏิบัติได้ในความเป็นจริงมากกว่าในอนาคตอันใกล้[4-5][4-6] เนื่องจากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนั้น สามารถพัฒนาได้จนวางตลาดและระยะทางที่ได้ต่อการประจุแต่ละครั้งก็เพียงพอต่อการใช้สำหรับการขนส่งสินค้าภายในบริเวณเขตเมืองและชุมชนแต่ละวันอยู่แล้ว (168 กิโลเมตร ต่อการประจุแต่ละครั้ง)[4-1] อีกทั้งยังสามารถใช้การประจุพลังงานกลับทุกครั้งที่มีการเบรกหรือชะลอความเร็วได้ อีกทั้งยังสามารถใช้การประจุจากปลั๊กไฟในบ้านได้จึงได้เปรียบด้านโครงสร้างพื้นฐาน [4-13] อย่างไรก็ตามการวิจัยและพัฒนาในด้านพลังงานทางเลือกก็จะทำให้มีการพัฒนาด้านเทคโนโลยีด้านเซลล์เชื้อเพลิงที่ดีและมีราคาถูกลงพอที่จะสามารถใช้กับรถยนต์ได้อย่างกว้างขวาง โดยมีการคาดการณ์ว่าจะมีการเปลี่ยนผ่านในเรื่องของแหล่งพลังงานไปสู่ยุคของไฮโดรเจนใน 30 ถึง 40 ปีข้างหน้า [4-5][4-6]. โดยการทบทวนการพัฒนาด้านยานยนต์ไฟฟ้าสามารถพบได้ในหลายบทความวิจัย [4-9][4-10][4-11]

สำหรับการพัฒนาการจำลองระบบ การประมาณด้านวิศวกรรมในการคำนวณจะเกิดขึ้นเพื่อสร้างรถยนต์ไฟฟ้าจำลองทางทฤษฎี เนื่องจากค่าตัวแปรไม่สามารถคำนวณหรือวัดได้โดยตรงโดยเฉพาะเมื่อยังไม่มี การสร้างรถยนต์ไฟฟ้าคันจริงขึ้นมา ฉะนั้นความคลาดเคลื่อนย่อมเกิดขึ้นระหว่างค่าที่ได้จากการทดสอบจริง และค่าที่ได้จากการจำลองจึงเป็นเรื่องที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ [4-2] อย่างไรก็ตามค่าที่คำนวณได้จะอยู่บนพื้นฐานที่มีความเป็นไปได้และเหมาะสมขึ้นอยู่กับความถูกต้องในรายละเอียดของตัวแปรที่ใช้ในการจำลองและสมรรถนะการคำนวณของคอมพิวเตอร์ [4-4]

อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากการจำลองสามารถทำการรับรองได้โดยการทดสอบกับค่าที่ได้จากการทดสอบรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงต้นแบบ สำหรับการวิจัยนี้ยังอยู่ระหว่างดำเนินการสร้างรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงจากรถกระบะเพื่อใช้ทดสอบเปรียบเทียบค่าที่ได้จากทางทฤษฎีกับค่าที่ได้จากการทดสอบซ้ำๆ โดยการทดสอบการซ้ำนี้จะดำเนินการได้เมื่อมีการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้าต้นแบบที่พร้อมแล้ว

4.1.5 สรุป

หลักการออกแบบระบบรถยนต์ไฟฟ้าโดยการสร้างแบบจำลองสามารถนำมาใช้ในกระบวนการออกแบบรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อการขนส่งสินค้าได้เพราะสามารถลดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการออกแบบลงได้ โดยสามารถช่วยลดความผิดพลาดและคลาดเคลื่อนระหว่างการออกแบบได้ ข้อมูลที่ได้จากการจำลองสามารถนำมาใช้ในการทำนายตัวแปรของรถยนต์ไฟฟ้าที่มีความสำคัญสำหรับการสร้างหรือประกอบรถยนต์ไฟฟ้าเช่น สมรรถนะและระยะทางที่ได้ต่อการประจุแต่ละครั้ง การจำลองรถยนต์กระบะไฟฟ้าที่ใช้แหล่งพลังงานจากแบตเตอรี่และจากเซลล์เชื้อเพลิงนั้นพบว่าระยะทางที่ได้ถ้าติดตั้งระบบเซลล์เชื้อเพลิงจะมีระยะมากกว่าเกือบสองเท่าตัว อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติแหล่งพลังงานจากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนยังเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่าในปัจจุบันและอนาคตอันใกล้ส่วนการใช้ระบบเซลล์เชื้อเพลิงยังเป็นทางเลือกสำหรับอนาคต

4.1.6 เอกสารอ้างอิงทางวิชาการ

- [4-1] Albertin, J. L., and Jussani, A.C., "Concept of an Urban Family Electric Vehicle," presented at the 20th SAE Int. Con. Exh., Brazil, October 4th to 6th, 2011.
- [4-2] Butler, K.L., Ehsani, M., and Kamath,P., "A Matlab-Based Modeling and Simulation Package for Electric and Hybrid Electric Vehicle Design," IEEE Tran. On Vehicle Tech.48 (6):1770-1778,1999.
- [4-3] Campanari, S., Manzolini, G., and Iglesia F.G., "Energy Analysis of Electric Vehicles Using Batteries or Fuel Cells through Well-to-wheel Driving Cycle Simulations," J. Power Sources 186:464-477,2009.
- [4-4] Gao, D.W., Mi, C., and Emadi, A., "Modeling and Simulation of Electric and Hybrid Vehicles," IEEE95 (4):729-745,2009.
- [4-5] Jain, A., Agrawal, S., "An Analysis of Trends in Vehicle Technologies based on Alternatives Fuel: Batteries Electric Vehicles and Fuel Cell Electric Vehicles," SAE 2011-01-1743,2011.
- [4-6] Jorgensen, K., "Technologies for Electric, Hybrid and Hydrogen Vehicles: Electricity from Renewable Energy Sources in Transport," Util. Policy 16:72-79,2008.
- [4-7] Kaloko, B.S., Soebagio, Purnomo, M.H., "Design and Development of Small Electric Vehicle Using Matlab/Simulink," Int. J. of Comp. App. 24(6):19-23,2011.
- [4-8] Larminie, J., and Lowry, J., "Electric Vehicle Technology Explained," 2nd Ed., John Wiley & Sons, Ltd, UK, ISBN 0-470-85163-5, 2003.
- [4-9] Li, Z.J., Chen, X.L., and Ding, M., "Well-to-wheel Energy Consumption and Pollutant Emissions Comparison between Electric and Non-electric Vehicles: a Modeling Approach," Procedia Envi. Sci. 13:550-554, 2012.
- [4-10] Mierlo, J.V., Maggetto, G., and Lathire, Ph., "Which Energy Source for Road Transport in the Future? A Comparison of Battery, Hybrid and Fuel Cell Vehicles," Energy Conv. Manag. 47:2748-2760,2006.

[4-11] Offer, G.J., Howey, D., Contestabile, M., Clague, R., and Brandon, N.P., "Comparative Analysis of Battery Electric, Hydrogen Fuel Cell and Hydrogen Vehicles in a Future Sustainable Road Transport System," Energy Policy 38:24-29, 2010.

[4-12] Terras, J. M. F., Neves, A., Sousa, D.M., and Roque, A., "Modeling and Simulation of Commercial Electric Vehicle," presented at The 13th Int. IEEE A. Conf. on Intel. Tran. Sys., Portugal, September 19-20, 2010.

[4-13] Thomas, C.E., "Fuel Cell and Batteries Electric Vehicles Compared," Int. J. Hydrogen Energy 39:6005-6020.

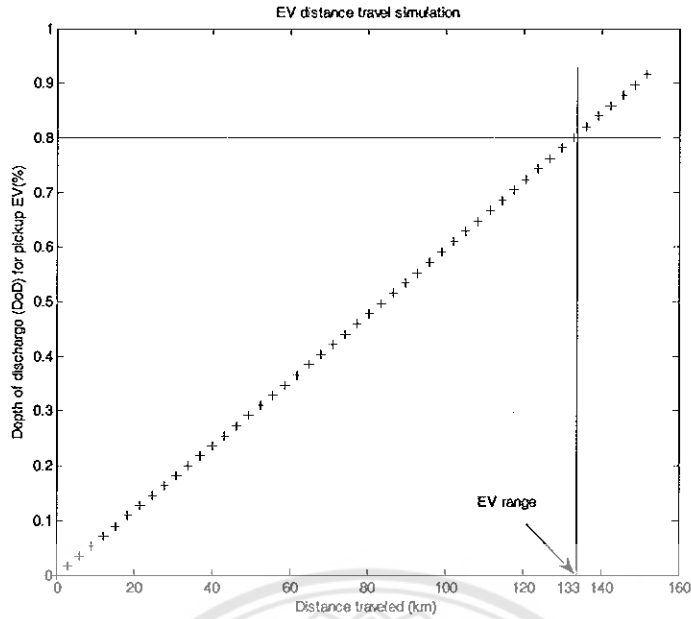
4.1.7 ขยายคำย่อ

EV	electric vehicle
DoD	dept of discharge
Li-ion	Lithium ion
PEM	Polymer electrolyte membrane

4.2 ผลการประกอบรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงต้นแบบจากรถกระบะเก่า

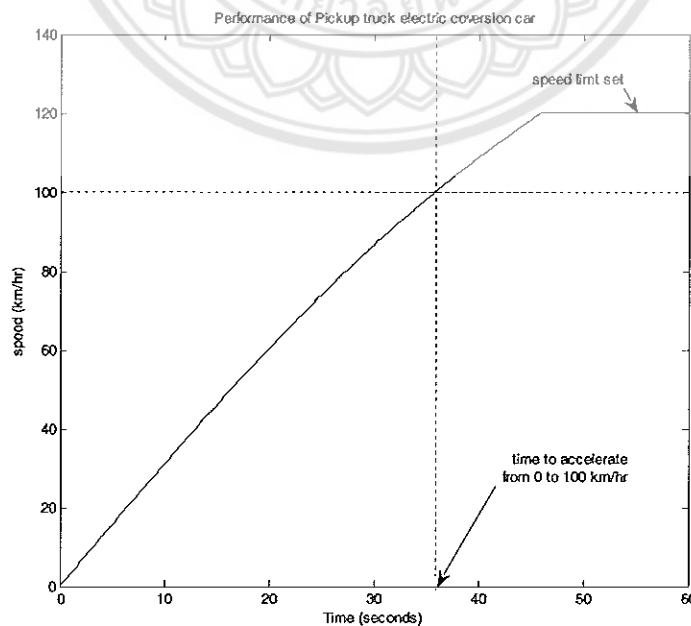
4.2.1 การออกแบบรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงโดยการสร้างแบบจำลอง

ในการดำเนินโครงการวิจัยนี้ได้นำหลักการออกแบบโดยการสร้างแบบจำลองของรถยนต์ไฟฟ้าซึ่งได้อธิบายไว้อย่างละเอียดข้างต้น ซึ่งเมื่อการประยุกต์ใช้กับการดัดแปลงรถกระบะนี้ จะใช้ข้อมูลลักษณะจำเพาะเดิมของรถยนต์รุ่นโตโยต้า ไมตี้เอ็กซ์ ปี 1993 ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.1 แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลสำหรับแบตเตอรี่โดยจะใช้แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (lead-acid) ขนาด 12 V ที่ความจุ 100 Ah โดยจะใช้จำนวน 28 ลูก โดยแต่ละลูกจะมีจำนวนเซลล์เท่ากับ 6 เซลล์ เพื่อให้สอดคล้องกับการดัดแปลงรถกระบะต้นแบบจริง แต่ชุดขับเคลื่อนยังใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนชุดเดิมที่ขนาด 22 kw ซึ่งจากผลการจำลองสามารถทำนายระยะทางต่อการประจุแต่ละครั้งอยู่ที่ 133 กิโลเมตร ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานขนส่งสินค้าได้ต่อวันดังแสดงในรูปที่ 28



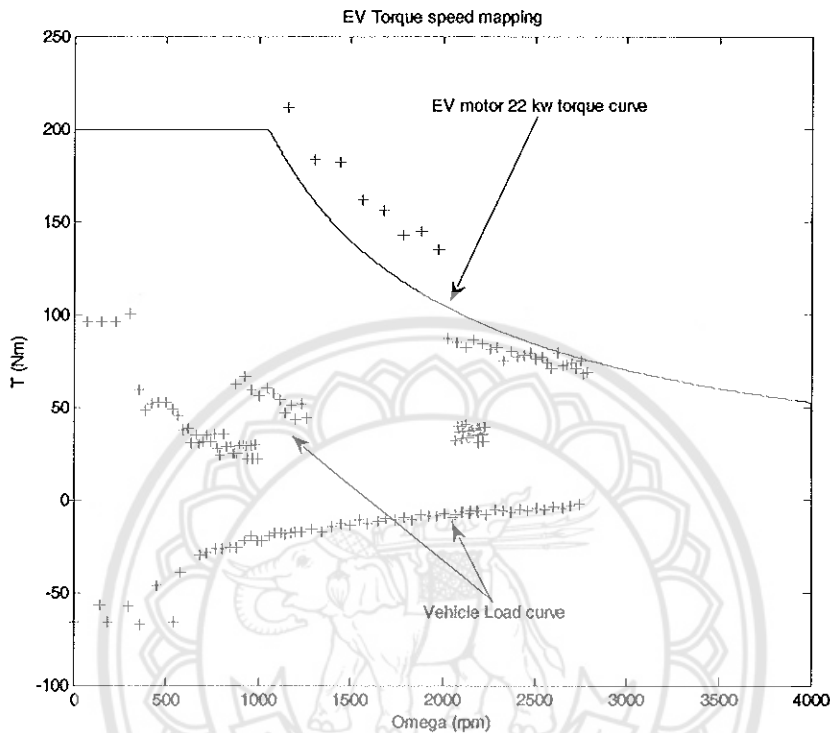
รูปที่ 28 ผลการจำลองการขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้าที่ดัดแปลงจากรถกระบะโดยใช้แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด สำหรับการสร้างรถยนต์ไฟฟ้าต้นแบบ

ผลการจำลองสมรรถนะของรถยนต์ไฟฟ้าต้นแบบพบว่าดังแสดงในรูปที่ 29 พบว่ามีการออกตัวจากหยุดนิ่งไปที่ 100 km/hr ที่กำลังสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 36 วินาทีซึ่งเป็นไปตามที่คาดไว้เนื่องจากมีการบรรทุกแบตเตอรี่ที่มีน้ำหนักมากกว่า 840 กิโลกรัม ซึ่งถ้าเทียบสมรรถนะกับการใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแล้วจะพบว่ามีสมรรถนะด้านการออกตัวที่ช้ากว่า แต่ไม่ส่งผลมากนักต่อการใช้งานขนส่งสินค้า



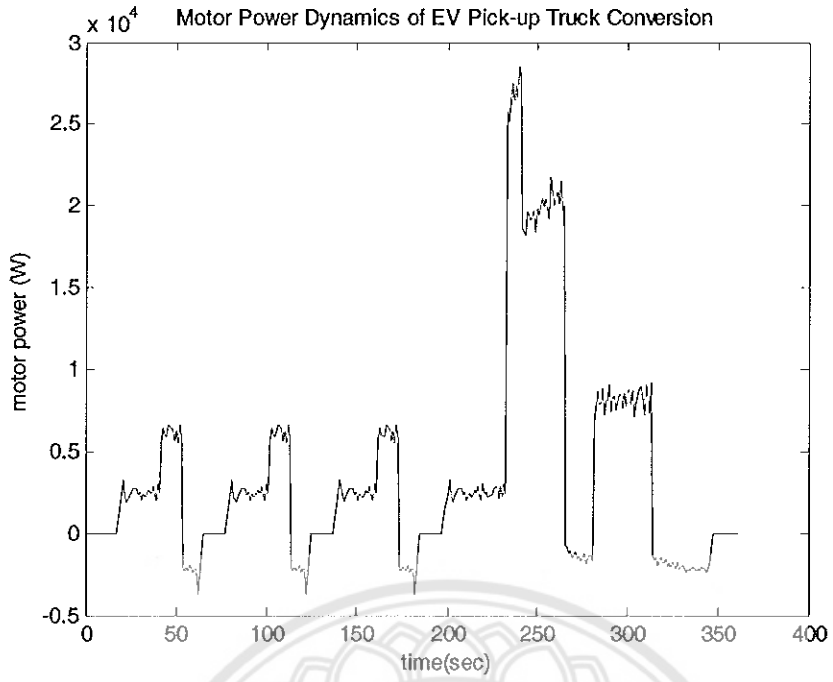
รูปที่ 29 ผลการจำลองสมรรถนะของรถยนต์ไฟฟ้าที่ดัดแปลงที่ใช้แบตเตอรี่ตะกั่วกรดเป็นแหล่งพลังงาน

ผลการจำลองแผนภาพแรงบิดและความเร็วรอบบ่งชี้ว่ากำลังของมอเตอร์ไฟฟ้านั้นเพียงพอต่อการขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อตอบสนองต่อรูปแบบการขับขี่ที่ได้กำหนดไว้ มีเพียงบางส่วนของที่อาจจะมีการชะลอความเร็วลงบ้างสังเกตได้จากในกรณีที่แรงบิดที่ต้องการมีค่ามากกว่าแรงบิดที่สามารถจ่ายได้โดยมอเตอร์ไฟฟ้า ดังแสดงได้ในรูปที่ 30

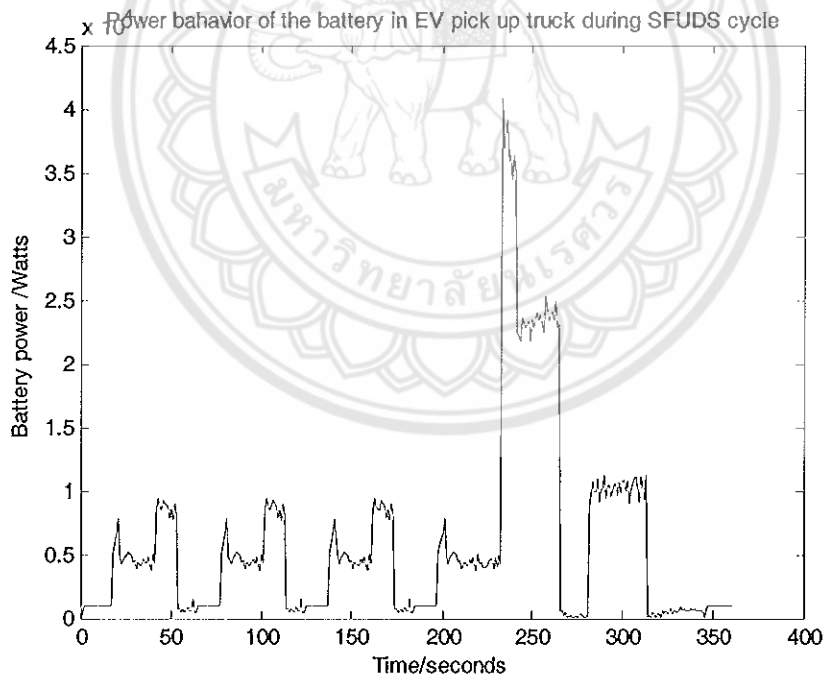


รูปที่ 30 แผนภาพแรงบิดกับความเร็วยรอบที่ได้จากการจำลองการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงที่ใช้ตะกั่วกรดเป็นแหล่งจ่ายพลังงาน

นอกจากนั้นข้อมูลอื่นๆของรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงก็สามารถนำมาวิเคราะห์กำลังที่ถ่ายโอนระหว่างมอเตอร์และแบตเตอรี่ได้ ดังแสดงได้ในรูปที่ 31 และ 32 โดยพบว่า รูปแบบการถ่ายโอนจะเป็นไปตามรูปแบบการขับขี่รถยนต์ไฟฟ้าในเมืองที่ได้กล่าวถึงข้างต้น และในส่วนของกำลังมีค่าเป็นลบของมอเตอร์คือช่วงที่มีการถ่ายโอนพลังงานกลับเข้าสู่แบตเตอรี่ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีการเบรกรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง



รูปที่ 31 ผลการจำลองการถ่ายโอนกำลังเข้าและออกจากชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า



รูปที่ 32 ผลการจำลองการถ่ายโอนกำลังเข้าและออกชุดแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

4.2.2 การประกอบชิ้นส่วนรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง

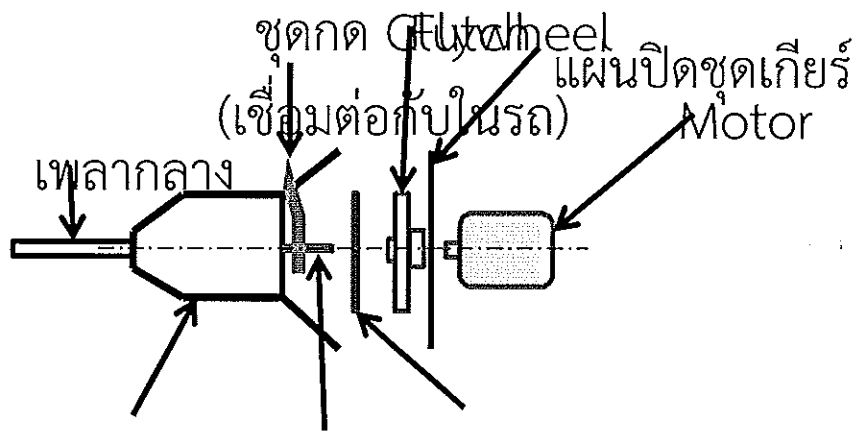
การประกอบชิ้นส่วนทางกล

การประกอบชิ้นส่วนทางกลจะเริ่มโดยการเตรียมโครงรถกระบะ ก่อนทำการถอดชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ออกนั้น ได้ทำการวัดระยะจากชุดเกียร์ไปจนถึงพื้น และวัดระยะจากฝากระโปรงลงมาถึงชุดเกียร์ รวมทั้งวัดระยะจากชุดเกียร์ไปยังจุดต่างๆบนห้องเครื่องเพื่อใช้เป็นจุดบ่งชี้ตำแหน่งเมื่อสวมชุดเกียร์กลับเข้ามาอีกครั้ง หลังจากนั้นได้ทำการถอดชิ้นส่วนเครื่องยนต์และชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องออก ได้แก่ เทของเหลวจำพวก น้ำมันเครื่อง น้ำมันเบรก ถอดแบตเตอรี่ และสายต่อไปยังเครื่องยนต์และคันเร่งออก จากนั้นถอดฝากระโปรงชุดระบายความร้อนเครื่องยนต์ออก ดึงพัดลมระบายความร้อนออก นำน้ำหล่อเย็นและสายยางออก และนำชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับถังน้ำมันออก จากนั้นได้ทำการถอดเครื่องยนต์ออก ถอดถังน้ำมันและท่อไอเสียออก เก็บชิ้นส่วนในห้องเครื่องเพื่อกำหนดช่องสำหรับการติดตั้งชุดขับเคลื่อนมอเตอร์และชิ้นส่วนไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ดังแสดงในรูปที่ 33



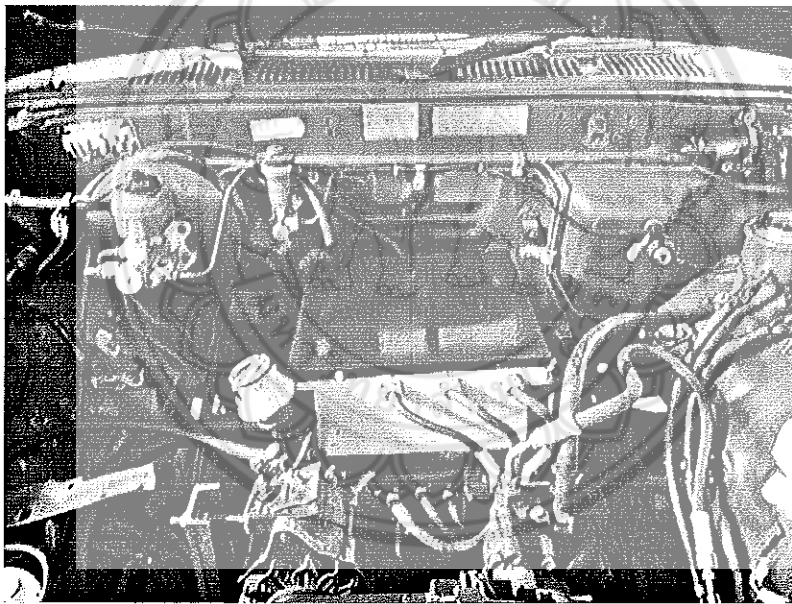
รูปที่ 33 การเตรียมโครงสร้างรถกระบะเพื่อใช้ดัดแปลงโดยการเปลี่ยนชุดขับเคลื่อนจากเครื่องยนต์เป็นมอเตอร์ไฟฟ้า

จากนั้นได้เตรียมส่วนประกอบเพื่อติดตั้งมอเตอร์ไปที่ หน้าคลัช โดยได้กำหนดตำแหน่งวางมอเตอร์ไว้อาศัยตำแหน่งของชุดเกียร์ที่ได้ทำการวัดและทำตำหนิไว้ โดยกำหนดระยะจาก flywheel ไปที่ คลัช และใช้การปรับระยะโดยใช้แผ่น adapter ดังแสดงในรูปที่ 34 จากนั้นทำการยึดมอเตอร์ให้ติดกับตัวถังโดยการทำชิ้นส่วนรองรับตัวมอเตอร์และยึดกับผนังในตัวถัง ทั้งนี้การยึดจะต้องคำนึงตำแหน่ง alignment ของเพลามอเตอร์และเพลารถกระบะต้องตรงกัน ดังแสดงในรูปที่ 35 จากนั้นทำการทดสอบโดยการหมุนล้อและสังเกตการณ์หมุนที่เพลามอเตอร์ว่ามีอาการหมุนตามหรือไม่



Gear box แกน Gear

รูปที่ 34 แผนภาพแสดงการยึดเฟลาของมอเตอร์เข้ากับเฟลาของรถกระบะโดยต้องให้แกนของทั้งคู่ตรงกัน



รูปที่ 35 การติดตั้งชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าภายในห้องเครื่องของรถกระบะ

จากนั้นได้ทำการสร้างฐานรองแบตเตอรี่ซึ่งใช้แผ่นเหล็กวางพาดและเชื่อมแบบตารางที่กระบะแล้วใช้แผ่นไม้อัดวางทับอีกชั้น เพื่อใช้รองแบตเตอรี่ที่จะบรรจุลงไป ส่วนช่วงล่างได้ทำการปรับแทนให้แข็งแรงขึ้นเพื่อรับน้ำหนักการบรรทุกของแบตเตอรี่

การประกอบชิ้นส่วนทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

ในส่วนของการติดตั้งชิ้นส่วนทางไฟฟ้า ได้แบ่งส่วนงานออกเป็น 4 ส่วนได้แก่ ส่วนประกอบที่มีแรงดันสูง ส่วนที่มีแรงดันต่ำ ส่วนการประจุแบตเตอรี่ และส่วนการต่อสายไฟฟ้า โดยการต่อสายดินจะกำหนดให้ส่วนที่มีกระแสไหลผ่านสูงจะให้ต่อแบบลอย ส่วนที่มีแรงดันต่ำจะให้ต่อสายดินลงกับตัวถัง ส่วนที่เกี่ยวข้องกับการประจุจะให้ต่อลงกับตัวถังเช่นกัน นอกจากนี้ยังได้ติดตั้งเบรกเกอร์และชุดฟิวส์เพื่อป้องกันกระแสลัดวงจร และเพื่อความปลอดภัยขณะทำงาน

โดยการจัดพวกชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับแรงดันสูงและเชื่อมต่อกับสายไฟแรงดันสูง ได้แก่ มอเตอร์ ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ เบรกเกอร์ ชุดรีเลย์ ชุดฟิวส์ และสายไฟฟ้าที่ต่อออกมาจากอุปกรณ์ดังกล่าว การต่อสายลงดินจะเป็นแบบลอย ไม่ต่อลงไปที่ตัวถังเพื่อป้องกันอันตรายที่เกิดจากไฟฟ้าลัดวงจรที่ตัวถัง

ในส่วนของการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำ ก็จะเกี่ยวข้องกับอุปกรณ์จำพวก ทุญแจสวิทช์สตาร์ท คันเร่งไฟฟ้า อุปกรณ์แสดงผล และอุปกรณ์ตัดกระแสไฟฟ้า อุปกรณ์แปลงแรงดันไฟฟ้าเป็น 12 โวลต์ และ เซฟตี้ฟิวส์ โดยการติดตั้งอุปกรณ์จะติดตั้งอุปกรณ์ฟิวส์ไว้แต่ละจุดเพื่อป้องกันความเสียหาย และการติดตั้งจะสังเกตที่การแสดงขั้วไฟฟ้าและการต่อลงสายดินที่เหมาะสมโดยการต่อลงสายดินในกรณีนี้จะต่อลงกับตัวถังโดยต่อขั้วลบของแบตเตอรี่ 12V ลงที่ตัวถัง

ในส่วนของเครื่องประจุกระแสไฟฟ้าจะแยกออกจากตัวรถยนต์ไฟฟ้าโดยจะทำการอัดกระแสเข้าที่แรงดัน 330 โวลต์โดยใช้ไฟฟ้าชนิด 3 เฟส เพื่อใช้สำหรับการต่อสายดินลงกับตัวถังเมื่อมีการอัดกระแสเข้าแบตเตอรี่ โดยการติดตั้งแบตเตอรี่จะบรรจุแบตเตอรี่ที่บริเวณท้ายรถกระบะ เพราะสามารถรองรับน้ำหนักได้มาก สำหรับการต่อแบตเตอรี่เข้าด้วยกันและสามารถตรวจสอบได้จากการเช็คแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ทั้งหมดว่าเป็น 330 V หรือไม่ ส่วนแบตเตอรี่ 12 V จะติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งเดิมภายในห้องเครื่อง

ในการประกอบรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบการทำงานของทั้งส่วนประกอบทางกลและส่วนประกอบทางไฟฟ้าก่อนที่จะสามารถนำไปทดสอบภาคสนามได้ ดังนั้นจึงต้องมีการทดสอบในกรณีที่ย่อยขึ้นก่อนทั้งในส่วนการขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า การประจุแบตเตอรี่ การทำงานของเพลลา การระบายความร้อนในส่วนต่างๆ การตรวจการต่อสายไฟและอุปกรณ์เซฟตี้ทางไฟฟ้าเช่น ฟิวส์และเบรกเกอร์ การต่อลงดินของสายไฟแรงดันสูงและต่ำ และการทำงานของพวงมาลัย เบรก รวมทั้งคันเร่งว่าสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้และเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องก่อนนำไปทดสอบภาคสนาม

4.3 ผลงานการตีพิมพ์และเผยแพร่ในระดับนานาชาติ

Ukaew, A., "Model based system design for electric vehicle conversion," Intech "New Trends in Electrical Vehicle Powertrains - Reliability and Resilience", ISBN 978-953-51-6246-9, 2018.

5. ภาคผนวก

5.1 เอกสารอ้างอิงของโครงการวิจัย

[1] แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พศ 2554- 2573) กระทรวงพลังงาน

[2] ข้อมูลสถิติยานยนต์ในประเทศ สำนักสถิติ กรมการขนส่งทางบก กระทรวงคมนาคม

[3] Ehsani M., Gao Y., Emadi A., "Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamental Theory and Design," 2nd Ed. CRC Press 2010.

[4] Elmadi A. (Ed.), "Handbook of automotive power electronics and motor drives," Taylor & Francis CRC press, NY 2005.

[5] Fuhs A. "Hybrid Vehicles and the future of Personal Transportation," CRC Press 2009.

[6] Larminie, J., Lowry J., "Electric Vehicle Technology Explained," John Wiley & Sons, Ltd 2003.

[7] Leitman S., Brant B., "Build Your Own Electric Vehicle," 2nd Ed. McGraw Hill 2009.

[8] Ukaew, A. "Model based system design and simulation of electric vehicle conversion: low-cost design process" ICAE-7 2011.

[9] Waltermann P, "Hardware in the loop: The technology for testing electronic controls in the automotive engineering," Tran. 6th Paderborn Workshop 2009.