ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์

การออกแบบเกณฑ์สำหรับการจัดการพลังงานในยานพาหนะไฮบริด
CRITERION DESIGN FOR ENERGY MANAGEMENT IN HYBRID VEHICLE

นายกันต์พงษ์ กุญชร ณ อยุธยา รหัสนิสิต 53361795
นายวรพงษ์ ตาทอง รหัสนิสิต 53362211
นายรัฐศาสตร์ โรจน์ธนากร รหัสนิสิต 53362198

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 20 ก.ค. 2558
เลขทะเบียน 1b914135
เลขเรียกหนังสือ ปร
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๑๙๘๑ ก ๒๕๕๖

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2556

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การออกแบบเกณฑ์สำหรับการจัดการพลังงานในยานพาหนะไฮบริด Criterion design for Energy Management in Hybrid Vehicle		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายกันต์พงษ์	กุญชร ณ อยุธยา	รหัสนิสิต 53361795
	นายรัฐศาสตร์	โรจน์ธนากร	รหัสนิสิต 53362198
	นายวรพงษ์	ตาทอง	รหัสนิสิต 53362211
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์ สุรเจษฎ์ สุขไชยพร		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	2556		

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์**ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง**ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

Surajed S. .....ที่ปรึกษาโครงงาน
(อาจารย์ สุรเจษฎ์ สุขไชยพร)

.....กรรมการ
(ผศ.ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ชูพงศ์ ช่วยเพ็ญ)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การออกแบบเกณฑ์สำหรับการจัดการพลังงานในยานพาหนะไฮบริด		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายกันต์พงษ์	กุญชร ณ อยุธยา	รหัสนิสิต 53361795
	นายรัฐศาสตร์	โรจน์ธนากร	รหัสนิสิต 53362198
	นายวรพงษ์	ตาทอง	รหัสนิสิต 53362211
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์ สุรเจษฎ์ สุขไชยพร		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	2556		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเกณฑ์ในการออกแบบระบบจัดการพลังงานในยานพาหนะไฮบริด โดยพิจารณาตัวแปรที่มีความสำคัญได้แก่ สถานะสูงของประจุในแบตเตอรี่ (Higher state of charge, H_{soc}) สถานะต่ำของประจุในแบตเตอรี่ (Lower state of charge, L_{soc}) ค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) และค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) โดยทำการปรับเปลี่ยนตัวแปรเพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ สำหรับการทดลองในส่วนของการปรับเปลี่ยนสถานะสูงของประจุในแบตเตอรี่ (Higher state of charge, H_{soc}) และสถานะต่ำของประจุในแบตเตอรี่ (Lower state of charge, L_{soc}) ได้สร้างกราฟความสัมพันธ์กับอัตราการใช้น้ำมันในหน่วยกิโลเมตรต่อลิตร และสำหรับการทดลองในส่วนการปรับเปลี่ยนค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) และค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) ได้สร้างกราฟความสัมพันธ์กับอัตราการใช้พลังงานในหน่วยวัตต์ต่อเมตร แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์เกณฑ์สำหรับค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการออกแบบระบบจัดการพลังงาน โดยได้กำหนดให้สถานะต่ำของประจุในแบตเตอรี่ (Lower state of charge, L_{soc}) มีค่าตั้งแต่ 5% ถึง 50% และสถานะสูงของประจุในแบตเตอรี่ (Higher state of charge, H_{soc}) มีค่าตั้งแต่ 50% ถึง 100% สำหรับสถานะเริ่มต้นของประจุในแบตเตอรี่ (Initial state of charge) ได้กำหนดให้มีค่าเท่ากับสถานะต่ำของประจุในแบตเตอรี่ (Lower state of charge, L_{soc}) เพื่อให้สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้น้ำมันในระยะเวลาขับขี่ในแบบจำลอง 16 วินาทีได้ และในส่วนของค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) และค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) ได้กำหนดให้มีค่าตั้งแต่ 3 kW ถึง 11 kW และ 6 kW ถึง 15 kW ตามลำดับ

จากการทดลองได้ผลการทดลองในส่วนของสถานะสูงของประจุในแบตเตอรี่ (Higher state of charge, H_{soc}) และสถานะต่ำของประจุในแบตเตอรี่ (Lower state of charge, L_{soc}) สำหรับสถานะสูงของประจุในแบตเตอรี่ (Higher state of charge, H_{soc}) พบว่า การปรับเปลี่ยนสถานะสูงของประจุในแบตเตอรี่ (Higher state of charge, H_{soc}) ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้น้ำมัน เนื่องจากการขับเคลื่อนรถยนต์มีการชาร์จประจุในแบตเตอร์รี่ไม่ถึงระดับของสถานะสูงของประจุในแบตเตอรี่ (Higher state of charge, H_{soc}) และสำหรับสถานะต่ำของประจุในแบตเตอรี่ (Lower state of charge, L_{soc}) ที่กำหนดให้เท่ากับสถานะเริ่มต้นของประจุในแบตเตอรี่ (Initial

state of charge) พบว่าค่าที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 12% ถึง 17%, 24% ถึง 30%, 34% ถึง 40% และตั้งแต่ 46% ขึ้นไป ที่อัตราการใช้น้ำมัน 52.66 กิโลเมตรต่อลิตร ดังนั้นเกณฑ์ในการกำหนดสถานะต่ำของประจุในแบตเตอรี่ (Lower state of charge, L_{soc}) ให้หลีกเลี่ยงช่วงที่ให้อัตราการใช้น้ำมันไม่คงที่ เนื่องจากอาจส่งผลให้อัตราการใช้น้ำมันมีค่าต่ำกว่าอัตราการใช้น้ำมันสูงสุดที่สถานะต่ำของประจุแบตเตอรี่ (Lower state of charge, L_{soc}) ค่าอื่น และในส่วนค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) พบว่าการปรับเปลี่ยนค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) ยิ่งมีค่ามาก อัตราการใช้พลังงานยิ่งมีความคุ้มค่ามาก เนื่องจากเครื่องยนต์เริ่มต้นทำงานที่กำลังสูง สำหรับค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) พบว่าค่าที่เหมาะสมมีค่าตั้งแต่ 6 kW ดังนั้นเกณฑ์ในการกำหนดค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) พิจารณาจากขีดจำกัดสูงสุดที่มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถทำงานได้ เพื่อให้เครื่องยนต์เริ่มต้นทำงานที่กำลังสูง สำหรับค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) ควรกำหนดให้มีค่ามากกว่า 6 kW และให้พิจารณาช่วงความกว้างระหว่างค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) กับค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) ช่วงความกว้างควรมีค่าไม่มากเกินไป หรือค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) ไม่ควรน้อยเกินไปเพราะจะทำให้เครื่องยนต์ทำงานที่กำลังต่ำ ซึ่งเครื่องยนต์จะไม่มีประสิทธิภาพ และช่วงความกว้างต้องไม่น้อยเกินไป เพราะจะทำให้การเปิดปิดการทำงานของเครื่องยนต์ไม่มีเสถียรภาพ

Project title	**Criterion design for energy management in hybrid vehicle**		
Name	Mr. Kuntpong	Kunchorn Na Ayutaya	Student ID. 53361795
	Mr. Ratthasart	Rotthanakorn	Student ID. 53362198
	Mr. Worapong	Tathong	Student ID. 53362211
Project advisor	Professor Surajed	Sookchaiyaporn	
Major	Mechanical Engineering		
Department	Mechanical Engineering		
Academic year	2013		

.....

Abstract

The objective of this research was to study criterion for energy management system design in hybrid vehicle by consider significant variables such as higher state of charge (H_{soc}), lower state of charge (L_{soc}) of battery and switch on point, switch off point of internal combustion engine, We varied the variables then making relativity graph with fuel expand rate (km/L) for Higher state of charge (H_{soc}) and Lower state of charge (L_{soc}) varying and making relativity graph with energy usage rate (W/m) generated by internal combustion engine for switch on point and switch off point varying and use these data to decide optimum variables and define the criterion design for use in energy management system, We assigned the lower state of charge equal initial state of charge was varied at 5% to 50% and the higher state of charge was varied at 50% to 100% and we assigned the switch on point was varied at 6 kW to 15 kW and the switch off point was varied at 3 kW to 11 kW.

The result of higher state of charge and lower state of charge varying, for the higher state of charge we found the higher state of charge changing not significant to fuel expand rate because the car displace not enough for battery charging to higher state of charge level and for the lower state of charge we found the optimum are 12% to 17%, 24% to 30%, 34% to 40% and more than 46% at fuel expand rate 52.66 km/L, for the switch on point and switch off point varying we found when increase switch on point will be increase the energy usage efficiency because the internal combustion engine start run at high power, for the switch off point we found the optimum are more than 6 kW, based on these the switch on point decide by considered the maximum power generate by electric motor according with high power internal combustion engine start run, for the switch off point should decide more than 6 kW and consider the width of these should be not too wide because it will be run the internal combustion engine at low power that is not efficiency run

and these should be too narrow because the on/off of the internal combustion engine will be not stable.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ อาจารย์ สุรเจษฎ์ สุขไชยพร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่ให้คำแนะนำ ความเอาใจใส่ในการจัดทำโครงงานฉบับนี้ ขอขอบคุณที่สละเวลาในการให้คำปรึกษา ตรวจสอบความถูกต้อง ติดตามการดำเนินงาน ตลอดจนแนะนำแนวทางในการแก้ปัญหา จนโครงงานเล่มนี้สำเร็จลุล่วง คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว และ อาจารย์ ชูพงศ์ ช่วยเพ็ญ ที่กรุณารับเป็นกรรมการตรวจสอบโครงร่างปริญญานิพนธ์ และเป็นกรรมการตรวจสอบการสอบปริญญานิพนธ์ ตลอดทั้งให้ความรู้ คำแนะนำ ติชมในการดำเนินงาน และการนำเสนอโครงงาน ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการดำเนินโครงงาน คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ

สุดท้าย ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาเครื่องกล และอาจารย์ทุกท่านที่อบรมสั่งสอน ให้ความรู้ด้านวิชาการ คำแนะนำในการทำงาน ตลอดจนการใช้ชีวิต ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง หากมีสิ่งผิดพลาดประการใดในโครงงานฉบับนี้ ตลอดจนระหว่างดำเนินโครงงาน คณะผู้จัดทำกราบขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำโครงงาน

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูป ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2
1.3 ขอบเขตการทำโครงงาน 2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 3
1.5 แผนการดำเนินงาน 3
1.6 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน 4

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น 5
2.1 ระบบรถยนต์ไฮบริด 5
2.2 มอเตอร์ไฟฟ้าในรถยนต์ไฮบริด 11
2.3 Atkinson cycle 11
2.4 โปรแกรม Matlab 15

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน 16
3.1 ศึกษาแบบจำลองรถยนต์ไฮบริด 16
3.2 การออกแบบการทดลอง 25
3.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 29

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ 30
4.1 Higher state of charge และ Lower state of charge 30
4.2 Switch on point และ Switch off point 34

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 42
5.1 สรุปผล 42
5.2 ข้อเสนอแนะ 43

เอกสารอ้างอิง 44

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก..... 46

ประวัติผู้จัดทำโครงงาน..... 53

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 ตารางอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง..... 30
ตารางที่ 4.2 ตารางอัตราการใช้พลังงาน..... 35

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ระบบไฮบริดแบบอนุกรม 6
รูปที่ 2.2 ระบบไฮบริดแบบขนาน 7
รูปที่ 2.3 ระบบไฮบริดแบบรวมอนุกรม/ขนาน 8
รูปที่ 2.4 Diving Power Performance ของระบบรถยนต์ไฮบริดแบบรวมอนุกรม/ขนาน 8
รูปที่ 2.5 อัตราส่วนการทำงานระหว่างเครื่องยนต์และมอเตอร์ไฟฟ้าในระบบไฮบริด 9
รูปที่ 2.6 ตารางเปรียบเทียบระบบไฮบริด 10
รูปที่ 2.7 Motor Performance Curve 11
รูปที่ 2.8 Atkinson Cycle 12
รูปที่ 2.9 ภาพตัดขวางเครื่องยนต์ที่ใช้ Atkinson Cycle 13
รูปที่ 2.10 Performance Curve ของเครื่องยนต์ที่ใช้ ATKINSON CYCLE 14
รูปที่ 3.1 Planetary Gear ที่ใช้ในระบบรถยนต์ไฮบริด 16
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างผลการตอบสนองที่แสดงในรูปของกราฟ 19
รูปที่ 3.3 Flow chart การทำงานของแบบจำลอง 22
รูปที่ 3.4 แบบจำลองรถยนต์ไฮบริด (HEV Power train) 23
รูปที่ 4.1 กราฟอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ Higher state of Change ต่าง ๆ 32
รูปที่ 4.2 กราฟอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ Lsoc และ Isoc ต่าง ๆ 33
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Switch off point กับอัตราการใช้พลังงาน 36
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Switch on point กับ อัตราการใช้พลังงาน 38
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Switch on point Switch off point
และอัตราการใช้พลังงาน 40

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

จากแนวคิดการประหยัดพลังงาน อาทิ แนวคิดการลดการใช้พลังงาน แนวคิดเกี่ยวกับการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และการใช้พลังงานทดแทนในปัจจุบัน เป็นผลให้มีการทดลอง วิจัย และนำมาซึ่งผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ลดการใช้พลังงาน สามารถใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และใช้พลังงานทดแทนอื่น ๆ ทั้งหมดเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานทั้งทางตรง และทางอ้อม

รถยนต์ไฮบริดเป็นหนึ่งในผลผลิตที่เกิดจากการวิจัยเพื่อลดการใช้พลังงาน สามารถตอบสนองการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและใช้พลังงานทดแทนได้ ซึ่งเกิดจากการทำงานร่วมกันระหว่างเครื่องยนต์สันดาปภายใน เจนเนอเรเตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้า และแบตเตอรี่ประสิทธิภาพสูง โดยรถยนต์ไฮบริดจะมีระบบจัดการพลังงานที่สามารถตอบสนองการประหยัดพลังงานโดยการควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ เจนเนอเรเตอร์และมอเตอร์ไฟฟ้า โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขับเคลื่อนรถยนต์ที่ความเร็วต่ำ เนื่องจากเครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วต่ำไม่มีประสิทธิภาพ และใช้เจนเนอเรเตอร์ดูดซับพลังงานเก็บไว้ในแบตเตอรี่ขณะที่รถยนต์เบรก รวมทั้งสามารถใช้เจนเนอเรเตอร์เสริมกำลังกับมอเตอร์และเครื่องยนต์ เป็นต้น

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอการศึกษาตัวแปรสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการตอบสนองของระบบจัดการพลังงาน เพื่อให้รถยนต์ไฮบริดสามารถประหยัดการใช้เชื้อเพลิงได้สูงสุด ซึ่งเมื่อเทียบกับรถยนต์โดยทั่วไปแล้วมีความคุ้มค่ามากกว่าในระยะยาว โดยตัวแปรสำคัญเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานทั้งพลังงานจากเชื้อเพลิง และพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาตัวแปรสำคัญเหล่านี้เพื่อกำหนดชุดตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดให้กับระบบจัดการพลังงาน

โดยอาศัยความรู้ในการจำลองระบบด้วยโปรแกรม Matlab และแบบจำลองรถยนต์ไฮบริด คณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษาตัวแปรสำคัญในระบบจัดการพลังงานและทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรเหล่านี้เพื่อดูผลการตอบสนองต่อการใช้พลังงานของรถยนต์จากน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นสำคัญ ชุดตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานทั้งหมดนี้คือชุดตัวแปรที่มีผลต่อการประหยัดพลังงาน โดยจะแบ่งเป็นสองกลุ่ม คือ กลุ่มที่สามารถออกแบบได้ ได้แก่ สถานะต่ำของประจุในแบตเตอรี่ (Lower state of charge, Lsoc) สถานะสูงของประจุในแบตเตอรี่ (Higher state of charge, Hsoc) ค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (switch on point) และค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (switch off point) เป็นต้น และกลุ่มตัวแปรที่ไม่สามารถออกแบบได้ ได้แก่ กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ (maximum engine power) ความดันแบตเตอร์รี่ (battery voltage) เป็นต้น โดยกลุ่มตัวแปรที่สามารถออกแบบได้ จะถูกออกแบบด้วยกระบวนการ Optimization เพื่อใช้ในระบบจัดการพลังงานของรถยนต์ไฮบริดต่อไป และกลุ่มตัวแปรที่ไม่สามารถออกแบบได้จะกำหนดให้เป็นขอบเขตของการทดลอง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 ศึกษา หาชุดตัวแปรที่มีผลต่อการประหยัดเชื้อเพลิง และเป็นตัวแปรที่สามารถออกแบบได้ โดยพิจารณาตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้เชื้อเพลิงจากน้ำมันเป็นสำคัญ

1.2.2 ออกแบบชุดตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดที่สภาวะที่กำหนด ที่วัฏจักรขับทดสอบ (Driving Cycle) เดียวกัน

1.2.3 จำลองการทำงานของรถยนต์ไฮบริด จากชุดตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดที่สภาวะที่กำหนด ที่วัฏจักรขับทดสอบ (Driving Cycle) เดียวกัน เพื่อเปรียบเทียบกับชุดตัวแปรอื่น และหาเกณฑ์ในการกำหนดตัวแปรที่เหมาะสม

1.3 ขอบเขตการทำโครงงาน

1.3.1 รายละเอียด Driving Cycle ดังนี้

1) เริ่มต้น เหยียบคันเร่ง 70% เป็นเวลา 4 วินาที

2) ลดการเหยียบคันเร่ง เหลือ 10% เป็นเวลา 4 วินาที

3) เหยียบคันเร่งเพิ่มเป็น 85% เป็นเวลา 4 วินาที

4) ปล่อยคันเร่ง และเหยียบเบรก 70% เป็นเวลา 4 วินาที

รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 16 วินาที

1.3.2 รายละเอียดเบื้องต้นของแบบจำลอง

1) ข้อมูลทางกายภาพ

1.1) มวลรถรวมคนขับโดยประมาณ 1,325 กิโลกรัม

1.2) ระยะจุดศูนย์กลางมวลเหนือพื้น 0.5 เมตร

1.3) รัศมีล้อ 0.3 เมตร

2) ข้อมูลทางเทคนิค

2.1)เครื่องยนต์

กำลังสูงสุด 57 กิโลวัตต์

รอบเครื่องสูงสุด 6000 รอบต่อนาที

กำลังสูงสุดที่ 5000 รอบต่อนาที

2.2)แบตเตอร์รี่ Nickel-Metal-Hydride

Nominal Voltage 200 V

Fully Changed Voltage 235.5932 V

Rated Capacity 6.5 Ah

Maximum Capacity 7 Ah

Nominal Discharge Capacity 1.3 A

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1) ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับรถยนต์ไฮบริดและตัวแปรที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกใช้ต้นกำลังหรือส่งผลต่อประสิทธิภาพและการใช้พลังงานของรถยนต์ โดยพิจารณาเฉพาะพลังงานในส่วนของน้ำมัน
2) ทำการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในโปรแกรมจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาจุดที่คาดว่าเป็นจุดที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกใช้พลังงานของแบบจำลองรถยนต์ไฮบริด
3) ทดลองเปลี่ยนค่าของตัวแปรนั้น ๆ เพื่อหาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้พลังงานและดูว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดคือค่าใด หรือช่วงใด
4) วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาเกณฑ์ในการเลือก หรือกำหนดค่าตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานในส่วนที่มาจากเชื้อเพลิงน้ำมัน

1.5 แผนการดำเนินงาน

แผนการปฏิบัติงาน	ระยะเวลา							
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	มี.ค.	เม.ย.
ศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน	←	—	—	—	—	—	—	→
ศึกษาโปรแกรม MatLab			←	—	—	—	→	
ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของรถยนต์ไฮบริดที่นำมาใช้ในการทดลอง			←	—	—	—	—	→
ทดลองหาตัวแปรที่ออกแบบได้ในแบบจำลองซึ่งส่งผลกระทบต่อการเลือกใช้พลังงาน และการใช้พลังงานของรถยนต์ในแบบจำลอง						←	—	→
วิเคราะห์ผลการทดลอง แก้ไข สรุปผลการทดลอง						←	—	→
ทำรายงานและนำเสนอ								↔

1.6 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน

1. ค่าพิมพ์เอกสาร	1,000	บาท
2. ค่าเอกสารประกอบการทำโครงงาน	500	บาท
3. ค่าเข้าเล่มโครงงาน	1,500	บาท
รวมเป็นเงิน	3,000	บาท (สามพันบาทถ้วน)

หมายเหตุ ขออนุมัติถัวเฉลี่ยทุกรายการ

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 ระบบรถยนต์ไฮบริด

รถยนต์ไฮบริด คือ พาหนะที่ประกอบด้วยแหล่งต้นกำลังสองแหล่งหรือมากกว่าในระบบการขับเคลื่อน มีรถยนต์ไฮบริดอยู่มากมายหลายชนิด ถึงแม้ว่าจะมีเพียงรถยนต์ไฮบริดที่ใช้ระบบไฮบริดแบบเครื่องยนต์แก๊สโซลีนและไฟฟ้าเท่านั้นที่มีการการวางขายในปัจจุบัน ระบบรถยนต์ไฮบริดได้ถูกจำแนกไว้ตามคุณสมบัติ ได้แก่

2.1.1 แบ่งตามลักษณะอุปกรณ์ของระบบไฮบริด

1) ระบบรถยนต์ไฮบริดแบบ Full hybrid

รถยนต์ที่ใช้ระบบไฮบริดแบบ Full Hybrid จะสามารถเลือกใช้ต้นกำลังเพียงเครื่องยนต์อย่างเดียว มอเตอร์ไฟฟ้าอย่างเดียว หรือจะเลือกใช้พร้อมกันก็ได้ พาหนะชนิดนี้มีระบบแบ่งกำลังโดยเครื่องยนต์และมอเตอร์จะอยู่บนแกนเพลาแนวเดียวกันโดยมีระบบเฟืองแบ่งกำลังซึ่งเป็นระบบเกียร์แบบ Planetary Gear Train แล้วจึงส่งกำลังผ่านไปยังระบบส่งกำลังเพื่อนำไปขับเคลื่อนรถยนต์

2) ระบบรถยนต์ไฮบริดแบบ Mild hybrid

เป็นรถยนต์ปกติทั่วไปที่ได้เพิ่มอุปกรณ์ไฮบริดเข้าไปบางส่วน แต่ลักษณะพิเศษของระบบไฮบริดก็จะถูกจำกัดไปด้วย เช่น ขนาดของมอเตอร์และแบตเตอรี่จะเล็กกว่าในระบบรถยนต์ไฮบริดแบบ Full hybrid โดยจะเป็นระบบแบบขนานทำงานแบบ start-stop มอเตอร์ไฟฟ้ามีหน้าที่เลี้ยงกำลังเสริมบางครั้ง และมีระบบ Regenerative braking ส่วนที่แตกต่างจากรถยนต์แบบ Full Hybrid คือ รถยนต์แบบ Mild Hybrid จะไม่มีการหยุดการทำงานของเครื่องยนต์เพื่อที่จะเปลี่ยนไปใช้ระบบไฟฟ้าในการขับเคลื่อนเพียงระบบเดียว

3) ระบบรถยนต์ไฮบริดแบบ Micro hybrid

รถยนต์ระบบนี้จะไม่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ในการขับเคลื่อนโดยตรงเมื่อรถหยุดลงเครื่องยนต์จะหยุดทำงาน และจะเริ่มทำงานอีกครั้งเมื่อผู้ขับขี่กระตุ้นการทำงาน (เหยียบคันเร่ง) เครื่องยนต์จะถูกทำให้เริ่มทำงานอีกครั้งโดยทันทีด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ และชาร์จไฟฟ้าเพิ่มระหว่างช่วงเบรก หรือเลี้ยว

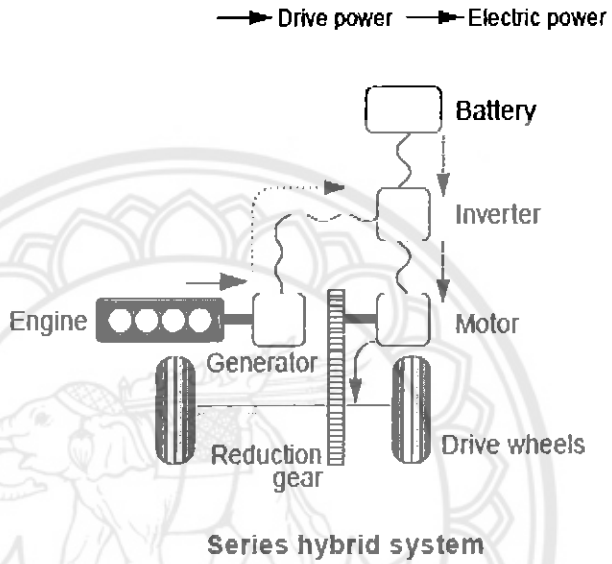
4) ระบบรถยนต์ไฮบริดแบบ Plug-in hybrid

ลักษณะเด่นของรถยนต์ไฮบริดประเภทนี้คือ นอกจากจะมีการชาร์จแบตเตอรี่แบบทั่วไปที่พบในรถยนต์ไฮบริดสามประเภทแรกแล้ว ยังสามารถชาร์จแบตเตอรี่จากแหล่งจ่ายไฟภายนอกได้ด้วย ซึ่งถ้าน้ำมันหมดก็สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้จากสถานที่ให้บริการและเดินทางต่อ ทำให้สามารถเดินทางได้ไกลกว่าเดิม

2.1.2 แบ่งตามลักษณะของระบบ

1) SERIES HYBRID SYSTEM

สำหรับระบบไฮบริดชนิดนี้ เครื่องยนต์จะมีหน้าที่ในการขับเคลื่อนเจนเนอเรเตอร์ และมอเตอร์ไฟฟ้าจะนำพลังงานไฟฟ้านี้ไปใช้ในการขับเคลื่อนรถยนต์ ระบบไฮบริดนี้จึงถูกเรียกว่า ระบบไฮบริดแบบอนุกรม เนื่องจากการหมุนเวียนพลังงานเป็นแบบอนุกรม

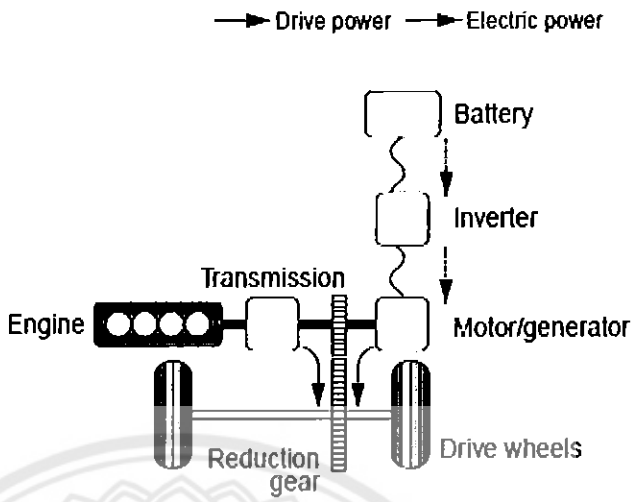


รูปที่ 2.1 ระบบไฮบริดแบบอนุกรม

รูปที่ 2.1 แสดงการไหลเวียนพลังงานของระบบไฮบริดแบบอนุกรม เครื่องยนต์ทำหน้าที่ขับเจนเนอเรเตอร์ได้พลังงานไฟฟ้า โดยพลังงานไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะถูกนำไปปรับความดันและส่งไปยังมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อขับเคลื่อนรถยนต์ทันที และอีกส่วนหนึ่งจะถูกปรับความดันและเก็บไว้ในแบตเตอรี่เพื่อสำรองใช้ในครั้งต่อไป

2) PARALLEL HYBRID SYSTEM

สำหรับระบบไฮบริดแบบขนาน การขับเคลื่อนรถยนต์จะมาจากทั้งเครื่องยนต์และมอเตอร์ไฟฟ้า กำลังจากทั้งสองแหล่งพลังงานจะถูกเลือกสรรโดยสอดคล้องกับเงื่อนไขการใช้งานที่ดีที่สุด ระบบนี้จึงถูกเรียกว่า ระบบไฮบริดแบบขนาน เนื่องจากการหมุนเวียนพลังงานเป็นแบบขนาน ในระบบไฮบริดชนิดนี้แบตเตอรี่จะถูกชาร์จโดยมอเตอร์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เป็นเจนเนอเรเตอร์ และไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จะถูกใช้ในการขับเคลื่อนรถยนต์ อย่างไรก็ตามเนื่องจากโครงสร้างง่าย ๆ นี้ ระบบไฮบริดแบบขนานจะไม่สามารถขับเคลื่อนรถยนต์ในขณะที่แบตเตอร์รี่ทำการชาร์จ เนื่องจากมีมอเตอร์ไฟฟ้าเพียงตัวเดียว

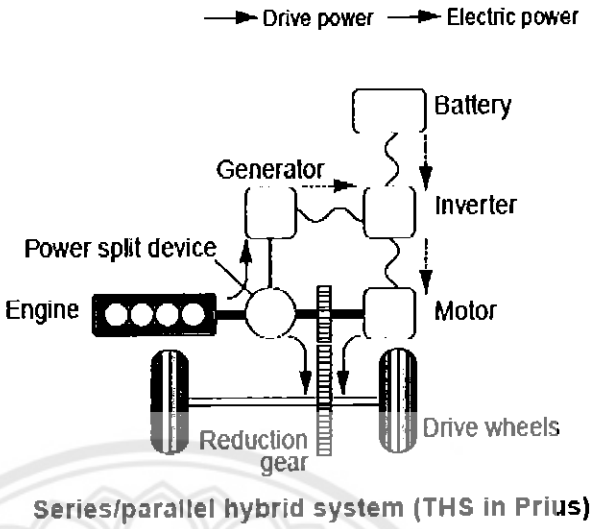


รูปที่ 2.2 ระบบไฮบริดแบบขนาน

รูปที่ 2.2 แสดงการไหลเวียนพลังงานของระบบไฮบริดแบบขนาน การทำงานของระบบเครื่องยนต์และระบบไฟฟ้าแยกอิสระต่อกัน ทั้งนี้การขับเคลื่อนรถยนต์ไม่สามารถใช้เพียงมอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องยนต์เพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง โดยกำลังที่ใช้ขับเคลื่อนรถยนต์จะมาจากทั้งเครื่องยนต์และมอเตอร์ไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์ในการส่งกำลัง สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้าจะทำหน้าที่เป็นเจนเนอเรเตอร์ด้วยทำให้รถยนต์ไม่สามารถขับเคลื่อนได้ขณะที่ชาร์จแบตเตอรี่

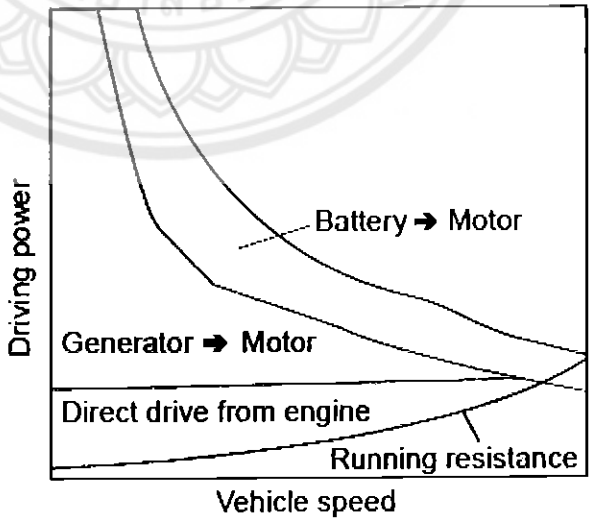
3) SERIES/PARALLEL HYBRID SYSTEM

ระบบไฮบริดชนิดนี้จะรวมลักษณะการทำงานของระบบไฮบริดแบบขนานและระบบไฮบริดแบบอนุกรม เพื่อดึงเอาประโยชน์ของทั้งสองระบบมาสร้างระบบที่มีประสิทธิภาพที่สุด ระบบไฮบริดนี้ประกอบด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า 2 ตัว และการขับเคลื่อนรถยนต์สามารถใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเพียงตัวเดียว ทั้งสองตัว หรือใช้เครื่องยนต์ก็ได้ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงที่สุด นอกจากนี้หากจำเป็นระบบไฮบริดนี้สามารถขับเคลื่อนรถยนต์ในขณะที่แบตเตอร์รี่ทำการชาร์จอยู่โดยเจนเนอเรเตอร์ได้



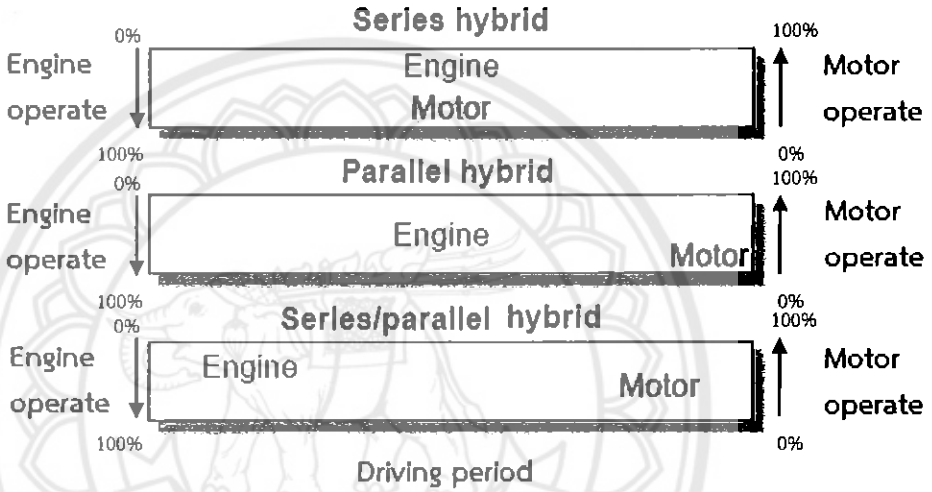
รูปที่ 2.3 ระบบไฮบริดแบบรวมอนุกรม/ขนาน

รูปที่ 2.3 แสดงการไหลเวียนพลังงานของระบบไฮบริดแบบรวมอนุกรม/ขนาน ซึ่งแยกการทำงานของมอเตอร์กับเจนเนอเรเตอร์จากกัน ทำให้สามารถขับเคลื่อนรถยนต์ขณะชาร์จแบตเตอรี่ได้ เครื่องยนต์ทำหน้าที่ขับเจนเนอเรเตอร์พร้อมกับแบ่งกำลังไปขับเคลื่อนรถยนต์ผ่านอุปกรณ์ในการแบ่งกำลัง ด้วยลักษณะพิเศษนี้ทำให้ระบบไฮบริดแบบรวมอนุกรม/ขนานสามารถขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว หรือเครื่องยนต์เพียงอย่างเดียว หรือทั้งสองอย่างได้ และยังสามารถใช้เจนเนอเรเตอร์ในการเสริมกำลังได้ด้วย



รูปที่ 2.4 Diving Power Performance ของระบบรถยนต์ไฮบริดแบบรวมอนุกรม/ขนาน

รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วและกำลังที่ต้องการของรถยนต์ไฮบริดกับลักษณะการทำงานของแหล่งต้นกำลัง โดยการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าแบ่งออกเป็นสองแบบคือ ใช้แบตเตอรี่ในการขับมอเตอร์ และใช้เจนเนอเรเตอร์ในการขับมอเตอร์ กรณีใช้แบตเตอรี่ในการขับมอเตอร์จะเกิดขึ้นที่ความเร็วสูงหรือรถยนต์ต้องการกำลังมาก เนื่องจากรถยนต์ต้องการกำลังจากเครื่องยนต์ทั้งหมดจึงไม่มีการแบ่งกำลังจากเครื่องยนต์ไปยังเจนเนอเรเตอร์ทำให้ไม่สามารถใช้เจนเนอเรเตอร์ในการขับมอเตอร์ได้ และกรณีใช้เจนเนอเรเตอร์ในการขับมอเตอร์จะเกิดขึ้นที่ความเร็วไม่สูงมากหรือทอร์คไม่สูงมาก เนื่องจากเครื่องยนต์สามารถแบ่งกำลังไปยังเจนเนอเรเตอร์ได้ และที่ทอร์คต่ำการขับเคลื่อนรถยนต์จะมาจากเครื่องยนต์เพียงอย่างเดียว



รูปที่ 2.5 อัตราส่วนการทำงานระหว่างเครื่องยนต์และมอเตอร์ไฟฟ้าในระบบไฮบริด

รูปที่ 2.5 แสดงอัตราส่วนการใช้งานระหว่างเครื่องยนต์และมอเตอร์ไฟฟ้าในระบบไฮบริดแบบต่าง ๆ ตั้งแต่ระบบไฮบริดแบบอนุกรมที่ใช้เครื่องยนต์ในการขับเคลื่อนเจนเนอเรเตอร์เพื่อสร้างไฟฟ้าให้มอเตอร์ในการขับเคลื่อนรถ ปริมาณการทำงานจึงเท่ากัน สำหรับระบบไฮบริดแบบขนานจะใช้เครื่องยนต์เป็นต้นกำลังหลัก และใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการช่วยเร่ง อย่างไรก็ตามการใช้งานเครื่องยนต์มากกว่าการใช้มอเตอร์ไฟฟ้ามาก และสำหรับระบบไฮบริดแบบรวมอนุกรม/ขนาน อุปกรณ์ในการแบ่งกำลังทำหน้าที่แบ่งกำลังจากเครื่องยนต์ ดังนั้นอัตราส่วนกำลังที่ส่งไปยังล้อรถและเจนเนอเรเตอร์จะไม่คงที่ตลอดการขับขี่ ดังนั้นมอเตอร์ไฟฟ้าจึงสามารถทำงานได้โดยขึ้นกับไฟฟ้าที่เจนเนอเรเตอร์สร้าง และด้วยเหตุนี้มอเตอร์ไฟฟ้าจะถูกใช้มากกว่าในระบบไฮบริดแบบขนาน

	ความคุ้มค่าในการใช้เชื้อเพลิง				สมรรถนะการขับขี่	
	ขณะรถหยุด	พลังงานที่สามารถสร้างได้	ระบบจัดการพลังงาน	ประสิทธิภาพโดยรวม	การเร่ง	ความต่อเนื่องของกำลัง
Series						
Parallel						
Series/ parallel						

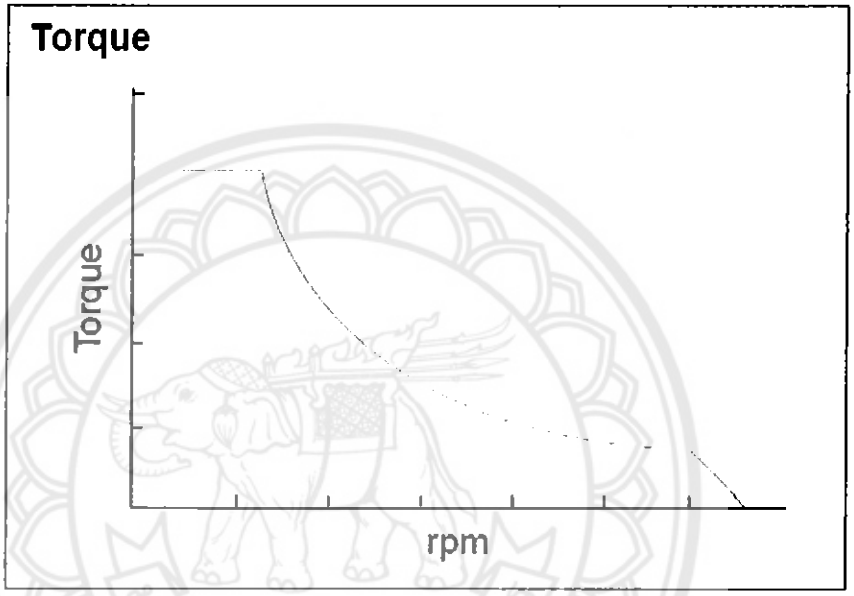
ดีมาก ดี แย่

รูปที่ 2.6 ตารางเปรียบเทียบระบบไฮบริด

รูปที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการใช้เชื้อเพลิงและสมรรถนะการขับขี่ของระบบรถยนต์ไฮบริดแบบอนุกรม ระบบรถยนต์ไฮบริดแบบขนาน และระบบรถยนต์ไฮบริดแบบรวมอนุกรม/ขนาน โดยความคุ้มค่าในการใช้เชื้อเพลิงและสมรรถนะการขับขี่ของระบบรถยนต์ไฮบริดแบบรวมอนุกรม/ขนานจะดีที่สุด ขณะที่หากเปรียบเทียบระบบรถยนต์ไฮบริดแบบอนุกรมกับระบบรถยนต์ไฮบริดแบบขนานพบว่าสมรรถนะการขับขี่ของระบบรถยนต์ไฮบริดแบบขนานดีกว่าระบบรถยนต์ไฮบริดแบบอนุกรม แต่สำหรับความคุ้มค่าในการใช้เชื้อเพลิง ระบบรถยนต์ไฮบริดแบบอนุกรมจะดีกว่า

2.2 มอเตอร์ไฟฟ้าในรถยนต์ไฮบริด

มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในรถยนต์ไฮบริด เป็นชนิด AC synchronous ซึ่งเป็นมอเตอร์ DC brushless ประสิทธิภาพสูงที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ และแม่เหล็กถาวรที่ทำมาจาก Neodymium โรเตอร์ทำมาจากแผ่นเหล็กที่เป็นแม่เหล็ก เป็นมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง นอกจากนี้การจัดเรียงแม่เหล็กถาวรโดยใช้รูปแบบ V-shape ซึ่งเป็นรูปแบบที่ดีที่สุด มอเตอร์ไฟฟ้าให้ทอร์คสูงที่ความเร็วรอบต่ำได้ดีกว่าเครื่องยนต์ จึงทำงานแทนเครื่องยนต์ที่ความเร็วต่ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้รถยนต์ไฮบริด



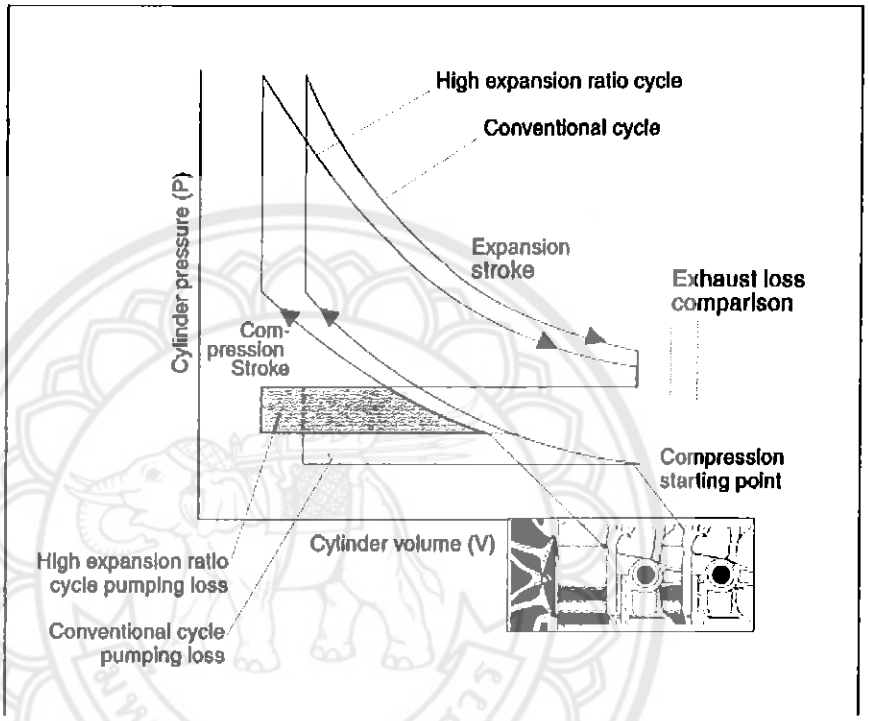
รูปที่ 2.7 Motor Performance Curve

รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับทอร์คของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในรถยนต์ไฮบริด จากกราฟความสัมพันธ์จะพบว่า ที่ความเร็วรอบต่ำมอเตอร์ไฟฟ้าจะให้ทอร์คสูงสุดและทอร์คจะลดลงเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น ดังนั้นมอเตอร์ไฟฟ้าจึงเหมาะสมที่จะใช้ขับเคลื่อนรถยนต์ที่ความเร็วต่ำ และเมื่อรถยนต์เพิ่มความเร็วมากขึ้นจึงเปลี่ยนไปใช้เครื่องยนต์ในการขับเคลื่อนแทน หรืออาจใช้มอเตอร์ไฟฟ้าช่วยเสริมกำลังที่ความเร็วสูงก็ได้ ด้วยเหตุนี้เมื่อนำมอเตอร์ไฟฟ้ามาทำงานร่วมกับเครื่องยนต์จึงทำให้การใช้เชื้อเพลิงในรถยนต์ไฮบริดมีประสิทธิภาพสูง

2.3 ATKINSON CYCLE

วัฏจักร Atkinson คือเครื่องยนต์ที่สามารถให้กำลังอัดแปรผันได้ตามความเหมาะสม ตัวอย่างเช่น จังหวะออกตัวต้องการแรงบิดมากเพื่อให้ออกตัวง่าย เมื่อรถเคลื่อนที่แล้วความต้องการแรงบิดจะน้อยลง ถ้าเป็นเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนกำลังอัดตายตัวจะไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในจังหวะที่เครื่องยนต์ต้องการแรงบิดมาก ๆ ได้ ซึ่งในอดีตวิศวกรได้เคยออกแบบเครื่องยนต์อัตราส่วนกำลังอัดแปรผันขึ้นมาโดยใช้หลักการยกฝาสูบให้ขยับได้เพื่อเปลี่ยนแปลงปริมาตรห้องเผาไหม้ให้เหมาะสมตามรอบการทำงานของเครื่องยนต์ แต่ติดในเรื่องของความทนทานเพราะมีชิ้นส่วนที่ต้องขยับมาก

ทำไมถึงให้ความสำคัญที่การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดของเครื่องยนต์ นั่นเป็นเพราะว่าการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงด้วยปริมาณเชื้อเพลิงที่เท่ากัน การเผาไหม้ในที่แคบให้ความรุนแรงมากกว่า ซึ่งนำไปใช้ในการดันลูกสูบได้มีประสิทธิภาพมากกว่านั่นเอง แนวคิดก็คือ การทำให้จังหวะอัดเริ่มต้น และสิ้นสุดเร็วขึ้น จะทำให้สามารถจุดระเบิดได้อย่างต่อเนื่อง และลดมลพิษจากการเผาไหม้ได้อีกทางหนึ่งด้วย

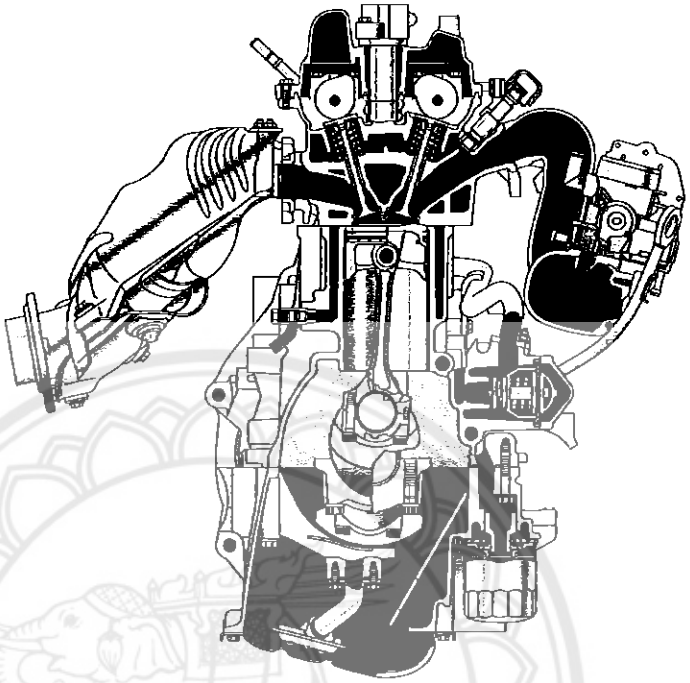


รูปที่ 2.8 Atkinson Cycle

รูปที่ 2.8 เปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับความดันระหว่างวัฏจักร Atkinson กับวัฏจักรที่ใช้ในเครื่องยนต์ทั่วไป จะเห็นว่าจังหวะการอัดของวัฏจักร Atkinson จะสั้นกว่าและลูกสูบเคลื่อนที่ลึกกว่าทำให้ปริมาตรกระบอกสูบน้อยกว่า การที่มีจังหวะอัดสั้นกว่าทำให้พลังงานที่ใช้ในการอัดน้อยกว่าและปริมาตรห้องเผาไหม้น้อยทำให้จังหวะระเบิดของวัฏจักร Atkinson ให้ประสิทธิภาพดีกว่าวัฏจักรที่ใช้ในเครื่องยนต์ทั่วไป เนื่องมาจากการหน่วงระยะเวลาปิดวาล์วไอดีทำให้ได้ปริมาตรเริ่มต้นอัดน้อยกว่าในวัฏจักรทั่วไป และสามารถอัดปริมาตรอากาศได้ปริมาตรน้อยกว่าจึงทำให้จังหวะระเบิดของวัฏจักร Atkinson มีประสิทธิภาพดีกว่าที่ปริมาณน้ำมันเท่ากัน นอกจากนี้วัฏจักร Atkinson ยังมีจังหวะขยายตัวที่ยาวกว่าวัฏจักรที่ใช้ในเครื่องยนต์ทั่วไปด้วย จังหวะขยายตัวที่ยาวกว่าหมายถึงระยะการเคลื่อนที่ของลูกสูบที่ไกลกว่าทำให้ได้กำลังมากกว่า

เทคโนโลยีของ ATKINSON CYCLE เกิดมานานแล้ว แต่ไม่ได้นำมาใช้อย่างจริงจัง เนื่องจากยุคสมัยนั้นเทคโนโลยีด้านโลหะและการผลิตยังต่ำอยู่ ชิ้นส่วนกลไกเกิดการสึกหรอง่าย มีความทนทานต่ำ เพราะต้องปรับเปลี่ยนกำลังอัดให้เหมาะสมกับรอบเครื่องตลอดเวลา แต่ปัจจุบันบริษัทผู้ผลิต

รถยนต์ได้นำเทคโนโลยีนี้มาใช้ เพราะมีกรรมวิธีในการผลิตที่ล้ำหน้าไปมาก ไม่ต้องเป็นกังวลเรื่องความทนทานอีกต่อไป

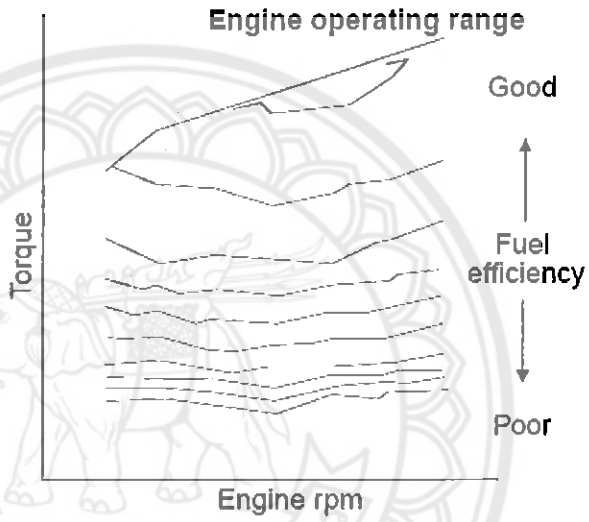


รูปที่ 2.9 ภาพตัดขวางเครื่องยนต์ที่ใช้ ATKINSON CYCLE

รูปที่ 2.9 แสดงภาพตัดขวางของเครื่องยนต์ที่ใช้ Atkinson cycle สำหรับในเครื่องยนต์ธรรมดานั้น ปริมาตรการอัดและปริมาตรการขยายตัวจะมีปริมาตรเท่ากัน ดังนั้นเพื่อเพิ่มปริมาตรการขยายตัวและปริมาตรการอัด สิ่งที่เกิดขึ้นคือการหน่วงระยะเวลาในการปิดวาล์วควบคุมปริมาตร หรือวาล์วไอดี เพื่อให้อากาศสามารถไหลกลับเข้าไปในห้องเผาใหม่ได้ เป็นผลให้เกิดการหน่วงระยะเวลาการอัด ด้วยกระบวนการนี้อัตราส่วนของการขยายตัวจะเพิ่มขึ้นโดยไม่ต้องเพิ่มอัตราส่วนการอัดจริง ทำให้สามารถลดความดันลดในท่อไอเสีย และมีการสูญเสียพลังงานไปกับไอเสียน้อยลง

วิศวกรได้ทำการคิดค้นเครื่องยนต์ที่มีระบบการทำงานในอัตราส่วนของกำลังอัดที่เพิ่มขึ้นตามด้วยแรงม้ากับแรงบิดที่สูงขึ้นแต่มีปริมาตรความจุลดลงทำให้มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงลดลง เครื่องยนต์ชนิดนี้มีจังหวะการทำงานของกระบอกสูบด้วยการออกแบบให้ลูกสูบที่อยู่ในตำแหน่งอัดสามารถเลื่อนจากจุดต่ำสุดของกระบอกสูบขึ้นสู่จุดสูงสุด ด้วยระยะที่สั้นลงกว่าเดิมด้วยการทำงานที่สั้นลงเครื่องยนต์จึงสามารถสร้างกำลังจากจังหวะอัดที่มีความต่อเนื่องไปยังจังหวะระเบิดได้เร็วขึ้น ซึ่งวิศวกรได้พยายามต่อยอดระบบการทำงานแบบเดิม ๆ ของเครื่องยนต์ให้มีประสิทธิ์ภาพมากขึ้นด้วยการพัฒนาให้ช่วงชักขึ้นของลูกสูบสั้นลงด้วยการเพิ่มกลไกระหว่างก้านสูบกับเพลาข้อเหวี่ยง ผลลัพธ์ที่ได้คืออัตราส่วนกำลังอัดเพิ่มขึ้นตามมาด้วยค่าของแรงม้ากับแรงบิดที่สูงขึ้น หลังจากทดสอบจนมั่นใจในระบบการทำงานที่ดีขึ้นทั้งในเรื่องของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ลดลง ความแข็งแกร่งทนทานของลูกสูบในกระบอกสูบดีเทียบเท่าเครื่องยนต์แบบปกติรวมถึงแรงบิดที่เพิ่มขึ้นทำให้เครื่องยนต์เบนซินแบบ Atkinson Cycle ถูกวางลงไปในรถยนต์ไฮบริด เพื่อทำงานประสานไปกับระบบมอเตอร์

ไฟฟ้าโดยมุ่งเน้นไปที่การประหยัดเชื้อเพลิง การจะทำเช่นนั้นได้เครื่องยนต์จะปิดวาล์วไอดีช้ากว่าปกติในจังหวะอัด ทำให้ส่วนผสมของอากาศและน้ำมันในบางส่วนถูกดันย้อนกลับมาที่ท่อไอดี แม้จังหวะอัดจะไม่เต็มที่นักแต่ในจังหวะระเบิดจะมีการเผาไหม้และให้กำลังเหมือนปกติทุกอย่าง จุดประสงค์เพื่อทำให้แรงดันภายในกระบอกสูบเท่ากับความดันของบรรยากาศภายนอกเมื่อจังหวะระเบิดสิ้นสุดลง เพื่อให้มั่นใจว่าน้ำมันทุกอณูที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้ถูกแปรเปลี่ยนไปเป็นพลังงานอย่างหมดจด ในเครื่องยนต์แบบ 4 จังหวะทั่ว ๆ ไป แรงดันส่วนหนึ่งจะถูกขับออกไปตามวาล์วของระบบไอดีและไอเสียทำให้เสียพลังงานไปโดยไม่จำเป็น ซึ่งทำให้รถยนต์ไฮบริดที่ใช้ Atkinson Cycle นั้นเด่นในด้านการประหยัดน้ำมันมากกว่ารถยนต์ทั่ว ๆ ไป



รูปที่ 2.10 Performance Curve ของเครื่องยนต์ที่ใช้ ATKINSON CYCLE

รูปที่ 2.10 แสดงช่วงการทำงานของเครื่องยนต์โดยการควบคุมของระบบจัดการพลังงานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้เชื้อเพลิงที่คุ้มค่า การควบคุมกำลังจากเครื่องยนต์เป็นกลไกการควบคุมพื้นฐานในระบบรถยนต์ไฮบริดเพื่อให้การขับเคลื่อนรถยนต์บริโภคน้ำมันน้อยที่สุด

Performance Curve ของเครื่องยนต์แสดงช่วงการทำงานของเครื่องยนต์ที่ให้ประสิทธิภาพสูง ซึ่งระบบควบคุมกำลังเครื่องยนต์ต้องทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมนี้ โดยควบคุมความเร็วรอบเครื่องยนต์ด้วยเจนเนอเรเตอร์ หลักการคือ เมื่อมีการเริ่มการทำงานของเครื่องยนต์ ระบบจัดการพลังงานจะทำการคำนวณพลังงานที่รถยนต์ต้องการ และสร้างเงื่อนไขที่ทำให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและทำการสร้างพลังงานนี้โดยส่งข้อมูลความเร็วรอบไปยังเครื่องยนต์เพื่อให้เครื่องยนต์สร้างกำลังที่จะนำไปขับเคลื่อนรถยนต์ ขณะเดียวกันกำลังส่วนหนึ่งจากเครื่องยนต์จะถูกใช้ในการขับเจนเนอเรเตอร์เพื่อสร้างพลังงานให้กับมอเตอร์ในการเสริมกำลังกับเครื่องยนต์ สำหรับสัดส่วนกำลังจากเครื่องยนต์ที่ใช้ขับเจนเนอเรเตอร์จะอยู่ในเงื่อนไขที่ทำให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

2.4 โปรแกรม MATLAB

MATLAB เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ชั้นสูง (High-level Language) สำหรับการคำนวณทางเทคนิคที่ประกอบด้วยการคำนวณเชิงตัวเลข กราฟิกที่ซับซ้อน และการจำลองแบบเพื่อให้มองเห็นภาพพจน์ได้ง่ายและชัดเจนชื่อของ MATLAB ย่อมาจาก matrix laboratory เดิมโปรแกรม MATLAB ได้เขียนขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณทาง matrix หรือเป็น matrix software ที่พัฒนาจากโครงการที่ชื่อ LINKPACK และ EISPACK

MATLAB ได้พัฒนามาด้วยการแก้ปัญหาที่ส่งมาจากหลาย ๆ ผู้ใช้เป็นระยะเวลาหลายปีจึงทำให้โปรแกรม MATLAB มีฟังก์ชันต่างๆ ให้เลือกใช้มากมาย ในบางมหาวิทยาลัยได้ใช้โปรแกรม MATLAB เป็นหลักสูตรพื้นฐานในการศึกษาทางด้านคณิตศาสตร์ วิศวกรรม และวิทยาศาสตร์แขนงต่าง ๆ ตลอดจนในด้านอุตสาหกรรมได้ใช้โปรแกรม MATLAB เป็นเครื่องมือสำหรับใช้ในงานวิจัยพัฒนา และวิเคราะห์

โปรแกรม MATLAB จะมีกล่องเครื่องมือที่ใช้ในการหาคำตอบเรียกว่า Toolbox โดยโปรแกรม MATLAB จะมี toolbox ในแต่ละสาขา เช่น การประมวลผลสัญญาณ (Signal processing toolbox) การประมวลผลภาพ (image processing toolbox) ระบบควบคุม (control system toolbox) โครงข่ายประสาท (neural networks toolbox) ฟัซซี่ลอจิก (fuzzy logic toolbox) เวฟ-เลท (wavelet toolbox) การติดต่อสื่อสาร (communication toolbox) สถิติ (statistics toolbox) และสาขาอื่น ๆ มากมาย ภายใน toolbox แต่ละสาขาก็จะมีฟังก์ชันต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาในสาขานั้น ๆ ให้เลือกประยุกต์ใช้งานเป็นจำนวนมาก

2.3.1 Simulink

Simulink เป็นซอฟต์แวร์ที่ทำงานอยู่บน Matlab ใช้ในการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์ด้วยรูปภาพ สนับสนุนเครื่องมือสร้างแบบจำลอง การเลียนแบบ และเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ข้อมูล สามารถทำแบบจำลองด้วยรูปภาพได้อย่างรวดเร็วเพื่อแสดงถึงการออกแบบแนวความคิดของระบบด้วยความพยายามเพียงเล็กน้อย นั่นคือ Simulink ติดต่อกับผู้ใช้ผ่านทางรูปภาพ หรือ GUI (Graphic User Interface) ในการสร้างไดอะแกรมของแบบจำลอง นอกจากนั้น Simulink ยังประกอบด้วยไลบรารีบล็อกพื้นฐานและขั้นสูงเฉพาะสาขาวิชา ทั้งระบบเชิงเส้น (Linear System) ระบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear System) ระบบเวลาต่อเนื่อง (Continuous-time) ระบบที่เวลาแบบแซมปิ้ง (Sample time) ระบบไฮบริด (Hybrid Simulink) สนับสนุนการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ได้ขณะที่เรากำลังเลียนแบบระบบอยู่ ทำให้เราเห็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ทันที ว่าอะไร ที่ไหน อย่างไร กับแบบจำลองระบบของเรา สุดท้าย Simulink สามารถเชื่อมต่อข้อมูลกับ Matlab ได้โดยตรง ทำให้เราสามารถเชื่อมต่อกับซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ภายนอกได้

2.3.2 การใช้ Simulink กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของรถยนต์ไฮบริด

คณะผู้จัดทำได้ใช้ Simulink ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมประยุกต์ MATLAB ในการจำลองผลการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของรถยนต์ไฮบริดแล้วนำผลการทดลองมาวิเคราะห์หาว่าพารามิเตอร์ตัวใดที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของรถยนต์ไฮบริดซึ่งวิธีการทดลอง และการวิเคราะห์จะนำเสนอในบทถัดไป

บทที่ 3
วิธีดำเนินโครงงาน

3.1 ศึกษาแบบจำลองรถยนต์ไฮบริด

การศึกษาแบบจำลองและการทำงานของแบบจำลองสำเร็จรูปของรถยนต์ไฮบริดเพื่อหาจุดที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกใช้พลังงานและส่งต่อการใช้พลังงานของรถยนต์ ซึ่งข้อมูลและรายละเอียดของแบบจำลองรถยนต์ไฮบริดที่ถูกนำมาใช้ในแบบทดลองมีดังนี้

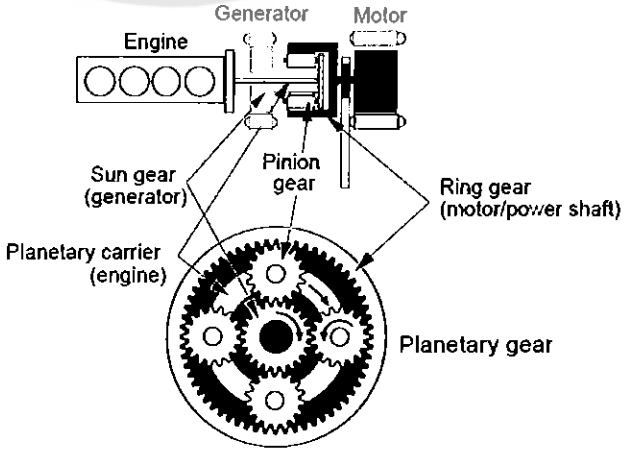
3.1.1 ลักษณะของแบบจำลอง

แบบจำลองรถยนต์ไฮบริดนี้เป็นชนิด series-parallel ใน Toyota Prius มีแหล่งพลังงานสองชนิดได้แก่มอเตอร์ไฟฟ้า และเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขับเคลื่อน และลดมลพิษที่เกิดขึ้น โดยรวมข้อดีของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ไม่สร้างมลพิษและให้กำลังสูงที่ความเร็วต่ำ และข้อดีของเครื่องยนต์สันดาปภายในที่มีประสิทธิภาพสูง และสร้างมลพิษน้อยที่ความเร็วสูง

ในระบบไฟฟ้า (Electrical Subsystem) ประกอบด้วย 4 ส่วน ได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้า เจนเนอเรเตอร์ แบตเตอรี่ และ DC/DC converter

1) มอเตอร์ไฟฟ้า 500 Vdc, 50 kW, 8 pole ความเร็วสูงสุด 6000 rpm
2) เจนเนอเรเตอร์ 500 Vdc, 2 pole, 30 kW
3) แบตเตอรี่ Nickel-Metal-Hydride 6.5 Ah, 200 Vdc, 21 kW
4) DC/DC converter (boost type) สำหรับปรับกระแสไฟฟ้าความดันต่ำในแบตเตอรี่ (200 V) ไปยัง DC bus เพื่อป้อนให้กับ AC motor ที่ความดัน 500 V.

Planetary Gear Subsystem คืออุปกรณ์สำหรับการแบ่งกำลัง โดยจะทำหน้าที่ส่งผ่านแรงทางกลที่มาจากเครื่องยนต์ มอเตอร์ เจนเนอเรเตอร์ โดยจัดสรรและรวมแรงทั้งหมดนี้



รูปที่ 3.1 Planetary Gear ที่ใช้ในระบบรถยนต์ไฮบริด

อุปกรณ์ที่ใช้ในการแบ่งกำลังคือ Planetary gear แสดงในรูป 3.1 เพลาหมุนของ Planetary carrier ที่อยู่ด้านในกลไกเฟืองนี้เชื่อมต่อโดยตรงกับเครื่องยนต์ และส่งกำลังการหมุนไปยัง Ring gear ที่อยู่ด้านนอกและ Sun gear ที่อยู่ด้านในโดยผ่านทาง Pinion gears และเพลาหมุนของ Ring gear เชื่อมต่อโดยตรงกับมอเตอร์ไฟฟ้าและส่งกำลังไปยังล้อรถ ขณะที่เพลาหมุนของ Sun gear เชื่อมต่อโดยตรงกับเจนเนอเรเตอร์

เครื่องยนต์สันดาปภายในใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง ให้กำลังสูงสุด 57 kW ที่ 6000 rpm การเหยียบคันเร่ง ให้ตัวแปรระหว่าง 0 ถึง 1 โดยไม่มีผลโดยตรงต่อการควบคุมความเร็วของรถ เครื่องยนต์ที่จำลองไม่พิจารณาการเผาไหม้ระหว่างอากาศกับน้ำมัน

ระบบกลศาสตร์ยานยนต์ (Vehicle Dynamics subsystem) จำลองส่วนของกลศาสตร์ทั้งหมดของรถยนต์

ระบบจัดการพลังงาน (Energy Management Subsystem, EMS) คือ ระบบที่มีหน้าที่ในการให้สัญญาณอ้างอิงการทำงานสำหรับการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า การทำงานของเจนเนอเรเตอร์และเครื่องยนต์สันดาปภายใน จากความต้องการพลังงานที่รถยนต์ต้องการโดยแบ่งจากทั้งสามแหล่งพลังงาน โดยคำนวณจากตำแหน่งของคันเร่ง ซึ่งให้มีค่าระหว่าง -100% และ 100% โดยค่าที่ติดลบมีความหมายถึงการเบรกรถ

Battery management system ทำหน้าที่จัดการกับ State-Of-Charge (SOC) ระหว่าง 40% ถึง 80% นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ป้องกันความต้นไฟฟ้าตกโดยควบคุมกำลังที่ต้องการจากแบตเตอรี่

3.1.2 Scope* ในแบบจำลอง

scope ในระบบหลักที่มีชื่อว่า Car แสดงตำแหน่งของคันเร่ง ความเร็วของรถ ทอร์ค และกำลัง

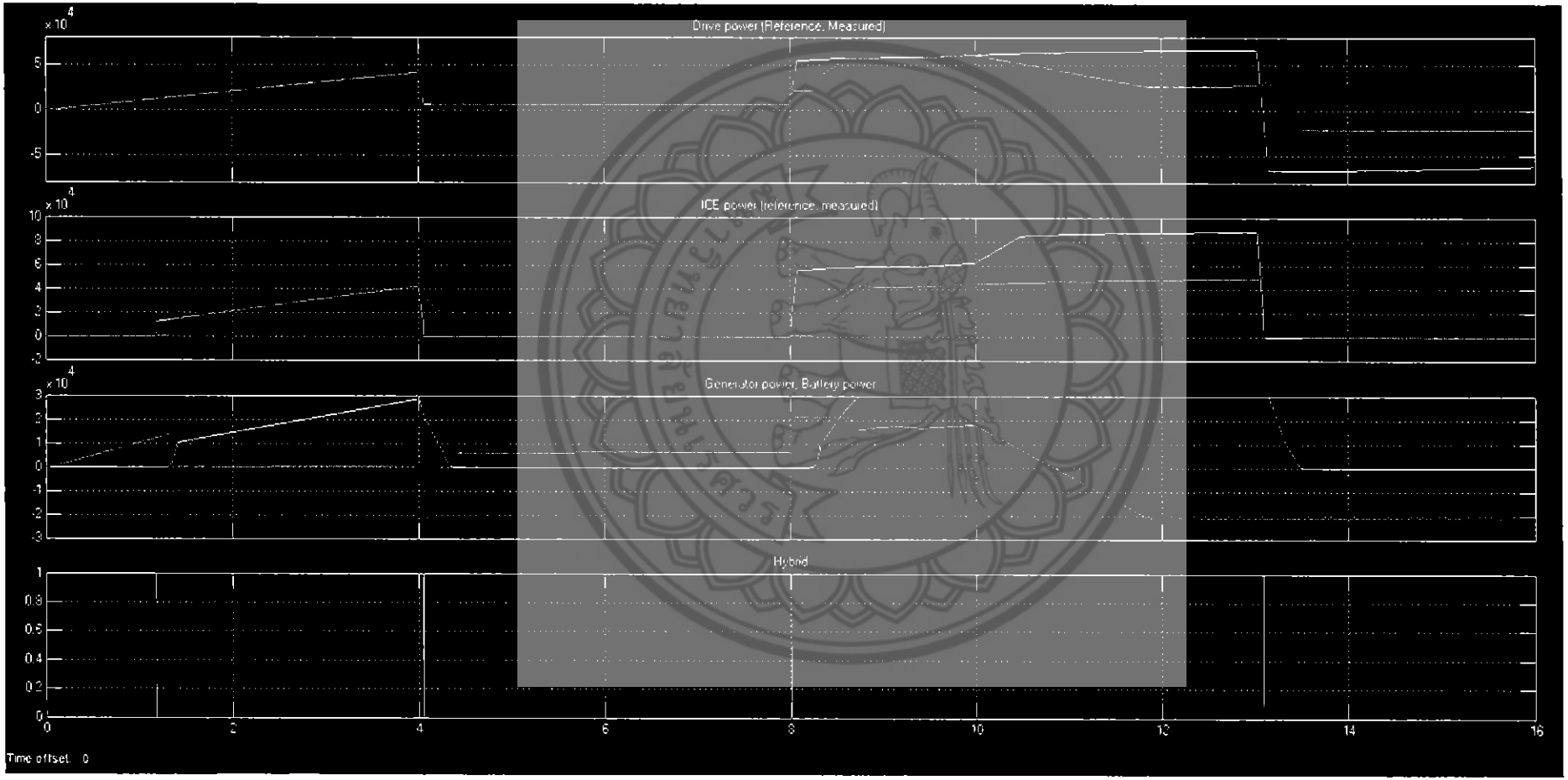
scope ใน Electrical Subsystem ที่มีชื่อว่า PMSM Motor Drive แสดงผลสำหรับการทำงานของมอเตอร์ ได้แก่ stator currents rotor speed และ motor torque (electromagnetic and reference).

scope ใน Electrical Subsystem ที่มีชื่อว่า PMSM Generator Drive แสดงผลสำหรับการทำงานของเจนเนอเรเตอร์ ได้แก่ stator currents rotor speed และ motor torque (electromagnetic and reference).

scope ใน the Electrical Subsystem/Electrical measurements แสดงความดันไฟฟ้า (DC/DC converter, DC bus และ battery), กระแส (motor, generator และ battery) และ SOC ของแบตเตอรี่

scope ใน Energy Management Subsystem/Power Management System แสดงอ้างอิงกำลังสำหรับใช้กับส่วนของอุปกรณ์ไฟฟ้า

หมายเหตุ: * Scope คือ block ในโปรแกรม Matlab ใช้สำหรับแสดงผลการตอบสนอง



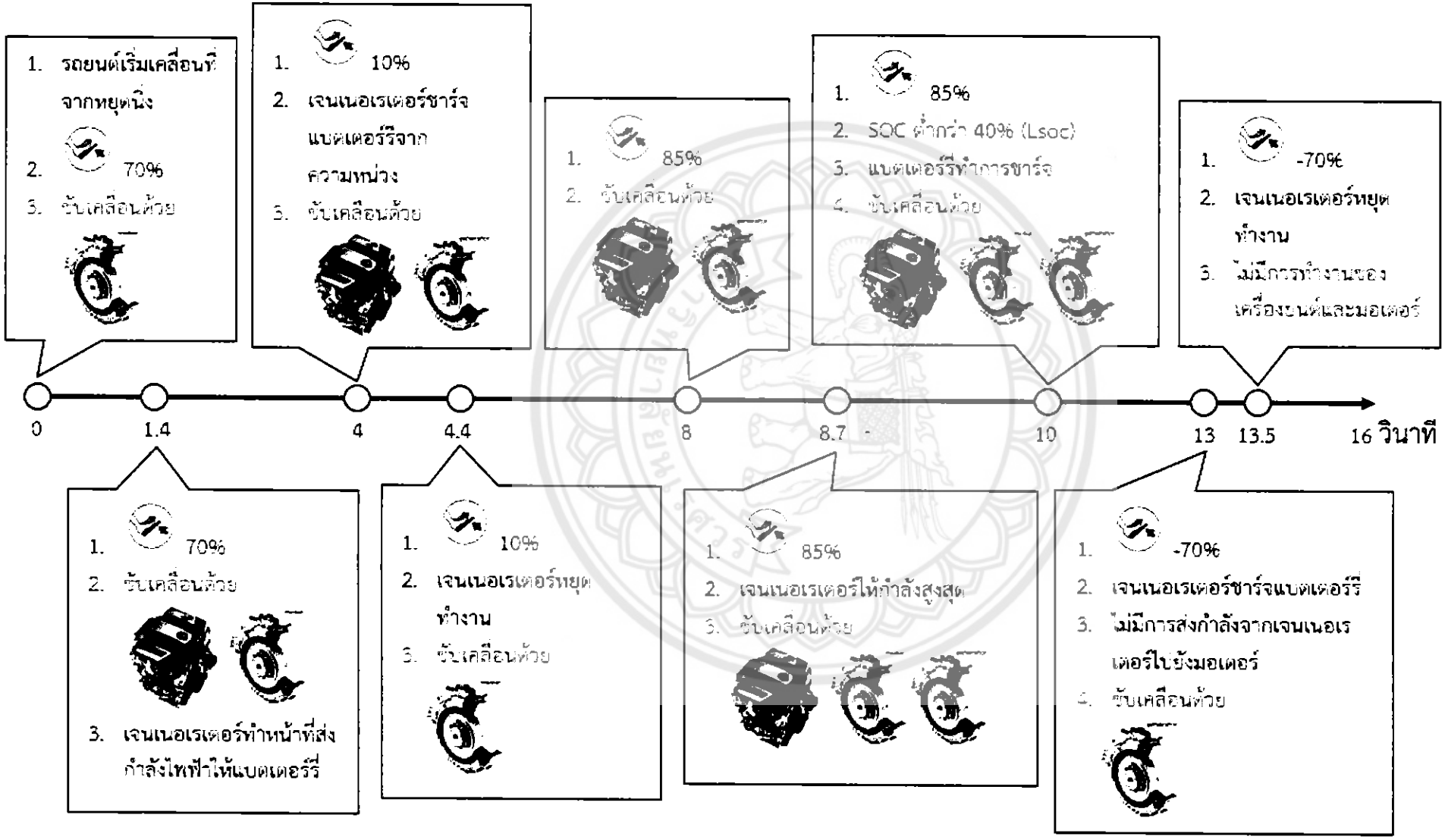
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างผลการตอบสนองที่แสดงในรูปของกราฟ

รูปที่ 3.2 แสดงตัวอย่างผลการตอบสนองของ scope ในแบบจำลองรถยนต์ไฮบริด ที่แสดงคือ scope ของผลการตอบสนองสี่การตอบสนอง ได้แก่ Drive power, ICE power แยกเป็น reference และ mesured โดยเส้นสีเหลืองเป็นของ referrence และเส้นสีม่วงเป็นของ mesured แกนตั้งมีหน่วยเป็นวัตต์ และแกนนอนคือช่วงเวลาการขับขี่ สำหรับกราฟที่สามแยกเป็น generator power เส้นสีเหลือง และ battery power เส้นสีม่วง ค่าติดลบหมายถึงแบตเตอรี่กำลังชาร์จประจุ และกราฟสุดท้ายเป็นของ Hybrid on/off ค่า 1 หมายถึงเปิดการทำงานระบบไฮบริด และ 0 หมายถึงปิดการทำงานระบบไฮบริด การเปิดระบบไฮบริดคือการใช้แหล่งพลังงานขับเคลื่อนรถยนต์มากกว่าหนึ่งแหล่ง แหล่งพลังงานที่ใช้คืออะไรบ้างให้พิจารณาจากกราฟผลการตอบสนองของ ICE power, generator power และ battery power สำหรับหน่วยของแกนตั้งนั้น จะไม่แสดงควบคู่กับกราฟผลการตอบสนอง ทั้งนี้หน่วยของตัวแปรต่าง ๆ ระบุอยู่ในแต่ละระบบย่อยของอุปกรณ์ที่ให้ค่าตัวแปรนั้น ๆ

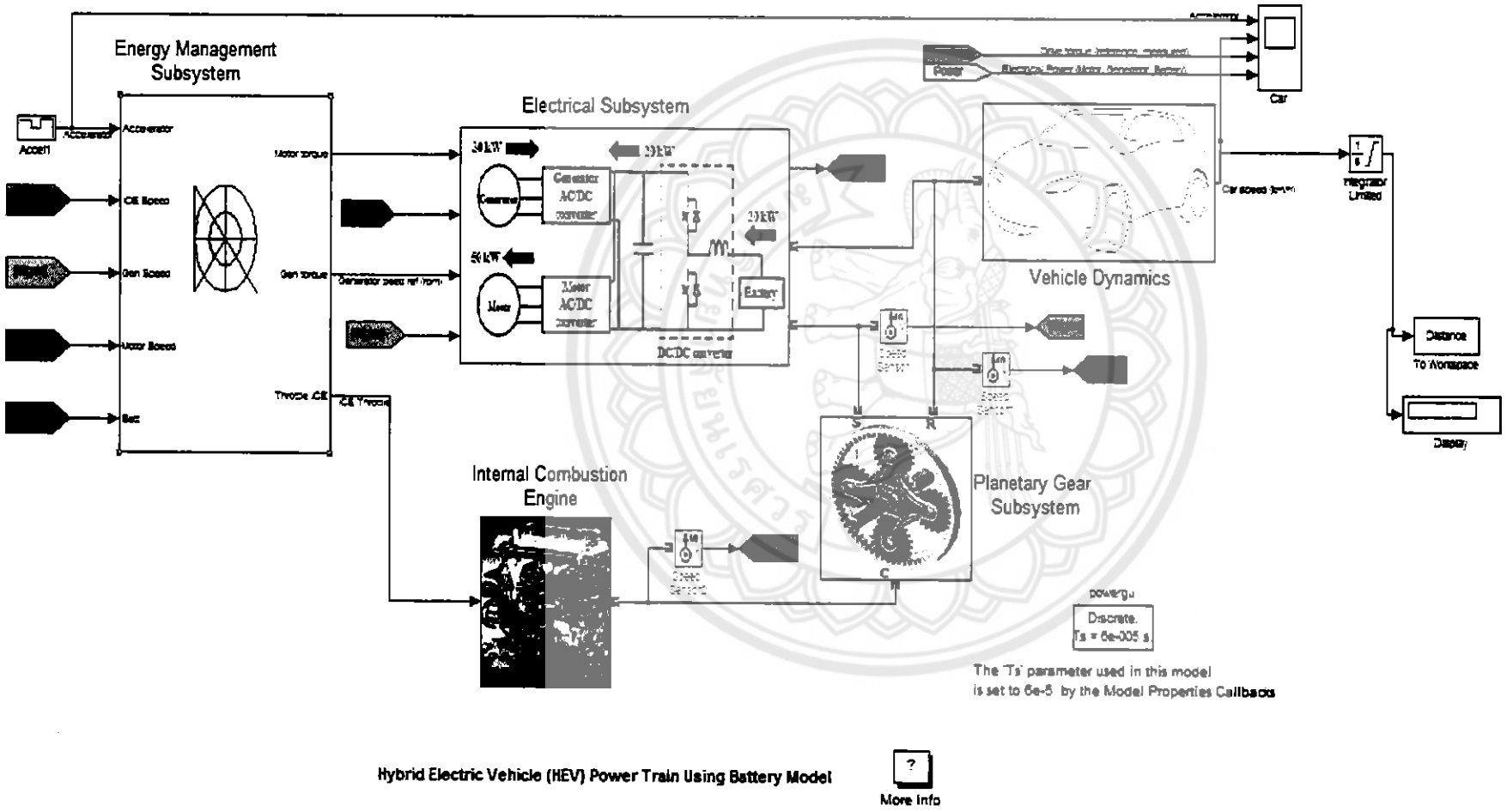
3.1.3 สาธิตการทำงานของแบบจำลอง

การสาธิตการทำงานของแบบจำลองแสดงให้เห็นกระบวนการที่แตกต่างกันในระบบรถยนต์ไฮบริดตลอดการขับขี่ ได้แก่ การเร่ง การรักษาความเร็ว การชาร์จแบตเตอรี่ขณะเร่ง และการเบรก เมื่อเริ่มต้นการทำงานของแบบจำลอง ซึ่งใช้เวลาในการทำงานประมาณ 1 นาที จะพบว่ารถยนต์เริ่มเคลื่อนที่จากความเร็ว 0 km/h และทำความเร็วได้ 73 km/h ที่ 14 วินาที และลดความความเร็วลงเหลือ 61 km/h ที่ 16 วินาที ผลที่ได้นี้เกิดจากการเหยียบคันเร่ง 70% เป็นเวลา 4 วินาทีในตอนเริ่มต้น และจากนั้นเหยียบคันเร่ง 10% เป็นเวลา 4 วินาที จากนั้นเหยียบคันเร่ง 85% อีก 5 วินาที แล้วจึงเบรก -70% จนรถหยุด สิ่งที่เกิดขึ้นตลอดการจำลองการขับรถยนต์มีดังนี้

- ที่เวลา = 0 วินาที, รถยนต์หยุดนิ่ง คนขับรถเริ่มเหยียบคันเร่งจนถึง 70% ตลอดระยะเวลาที่ความต้องการกำลังยังต่ำกว่า 12 kW รถยนต์จะขับเคลื่อนโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเท่านั้น
- ที่เวลา = 1.4 วินาที กำลังที่รถยนต์ต้องการมากกว่า 12 kW ระบบไฮบริดเริ่มทำงาน ในกรณีนี้กำลังของรถยนต์มาจากเครื่องยนต์และมอเตอร์ไฟฟ้า โดยมอเตอร์ไฟฟ้าได้พลังงานมาจากแบตเตอรี่ ขณะที่แบตเตอรี่ได้พลังงานมาจากเจนเนอเรเตอร์ ใน planetary gear เครื่องยนต์เชื่อมต่อกับ carrier gear และ generator เชื่อมต่อกับ sun gear และมอเตอร์ไฟฟ้า และส่งกำลังไปยัง ring gear กำลังของเครื่องยนต์ถูกแบ่งไปยัง sun gear และ ring gear กระบวนการนี้ดำเนินไปตลอดช่วงการเร่ง
- ที่เวลา = 4 วินาที คันเร่งถูกลดลงมาเหลือ 10% (cruising mode) เครื่องยนต์จะไม่ลดกำลังทันทีทันใด เพราะฉะนั้นแบตเตอรี่จะรับพลังงานที่มาจากเจนเนอเรเตอร์จากทอร์คที่เกินมาจากเครื่องยนต์
- ที่เวลา = 4.4 วินาที เจนเนอเรเตอร์หยุดทำงาน พลังงานไฟฟ้าที่ต้องการจึงมาจากแบตเตอรี่เพียงอย่างเดียว
- ที่เวลา = 8 วินาที คันเร่งถูกเหยียบที่ 85% เครื่องยนต์เริ่มต้นทำงานอีกครั้งเพื่อให้กำลังที่สูงมาก ๆ กำลังในส่วนของไฟฟ้าทั้งหมดไม่สามารถตอบสนองความต้องการพลังงานของรถยนต์ได้ เนื่องจากเป็นเวลาที่เครื่องยนต์และเจนเนอเรเตอร์ต้องทำงานพร้อมกัน ดังนั้น measured drive torque จะไม่เท่ากับ reference torque
- ที่เวลา = 8.7 วินาที measured torque เท่ากับ reference torque เจเนอเรเตอร์ให้กำลังได้สูงสุด
- ที่เวลา = 10 วินาที SOC ของแบตเตอรี่ลดต่ำกว่า 40% (แบตเตอรี่มีประจุเริ่มต้น 41.53%) ดังนั้นแบตเตอรี่เริ่มทำการชาร์จ เจนเนอเรเตอร์แบ่งกำลังให้กับแบตเตอรี่และมอเตอร์ สามารถสังเกตได้ว่ากำลังของแบตเตอรี่มีค่าเป็นลบ ซึ่งหมายถึงแบตเตอรี่กำลังรับกำลังจากเจนเนอเรเตอร์ และทำการชาร์จในขณะที่รถยนต์กำลังเร่ง
- ที่เวลา = 13 วินาที รถยนต์มีความเร่ง -70% หรือมีการเบรก เจนเนอเรเตอร์หยุดส่งกำลังให้มอเตอร์ และถูกขับด้วยล้อรถยนต์ พลังงานกลถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าเก็บไว้ในแบตเตอรี่ สำหรับตำแหน่งเร่งนี้ ความต้องการทอร์คเท่ากับ -250 Nm แต่พบว่าแบตเตอรี่สามารถดูดซับได้เพียง 21 kW ของพลังงานทั้งหมดเท่านั้น
- ที่เวลา = 13.5 วินาที เจนเนอเรเตอร์หยุดทำงาน



รูปที่ 3.3 Flow chart การทำงานของแบบจำลอง



รูปที่ 3.4 แบบจำลองรถยนต์ไฮบริด (HEV Power train)

รูปที่ 3.4 แสดงแบบจำลองรถยนต์ไฮบริด ซึ่งประกอบด้วย 5 ระบบย่อยได้แก่ ระบบจัดการพลังงาน (Energy management subsystem) ระบบไฟฟ้า (Electrical subsystem) ระบบเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal combustion subsystem) ระบบส่งกำลัง (Planetary gear subsystem) และระบบกลศาสตร์ยานยนต์ (Vehicle dynamics subsystem) สำหรับระบบเครื่องยนต์สันดาปภายในกำหนดจากเครื่องยนต์ที่เลือกใช้ ระบบไฟฟ้า คือส่วนของอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมด ระบบส่งกำลัง คือส่วนกลไกของ Planetary gear ระบบกลศาสตร์ยานยนต์ คือส่วนที่เกี่ยวกับกลศาสตร์ยานยนต์ทั้งหมด ซึ่งได้กำหนดให้สี่ระบบที่กล่าวมานี้เป็นขอบเขตของการทดลอง และสำหรับระบบจัดการพลังงาน จะทำการหาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงและหาเกณฑ์ในการออกแบบต่อไป

3.2 ออกแบบการทดลอง

3.2.1 กำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องและหน่วยที่ใช้

จากการศึกษาแบบจำลองรถยนต์ไฮบริด พบว่าระบบที่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงของแบบจำลองคือระบบจัดการพลังงาน (Energy management subsystem) ดังนั้นจึงได้พิจารณาตัวแปรที่อยู่ในระบบนี้ และทำการทดลองปรับเปลี่ยนตัวแปรเพื่อดูผลการตอบสนอง เพื่อรวบรวมตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิง และทำการทดลองเพื่อหาแนวโน้มต่อไป สำหรับระบบจัดการพลังงาน (Energy management subsystem) มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. Accel1 (Accelerator) ตำแหน่งคันเร่งถูกกำหนดด้วยค่า 0 ถึง 1 และติดลบกรณีมีการเบรก เป็น Input ของระบบจัดการพลังงาน (Energy management subsystem) กำหนดโดยผู้ขับ (Driver) เป็นตัวแปรไร้หน่วย
2. Wice (Internal combustion engine Speed) ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ มีหน่วยเป็น rad/s เป็น Input ของระบบจัดการพลังงาน (Energy management subsystem) Wice เป็นตัวแปรที่กำหนดโดยเครื่องวัดความเร็วรอบ (Speed sensor) ที่ต่อกับเครื่องยนต์โดยจะส่งข้อมูลความเร็วรอบเครื่องยนต์ Wice ไปยังระบบจัดการพลังงาน (Energy management subsystem) ระบบจัดการพลังงานจะใช้ข้อมูลนี้กำหนดการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า และเจนเนอเรเตอร์ รวมทั้งเครื่องยนต์และเมื่อเครื่องยนต์ทำงานตามคำสั่งดังกล่าว เครื่องวัดความเร็ว (Speed sensor) ก็จะส่งค่า Wice ค่าใหม่ไปยังระบบจัดการพลังงาน (Energy management subsystem) เป็นกระบวนการวนค่าซ้ำ
3. Wgen (Generator Speed) ความเร็วรอบเจนเนอเรเตอร์ มีหน่วยเป็น rad/s เป็น Input ของระบบจัดการพลังงาน (Energy management subsystem) Wgen เป็นตัวแปรที่กำหนดโดยเครื่องวัดความเร็วรอบ (Speed sensor) ที่ต่อกับเจนเนอเรเตอร์ นอกจากจะเป็น Input ของระบบจัดการพลังงาน (Energy management subsystem) แล้ว Wgen ยังเป็น Input ของระบบไฟฟ้า (Electrical subsystem) ด้วย และใช้กระบวนการวนซ้ำเช่นเดียวกับ Wice
4. Wmot (Motor Speed) ความเร็วรอบมอเตอร์ มีหน่วยเป็น rad/s เป็น Input ของระบบจัดการพลังงาน (Energy management subsystem) และระบบไฟฟ้า (Electrical subsystem) Wmot เป็นตัวแปรที่กำหนดโดยเครื่องวัดความเร็วรอบ (Speed sensor) ที่ต่อกับมอเตอร์ เป็นตัวแปรที่มีการวนซ้ำเช่นกัน
5. Batt (Battery Voltage) ความดันแบตเตอรี่ มีหน่วยเป็น Volt เป็น Input ของระบบจัดการพลังงาน (Energy management subsystem) กำหนดโดยความดันแบตเตอรี่ ณ ขณะนั้น
6. Car speed ความเร็วรถยนต์ มีหน่วยเป็น km/h Car speed เป็นค่าที่ประมวณมาจากระบบกลศาสตร์ยานยนต์ (Vehicle Dynamics subsystem)
7. Initial state of charge สถานะเริ่มต้นของประจุในแบตเตอรี่มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็น
8. Engine power กำลังเครื่องยนต์ เป็นผลการตอบสนองของระบบเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal combustion Engine subsystem) มีหน่วยเป็นวัตต์

9. Battery power กำลังแบตเตอรี่ เป็นผลการตอบสนองของระบบจัดการพลังงาน (Energy management subsystem) กำลังแบตเตอรี่มีค่าติดลบได้กรณีทำการชาร์จประจุโดยดึงกำลังจากเจนเนอเรเตอร์ มีหน่วยเป็นวัตต์
10. Generator power กำลังเจนเนอเรเตอร์ เป็นผลการตอบสนองของระบบจัดการพลังงาน (Energy management subsystem) มีหน่วยเป็นวัตต์
11. Hybrid on/off สถานะการเปิด-ปิดการทำงานของระบบไฮบริด เป็นผลการตอบสนองของระบบจัดการพลังงาน (Energy management subsystem) มีค่า 0 หมายถึงปิด และ 1 หมายถึงเปิด

3.2.2 กำหนดตัวแปรที่จะทำการศึกษา

สำหรับตัวแปรที่จะทำการศึกษา จะพิจารณาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และเป็นตัวแปรที่สามารถออกแบบได้ เพื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าและสร้างกราฟความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงและพิจารณาหาเกณฑ์ที่ใช้ในการกำหนดค่าต่อไป สำหรับตัวแปรที่พบว่ามีผลต่อประสิทธิภาพการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และสามารถออกแบบได้ ได้แก่

1. Lsoc (Lower state of charge) ค่าสถานะต่ำของประจุในแบตเตอรี่ เป็นตัวแปรที่กำหนดไว้ในระบบจัดการพลังงาน (Energy management subsystem) โดยวัดจากปริมาณประจุคงเหลือในแบตเตอรี่ ค่า Lsoc เป็นค่าที่ใช้อ้างอิงสำหรับทำการชาร์จแบตเตอรี่เมื่อประจุในแบตเตอรี่ต่ำกว่าค่านี้ การเริ่มต้นชาร์จแบตเตอรี่จะทำโดยการแบ่งกำลังจากเจนเนอเรเตอร์ส่วนหนึ่งเพื่อทำการชาร์จขณะที่ส่วนหนึ่งจะใช้เสริมกำลังกับเครื่องยนต์และมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนรถยนต์ ดังนั้นการออกแบบ Lsoc มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ส่วนความสัมพันธ์ต่อประสิทธิภาพการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงนั้นจะทำการทดลองเพื่อหาแนวโน้มต่อไป
2. Hsoc (Higher state of charge) ค่าสถานะสูงของประจุในแบตเตอรี่ เป็นตัวแปรที่กำหนดไว้ในระบบจัดการพลังงาน (Energy management subsystem) โดยกำหนดคู่กับ Lsoc สำหรับ Hsoc เป็นค่าที่ใช้อ้างอิงการหยุดการชาร์จแบตเตอรี่ เมื่อประจุในแบตเตอรี่มีการชาร์จมากกว่าค่านี้แล้ว การหยุดการชาร์จแบตเตอรี่จะทำให้กำลังทั้งหมดจากเจนเนอเรเตอร์ถูกใช้ในการขับเคลื่อนรถยนต์ ดังนั้นการออกแบบ Hsoc จึงมีผลต่อประสิทธิภาพการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง
3. Switch on point ค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ มีหน่วยเป็นวัตต์ เป็นตัวแปรที่กำหนดไว้ในระบบจัดการพลังงาน (Energy management subsystem) Switch on point เป็นค่าที่ใช้สำหรับอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ เมื่อกำลังที่ต้องใช้ในการขับเคลื่อนรถยนต์ (Drive toque) มากกว่าค่านี้ โดยอาจเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ควบคู่กับมอเตอร์ไฟฟ้า หรือเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ขณะที่มอเตอร์ไฟฟ้าไม่มีการทำงานก็ได้ เนื่องจากน้ำมันเชื้อเพลิงถูกใช้ในเครื่องยนต์ ดังนั้นการออกแบบค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งจะทำการทดลองเพื่อหาแนวโน้มต่อไป
4. Switch off point ค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ มีหน่วยเป็นวัตต์ เป็นตัวแปรที่กำหนดไว้ในระบบจัดการพลังงาน (Energy management subsystem) และกำหนดไว้คู่กับ Switch on point สำหรับค่า Switch off point จะกำหนดการปิดการทำงานของเครื่องยนต์เมื่อกำลังที่รถยนต์ต้องการ (Drive toque) ต่ำกว่าค่านี้ และ Switch off point จะมีค่าน้อยกว่า Switch on point เสมอ การปิดการทำงานของเครื่องยนต์จะทำให้กำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถยนต์มาจากพลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว และมีผลกับประจุในแบตเตอรี่ซึ่งจะส่งผลต่อสถานะการชาร์จและมีผลต่อประสิทธิภาพการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง

3.2.3 กำหนดเกณฑ์การพิจารณาผลการทดลอง

สำหรับเกณฑ์การพิจารณาผลการทดลอง ดังที่ได้กล่าวแล้วว่าจะพิจารณาตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานเฉพาะส่วนที่มาจากน้ำมันเชื้อเพลิง สำหรับการทดลองจะแบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วนคือ การทดลองในส่วน Lsoc (lower state of charge) และ Hsoc (higher state of charge) และการทดลองในส่วน Switch on point และ Switch off point สำหรับการทดลองในส่วนแรกจะกำหนดเกณฑ์การพิจารณาโดยทำการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรและสร้างกราฟความสัมพันธ์กับอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในหน่วย กิโลเมตรต่อลิตร โดยทำการอินทิเกรตกำลังของเครื่องยนต์ออกมาเป็นปริมาณน้ำมันที่ใช้ทั้งหมดในการขับขี่ในแบบจำลอง และทำการอินทิเกรตความเร็วรถยนต์ (Car speed) ได้ระยะทางที่รถยนต์ทำได้ หลังจากนั้นจึงทำการปรับตัวแปรที่ได้ให้อยู่ในหน่วย กิโลเมตรต่อลิตร ในส่วนของการทดลอง Switch on point และ Switch off point จะทำการปรับเปลี่ยนตัวแปรเพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์กับอัตราการใช้พลังงานในหน่วยของ วัตต์ต่อเมตร เพื่อให้เห็นปริมาณพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถยนต์ต่อระยะทางหนึ่งเมตร สำหรับระยะทางหาได้โดยกระบวนการตามที่ได้กล่าวไว้ในการทดลองส่วนแรก และสำหรับพลังงานที่ถูกใช้ตลอดระยะเวลาการขับเคลื่อนจะทำการอินทิเกรทจาก Engine power

สูตรสำหรับหาค่าอัตราการใช้น้ำมันสำหรับการทดลอง Lsoc และ Hsoc

$$\frac{Engine_power_(J/s)}{Distance_(m)} \times \frac{Time_(16_s)}{Heating_value_(34525_kJ/L)} \Rightarrow \frac{litre}{kilometre} \Updownarrow \frac{kilometre}{litre}$$

สูตรสำหรับหาค่าอัตราการใช้พลังงานสำหรับการทดลอง Switch on point และ Switch off point

$$\frac{Engine_power_(w)}{Distance_(m)} \Rightarrow \frac{watt}{metre}$$

3.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลอง จะพิจารณากำลังจากเครื่องยนต์เป็นสำคัญ เพราะต้นทุนน้ำมันสูงกว่าต้นทุนไฟฟ้ามาก ดังนั้นสำหรับการทดลอง H_{soc} และ L_{soc} จะพิจารณาความสัมพันธ์กับอัตราการใช้น้ำมัน (กิโลเมตรต่อลิตร) และการทดลอง Switch on point และ Switch off point จะพิจารณาความสัมพันธ์กับอัตราการใช้พลังงาน (วัตต์ต่อเมตร) โดยจะทำการทดลองโดยปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรเพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ และวิเคราะห์ผลการทดลองจากกราฟเพื่อหาจุดหรือช่วงของค่าที่มีความเหมาะสมที่สุด สำหรับนำไปใช้ในการออกแบบระบบจัดการพลังงาน เช่น สำหรับค่า H_{soc} และ L_{soc} ที่ให้อัตราการใช้น้ำมันสูง เป็นค่าที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ และค่า Switch on point และ Switch off point ที่ให้อัตราการใช้พลังงานต่ำ เป็นค่าที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ เป็นต้น ทั้งนี้จะพิจารณาเงื่อนไขสำคัญอื่น ๆ ประกอบการสรุปผลการทดลองด้วย

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์

จากการทดลองคำนวณอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และอัตราการใช้พลังงานของแบบจำลองรถยนต์ไฮบริด ด้วยโปรแกรม Matlab และสร้างตารางความสัมพันธ์ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อนำมาอธิบายการกำหนดเกณฑ์ในการเลือก สถานะต่ำของประจุในแบตเตอรี่ (Lower state of charge) สถานะสูงของประจุในแบตเตอรี่ (Higher state of charge) และ ค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) ค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) ซึ่งเป็นค่าที่ต้องพิจารณากำหนดในการออกแบบระบบจัดการพลังงาน (Energy Management Subsystem, EMS) สำหรับรถยนต์ไฮบริด

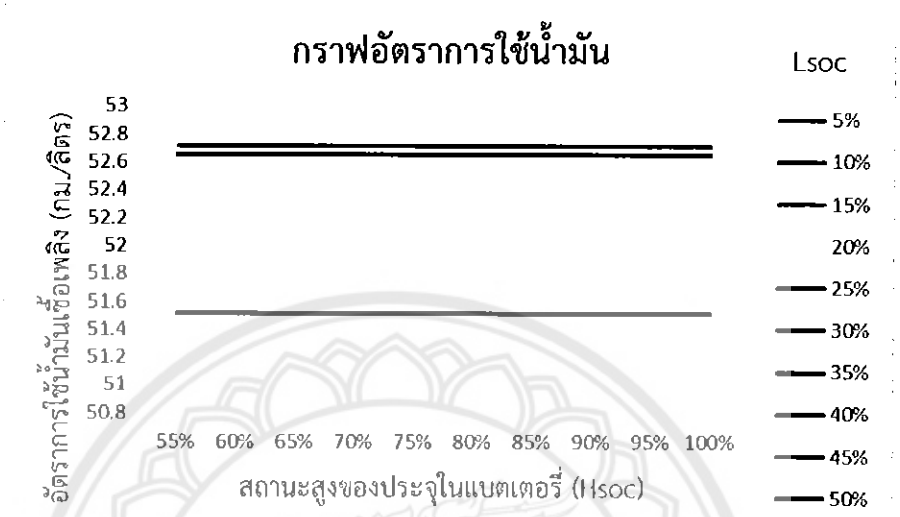
4.1 Higher State of Charge, Lower State of Charge ของแบตเตอรี่

ตารางอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (km/Litre)										
Lsoc\Hsoc	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
5%	52.7121	52.7121	52.7121	52.7121	52.7121	52.7121	52.7121	52.7121	52.7121	52.7121
6%	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154
7%	52.7121	52.7121	52.7121	52.7121	52.7121	52.7121	52.7121	52.7121	52.7121	52.7121
8%	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154
9%	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154
10%	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154
11%	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154
12%	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568
13%	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568
14%	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568
15%	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568
16%	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568
17%	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568
18%	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154
19%	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568
20%	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154
21%	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154
22%	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154

ตารางอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (km/Litre) (ต่อ)										
Lsoc\Hsoc	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
23%	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154
24%	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568
25%	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568
26%	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568
27%	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568
28%	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568
29%	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568
30%	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568
31%	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154
32%	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568
33%	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154
34%	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568
35%	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568
36%	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568
37%	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568
38%	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568
39%	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568
40%	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568
41%	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154
42%	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154
43%	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154
44%	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154
45%	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154	51.5154
46%	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568
47%	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568
48%	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568
49%	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568
50%	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568	52.6568

ตารางที่ 4.1 ตารางอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง

4.1.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง



รูปที่ 4.1 กราฟอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ Higher state of Change ต่าง ๆ

จากการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างของอัตราการใช้น้ำมันเมื่อทำการปรับเปลี่ยนสถานะสูงของประจุในแบตเตอรี่ (H_{soc}) ที่สถานะต่ำของประจุในแบตเตอรี่ (L_{soc}) และสถานะเริ่มต้นของประจุในแบตเตอรี่ (I_{soc}) ต่าง ๆ เนื่องจากแบบจำลองนี้ ได้จำลองให้รถวิ่งด้วยเวลาเพียง 16 วินาที พลังงานในแบตเตอรี่ถูกใช้ไปน้อยมาก มีการเปลี่ยนแปลงพลังงานในแบตเตอรี่ไม่ถึงระดับของสถานะสูงของประจุในแบตเตอรี่ (H_{soc}) ทำให้ไม่เห็นผลจากการทดลองที่เปลี่ยนไปที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนค่าสถานะสูงของประจุในแบตเตอรี่ (H_{soc}) ซึ่งการจะทำให้เห็นผลจากการปรับเปลี่ยนได้นั้นต้องทำให้แบบจำลองจำลองการวิ่งของรถในระยะทางที่ไกลมากพอที่จะทำให้แบตเตอรี่หมดลงและได้รับการประจุจนเต็มอีกครั้งแล้วค่อยประมาณอัตราการใช้น้ำมันของรถยนต์ จึงทำให้การทดลองนี้ไม่สามารถใช้อ้างอิงประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของรถได้

รูปที่ 4.2 กราฟอัตราการใช้น้ำมันที่ Lower state of Charge และ Initial state of Charge ต่าง ๆ

สำหรับการทดลองในส่วนการปรับเปลี่ยนสถานะต่ำของประจุในแบตเตอรี่ (L_{soc}) ได้กำหนดให้สถานะเริ่มต้นของประจุในแบตเตอรี่ (I_{soc}) หรือ Initial State of Charge มีค่าเท่ากับสถานะต่ำของประจุในแบตเตอรี่ (L_{soc}) เพื่อให้การทดลองมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้พลังงาน หรือน้ำมันที่เห็นได้ในระยะเวลาการทดลองที่สั้น คือรถยนต์ขับเคลื่อนเพียง 16 วินาที พบว่าที่สถานะต่ำของประจุในแบตเตอรี่ (L_{soc}) เท่ากับ 12% ถึง 17% 24% ถึง 30% 34% ถึง 40% และตั้งแต่ 46% ขึ้นไป อัตราการใช้น้ำมันมีความคุ้มค่าที่สุด คือเท่ากับ 52.66 กิโลเมตร/ลิตร และมีช่วงความกว้างมากพอที่จะนำไปใช้งานจริงได้ ดังนั้นหากกำหนดให้สถานะเริ่มต้นของประจุในแบตเตอรี่ (I_{soc}) และสถานะต่ำของประจุในแบตเตอรี่ (L_{soc}) เท่ากันจะได้ช่วงที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 12% ถึง 17% 24% ถึง 30% 34% ถึง 40% และตั้งแต่ 46% ขึ้นไป ที่อัตราการใช้น้ำมัน 52.66 กิโลเมตร/ลิตร

4.2 Switch on point, Switch off point

หมายเหตุ: Switch on/off point เป็นค่าที่ใช้อ้างอิงการเปิดปิดการทำงานของเครื่องยนต์เพียงอย่างเดียว ไม่ใช่ค่าที่ใช้กำหนดการเปิดปิดระบบไฮบริด สำหรับการเปิดปิดระบบไฮบริดนั้น จะพิจารณาการเปิดปิดการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าและเจนเนอเรเตอร์ด้วย

Switch on point และ Switch off point คือค่าที่กำหนดไว้ในระบบจัดการพลังงานของแบบจำลองรถยนต์ไฮบริด เพื่อใช้อ้างอิงในการเปิดปิดการทำงานของเครื่องยนต์ โดยกระบวนการมีดังนี้
หมายเหตุ: สมมติให้ switch on point = 12,000 W และ switch off point = 11,000 W

1) เมื่อเริ่มสตาร์ทรถยนต์ จะมีการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ตามความเร็ว หรือแรงบิดที่รถยนต์ต้องการ โดยขณะเริ่มขับเคลื่อนที่ความเร็วต่ำ รถยนต์ไฮบริดจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนเพียงอย่างเดียว เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้าให้แรงบิดที่ความเร็วต่ำได้ดีกว่า จนถึงความเร็วหนึ่งที่รถยนต์ต้องการพลังงานมากกว่า 12,000 W เครื่องยนต์จะเริ่มทำงาน

2) เมื่อมีการลดความเร็ว หรือความต้องการพลังงานของรถยนต์ลดต่ำกว่า 11000 watt เครื่องยนต์จะหยุดทำงาน และรถยนต์จะขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว

หัวข้อนี้จะทำการทดลองโดยการปรับเปลี่ยนค่า Switch on point และ Switch off point เพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Switch on point, Switch off point และ อัตราการใช้พลังงาน (W/m)

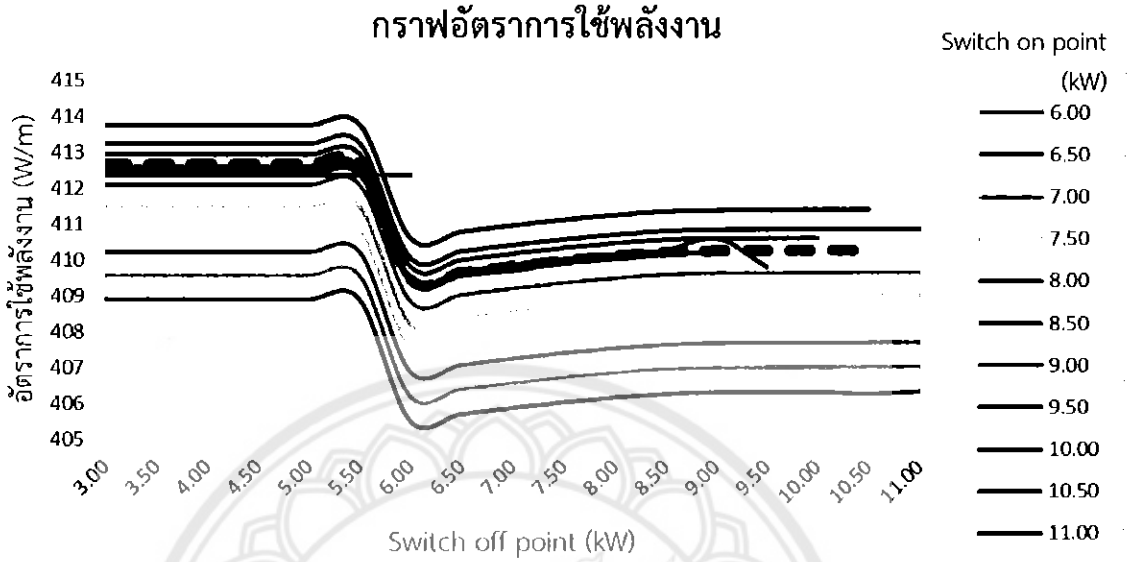
ส่วนของกำลังที่ทำการอินทิเกรทออกมาในรูปของพลังงานรวมที่ใช้ไปทั้งหมด จะนำไปหารกับระยะทางที่รถยนต์ทำได้ เพื่อนำค่าอัตราการใช้พลังงานของรถยนต์ไปเปรียบเทียบกัน ที่ Switch on/off ต่าง ๆ

ตารางอัตราการใช้พลังงาน (W/m)

Switch on point (kW)	Switch off point (kW)																
	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11*
6	412.35814	412.35814	412.35814	412.35814	412.35814	412.35814	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6.5	412.35997	412.35997	412.35997	412.35997	412.35997	412.35997	412.35997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	412.36324	412.36324	412.36324	412.36324	412.36324	412.36324	409.44794	409.63691	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.5	412.36876	412.36876	412.36876	412.36876	412.36876	412.36876	409.42248	409.61139	409.78874	-	-	-	-	-	-	-	-
8	412.37808	412.37808	412.37808	412.37808	412.37808	412.37808	409.40157	409.59047	409.76778	409.92937	-	-	-	-	-	-	-
8.5	412.39551	412.39551	412.39551	412.39551	412.39551	412.39551	409.38762	409.57656	409.75393	409.91544	410.04593	-	-	-	-	-	-
9	412.42586	412.42586	412.42586	412.42586	412.42586	412.42586	409.38806	409.57697	409.75435	409.91587	410.04637	410.1488	-	-	-	-	-
9.5	412.48542	412.48542	412.48542	412.48542	412.48542	412.48542	409.41674	409.60566	409.69793	409.94453	410.07384	410.17627	410.21422	-	-	-	-
10	412.60738	412.60738	412.60738	412.60738	412.60738	412.60738	409.50745	409.69651	409.87387	410.03542	410.16595	410.26843	410.61207	409.81283	-	-	-
10.5	412.94285	412.94285	412.94285	412.94285	412.94285	412.94285	409.81281	410.00245	410.17984	410.3414	410.47188	410.57426	410.61207	410.61892	410.62523	-	-
11	413.76223	413.76223	413.76223	413.76223	413.76223	413.76223	410.60174	410.79145	410.9695	411.13109	411.2619	411.36287	411.40056	411.40739	411.41368	411.41967	-
11.5	413.24637	413.24637	413.24637	413.24637	413.24637	413.24637	410.0552	410.24491	410.4224	410.58453	410.71498	410.81728	410.85518	410.86192	410.86825	410.87429	410.87977
12*	412.6795	412.6795	412.6795	412.6795	412.6795	412.6795	409.45898	409.64862	409.82544	409.98767	410.11762	410.22074	410.25746	410.2643	410.27064	410.2766	410.28214
12.5	412.08913	412.08913	412.08913	412.08913	412.08913	412.08913	408.83856	409.0275	409.20435	409.36596	409.49667	409.59945	409.6375	409.64436	409.65072	409.65681	409.6629
13	411.48233	411.48233	411.48233	411.48233	411.48233	411.48233	408.2029	408.39127	408.56864	408.7297	408.86057	408.96357	409.00169	409.00742	409.01381	409.01984	409.02541
13.5	410.8591	410.8591	410.8591	410.8591	410.8591	410.8591	407.55013	407.7384	407.91514	408.07622	408.20666	408.30989	408.34825	408.35511	408.36152	408.36828	408.3738
14	410.22075	410.22075	410.22075	410.22075	410.22075	410.22075	406.88404	407.07167	407.24772	407.40887	407.5394	407.64288	407.68134	407.68702	407.69353	407.69961	407.70578
14.5	409.56813	409.56813	409.56813	409.56813	409.56813	409.56813	406.20351	406.39096	406.56518	406.72628	406.85699	406.96015	406.99869	407.00568	407.01214	407.01825	407.02446
15	408.90107	408.90107	408.90107	408.90107	408.90107	408.90107	405.50847	405.69525	405.87057	406.03113	406.16132	406.26533	406.30409	406.31104	406.31757	406.26533	406.32938

หมายเหตุ: อัตราการใช้พลังงานคำนวณมาจากกำลังที่เครื่องยนต์สร้างได้ ดังนั้นจึงไม่รวมพลังงานในส่วนของไฟฟ้าทั้งในส่วนของกำลังที่เกิดจากมอเตอร์ไฟฟ้า และกำลังที่ถูกนำกลับมาใช้ใหม่โดยเจนเนอเรเตอร์ (*สำหรับ switch on point 12 kW และ switch off point 11 kW คือค่าเริ่มต้นที่ใช้ในแบบจำลอง)

ตารางที่ 4.2 ตารางอัตราการใช้พลังงาน

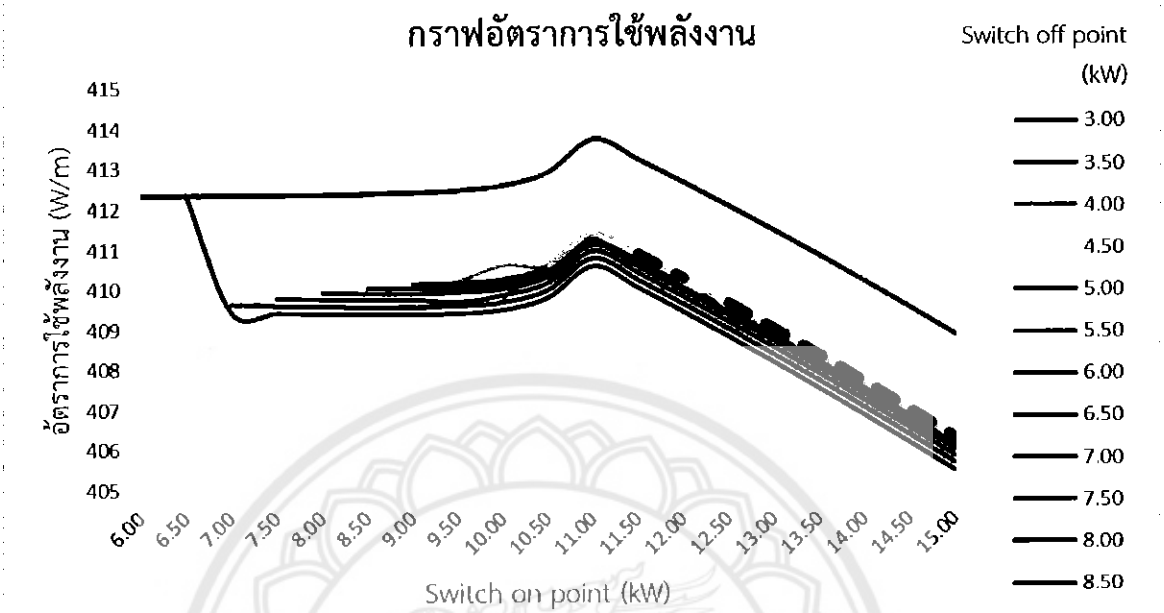


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Switch off point กับอัตราการใช้พลังงาน

รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) กับอัตราการใช้พลังงาน ที่ค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) ต่าง ๆ โดยเส้นประสีแดงคือกราฟของค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) = 12,000 W ซึ่งเป็นค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) ของแบบจำลองเริ่มต้น และจุดสีเหลืองคือตำแหน่งค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) = 11,000 W พบว่าถ้ากำหนดค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) และปรับเปลี่ยนค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) อัตราการใช้พลังงานจะมีค่าคงที่จนถึงค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) ค่าหนึ่งซึ่งอัตราการใช้พลังงานจะลดลงอย่างรวดเร็ว และเพิ่มขึ้นเมื่อค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) เพิ่มขึ้น จะสังเกตว่าค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) ที่ใช้ในแบบจำลองเริ่มต้นไม่ใช่จุดต่ำสุดของกราฟ แต่มีค่ามากกว่าจุดต่ำสุดของกราฟเล็กน้อย ซึ่งอยู่ห่างจากบริเวณที่ให้ค่าอัตราการใช้พลังงานสูงด้านซ้ายของกราฟ

จากผลการทดลองดังกล่าว เมื่อพิจารณากราฟเส้นเดียว หากพิจารณาช่วงความกว้างระหว่างค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) กับค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) เมื่อกำหนดค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) และปรับเปลี่ยนค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) ถ้าค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) มีค่าน้อย ช่วงความกว้างระหว่างค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) กับค่า

อ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) จะมาก และหากค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) มีค่ามาก ช่วงความกว้างระหว่างค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) กับค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) จะน้อย รูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าการกำหนดค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) มีจุดที่เหมาะสม หรือมีช่วงความกว้างระหว่างค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) กับค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) ที่เหมาะสม ซึ่งต้องพิจารณาในการออกแบบระบบจัดการพลังงานเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการใช้พลังงาน และสามารถใช้ได้จริง โดยการกำหนดให้ค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) มีค่าเท่ากับ 11,000 W ซึ่งจากกราฟความสัมพันธ์พบว่า ที่ค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) เท่ากับ 6,000 W อัตราการใช้พลังงานมีความคุ้มค่ากว่า แต่เนื่องจากมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยคือประมาณ 1 W/m และที่ค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) ต่ำกว่า 6,000 W อัตราการใช้พลังงานมีค่าสูงกว่ามาก คือ ประมาณ 3 W/m ดังนั้นจึงกำหนดให้ค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) มีค่ามากกว่า 6000 W มาทางขวาของกราฟ และที่กำหนดไว้ที่ 11,000 W เพื่อให้ช่วงความกว้างของค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) และค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) มีความเหมาะสม



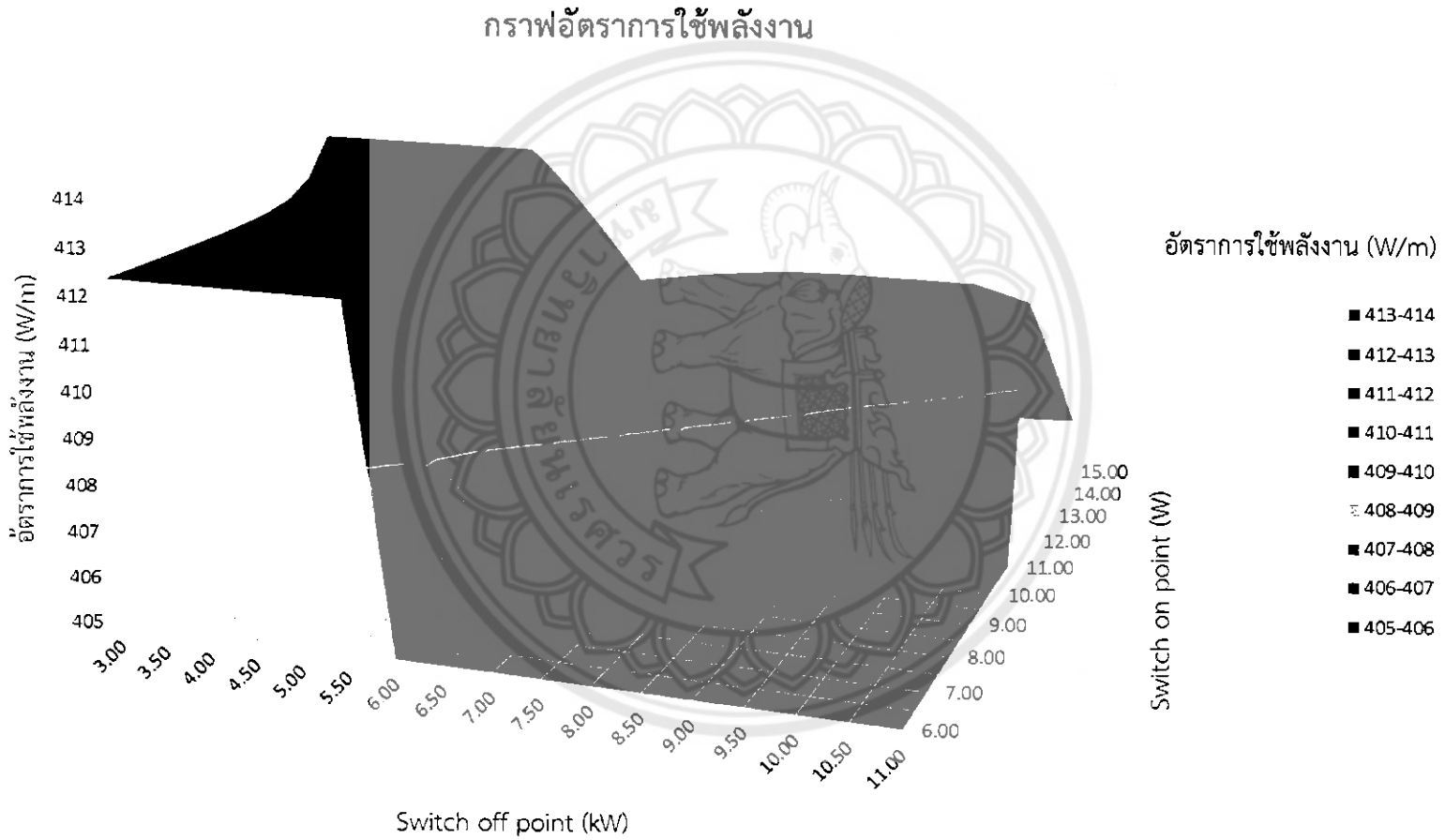
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Switch on point กับ อัตราการใช้พลังงาน

รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) กับอัตราการใช้พลังงาน เส้นประสีแดงคือกราฟของค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) = 11,000 W และจุดสีเหลืองคือตำแหน่งของค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) ที่ถูกใช้ในแบบจำลองเริ่มต้น พบว่า กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) กับอัตราการใช้พลังงาน แตกต่างจากกราฟความสัมพันธ์ของค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) กับอัตราการใช้พลังงาน โดยเมื่อทำการกำหนดค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) ค่าหนึ่ง และทำการปรับเปลี่ยนค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) ที่ค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) มาก จะให้อัตราการใช้พลังงานน้อยลงดังแสดงในกราฟ ทั้งนี้เนื่องจากหลักเกณฑ์ในการกำหนดแหล่งพลังงานสำหรับรถยนต์ไฮบริดนั้นจำเป็นต้องพิจารณาสภาพที่เหมาะสมในการใช้งาน โดยที่ความเร็วต่ำการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าจะมีความเหมาะสมมากกว่า เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้าให้ทอร์คที่ความเร็วรอบต่ำได้ดีกว่า และเมื่อทำความเร็วถึงค่าหนึ่งการเปลี่ยนแหล่งพลังงานจากมอเตอร์ไฟฟ้าไปใช้เครื่องยนต์จะมีความเหมาะสมมากกว่า เนื่องจากเครื่องยนต์สามารถให้ความเร็วรอบหรือกำลังได้มากกว่ามอเตอร์ไฟฟ้า ในขณะที่มอเตอร์ไฟฟ้าให้แรงบิดได้มากกว่าเครื่องยนต์ ดังนั้นกรณีของการกำหนดค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) จึงต้องพิจารณาลักษณะของเครื่องยนต์ว่าสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ หรือทำงานได้เหมาะสมที่ความเร็วเท่าใด เพื่อสามารถกำหนดค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) ที่เหมาะสม จากกราฟจะพบว่า

เครื่องยนต์จะมีประสิทธิภาพมากเมื่อเริ่มทำงานที่กำลังสูง แต่เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้ามีขีดจำกัดการทำงานที่ความเร็วสูง จึงทำให้การกำหนดค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) ต้องพิจารณาขีดจำกัดการทำงานที่เหมาะสมของมอเตอร์ไฟฟ้า

เครื่องยนต์ Hybrid แบบ Atkinson Cycle ของ TOYOTA	
เครื่องยนต์	เบนซิน 1.8 ลิตร 4 สูบ DOHC 16 วาล์ว VVT-i ให้กำลัง 99 แรงม้า แรงบิดสูงสุด 142 นิวตัน-เมตร
มอเตอร์ไฟฟ้า	82 แรงม้า แรงบิดสูงสุด 207 นิวตัน-เมตร

ค่าอัตราการใช้พลังงานเป็นค่าที่คำนวณมาจากอัตราการใช้น้ำมันของแบบจำลองโดยไม่พิจารณาการใช้พลังงานในส่วนที่แบตเตอรี่ต้องจ่าย จากรูปที่ 4.4 พบว่าการปรับค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) เพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการใช้พลังงานน้อยลงและให้ความคุ้มค่าในการใช้พลังงานหรือน้ำมันมากกว่า เนื่องจากมีการใช้เครื่องยนต์น้อยกว่า แต่กรณีของการกำหนดค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) จำเป็นต้องพิจารณาขีดจำกัดการทำงานที่เหมาะสมของมอเตอร์ไฟฟ้า ดังนั้นเกณฑ์ในการกำหนดค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) จึงพิจารณาความเหมาะสมในการทำงานที่สภาวะสูงสุดของมอเตอร์ไฟฟ้า ส่วนเกณฑ์ในการกำหนดค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) พิจารณาจากอัตราการใช้พลังงาน หรือความเหมาะสมในการใช้เครื่องยนต์ที่กำลังต่ำกว่าค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) หลังจากเครื่องยนต์เริ่มทำงานแล้ว



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Switch on point, Switch off point และอัตราการใช้พลังงาน

รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) ค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) และอัตราการใช้พลังงาน สำหรับบริเวณที่ให้อัตราการใช้พลังงานเป็นศูนย์คือบริเวณที่ค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) มีค่าน้อยกว่าค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) (ค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) มากกว่าค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) เสมอ) จากกราฟจะพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสามตัวนี้มีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน แต่อย่างไรก็ตามช่วงที่เหมาะสมสำหรับค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) และค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) ที่ให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงหรือน้ำมัน มีช่วงที่เหมาะสม ดังนั้นการกำหนดค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) และค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) จะพิจารณาจากอัตราการใช้พลังงาน และข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องหรือขอบเขตที่สามารถกำหนดได้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลองการกำหนดค่าเกณฑ์ต่าง ๆ สำหรับระบบจัดการพลังงาน (Energy Management Subsystem, EMS)

5.1 สรุปผล

สำหรับระบบจัดการพลังงาน (Energy Management Subsystem, EMS) เกณฑ์การกำหนดค่าสำหรับอ้างอิงการทำงานของเครื่องยนต์และมอเตอร์ไฟฟ้านั้นมีความสำคัญ เพราะจะทำให้รถยนต์ไฮบริดสามารถใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถประหยัดการใช้น้ำมันได้มากที่สุดในสภาพการขับขี่ที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอด หากสามารถออกแบบระบบจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูง การใช้พลังงานของรถยนต์ไฮบริดก็จะมีความคุ้มค่ามาก

5.1.1 Higher State of Change, Lower State of Change

จากการทดลองเพื่อหาเกณฑ์ในการกำหนดค่าสถานะสูงของประจุในแบตเตอรี่ (Higher state of charge) สถานะต่ำของประจุในแบตเตอรี่ (Lower state of charge) สำหรับค่าสถานะสูงของประจุในแบตเตอรี่ (Higher state of charge) เนื่องจากช่วงความกว้างระหว่างสถานะสูงของประจุในแบตเตอรี่ (Higher state of charge) และสถานะเริ่มต้นของประจุในแบตเตอรี่ (Initial state of charge) มาก ทำให้การทดลองไม่สามารถให้ข้อมูลที่สรุปได้ เนื่องจากมีการชาร์จประจุแบตเตอรี่ในระหว่างขับขี่ไม่ถึงระดับของสถานะสูงของประจุในแบตเตอรี่ (Higher state of charge) ทำให้การปรับเปลี่ยนค่าสถานะสูงของประจุในแบตเตอรี่ (Higher state of charge) ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้น้ำมัน สำหรับสถานะต่ำของประจุในแบตเตอรี่ (Lower state of charge) ได้ทดลองโดยกำหนดให้เท่ากับสถานะเริ่มต้นของประจุในแบตเตอรี่ (Initial state of charge) เพื่อให้สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้น้ำมันในระยะการขับขี่ที่สั้นได้ พบว่าหากใช้เงื่อนไขนี้จะได้ค่าที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 12% ถึง 17% 24% ถึง 30% 34% ถึง 40% และตั้งแต่ 46% ขึ้นไป

5.1.2 Switch on point, Switch off point

จากการทดลองปรับเปลี่ยนค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) และค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) พบว่าการกำหนดค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) พิจารณาจากขีดจำกัดความเหมาะสมในการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า จากการทดลองพบว่าค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) ยิ่งมาก การใช้พลังงานของรถยนต์ไฮบริดยิ่งมีความคุ้มค่า เนื่องจากเครื่องยนต์เริ่มทำงานที่กำลังสูง แต่ต้องไม่เกินขีดจำกัดที่เหมาะสมของมอเตอร์ไฟฟ้า ดังนั้นสรุปได้ว่า เครื่องยนต์ยิ่งทำงานที่กำลังสูงยิ่งให้ประสิทธิภาพมาก โดยต้องไม่เกินขีดจำกัดที่เหมาะสมในการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า ส่วนของค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) พบว่าค่าที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 6 kW ถึง 11 kW ซึ่งให้ความคุ้มค่าในการใช้พลังงานใกล้เคียงกัน แต่เนื่องจากอัตราการใช้พลังงานที่ค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) ต่ำกว่า 6 kW

มีค่าสูงกว่าอัตราการใช้พลังงานที่ค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) สูงกว่า 6 kW มาก ดังนั้นการกำหนดค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนของระบบจัดการพลังงานอันเนื่องมาจากสภาพการขับขี่ที่ไม่แน่นอน จึงควรกำหนดค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) ให้มากกว่า 6 kW โดยพิจารณาความเหมาะสมของช่วงความกว้างระหว่างค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) และค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) เพื่อให้เครื่องยนต์ทำงานที่กำลังต่ำกว่าค่าอ้างอิงการเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch on point) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากค่าอ้างอิงการปิดการทำงานของเครื่องยนต์ (Switch off point) ต่ำเกินไป เครื่องยนต์จะทำงานที่กำลังต่ำ และไม่มีประสิทธิภาพ

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองพบว่ายังมีตัวแปรสำคัญที่จำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมอีกเป็นจำนวนมาก เนื่องจากระบบการทำงานของรถยนต์ไฮบริดมีความซับซ้อน และการออกแบบแบบจำลองเพื่อวิจัยและพัฒนารถต้นแบบมีความยาก และต้องใช้เวลามาก เพราะต้องการความเหมาะสมในแต่ละระบบย่อย เพื่อให้การประหยัดน้ำมันมีประสิทธิภาพสูงสุด หากพิจารณาอัตราการใช้พลังงานหรือน้ำมันเป็นสำคัญ ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยชิ้นนี้มีดังนี้

1) เพิ่มระยะเวลาขับขี่ในแบบจำลองจากเดิม 16 วินาที เป็น 4 ชั่วโมง หรือมากกว่า
2) เพิ่มวัฏจักรขับทดสอบ (Driving Cycle) หลาย ๆ รูปแบบ เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงาน เมื่อปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรที่สนใจของแต่ละ Driving Cycle
3) ศึกษาทดลองหาชุดของค่า H_{soc} L_{soc} และ I_{soc} ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบจัดการพลังงาน
4) ศึกษาเกณฑ์ในการกำหนดค่า Switch on point และ Switch off point สำหรับ Generator speed
5) ศึกษาเกณฑ์ในการกำหนดค่า Switch on point และ Switch off point สำหรับ Motor speed

เอกสารอ้างอิง

1. Animation of a full hybrid car at:http://www.fueleconomy.gov/feg/hybridtech.shtml
2. Toyota Motor Corporation, Public Affair Division, "Toyota Hybrid System THSII", may 2003, http://www.toyota.co.jp/en/tech/environment/ths2/index.html
3. B. Jeanneret, R. Trigui, F.Badin, F.Harel, "New Hybrid concept simulation tools, evaluation on the Toyota Prius car", The 16Th International electric vehicle symposium, October 13-16, 1999 – Beijing – China.

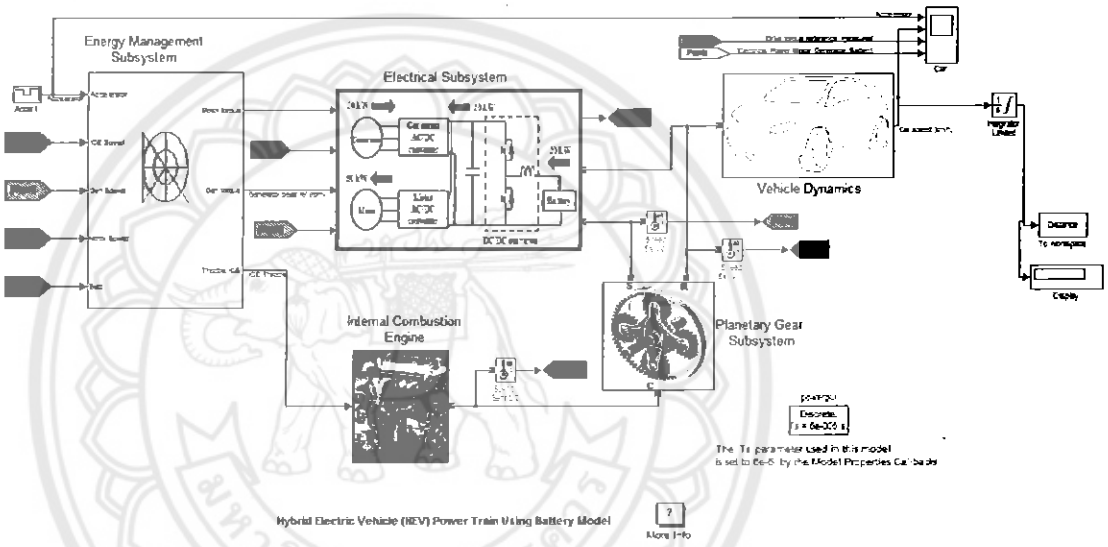
ภาคผนวก

วิธีการทดลอง

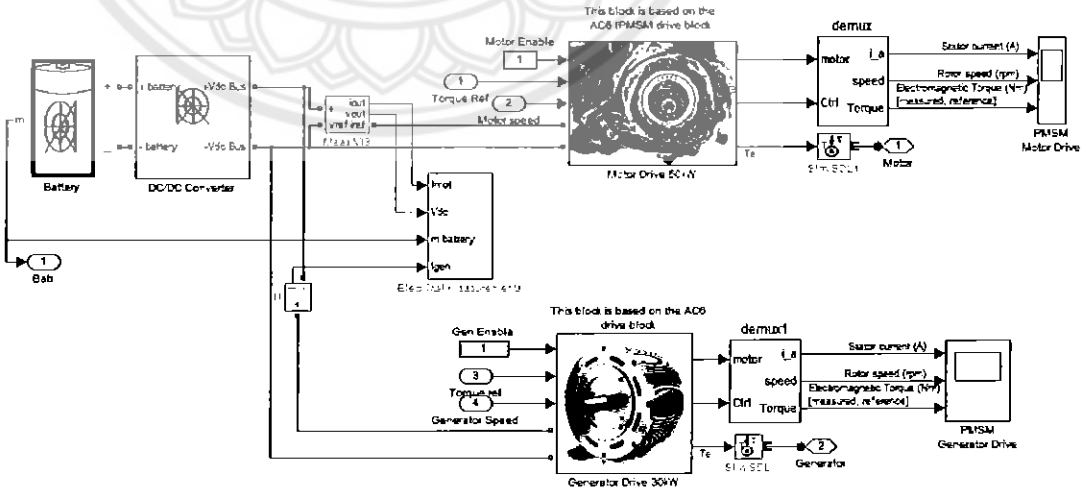
1. L_{soc} และ H_{soc}

จำลองระบบโดยการปรับเปลี่ยน L_{soc} และ H_{soc} ของแบบจำลองรถยนต์ไฮบริดเพื่อดูผลการจำลองว่าการปรับเปลี่ยน L_{soc} และ H_{soc} ส่งผลต่ออัตราการใช้น้ำมันของแบบจำลองหรือไม่

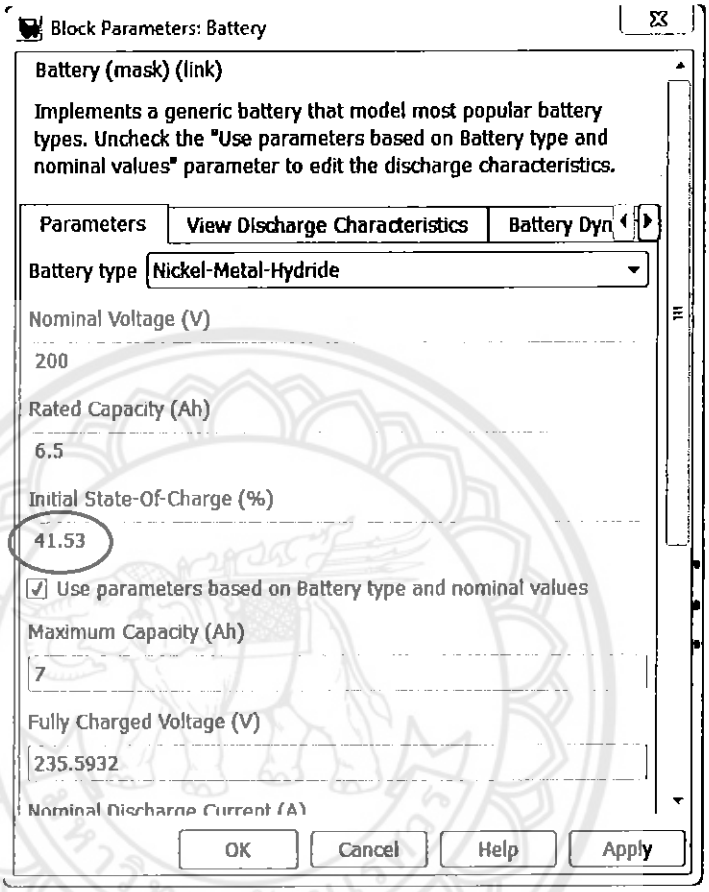
ขั้นตอนที่ 1.1 ดับเบิลคลิกที่ block ของ Electrical Subsystem



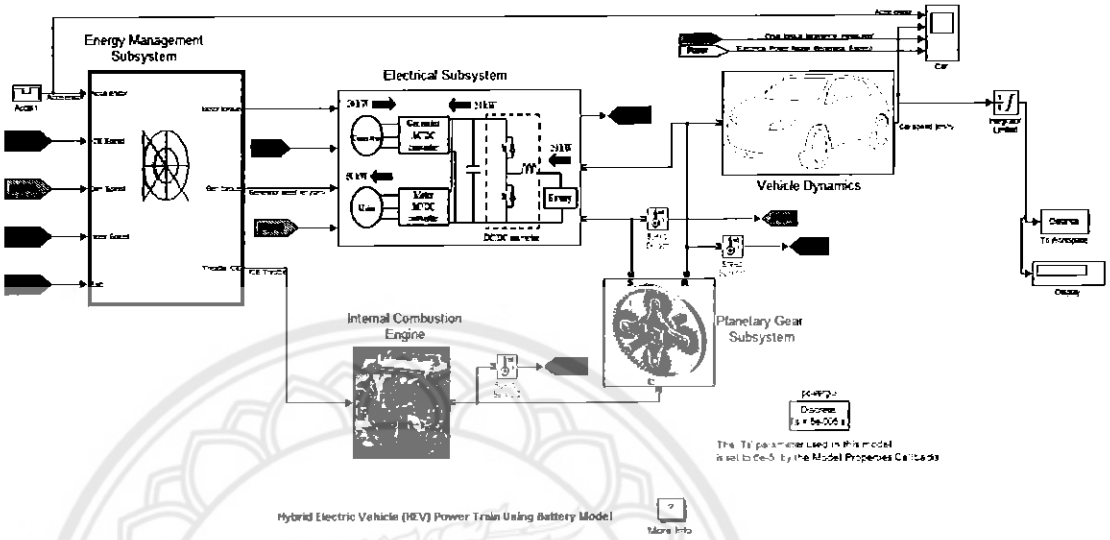
ขั้นตอนที่ 1.2 ดับเบิลคลิกที่ block ของ battery



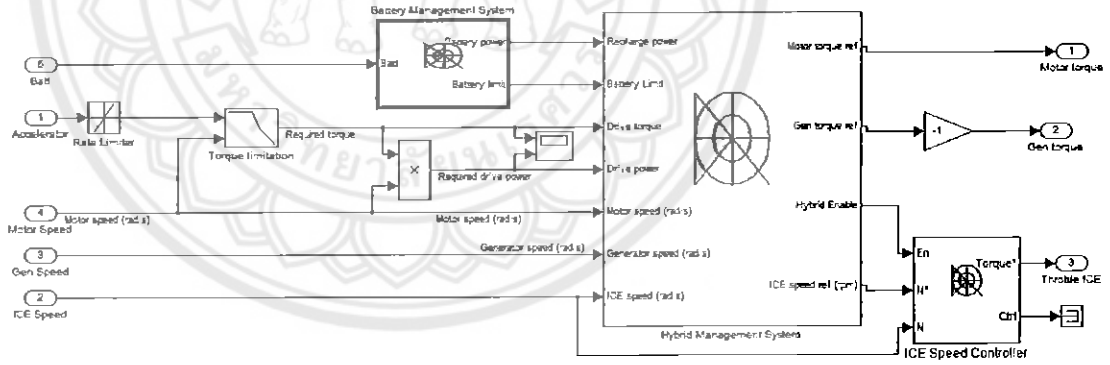
ขั้นตอนที่ 1.3 แก้ไขค่า Initial state of charge



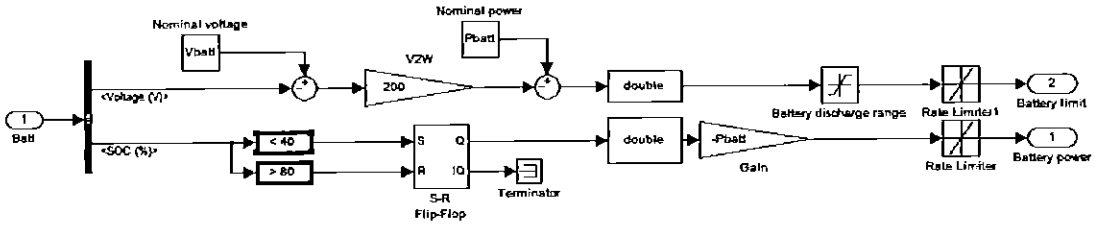
ขั้นตอนที่ 2.1 ดับเบิลคลิกที่ block ของ Energy Management Subsystem



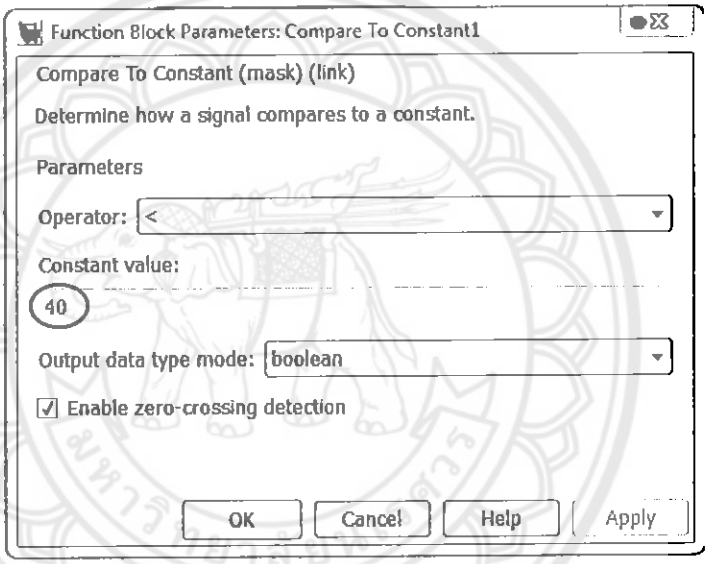
ขั้นตอนที่ 2.2 ดับเบิลคลิกที่ block ของ Battery Management System

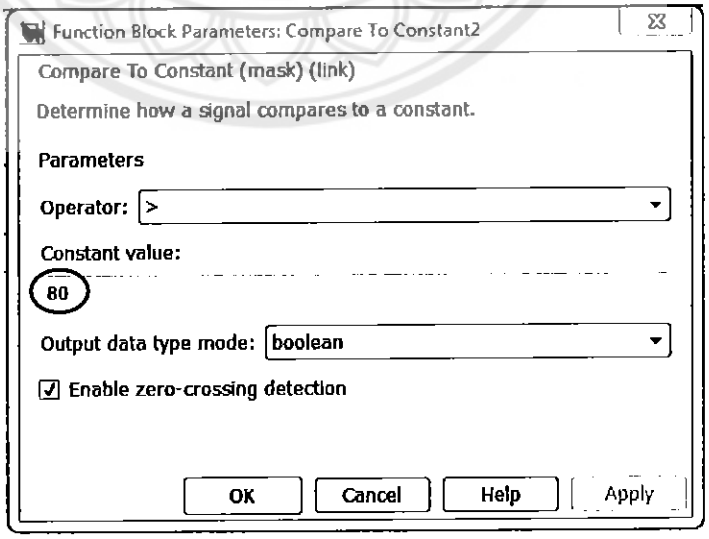


ขั้นตอนที่ 2.3 ดับเบิลคลิกที่ block ของ parameter ด้านบนคือ L_{soc} และด้านล่างคือ H_{soc}



ขั้นตอนที่ 2.4 ปรับเปลี่ยนค่า Constant value ในทั้งสอง block

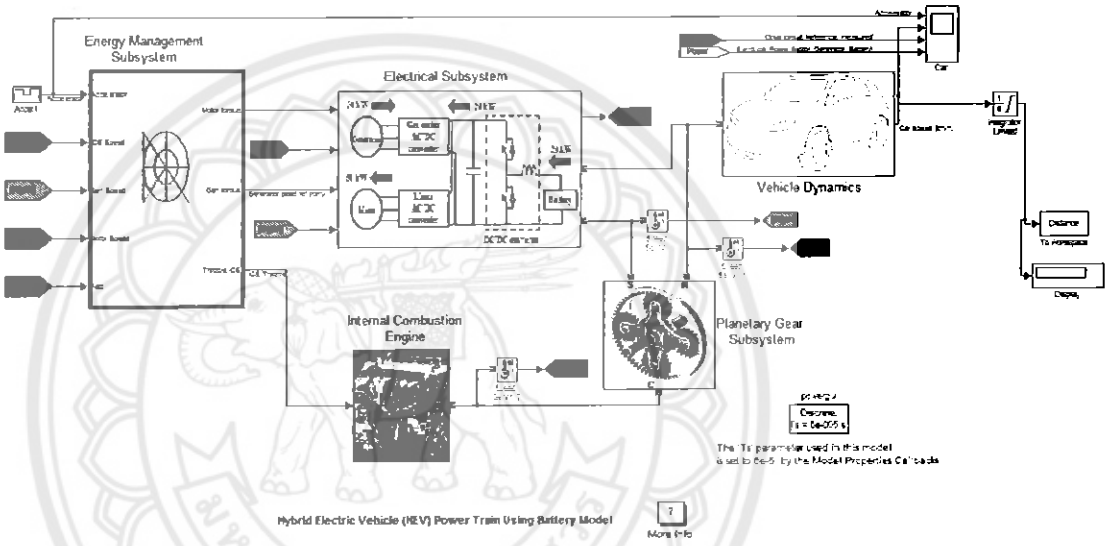




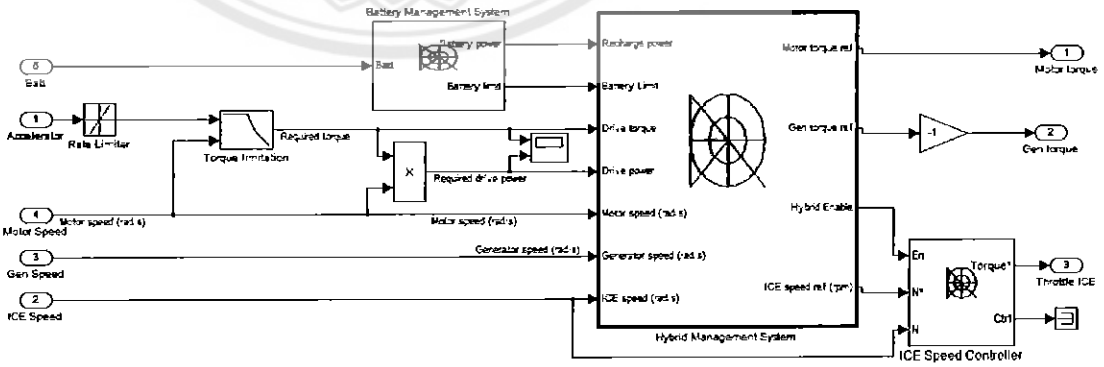
2. switch on point และ switch off point

ทำการทดลองโดยการปรับเปลี่ยนค่าของกำลังที่ใช้อ้างอิงการเปิดและปิดการทำงานของเครื่องยนต์ของแบบจำลองรถยนต์ไฮบริดซึ่งถูกกำหนดไว้ในบล็อก Relay ของ Simulink ในระบบ Hybrid on/off ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบ Energy Management แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้พลังงาน

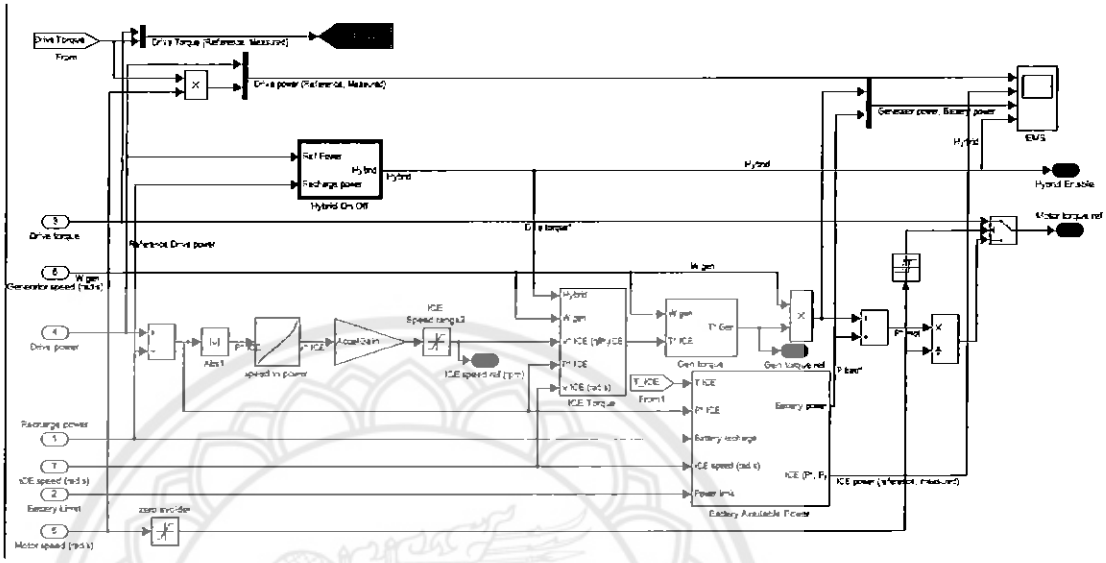
ขั้นตอนที่ 1 ดับเบิลคลิกที่ block ของ Energy Management Subsystem



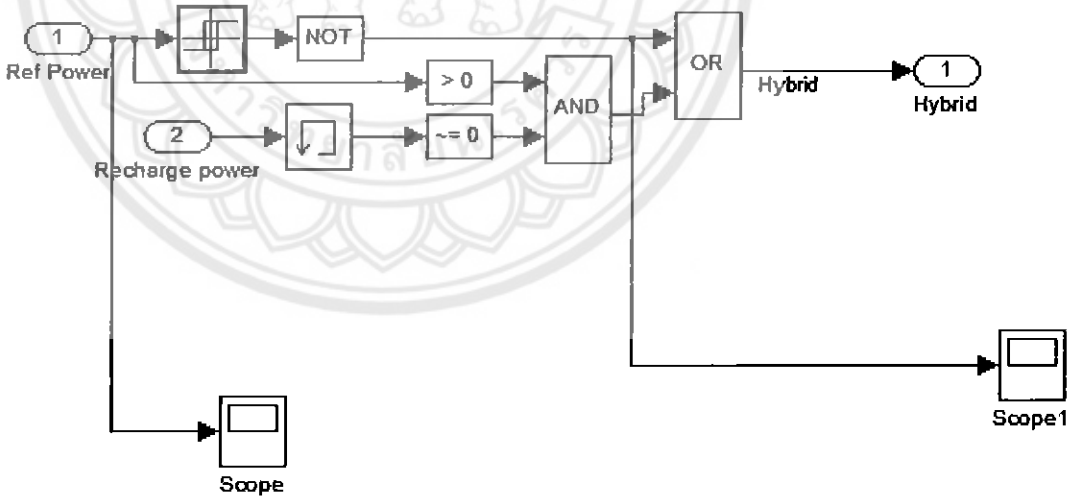
ขั้นตอนที่ 2 ดับเบิลคลิกที่ block ของ Hybrid Management System



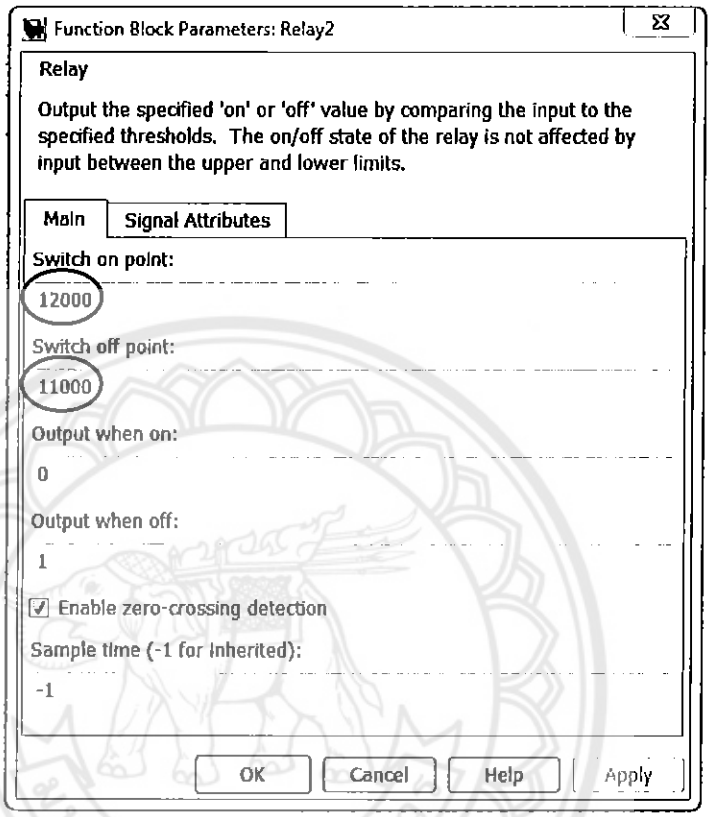
ขั้นตอนที่ 3 ดับเบิลคลิกที่ block ของ Hybrid on/off



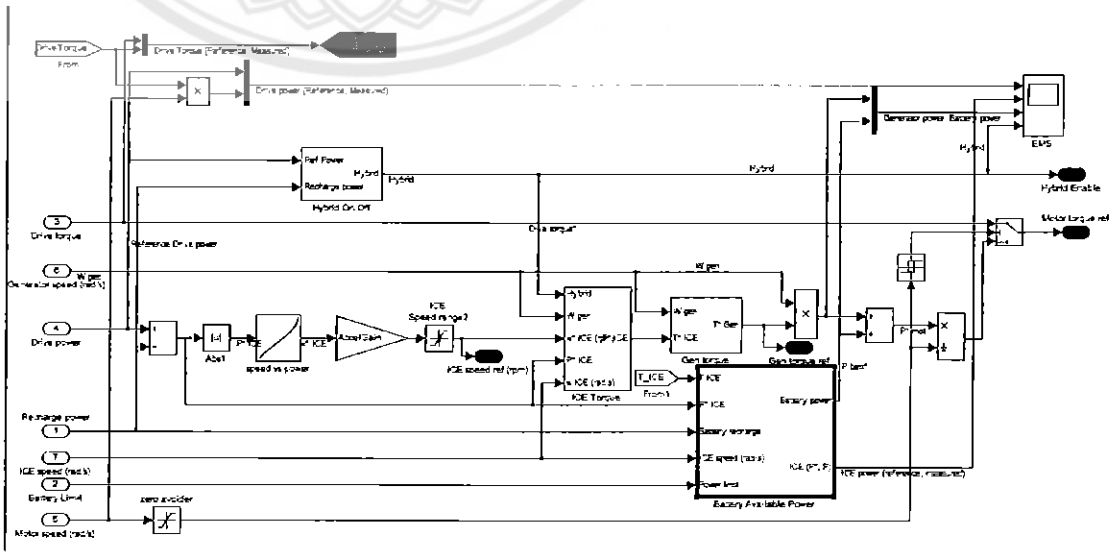
ขั้นตอนที่ 3.1 ดับเบิลคลิกที่ block ของ parameter



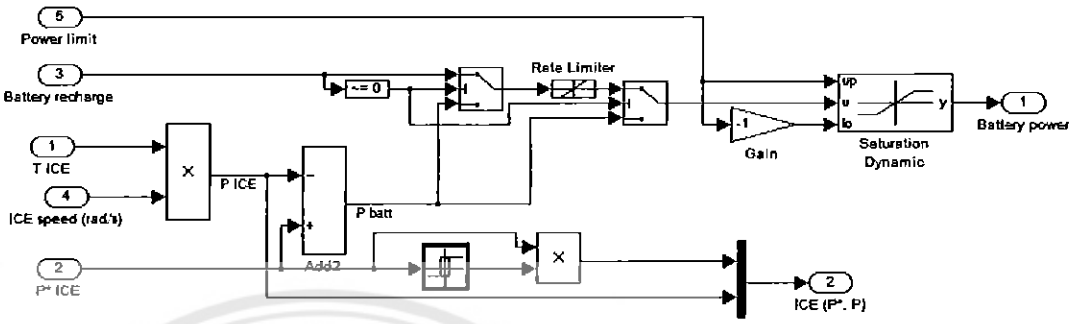
ขั้นตอนที่ 3.2 ปรับเปลี่ยนค่า Switch on point และ Switch off point



ขั้นตอนที่ 4 ดับเบิลคลิกที่ block ของ Battery Available Power (จากขั้นตอนที่ 3)



ขั้นตอนที่ 4.1 ดับเบิลคลิกที่ block ของ parameter



ขั้นตอนที่ 4.2 ปรับเปลี่ยนค่า Switch on point และ Switch off point