



การเปรียบเทียบกำลังทางไฟฟ้าของรถจักรดีเซลไฟฟ้า ระหว่างการตรวจวัด
ด้วยเครื่องติดตามระยะไกลและเครื่องมือวัดประจำสถานี
A Comparison of Electrical Power of the Diesel Electric
Locomotive between Measurement via the Remote
Tracking and the Load test station

ณัฐกิตติ์ ฤทธิทอง
Natthakit Ritthong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



การเปรียบเทียบกำลังทางไฟฟ้าของรถจักรดีเซลไฟฟ้า ระหว่างการตรวจวัด
ด้วยเครื่องติดตามระยะไกลและเครื่องมือวัดประจำสถานี
A Comparison of Electrical Power of the Diesel Electric
Locomotive between Measurement via the Remote
Tracking and the Load test station

ณัฐกิตติ์ ฤทธิทอง
Natthakit Ritthong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร


ชื่อวิทยานิพนธ์ การเปรียบเทียบกำลังทางไฟฟ้าของรถจักรดีเซลไฟฟ้า ระหว่างการตรวจวัด
ด้วยเครื่องติดตามระยะไกลและเครื่องมือวัดประจำสถานี
ชื่อ นามสกุล ณัฐกิตติ์ ฤทธิ์ทอง
ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
คณะ วิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ศุภชัย หลักคำ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้ให้ความเห็นชอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว



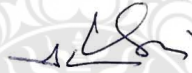
..... ประธานกรรมการ ✓

(ดร.อดิพงษ์ นันทพันธุ์)



..... กรรมการ ✓

(ดร.ปวิติ คมวชิรกุล)



..... กรรมการ ✓

(ดร.ศุภชัย หลักคำ)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล)

วันที่ 17 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563

ชื่อวิทยานิพนธ์ การเปรียบเทียบกำลังทางไฟฟ้าของรถจักรดีเซลไฟฟ้า ระหว่างการตรวจวัดด้วยเครื่องติดตามระยะไกลและเครื่องมือวัดประจำสถานี

ชื่อ สกุล ณ์ภูริกิตต์ ฤทธิ์ทอง

ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา และคณะ วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

การขนส่งระบบรางหรือรถไฟเป็นการขนส่งที่มีอิทธิพลทางเศรษฐกิจอย่างยิ่ง เนื่องจากสามารถขนส่งผู้โดยสาร และสินค้าได้จำนวนมากต่อเที่ยว โดยอาศัยเครื่องยนต์ดีเซลไฟฟ้าเป็นหัวใจในการขับเคลื่อนรถจักร วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการคิดค้นและพัฒนาระบบติดตามสมรรถนะทางไฟฟ้าของรถจักรดีเซลไฟฟ้าระยะไกล และเปรียบเทียบสมรรถนะทางไฟฟ้าที่วัดได้จากระบบติดตามสมรรถนะรถจักรดีเซลไฟฟ้าระยะไกล และที่วัดได้จากเครื่องมือวัดประจำสถานี ณ โรงซ่อมบำรุงรถจักรดีเซลไฟฟ้า บางซื่อ โดยเลือกรถจักรดีเซลไฟฟ้าหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L มาทำการทดลอง ผลการศึกษาพบว่าการสูญเสียกำลังไฟฟ้าของรถจักรดีเซลไฟฟ้าจากการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงมีความผกผันกับความเร็วรอบเครื่องยนต์อย่างเห็นได้ชัด โดยมีค่าการสูญเสียกำลังไฟฟ้าช่วงระหว่างความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำและสูงเท่ากับร้อยละ 77.11 และ 2.49 ตามลำดับ ข้อมูลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงขีดจำกัดของสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลไฟฟ้า และนำไปสู่การจัดทำฐานข้อมูลเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจเลือกใช้เครื่องยนต์ที่เหมาะสมกับภาระการลากจูงของหัวรถจักร

คำสำคัญ : การสูญเสียกำลังไฟฟ้า กระแสสลับ กระแสตรง หัวรถจักร

Thesis title A Comparison of Electrical Power of the Diesel Electric Locomotive between Measurement via the Remote Tracking and the Load Test Station.

Author Natthakit Ritthong

Degree Master of Engineering

Major program Mechanical Engineering Faculty of Engineering

Academic Year 2019

ABSTRACT

Rail transport is a type of transportation that strongly influences economic due to its ability to transport a large number of passengers and products per trip relying on diesel-electric engines. The objectives of this thesis were set to investigate and develop the electrical performance tracking system of long-distance diesel electric locomotives and compare the electrical performance measured by the diesel electric locomotive performance tracking system and measured from the measuring instrument at Diesel Engine Maintenance Station in Bang Sue. The electric diesel locomotive no. 4513 (Cummins KTA50-L) was selected as the study subject of the experimentation. The results showed that the power loss of the diesel electric locomotive from the conversion of alternating current to direct current was inversely proportional to the engine speed. The power losses between the low and high engine speeds were equal to 77.11 and 2.49 percent respectively. The above data reflects the limitation of diesel electric engine performance and should lead to the construction of a database for making decision on the right engine selection suitable for the towing load of the locomotive.

Keywords : alternating current, direct current, electrical power loss, locomotive

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีอย่างสมบูรณ์ ต้องกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ศุภชัย หลีกคำ ที่คอยสนับสนุน ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือข้าพเจ้าในทุก ๆ ด้านมาโดยตลอด อีกทั้งคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาช่วยชี้แนะและให้ข้อคิดเห็นที่มีค่าต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ การรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) ที่ให้ความอนุเคราะห์รถจักรดีเซลไฟฟ้า เพื่อทำการติดตามสมรรถนะทางไฟฟ้าของรถจักรดีเซลไฟฟ้าระยะไกล และเปรียบเทียบ ค่าสมรรถนะทางไฟฟ้า ณ โรงซ่อมบำรุงรถจักรดีเซลไฟฟ้า บางซื่อ อีกทั้งสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ทุก ๆ ท่าน จากสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่กรุณาให้ความรู้ข้าพเจ้ามาตั้งแต่ข้าพเจ้าเข้ามาศึกษาระดับปริญญาโท อีกทั้งขอกราบขอบพระคุณฝ่ายวิชาการ ที่กรุณาอำนวยความสะดวกในทุก ๆ ด้านให้แก่ข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา ครอบครัวญาติพี่น้อง และญาติพี่น้องทุกคน ที่ให้การช่วยเหลือ จนตัวผมเองประสบความสำเร็จในการศึกษานี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ กัลยาณมิตร เพื่อนแท้ และมิตรแท้ ซึ่งทุก ๆ คนคอยเป็นกำลังใจที่ดีให้กับข้าพเจ้ามาโดยตลอดในทุก ๆ เรื่อง โดยไม่หวังสิ่งใดตอบแทน

ณัฐกิตติ์ ฤทธิทอง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรม	5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.2 รถจักรดีเซล และดีเซลรางที่มีใช้ในการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.)	11
2.3 พื้นฐานกระแสไฟฟ้า	15
2.4 การทบทวนวรรณกรรม	27
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	31
3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย	31
3.2 การคัดเลือกรถจักรตัวอย่างเพื่อติดตั้งระบบทดสอบ	32
3.3 ประเภทของเทคโนโลยีเครื่องยนต์ของรถจักรดีเซลไฟฟ้า (AC)	34
3.4 การออกแบบระบบทดสอบและติดตามสมรรถนะรถจักร	34
3.5 การตรวจวัดขนาดพิกัดและจัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์	35
3.6 การติดตั้งอุปกรณ์ติดตามสมรรถนะบนรถจักรดีเซลไฟฟ้า	39
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและวิเคราะห์	40
4.1 ผลการทดสอบระบบทดสอบสมรรถนะทางไฟฟ้ารถจักรดีเซลไฟฟ้า ณ สถานีทดสอบ	40

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลการทดสอบระบบติดตามสมรรถนะทางไฟฟ้ารถจักรดีเซลไฟฟ้าระยะไกล ขณะทำขบวน นอกสถานีทดสอบ	42
4.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองกำลังทางไฟฟ้ารถจักรดีเซล	46
บทที่ 5 อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	51
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	51
5.2 ปัญหาการดำเนินงาน	52
5.3 ข้อเสนอแนะ	52
บรรณานุกรม	53
ภาคผนวก	55
ภาคผนวก ก คู่มือการใช้งาน	56
ภาคผนวก ข การนำเสนอบทความการประชุมวิชาการระดับชาติ	60
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	95



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	รถจักรดีเซลไฟฟ้าที่มีใช้งาน	5
2.2	การสรุปรวบรวมประเภทของไฟฟ้ากระแสตรง คุณลักษณะของมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	18
2.3	สรุปความสัมพันธ์ระหว่างสถานะการเดินเครื่อง สลิป ความถี่ทุติยภูมิแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำทุติยภูมิ	26
3.1	คุณลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์ที่จะนำมาติดตั้ง ในรถจักรดีเซลไฟฟ้าของรถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L	38
4.1	ผลการทดสอบรถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L เครื่องยนต์ที่ 1	40
4.2	ผลการทดสอบรถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L เครื่องยนต์ที่ 2	41
4.3	ผลการทดสอบรถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L เครื่องยนต์ที่ 1 จากระบบ Web Browser	44
4.4	ผลการทดสอบรถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L เครื่องยนต์ที่ 2 จากระบบ Web Browser	45
4.5	การเปรียบเทียบผลการทดลองกำลังทางไฟฟ้ารถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L เครื่องยนต์ที่ 1	46
4.6	การเปรียบเทียบผลการทดลองกำลังทางไฟฟ้ารถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L เครื่องยนต์ที่ 2	48

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การกู้รถจักรตกรางที่ชำรุดและกีดขวางราง	2
2.1 ห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล	6
2.2 ตัวอย่างรูปแบบเครื่องยนต์ที่จะนำมาทดสอบ	7
2.3 รถจักรดีเซลไฟฟ้า (Diesel Electric Locomotive)	8
2.4 ระบบการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของรถจักรดีเซลไฟฟ้า	8
2.5 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ Pielstick แบบห้องเผาไหม้ช่วย (Pre Chamber)	9
2.6 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ Cummins แบบห้องเผาไหม้โดยตรง (Direct Injection)	9
2.7 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ MTU. ระบบหัวฉีดน้ำมันแบบคอมมอนเรล (Common Rail Injection System)	10
2.8 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ Cummins ระบบหัวฉีดน้ำมันแบบโดยตรง (Direct Injection System)	11
2.9 รถจักรดีเซลไฟฟ้า (Diesel electric locomotive)	12
2.10 แผนภาพของรถจักรดีเซลไฟฟ้า (Diagram diesel electric locomotive)	12
2.11 รถจักรดีเซลไฮดรอลิก (Diesel hydraulic locomotive)	13
2.12 แผนภาพของรถจักรดีเซลไฮดรอลิก (Diesel hydraulic locomotive)	13
2.13 รถดีเซลราง แบบรถโดยสารมีเครื่องขับเคลื่อนด้วยตัวเอง	14
2.14 การเกิดแรงดันกระแสตรง	16
2.15 การต้านกลับของขดลวดอาร์เมเจอร์	16
2.16 การควบคุมความต้านทานของมอเตอร์ขนานกระแสตรง	22
2.17 การควบคุมแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรงแบบฟิลด์แยก	22
2.18 Static Ward Leonard	23
2.19 การควบคุมความเร็วด้วยระบบ Ward Leonard	23
2.20 การเกิดสนามแม่เหล็กหมุน	24
2.20 การเกิดสนามแม่เหล็กหมุน	24
2.21 รูปร่างโรเตอร์ของมอเตอร์กรงกระรอกแบบพิเศษ	26
2.22 เปรียบเทียบขดลวดได้ศูนย์กับขดลวดซ้อน (ต่อ 1 เฟส)	27
2.23 การเสียโอกาสการขนส่งจากขบวนรถที่ต้องทำการติดตั้งชุดบรรจุก๊าซธรรมชาติอัด	28
2.24 เครื่องยนต์ MTU series 16V4000 R41	28

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.25 เครื่องยนต์ Caterpillar 3516BHD	29
3.1 ขั้นตอนการวิจัย	32
3.2 รถจักรดีเซลไฟฟ้าหมายเลข 4513	33
3.3 รถจักรดีเซลไฟฟ้าหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L	33
3.4 หลักการทำงานการไหลน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ Cummins	34
3.5 ภาพรวมการต่ออุปกรณ์ประมวลผลและรวมสัญญาณ NI cDAQ set	35
3.6 หน้าจอแสดงผลของรถจักรหมายเลข 4513 Cummins KTA50-L	36
3.7 การตรวจวัดกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ของรถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L	37
3.8 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดกำลังทางไฟฟ้า บนรถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L	39
4.1 การติดตามสถานะข้อมูลทั่วไปของเครื่องยนต์ของรถจักรไฟฟ้า หมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L เครื่องยนต์ที่ 1 และเครื่องยนต์ที่ 2 เข้าระบบได้โดย Web Browser	42
4.2 ตัวอย่างแสดงความเร็วรอบเครื่องยนต์ รถจักรไฟฟ้ารถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L เครื่องยนต์ที่ 1 และเครื่องยนต์ที่ 2 จากระบบ Web Browser	43
4.3 ตัวอย่างแสดงข้อมูลสมรรถนะกำลังทางไฟฟ้า รถจักรไฟฟ้ารถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L เครื่องยนต์ที่ 1 และเครื่องยนต์ที่ 2 จากระบบ Web Browser	43
4.4 ผลการทดลองรถจักรดีเซลไฟฟ้าหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ที่ 1	47
4.5 ผลการทดลองรถจักรดีเซลไฟฟ้าหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ที่ 2	48
4.6 ผลลัพธ์การพยากรณ์ด้วยความสัมพันธ์ถดถอย แบบเชิงเส้น	49

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การขนส่งระบบรางหรือการขนส่งทางรถไฟ (Rail transport) เป็นการขนส่งผู้โดยสารหรือสินค้าด้วยยานพาหนะที่วิ่งไปตามราง การขนส่งระบบรางเป็นส่วนหนึ่งของห่วงโซ่โลจิสติกส์ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความสะดวกให้กับการค้าระหว่างประเทศ [1] จากการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจในประเทศไทย ปัจจุบันได้ถูกดำเนินงานโดยการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) ซึ่งมีรถจักรสำหรับใช้งานบริการประชาชนเป็นจำนวน 2 ประเภท ได้แก่ 1) รถจักรดีเซลไฟฟ้า คือรถจักรที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีต้นกำลังจากเครื่องยนต์ดีเซล โดยที่เครื่องยนต์ดีเซลจะหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าไปจ่ายให้มอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อทำขับเคลื่อนเพลลาให้รถเคลื่อนที่ต่อไป 2) รถจักรดีเซลไฮดรอลิก คือรถจักรที่ใช้เครื่องถ่ายทอดกำลังด้วยระบบของเหลว (ไฮดรอลิก) ประกอบด้วยเครื่องแปลงแรงหมุนจะประกอบด้วยใบพัด 2 ตัว เรียกว่า อิมเพลเลอร์ เทอร์โบไนร์รันเนอร์ และมีน้ำมันอยู่ภายในเครื่องยนต์ดีเซลต้นกำลัง [2]

ในปัจจุบันการขนส่งระบบรางหรือรถไฟ ถือว่าเป็นระบบขนส่งทั้งเชิงมวลชนและเชิงพาณิชย์ที่ประหยัดและมีอัตราการเกิดอุบัติเหตุค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับระบบการขนส่งทางบกประเภทอื่นๆ แต่เนื่องจากการขนส่งทางรถไฟเป็นการขนส่งเชิงปริมาณ ซึ่งกล่าวได้ว่าการขนส่งแต่ละครั้งมีปริมาณผู้โดยสารหรือปริมาณสินค้ามาก ดังนั้นเมื่อเกิดอุบัติเหตุจะทำให้เกิดความเสียหายอย่างใหญ่หลวงทั้งต่อชีวิตและทรัพย์สิน อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นกับการขนส่งทางรถไฟนั้น ส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย เช่น ความสมบูรณ์ของรถจักร สภาพรางและทาง การไม่เคารพและประมาทจากการใช้ทางรวมที่จุดตัดราง เป็นต้น จากสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุดังกล่าว ความพร้อมของรถจักรเป็นปัญหาที่สามารถป้องกันได้ แต่ทางปฏิบัติกลับพบว่ารถจักรที่นำมาใช้ทำขบวนนั้นไม่ได้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานเท่าที่ควร อันเนื่องมาจากไม่สามารถตรวจติดตามสภาพปัญหาของรถจักรได้อย่างครอบคลุมและทั่วถึงจากการเสื่อมสภาพตามอายุการใช้งานที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วจากการใช้งานอย่างหนักในปัจจุบัน [3]

จากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่า รถจักรที่ใช้งานในปัจจุบันประมาณ 200 คัน มีอายุการใช้งานค่อนข้างสูงตั้งแต่ 16-47 ปี และไม่สามารถซื้อรถจักรใหม่มาทดแทนได้ทันตามความต้องการใช้งานในปัจจุบัน ทำให้ประสบปัญหาด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ของรถจักรเก่า การรถไฟแห่งประเทศไทย จึงมีมาตรการการตรวจสอบรถจักร โดยตรวจความพร้อมของรถจักรก่อนปล่อยรถจักรออกใช้งานทำ

ขบวนรถ และทำทดสอบความพร้อมของสมรรถนะของรถจักร ตามวาระ 1 เดือน, 3 เดือน, 6 เดือน, 1 ปี และ 2 ปี หรือเมื่อมีการเปลี่ยนอุปกรณ์หลักให้กับรถจักร เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และ Engine governor และเมื่อพบว่ารถจักรมีกำลังลากจูงต่ำผิดปกติ เป็นต้น แต่ยังคงพบรถจักรที่อยู่ระหว่างการใช้งาน (ยังไม่ครบวาระซ่อมบำรุง) มีปัญหาเครื่องยนต์ของรถจักรที่ไม่สามารถผลิตกำลังได้เพียงพอ ซึ่งจะถูกส่งมารับการตรวจวัดสมรรถนะ(Performance curve testing) ที่โรงรถจักรดีเซลบางชื่อ โดยเฉลี่ย 120 คันต่อปี โดยมีทั้งปัญหาเครื่องยนต์ไม่มีกำลังลากจูง (Over load) และการใช้กำลังลากจูงไม่เหมาะสมกับภาระ (Under load) ซึ่งส่งผลเสียต่อเครื่องยนต์และอายุการใช้งาน [4]

นอกจากปัญหาข้างต้นแล้ว การนำเครื่องยนต์ดีเซลรถจักรไปใช้ในการทำขบวนเพื่อลากตู้โดยสารหรือตู้บรรทุกสินค้าแต่ละครั้งจะมีระยะทางในการเดินทางไม่ต่ำกว่า 100 กิโลเมตร ซึ่งค่อนข้างไกลเมื่อเปรียบเทียบกับภาระขนส่งทางบกด้วยยานพาหนะรูปแบบอื่น ดังนั้นรายการและขั้นตอนการตรวจวัดสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลรถจักรรายเที่ยวในปัจจุบันยังไม่สามารถสะท้อนให้เห็นถึงรายการตรวจวัดที่ครอบคลุมได้ อีกทั้งยังเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุจากความไม่พร้อมของ รถจักรได้ง่าย และถือว่าเป็นการตรวจสอบที่ยังไม่ครอบคลุมและสอดคล้องกับการใช้งานในปัจจุบัน [5] การพบรถจักรชำรุดเสียหาย หรือกำลังการผลิตไฟฟ้าไม่เพียงพอ เป็นเหตุให้ไม่สามารถนำขบวนไปยังจุดหมายต่อได้ และกีดขวางขบวนราง ส่งผลกระทบต่อตารางการเดินรถขบวนอื่น และค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากการส่งรถจักรอื่นเพื่อไปทำการลากจูงและหลิกราง เนื่องจากรถจักรที่เสียหายไม่สามารถทำการหลิกรางได้เหมือนการโดยสารทางบกชนิดอื่น ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 การกู้รถจักรตรกรางที่ชำรุดและกีดขวางขบวน [5]

ในกรณีรถจักรที่อยู่ระหว่างวาระการใช้งาน รถจักรดังกล่าวจะถูกทดสอบโดยโรงรถจักรดีเซลบางชื่อ แต่ในทางปฏิบัติกลับพบปัญหาด้านเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดมีจำกัด ล้าสมัย ไม่ครอบคลุมการตรวจวัดปัจจัยหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลรถจักร อีกทั้งไม่มีการจัดทำฐานข้อมูลด้านการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลรถจักร ซึ่งกลายเป็นอุปสรรคสำหรับการวางแผนการซ่อมบำรุงและวินิจฉัยปัญหาด้านสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลรถจักร โดยปัจจุบันมีเพียงการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าด้วยการจดบันทึกเท่านั้น

จากปัญหาดังกล่าว ได้เล็งเห็นข้อจำกัด และรายการตรวจสอบรถจักรก่อนนำไปทำขบวนเพื่อลากจูงสินค้าหรือตู้โดยสาร ที่ไม่ครอบคลุมตามหลักวิศวกรรม ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นพื้นฐานในการใช้ควบคู่กับการจัดทำขบวนรถไฟในแต่ละครั้ง อีกทั้งยังเป็นปัญหาเร่งด่วนที่ถูกละเลยและขาดการแก้ไขอย่างจริงจัง เพื่อลดความเสี่ยงการบกร่องของเครื่องยนต์ดีเซลรถจักรขณะทำขบวน และยกระดับมาตรฐานด้านสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลรถจักรก่อนนำไปใช้งาน อีกทั้งข้อมูลที่ได้รับจากการทดสอบรถจักรแต่ละครั้งยังสามารถนำไปประกอบการตัดสินใจในการเลือกจัดขบวน เพื่อกำหนดจำนวนขบวนและภาระการลากจูงที่เหมาะสมกับสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลรถจักรที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังเป็น การแบ่งเบาภาระด้านงบประมาณให้กับการรถไฟแห่งประเทศไทย อันจะเป็นประโยชน์ทั้งทางตรง และทางอ้อมที่ประเทศจะได้รับ

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อคิดค้นและพัฒนาระบบติดตามสมรรถนะทางไฟฟ้าของรถจักรดีเซลไฟฟ้าระยะไกล
- 1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบค่าสมรรถนะทางไฟฟ้าที่วัดได้จากระบบติดตามสมรรถนะรถจักรดีเซลไฟฟ้าระยะไกล และเครื่องมือวัดประจำสถานี

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.3.1 พัฒนาระบบทดสอบและติดตามสมรรถนะทางไฟฟ้าระยะไกลของรถจักร (ชุดประจำสถานี) ณ โรงรถจักรดีเซลบางชื่อ
- 1.3.2 ติดตั้งระบบทดสอบและติดตามสมรรถนะทางไฟฟ้าระยะไกลบนรถจักร 1 คัน รถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L เครื่องยนต์ที่ 1 และเครื่องยนต์ที่ 2
- 1.3.3 ระบบทดสอบและติดตามสมรรถนะทางไฟฟ้าระยะไกลสามารถตรวจวัดและติดตามค่ากำลังไฟฟ้า ณ สถานีทดสอบ และ ขณะทำขบวนนอกสถานี
- 1.3.4 สภาวะการทดสอบ ณ โรงรถจักรดีเซลบางชื่อ อ้างอิงตามมาตรฐาน UIC 623-3 และ/หรือตามความต้องการของการรถไฟแห่งประเทศไทย

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1 ระบบทดสอบและติดตามสมรรถนะทางไฟฟ้าของรถจักร ที่เพิ่มขีดความสามารถด้านการวางแผนการซ่อมบำรุงรถจักรและเดินรถ
- 1.4.2 ข้อมูลจากการทดสอบสามารถนำไปกำหนดภาระลากจูงที่เหมาะสมในการจัดทำขบวน (Load factor)
- 1.4.3 ลดความเสี่ยงการเกิดอุบัติเหตุจากความไม่พร้อมของรถจักร
- 1.4.4 ลดค่าใช้จ่าย และการเสียโอกาสทำรายได้จากการหลีกรางและเคลื่อนย้ายรถจักรที่ชำรุดและกีดขวางราง
- 1.4.5 ลดการนำเข้าเทคโนโลยีระบบรางจากต่างประเทศ
- 1.4.6 เพิ่มขีดความสามารถด้านการทดสอบสมรรถนะทางไฟฟ้าของรถจักร



บทที่ 2

ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรม

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 เครื่องยนต์รถจักรดีเซลในประเทศไทย [11]

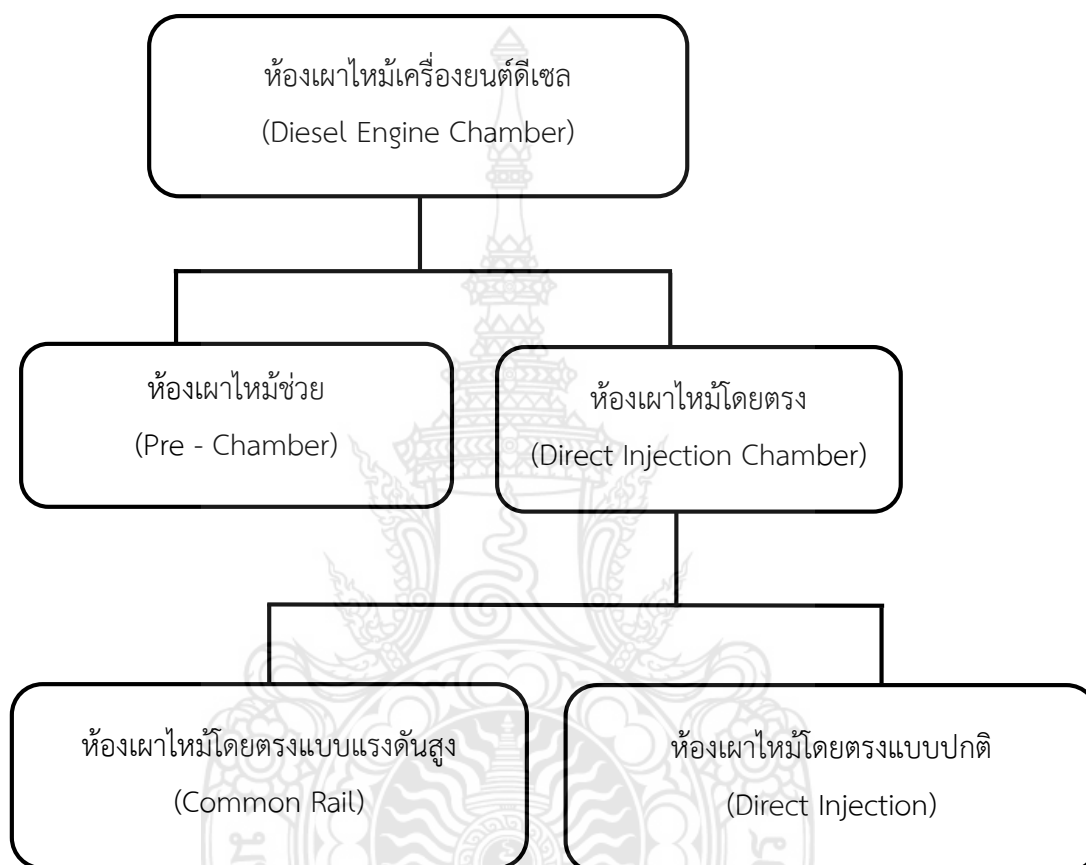
ประเทศไทยเป็นประเทศแรกในทวีปเอเชีย ที่ได้นำเอารถจักรดีเซลมาใช้งานในปี พ.ศ. 2471 กรมรถไฟหลวงแห่งกรุงสยามได้สั่งซื้อรถจักรดีเซลมีกำลัง 180 แรงม้า จำนวน 2 คัน มาใช้งานเป็นรุ่นแรกในประเทศไทย และเป็นรายแรก ในทวีปเอเชียด้วย โดยนำมาใช้เป็นรถจักรสับเปลี่ยน และลากจูงขบวนรถท้องถิ่นรอบๆ บริเวณกรุงเทพฯ รถจักรดีเซลที่ใช้งานโดยการรถไฟแห่งประเทศไทยในปัจจุบัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทด้วยกัน ได้แก่ รถจักรดีเซลไฟฟ้า ซึ่งเป็นกำลังหลักในการลากจูงรถโดยสารและรถสินค้า และรถจักรดีเซลไฮดรอลิก

จากการศึกษาพบว่ารถจักรของระบบขนส่งทางรางที่การรถไฟฯ ที่มีใช้ในการทำขบวนมี 2 ชนิด คือ รถจักรดีเซลไฟฟ้า และรถจักรดีเซลไฮดรอลิก ซึ่งปัจจุบันได้นำรถจักรดีเซลไฟฟ้ามาใช้งานในการทำขบวนเป็นส่วนใหญ่ ด้วยเหตุผลด้านประสิทธิภาพของเครื่องยนต์และระบบส่งกำลัง ดังนั้นแนวทางการศึกษาจึงมุ่งเน้นไปที่การศึกษาและทดสอบเครื่องยนต์ทุกชนิดที่มีใช้อยู่ในรถจักรดีเซลไฟฟ้า ซึ่งจากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นของคณะผู้วิจัยพบว่า รถจักรดีเซลมีความหลากหลายและซับซ้อนทั้งด้านรุ่นรถจักรและรุ่นเครื่องยนต์ที่มีการติดตั้งใช้งานอยู่ในปัจจุบัน แต่สามารถจำแนกโดยอาศัยลักษณะการทำงานของเครื่องยนต์ตามหลักการวิศวกรรมเทคโนโลยีการจ่ายเชื้อเพลิงได้ดังตารางที่ 2.1

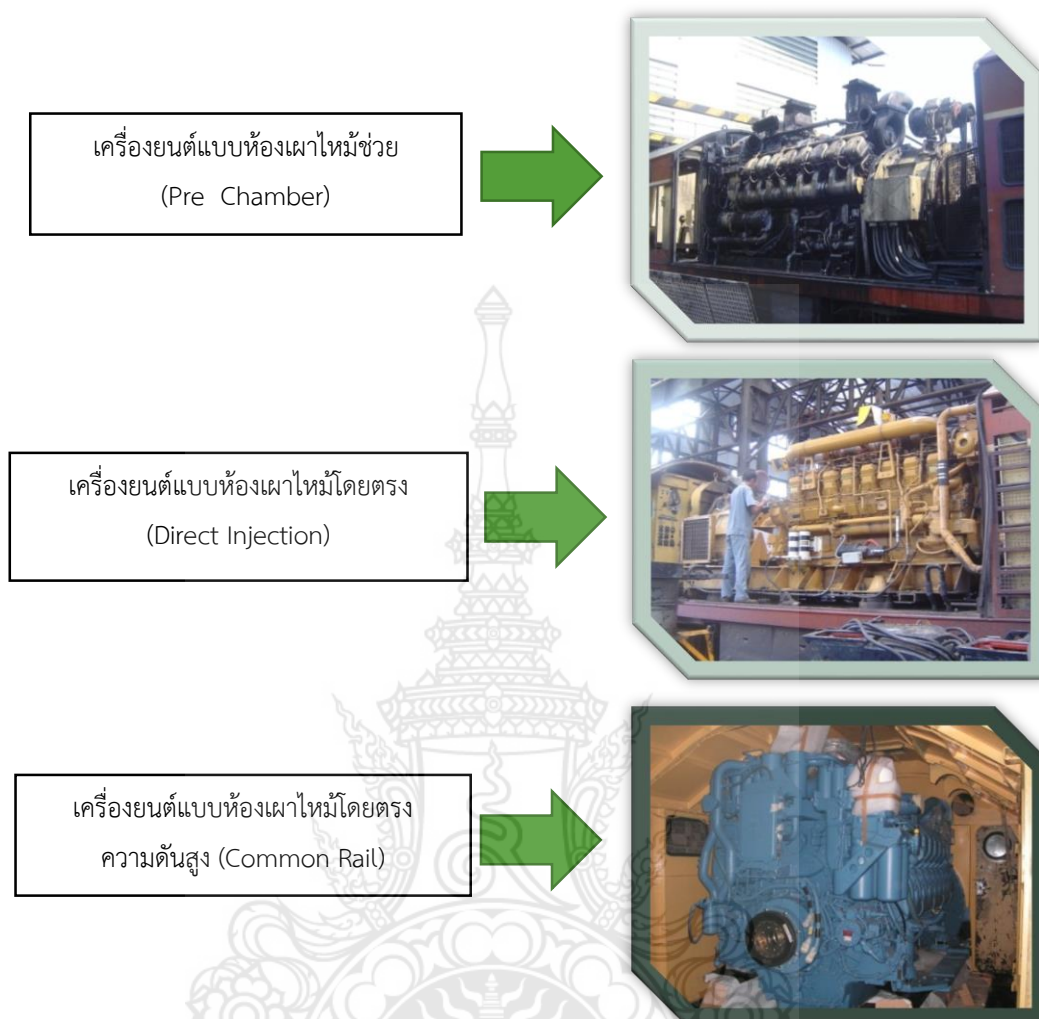
ตารางที่ 2.1 รถจักรดีเซลไฟฟ้าที่มีใช้งาน [11]

ลำดับ	รุ่นรถ	รุ่นเครื่องยนต์	ชนิดห้องเผาไหม้
1	Alsthom (ALS., AHK., ALD., ADD.)	Caterpillar (CAT.)3516BHD	Direct Injection
2		MTU. 16V4000R41	Common Rail
3		Pielstick 16PA4V185VG	Pre-Chamber
4	Hitachi (HID.)	Cummins KTTA50-L	Direct Injection
5	General Electric (GEA.)	Cummins KTA50-L	Direct Injection

จากผลการสำรวจข้อมูลดังตารางที่ 2.1 ซึ่งสามารถจำแนกเครื่องยนต์ตามชนิดห้องเผาไหม้จะพบว่า ในแต่ละระบบมีข้อดี-ข้อเสียที่แตกต่างกัน และมีความมุ่งหมายในการใช้งานในรายละเอียดที่แตกต่างกันออกไป ตามหลักการออกแบบเครื่องยนต์ ซึ่งสามารถจำแนกได้ดังรูปที่ 2.1 และสามารถจำแนกตามชนิดเครื่องยนต์ และถูกเลือกขึ้นมาทำการทดสอบได้ ดังรูปที่ 2.2



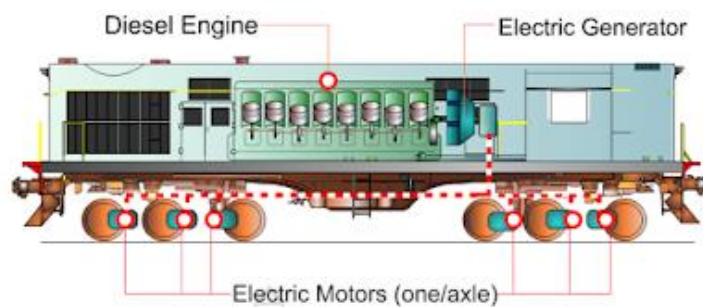
รูปที่ 2.1 ห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล [11]



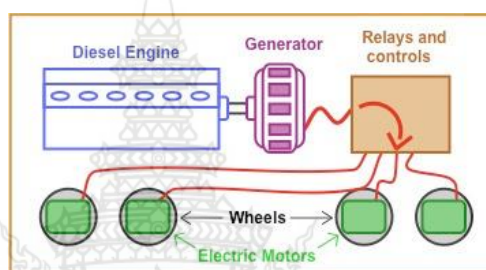
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างรูปแบบเครื่องยนต์ที่จะนำมาทดสอบ [11]

2.1.2 การทำงานของห้องเผาไหม้เครื่องยนต์รถจักรดีเซลไฟฟ้า

เนื่องจากเครื่องยนต์ที่ใช้กับรถจักรมีขนาดใหญ่จึงไม่สามารถใช้ระบบถ่ายทอดกำลังแบบการกล (Mechanical Transmission) เหมือนรถยนต์ทั่วไป แต่จะสร้างให้เหมือนกับเป็นโรงไฟฟ้า เคลื่อนที่ คือใช้เครื่องยนต์ดีเซลไปหมุนเครื่องปั่นไฟ แล้วใช้ไฟฟ้าไปหมุนมอเตอร์ซึ่งติดอยู่กับเพลาล้อ รถจักร รถจักรที่ใช้ระบบการถ่ายทอดกำลังแบบนี้เรียกว่ารถจักรดีเซลไฟฟ้า (Diesel Electric Locomotive) เป็นรถจักรส่วนใหญ่ที่การรถไฟฯมีการอยู่ในปัจจุบัน โดยหลักการแล้ว ในขณะที่ประสิทธิภาพของระบบถ่ายทอดกำลังแบบไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 81% ดังรูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.4



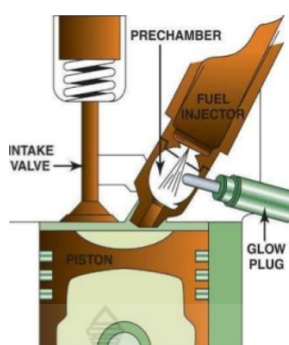
รูปที่ 2.3 รถจักรดีเซลไฟฟ้า (Diesel Electric Locomotive) [15]



รูปที่ 2.4 ระบบการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของรถจักรดีเซลไฟฟ้า [15]

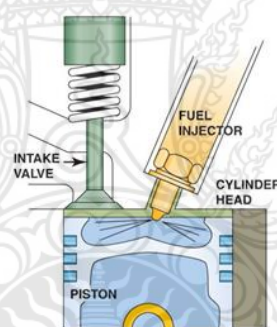
การทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล ของรถจักรดีเซลไฟฟ้านั้น เป็นการดูดอากาศเข้าไปในกระบอกสูบและในห้องเผาไหม้ (จังหวะจุด) จากนั้นจะอัดอากาศให้มีปริมาตรลดลง (จังหวะอัด) ทำให้อากาศที่ถูกอัดนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้น และมีการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปเพื่อเผาไหม้ (จังหวะระเบิด) สุดท้ายคือการปล่อยก๊าซที่เกิดจากเผาไหม้ออก (จังหวะคาย) ดังนั้นห้องเผาไหม้จึงมีการออกแบบให้เหมาะสมกับหลักการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล ของรถจักรดีเซลไฟฟ้า ที่ทำการทดสอบจำนวน 2 คัน (รถจักรหมายเลข 4220 เครื่องยนต์ Pielstick 16PA4V185VG) แบบห้องเผาไหม้ช่วย (Pre Combustion Chamber) ดังรูปที่ 2.5 และรถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L แบบห้องเผาไหม้โดยตรง (Direct Injection Chamber) ดังรูปที่ 2.6

1) ห้องเผาไหม้ช่วย (Pre Chamber) ห้องเผาไหม้ช่วย หรือ อาจเรียกอีกชื่อคือ ห้องเผาไหม้ล่วงหน้า โดยห้องเผาไหม้จะมี 2 ส่วนคือ ห้องเผาไหม้ช่วยและห้องเผาไหม้หลัก ห้องเผาไหม้แบบนี้อยู่ที่ฝาสูบและหัวลูกสูบ โดยหัวฉีดจะฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปยังห้องเผาไหม้ช่วย (มีปริมาตร 30-45 % ของห้องเผาไหม้ทั้งหมด) หลังจากการเผาไหม้จะลุกลามไปยังห้องเผาไหม้หลัก หัวฉีดที่ใช้เป็นแบบเดี่ยว ความดัน 90-120 บาร์ (ใช้หัวเผา)



รูปที่ 2.5 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ Pielstick
แบบห้องเผาไหม้ช่วย (Pre Chamber) [15]

2) ห้องเผาไหม้โดยตรง (Direct Injection Chamber) ห้องเผาไหม้แบบนี้จะมีลักษณะเป็นแอ่งเว้าอยู่บนหัวลูกสูบ หัวฉีดที่ใช้เป็นแบบรู ความดัน 175-300 บาร์ (ไม่ใช่หัวเผา)

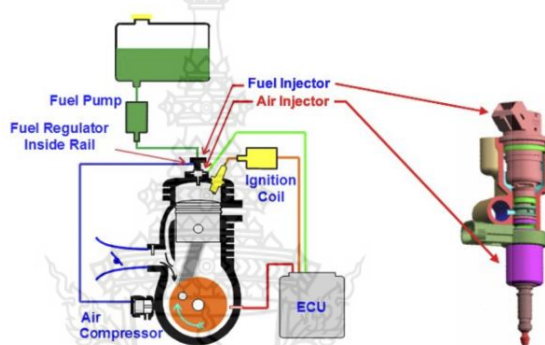


รูปที่ 2.6 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ Cummins
แบบห้องเผาไหม้โดยตรง (Direct Injection) [15]

สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล ห้องเผาไหม้โดยตรง (Direct Injection Chamber) ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีมากกว่า 20 ปีแล้ว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีเซล ขึ้นจากระบบเดิมๆ ทั้งหมดจะส่งผลให้มีการใช้น้ำมันอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ทำให้เครื่องยนต์ดีเซลในระบบประหยัดน้ำมัน และให้กำลังดีขึ้น

ก. ระบบหัวฉีดน้ำมันแบบคอมมอนเรล (Common Rail Injection System) ระบบคอมมอนเรล คือการสร้างแรงดันน้ำมันสูงรอไว้ในท่อเพื่อจ่ายน้ำมันได้อย่างแม่นยำและต่อเนื่อง น้ำมันที่ถูกฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ จะมีลักษณะเป็นละอองฝอยคล้ายละอองแป้ง เพื่อเพิ่มความสามารถในการผสมกับไอดี และเพิ่มประสิทธิภาพ การเผาไหม้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น การทำงานทั้งหมด จะเริ่มต้นโดยอาศัยปั๊มแรงดันสูง ที่สามารถจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยแรงดันที่สูงถึง 1,377 บาร์ หรือสูงกว่า

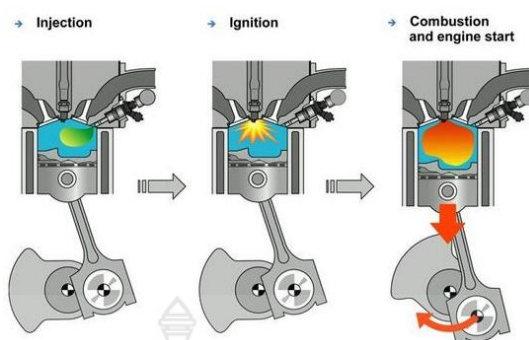
เครื่องยนต์ดีเซล ไตร่คอินเจคชั่นทั่วไปถึง 8 เท่า น้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกสูบผ่านเข้ามาในรางน้ำมัน คอมมอนเรลด้วยแรงดันสูง โดยที่ปลายของรางส่งน้ำมันจะติดตั้งตัวจำกัดแรงดันน้ำมัน และเซ็นเซอร์ ตรวจจับแรงดันน้ำมัน เพื่อทำหน้าที่รักษาและควบคุมแรงดัน ของน้ำมันที่ถูกส่งมาจากปั๊มแรงดันสูงให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับการขับชี้ ก่อนที่ หัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีรูฉีดน้ำมันถึง 6 รูต่อหัว จะจ่ายน้ำมันที่มีลักษณะเป็นฝอยเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยตรง โดยการทำงานของหัวฉีดจะเป็นแบบ 2 ครั้งใน 1 จังหวะ ด้วยการฉีดน้ำมันนำร่อง (Pilot Injection) ก่อนทำการฉีดจริง ซึ่งจะช่วยลดระดับเสียงดังที่เกิดจากการจุดระเบิด ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ MTU.

ระบบหัวฉีดน้ำมันแบบคอมมอนเรล (Common Rail Injection System) [15]

ข. ระบบหัวฉีดน้ำมันโดยตรงแบบปกติ (Direct Injection System) ในระบบไตร่คอินเจคชั่นนั้น หัวฉีดจะได้รับการจ่ายเชื้อเพลิงโดยตรง จากปั๊มหัวฉีด สำหรับในระบบคอมมอนเรลนี้ ปั๊มจะส่งน้ำมันไปที่รางน้ำมันเชื้อเพลิงความดันสูงที่เรียกว่าคอมมอนเรล ซึ่งความดันอาจสูงถึง 1,350 บาร์ และที่หัวฉีดจะมีการส่งสัญญาณกลับมาที่ปั๊มด้วย รวมทั้งยังมีการควบคุมจาก ECU ร่วมอยู่ด้วย ทั้งหมดจะส่งผลให้มีการใช้น้ำมัน อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ทำให้เครื่องยนต์ดีเซลในระบบนี้ ประหยัดน้ำมัน และให้กำลังดีขึ้น ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ Cummins ระบบหัวฉีดน้ำมันแบบโดยตรง (Direct Injection System) [15]

2.2 รถจักรดีเซล และดีเซลรางที่มีใช้ในการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.)

2.2.1 รถจักรดีเซลไฟฟ้า [15]

รถจักรดีเซล คือรถจักรที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องต้นกำลัง และมีเครื่องอุปกรณ์ สำหรับส่งหรือถ่ายกำลังจากเครื่องยนต์ ไปหมุนล้อ เพื่อขับเคลื่อนตัวเอง และลากจูงรถพ่วง รถจักรดีเซลประกอบด้วย

ก. โครงประธาน และลำตัว ทำหน้าที่รับตัวเครื่องยนต์ และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ติดตั้งอยู่บนโครงพื้นซึ่งวางลงบนล้อโดยตรง หรือลงบนแคร่โบกี้ ภายในแบ่งออกเป็นห้องขับ ตั้งอยู่ในตำแหน่งที่มองเห็นทางข้างหน้าถนัด และห้องเครื่องซึ่งมีเครื่องยนต์ และเครื่องอุปกรณ์ต่างๆ

ข. ตัวเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งเป็นเครื่องต้นกำลังจะติดตั้งอยู่บนรถที่ห้องเครื่อง

ค. อุปกรณ์เครื่องถ่ายทอดกำลังจากเครื่องยนต์ ซึ่งถ่ายทอดกำลังมาขับล้ออีกต่อหนึ่งด้วยระบบต่างๆ

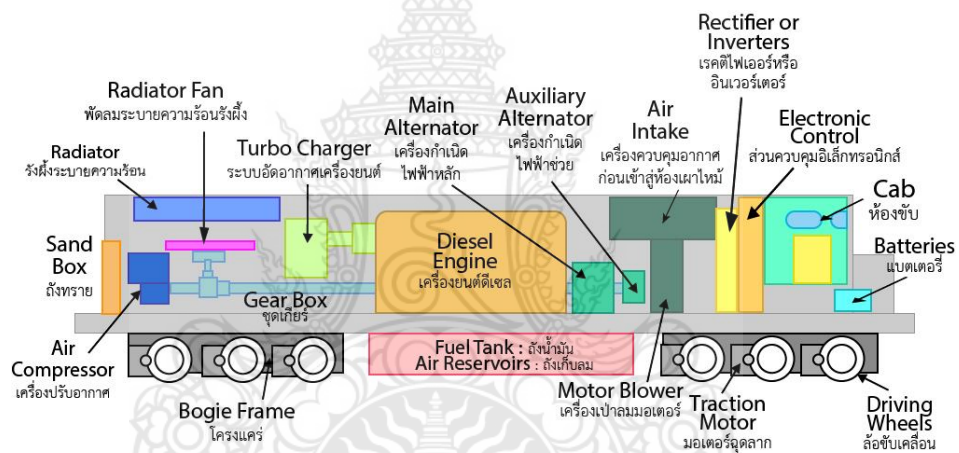
ระบบถ่ายทอดกำลังที่มีใช้กันในรถจักรดีเซล คือ

1.) ระบบไฟฟ้า [15]

รถจักรที่ใช้วิธีการถ่ายทอดกำลังด้วยระบบไฟฟ้า เรียกว่า รถจักรดีเซลไฟฟ้า (Diesel electric locomotive) มีเครื่องถ่ายทอดกำลังประกอบไปด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) และเครื่องยนต์ไฟฟ้าชุดลากเพื่อการหมุนล้อ (Traction motor) วิธีนี้ ตัวเครื่องยนต์ดีเซลจะขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ให้จำหน่ายกระแสไฟฟ้า ป้อนเข้าไปที่เครื่องยนต์ไฟฟ้า ซึ่งจะขับหมุนเพลาล้อกำลังของรถจักร เครื่องยนต์ดีเซล และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ตั้งอยู่บนโครงประธานรวมเป็นชุดเดียวกัน ภายในห้องเครื่อง จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีสายนำกระแสไฟฟ้าผ่านไปที่แผงควบคุมที่ห้องขับ แล้วผ่านไปยังเครื่องยนต์ไฟฟ้าชุดลากติดตั้งอยู่บนแคร่ใต้โครงประธาน ซึ่งจะไปหมุนเพลาล้อด้วยฟันเฟืองให้เร็วหรือช้า สุดแต่กระแสไฟฟ้าที่ปล่อยเข้าไป ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.9 และรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 รถจักรดีเซลไฟฟ้า (Diesel electric locomotive) [15]



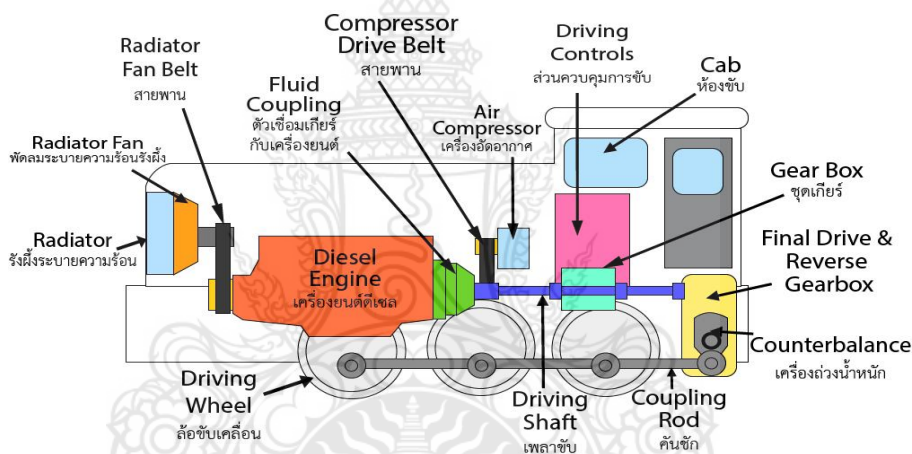
รูปที่ 2.10 แผนภาพของรถจักรดีเซลไฟฟ้า (Diagram diesel electric locomotive) [15]

2.) ระบบไฮดรอลิก [15]

รถจักรที่ใช้เครื่องถ่ายทอดกำลังด้วยระบบของเหลว (ไฮดรอลิก) เรียกว่า รถจักรดีเซลไฮดรอลิก (diesel hydraulic locomotive) อุปกรณ์เครื่องถ่ายทอดกำลัง เรียกว่า เครื่องแปลงแรงหมุน (torque converter) จะประกอบด้วยใบพัด 2 ตัว เรียกว่า อิมเพลเลอร์ (impeller) และเทอร์ไบน์รันเนอร์ (turbine runner) และมีน้ำมันอยู่ ภายในเครื่องยนต์ดีเซลต้นกำลัง จะหมุนอิมเพลเลอร์ให้ปั่นน้ำมัน เพื่อมีแรงไปหมุนเทอร์ไบน์รันเนอร์ ซึ่งจะมีกำลังงานหรือแรงเพิ่มขึ้น พอเพียงที่จะไปหมุนเพลาล้อรถจักรได้ โดยผ่านฟันเฟือง และกลไกต่างๆ ดังรูปที่ 2.11 และรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.11 รถจักรดีเซลไฮดรอลิก (Diesel hydraulic locomotive) [15]



รูปที่ 2.12 แผนภาพของรถจักรดีเซลไฮดรอลิก (Diesel hydraulic locomotive) [15]

2.2.2 รถดีเซลราง [16]

รถดีเซลราง (diesel railcar) เป็นรถโดยสารที่มีเครื่องยนต์ดีเซลขับเคลื่อนด้วยตนเอง เดิมทีการรถไฟฯ ได้นำรถชนิดนี้มาใช้งานในประเทศไทยเมื่อ พ.ศ. 2470 ซึ่งเป็นเครื่องกลไอน้ำ สร้างโดยบริษัทบอลด์วิน สหรัฐอเมริกา รถดีเซลรางรุ่นแรกๆ ที่นำมาใช้บริการรับส่งผู้โดยสารในเมืองในปี พ.ศ. 2475 นั้น มีหมายเลข 11 ถึง 16 เป็นรถที่ประกอบด้วยรถกำลัง 1 คัน และรถพ่วงสำหรับผู้โดยสารอีก 1 คัน ภายหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ยุติลง รถดีเซลรางรุ่นใหม่ๆ ได้รับการพัฒนาให้มีสมรรถนะสูง มีความคล่องตัวในการใช้งาน และสามารถพ่วงต่อกันคราวละหลายชุดได้ โดยแต่ละชุดเครื่องยนต์ทำงานพร้อมกับคันที่มีคนควบคุมที่ต้นขบวน รถดีเซลรางมีคุณสมบัติที่เหนือกว่าขบวนรถซึ่งใช้รถลากจูงหลายประการ คือ ขบวนการดีเซลรางเร่งความเร็ว และหยุดได้เร็วกว่า จึงทำให้ใช้เวลาในการเดินทางน้อยกว่า และเมื่อถึงปลายทาง พนักงานขับรถเปลี่ยนไปขับท้ายขบวนก็สามารถออกรถ

ได้ทันที ไม่ต้องเปลี่ยนตั้งหัวขบวนใหม่เช่นการใช้รถจักร นอกจากนั้นยังสามารถพ่วงติดต่อกันได้ไม่จำกัด เพราะรถทุกชุดขับเคลื่อนด้วยตัวเอง รถที่เป็นตัวกำลังจะทำงานสัมพันธ์กันทุกเครื่องยนต์ ทำให้เฉลี่ยกำลังขับเคลื่อนออกไปตลอดขบวนขึ้นทางลาดชันได้ดีกว่า นอกจากความคล่องตัวแล้ว รถดีเซลรางยังสะดวกในการจัดทำขบวนรถสั้นๆ เพียงชุดเดียว (2 คัน) ให้พอเหมาะกับสภาพการโดยสาร (รถคันกำลัง จุที่นั่ง 78 คน ยืน 35 คน และคันพ่วงมี 84 ที่นั่ง ยืน 35 คน) ในแง่ความปลอดภัยของผู้โดยสาร รถทุกคันมีประตูขึ้นลง เปิดปิดโดยระบบอัตโนมัติที่พนักงานขับรถจะเป็นผู้ควบคุม [16]

รถชนิดนี้กล่าวได้ว่า เป็นการแผ้วทางในการนำเอารถโดยสารที่ขับเคลื่อนด้วยตนเองมาใช้งาน คือ รถดีเซลรางแบบดีเซลไฟฟ้า ซึ่งนำมาใช้งานใน พ.ศ. 2475 และต่อมาจนถึงปัจจุบัน เป็นรถดีเซลราง และดีเซลไฮดรอลิก รถดีเซลรางเหล่านี้เดิมที่นำมาใช้เดินรับส่งคนโดยสารในระยะทางไกลๆ โดยหยุดรับส่งคนโดยสารตามรายทาง ภายหลังต่อมาได้ใช้การเป็นขบวนรถขานเมือง โดยให้หยุดทุกสถานี และให้เป็นขบวนรถ ที่เดินทางในระยะไกลปานกลางระหว่างเมือง (inter city) อีกด้วย ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 รถดีเซลราง แบบรถโดยสารมีเครื่องขับเคลื่อนด้วยตัวเอง [16]

รถดีเซลราง แบบรถโดยสารมีเครื่องขับเคลื่อนด้วยตัวเอง รถดีเซลรางที่ใช้การในปี พ.ศ. 2475 เป็นรถที่เรียกกันว่า 2 คันชุด คือ ประกอบไปด้วย รถกำลัง 1 คัน ขับเคลื่อนด้วยระบบดีเซลไฟฟ้าซึ่งติดตั้งอยู่บนรถส่วนหนึ่ง อีกส่วนหนึ่งเป็นห้องคนโดยสาร และมีห้องขี้อยู่ตอนหัวรถที่นำทางและพ่วงตามด้วยรถโดยสาร อีก 1 คัน ภายหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 รถดีเซลรางได้รับการพัฒนาให้ดีขึ้น ทำให้มีสมรรถนะสูง และมีความคล่องตัวในการใช้งาน สามารถที่จะวิ่งได้ด้วยความเร็วสูงกว่า 80 กม./ชม. และสามารถที่จะเร่งความเร็วให้ถึงอัตราเร็วสูงสุดนี้ได้ ในระยะเวลาอันสั้น ตัวรถสามารถสร้างให้มีน้ำหนักเบาแต่มีกำลังเครื่องยนต์สูง นอกจากนี้รถดีเซลรางยังมีระบบ ห้ามล้อประสิทธิภาพสูง จึงทำให้สามารถห้ามล้อ เพื่อหยุดได้ในเวลารวดเร็ว เป็นการช่วยให้มีความคล่องตัวเพิ่มขึ้นอีก โดยปกติ เรานำเอารถดีเซลรางมาพ่วงต่อกันเข้าเป็นขบวน สำหรับวิ่งรับส่งผู้โดยสารในระยะใกล้ และ

หยุดรับส่งผู้โดยสารทุกสถานี มีบางคราว ที่นำไปใช้วิ่งบริการในระยะไกลปานกลางแทนขบวนรถโดยสาร ซึ่งลากจูงโดยรถจักร

2.3 พื้นฐานกระแสไฟฟ้า

ไฟฟ้า คือความร้อนและแสงสว่าง คือพลังงาน (energy) ในรูปแบบต่าง ๆ กัน สิ่งมีชีวิตทั้งหลายต้องการพลังงานทั้งสิ้น พลังงานสามารถกักเก็บ และปลดปล่อยออกมา เพื่อใช้ประโยชน์ต่างๆ กัน ในโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิง (fuel) จะถูกเผาไหม้เพื่อปล่อย พลังงานออกมา และนำไปผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า พลังงานสามารถเคลื่อนที่จากที่หนึ่ง ไปยังอีกที่หนึ่งได้เมื่อเราเปิดสวิตช์ไฟ กระแสไฟฟ้าจะวิ่งมาที่หลอดทำให้เกิดแสงสว่าง นั่นคือ พลังงานสามารถแปรสภาพไปเป็นความร้อนและแสงสว่างได้ ซึ่งสามารถจำแนกออกได้ดังนี้ [17]

2.3.1 ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current)

หลักการการทำงานของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง ดังรูปที่ 2.14 เมื่อตัวนำความยาวด้านตั้งฉาก $\ell[m]$ เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว $v[m/s]$ ผ่านสนามแม่เหล็กที่มีความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก $B[T]$ จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า $E[V]$ ขึ้นในตัวนำตามกฎมือขวาของเฟลมมิ่ง สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.1) มีดังนี้

$$E = B\ell v[V] \quad (2.1)$$

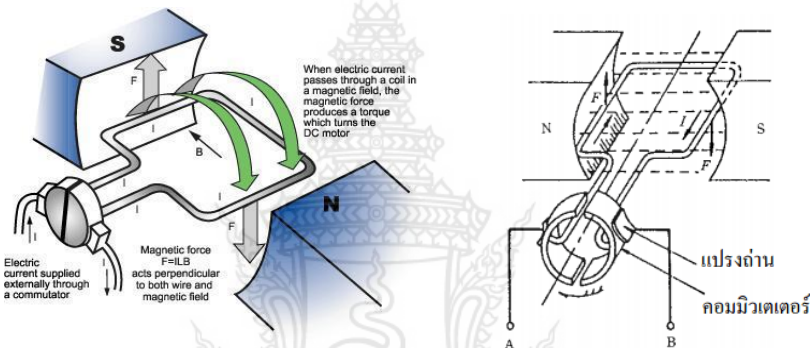
และเมื่อมีกระแส $I[A]$ ไหลในตัวนำความยาว $\ell[m]$ ตัวนำจะได้รับแรงทางกลตามกฎมือขวาของเฟลมมิ่ง สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.2) มีดังนี้

$$F = B\ell I[N] \quad (2.2)$$

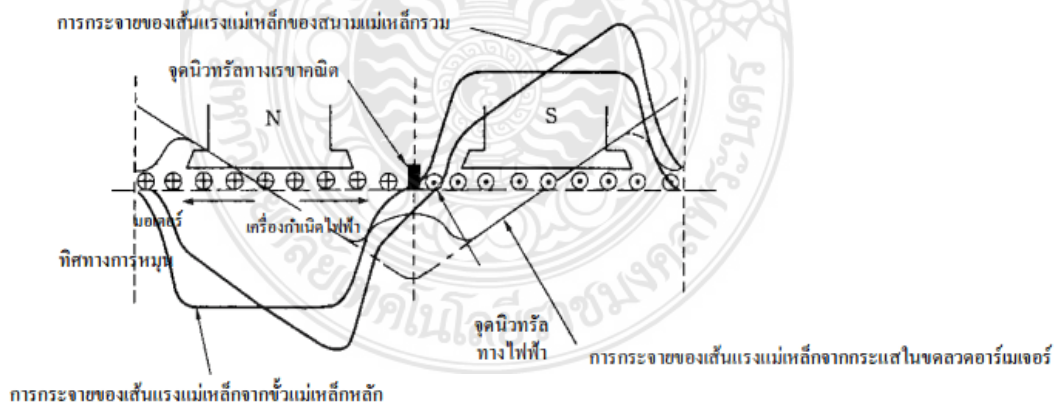
ตัวนำหมุนไปแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในตัวนำจะกลับชั่วเกิดเป็นกระแสสลับ จึงต้องใช้คอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่านเพื่อกรองให้เป็นกระแสตรง เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ประโยชน์จากแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่แสดงตามสมการที่ (2.1) ส่วนมอเตอร์กระแสตรงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ประโยชน์จากแรงทางกลที่แสดงตามสมการที่ (2.2) หากจ่ายกระแสให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ก็จะเกิดแรงทางกลตามที่แสดงตามสมการที่ (2.2) เช่นกันเพื่อกำเนิดกำลังไฟฟ้า $P_1 = E_1$ กำลังขับที่ต้องป้อนให้กับเพลลา ซึ่งเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.3) มีดังนี้

$$P_2 = F \cdot v = (BlI) \cdot v = (Blv) \cdot I = E \cdot I = P_1[W] \quad (2.3)$$

การต้านกลับของขดลวดอาร์เมเจอร์ การต้านกลับที่แรงแม่เหล็กเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจากกระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์ทำต่อเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดสถิต เรียกว่า การต้านกลับของขดลวดอาร์เมเจอร์ เมื่อมีกระแสไหลในขดลวดอาร์เมเจอร์ การกระจายเส้นแรงแม่เหล็กในแก๊บจะไม่สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 2 ซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาต่างๆ เช่น กรองเป็นกระแสตรงไม่สะดวก ลดแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เกิดแฟลชโอเวอร์ระหว่างแปรงถ่านขั้วบวก-ลบ ฯลฯ เพื่อป้องกันปัญหาเหล่านี้จึงต้องติดตั้งอินเตอร์โพลหรือ Compensating winding ดังรูปที่ 2.14 และรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.14 การเกิดแรงดันกระแสตรง [17]



รูปที่ 2.15 การต้านกลับของขดลวดอาร์เมเจอร์ [17]

คุณสมบัติพื้นฐานของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ E ของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.4) มีดังนี้

$$E_a = \frac{pZ}{60a} n \Phi [\text{V}] \quad (2.4)$$

p คือ จำนวนขั้ว

n คือ ความเร็วรอบ $[r / \text{min}]$

Z คือ จำนวนตัวนำทั้งหมด

Φ คือ เส้นแรงแม่เหล็กต่อ 1 ขั้ว $[\text{Wb}]$

$2a$ คือ จำนวนวงจรรภายใน $[\text{Lap winding } 2a = p, \text{Wave winding } 2a = 2]$

แรงบิด แรงบิดของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง T สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.5) มีดังนี้

$$T = \frac{pZ}{2\pi a} I_a \Phi [\text{N.m}] \quad (2.5)$$

I_a คือ กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์ $[\text{A}]$

กำลังขาออกของมอเตอร์ หมายถึงกำลังขับทางกล กำลังขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หมายถึงกำลังไฟฟ้ากระแสตรง กำลังขาออกทางกล P_o เท่ากับผลคูณของแรงบิด T กับความเร็วเชิงมุม $\omega [\text{rad/s}]$ สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.6) มีดังนี้

$$P_o = \omega T \quad (2.6)$$

เมื่อแปลงสูตรจะได้ความสัมพันธ์สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.7) มีดังนี้

$$P_o = \omega T = \left(2\pi \frac{n}{60} \right) \left(\frac{pZ}{2\pi a} I_a \Phi \right) = \left(\frac{pZ}{60a} n \Phi \right) I_a = E_a I_a [\text{W}] \quad (2.7)$$

สมการนี้แสดงว่าหากไม่คิดกำลังสูญเสียแล้ว กำลังขับทางกลจะเท่ากับกำลังไฟฟ้าขาออก ความเร็วรอบ ความเร็วรอบ n ของมอเตอร์กระแสตรงได้จากการแปลงสูตรแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.8) มีดังนี้

$$n = \frac{E_a}{k\Phi} I_a \Phi [r / \text{min}] \quad (2.8)$$

$$\text{ทั้งนี้ } k = \frac{pZ}{60a} = \text{ค่าคงที่}$$

อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดัน อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดัน ε แสดงระดับการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากโหลดของแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ถ้าให้ความเร็วรอบและกระแสสนามแม่เหล็กคงที่ สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.9) มีดังนี้

$$\varepsilon = \frac{V_0 - V_n}{V_n} \times 100[\%] \quad (2.9)$$

ทั้งนี้ V_0 คือ แรงดันที่ขั้วเมื่อไม่มีโหลด [V]

V_n คือ แรงดันที่ขั้วเมื่อมีโหลด [V]

อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็ว อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็ว v แสดงระดับการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของมอเตอร์เนื่องจากโหลด ถ้าให้แรงดันที่ขั้วและกระแสสนามแม่เหล็กคงที่ สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.10) มีดังนี้

$$v = \frac{n_o - n_n}{n_n} \times 100[\%] \quad (2.10)$$

ทั้งนี้ n_o คือ ความเร็วรอบเมื่อไม่มีโหลด

n_n คือ พิกัดความเร็วรอบ

ประเภทและคุณลักษณะของไฟฟ้ากระแสตรง ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เป็นการสรุปรวบรวมประเภทของไฟฟ้ากระแสตรง
คุณลักษณะของมอเตอร์ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า [17]

ประเภท	Separately excited motor	ขั้วต่อมอเตอร์
ผังวงจรของมอเตอร์		
สูตรคุณลักษณะของมอเตอร์	$E_a = V_i - (I_a r_a + 2v_b)$ $I_L = I_a$ $\eta = \frac{E_a}{k_f \Phi}$ $T = k_t \Phi I_a = k_t k_f I_a^2$	$E_a = V_i - (I_a r_a + 2v_b)$ $I_L = I_a + I_f$ $\eta = \frac{E_a}{k_f \Phi}$ $T = k_t \Phi I_a$
	E_a : แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ [V] Φ : เส้นแรงแม่เหล็ก [Wb] V_i : แรงดันที่ขั้ว [V] n : ความเร็วรอบ [min ⁻¹] v_b : แรงดันตกที่แปรงถ่าน [V] T : แรงบิด [N·m] r_a : ความต้านทานของอาร์มเจอร์ [Ω]	I_a : กระแสในขดลวดอาร์มเจอร์ [A] I_f : กระแสสนามแม่เหล็ก [A] I_L : กระแสขาเข้า [A]
คุณลักษณะของมอเตอร์		

การควบคุมความเร็ว การสตาร์ท การหยุดการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงสามารถควบคุมความเร็วได้ในช่วงกว้างอย่างมีประสิทธิภาพ วิธีการควบคุมความเร็วมีดังต่อไปนี้

ก. การควบคุมสนามแม่เหล็ก ปรับตัวต้านทานสนามแม่เหล็กเพื่อเปลี่ยนความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กของสนามแม่เหล็กและควบคุมความเร็ว เนื่องจากกระแสที่ควบคุมมีค่าต่ำจึงมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำไปด้วย เป็นวิธีที่ใช้กันทั่วไป

ข. การควบคุมความต้านทาน ต่อตัวต้านทานอนุกรมกับวงจรขดลวดอาร์มเจอร์ และควบคุมด้วยการลดความเร็ว มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะที่ควบคุมสูง รวมทั้งมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วสูง ใช้กับซีรืส์มอเตอร์เป็นหลัก

ค. การควบคุมแรงดัน ปรับแรงดันที่ป้อนให้ขดลวดอาร์มเจอร์เพื่อควบคุมความเร็วใช้กับ Separately excited motor เป็นหลัก วิธีป้อนแรงดันปรับได้จากแหล่งจ่ายไฟตรง

เฉพาะให้กับขดลวด อาร์เมเจอร์ของ Separately excited motor เรียกว่าวิธีเสียนาร์ด ซึ่งสามารถควบคุมความเร็วอย่างละเอียดในช่วงกว้างทั้งหมดไปและกลับ และสามารถทำ Regenerative braking ได้อีกด้วย

การสตาร์ทและเบรก มีวิธีการควบคุมความเร็วมีดังต่อไปนี้

ก. การสตาร์ท มีทั้งการสตาร์ทด้วยตัวต้านทานและสตาร์ทด้วยการลดแรงดันเพื่อลดเวลาที่ใช้ในการสตาร์ท การลดโมเมนต์ความเฉื่อยของโรเตอร์จะเป็นวิธีที่ได้ผลในการอนุรักษ์พลังงานอีกด้วย

ข. การเบรก (การเบรกด้วยไฟฟ้า) วิธี Dynamic braking เป็นวิธีเบรกโดยแปลงพลังงานกลของโรเตอร์เป็นพลังงานไฟฟ้า แล้วจ่ายให้ตัวต้านทานซึ่งต่ออยู่กับวงจรขดลวดอาร์เมเจอร์ เพื่อให้สูญเสียไปเป็นความร้อน ส่วนวิธี Regenerative braking จะนำพลังงานไฟฟ้าที่แปลงมานั้นจ่ายคืนให้กับแหล่งจ่ายไฟ

วิธีควบคุมความเร็ว หลักการในการควบคุมความเร็ว เนื่องจากคุณลักษณะแรงบิดความเร็วของมอเตอร์มีเพียงรูปแบบเดียว จุดสมดุลเสถียรที่เกิดขึ้นจึงมีเพียงจุดเดียวเท่านั้น มอเตอร์จึงเดินเครื่องด้วยความเร็วคงที่ ω_e หากสามารถเปลี่ยนเงื่อนไขของแหล่งจ่ายไฟ (แรงดันไฟฟ้า ความถี่ ฯลฯ) หรือเงื่อนไขของมอเตอร์ (เงื่อนไขของวงจรอาร์เมเจอร์ขนาดของเส้นแรงแม่เหล็กที่ขั้ว ฯลฯ) ข้อใดข้อหนึ่ง ทำให้คุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วของมอเตอร์เปลี่ยนไปได้แล้ว น่าจะสามารถเปลี่ยนความเร็วเชิงมุม ω ที่ทำให้เกิดจุดสมดุลเสถียรได้ หากใช้เครื่องแปลงกำลังไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์กำลัง จะสามารถเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับและความถี่กระแสสลับได้โดยสะดวก จึงสามารถควบคุมความเร็วได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพสูง

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง ความเร็วรอบ N และแรงบิด T ของมอเตอร์กระแสตรงสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.11) มีดังนี้

$$N = K_1 \frac{V - R_a I_a}{\phi}, T = K_2 \phi I_a \quad (2.11)$$

ทั้งนี้ ϕ คือ เส้นแรงแม่เหล็ก

V คือ แรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

I_a คือ กระแสอาร์เมเจอร์

R_a คือ ความต้านทานของวงจรอาร์เมเจอร์

K_1, K_2 คือ ค่าคงที่ของการแปรผัน

จากสูตรนี้จะเห็นว่า การเปลี่ยน N ทำได้ 3 วิธี คือ การควบคุมสนามแม่เหล็ก (เปลี่ยน ϕ : มอเตอร์ขนาน มอเตอร์แบบฟิลด์แยก)

การควบคุมความต้านทาน (เปลี่ยน R_a มอเตอร์ขนาน มอเตอร์อนุกรม) วิธีควบคุมแรงดันไฟฟ้า

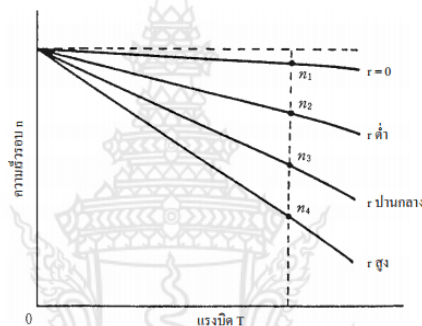
ก. การควบคุมสนามแม่เหล็ก การควบคุมทำได้ง่ายเนื่องจากการเป็นการปรับกระแสกำเนิดสนามแม่เหล็กซึ่งมีค่าไม่มาก แต่ขีดจำกัดของความเร็วจะถูกจำกัดด้วยการอิ่มตัวของเส้นแรงแม่เหล็ก เมื่อลดความเข้มของสนามแม่เหล็กลงแล้วเพิ่มความเร็วจะทำให้ทำ Commutation ได้ยากช่วงที่สามารถปรับความเร็วได้ในกรณีของมอเตอร์ที่มี Interpole จะเท่ากับ 1 : 3-4 และแม้แต่ในกรณีของมอเตอร์ที่มีขดลวดชดเชยก็ยิ่งเท่ากับปริมาณ 1 : 5 เท่านั้น คุณลักษณะของมอเตอร์จะมีรูปแบบเป็นคุณลักษณะกำลังขาออกคงที่ ที่ $N \propto 1/\phi$ และ $T \propto \phi$

ข. การควบคุมความต้านทานเป็นวิธีควบคุมโดยใส่ตัวต้านทาน R ลงไปเฉพาะในวงจรอาร์เมเจอร์เพื่อควบคุมความเร็วด้วยการลดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้อาร์เมเจอร์ซึ่งจะลดลงเท่ากับ rI_a ถ้าให้ $R = r + R_a$ นำไปวาดคุณลักษณะ $n-T$ เทียบกับ r แทน R_a แล้วจะได้ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.12 และรูปที่ 2.13 ดังนั้นจึงมีจุดอ่อนว่า ยิ่ง r มีค่าเพิ่มขึ้นเสถียรภาพจะลดลงทำให้เกิดความสูญเสียเพิ่มขึ้น และถ้ามีภาระต่ำการควบคุมจะไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้น จึงไม่ค่อยนำมาใช้ในมอเตอร์ขนาดเล็ยกยกเว้นในมอเตอร์อนุกรม

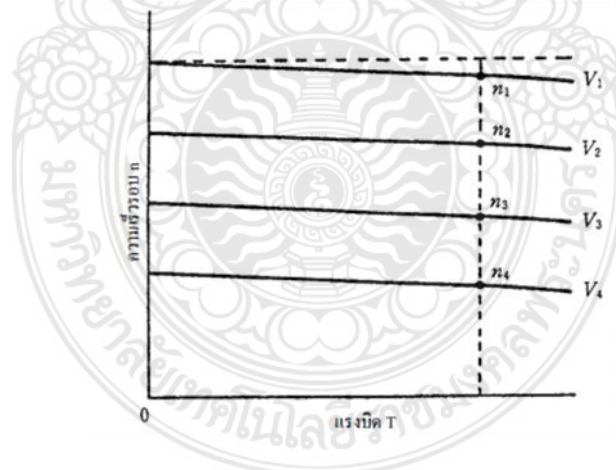
ค. การควบคุมแรงดันไฟฟ้า (มอเตอร์แบบฟิลด์แยก) ถ้าควบคุม ϕ และ R_a ให้คงที่แล้วปรับค่า V จะได้คุณลักษณะ $n-T$ ความชันของคุณลักษณะความเร็วจะเกือบคงที่เป็นแนวระดับโดยไม่ขึ้นกับค่าแรงดันไฟฟ้า ดังนั้น ไม่ว่าจะที่แรงดันใดๆ ก็ตามการเดินเครื่องจะมีเสถียรภาพดี และเนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กจะมีค่าคงที่ จึงไม่ทำให้เงื่อนไขการ Commutation แย่ลงเหมือนกับกรณีของการลดความเข้มสนามแม่เหล็ก

การจ่ายไฟให้อาร์เมเจอร์จากแหล่งจ่ายไฟแรงดันไฟฟ้าแปรผันต่างหากจากวงจรถูกกำเนิดสนามแม่เหล็ก เรียกว่า ระบบควบคุมแรงดันแปรผัน หรือระบบ Leonard system โดยระบบที่ใช้มอเตอร์-เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแปรผัน เรียกว่า ระบบ Ward Leonard system ส่วนระบบที่ใช้เครื่องแปลงกำลังไฟฟ้าไม่เคลื่อนไหว เรียกว่า ระบบ Static Ward Leonard ปัจจุบันโดยทั่วไปจะใช้แบบหลัง ดังรูปที่ 2.18 เป็นตัวอย่างของระบบ Static Ward Leonard system ในกรณีที่ต่อวงจรแบบ Cross connection โดยใช้ทรานซิสเตอร์ ซึ่งจะควบคุมขนาดของแรงดันไฟฟ้า E_s ที่จ่ายให้อาร์เมเจอร์ของมอเตอร์แบบฟิลด์แยกด้วยการควบคุมเฟสของทรานซิสเตอร์ ดังรูปที่ 2.19 แสดงคุณลักษณะ $n-T$ ของระบบ Leonard ที่วาดขึ้นโดยใช้แรงดันคำสั่ง E_s เป็นพารามิเตอร์ โดยคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าเนื่องจากกระแสภาระของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแปรผันด้วย จุด A ในรูปหมายถึงจุดสมดุลของแรงบิดที่แรงดันคำสั่ง E_{s1} ซึ่งจะ

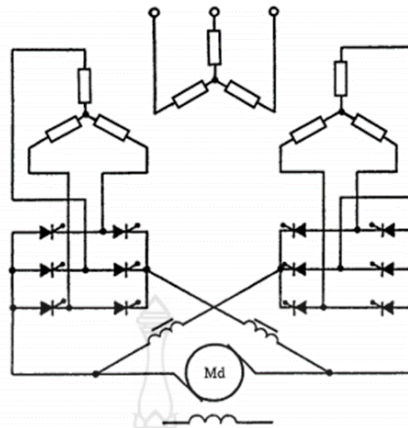
เดินเครื่องด้วยความเร็ว n_1 กรณีที่ต้องการเร่งความเร็ว จะเพิ่มแรงดันเป็น E_{s0} ทำให้เกิดแรงบิด T_{mo} ซึ่งเทียบเท่ากับจุด B ดังนั้น มอเตอร์จึงถูกเร่งความเร็วด้วย $T_{mo} - T_l = T_a$ ตามเส้นกราฟ BD เข้าสู่สมดุลใหม่ที่จุด D (ความเร็ว n_o) กรณีของการลดหน่วงความเร็วเมื่อลดแรงดันเป็น E_{s2} แล้ว จะเกิดแรงบิดเบรก T_b จากจุด A เลื่อนไปที่จุด C มอเตอร์จะได้รับแรงบิดหน่วงความเร็ว $(T_b + T_l)$ ทำให้ลดความเร็วตามเส้นกราฟ CE ทำให้ไปสมดุลที่จุด E (ความเร็ว n_2) ด้วยการเลือก E_s ที่เหมาะสม จะสามารถปรับระดับแรงบิดเร่งความเร็ว-หน่วงความเร็วเป็นเท่าใดก็ได้ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของระบบควบคุมความเร็ว และระหว่างที่หน่วงความเร็วซึ่งเกิดแรงบิด T_b ขึ้นจะใช้การเบรกแบบ Regenerative braking.



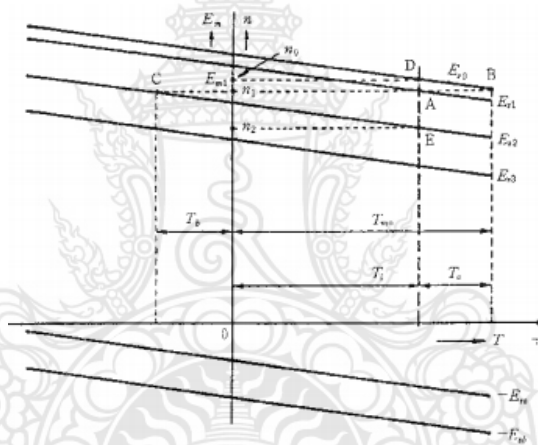
รูปที่ 2.16 การควบคุมความต้านทานของมอเตอร์ขนานกระแสตรง [17]



รูปที่ 2.17 การควบคุมแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรงแบบฟีลด์แยก [17]



รูปที่ 2.18 Static Ward Leonard [17]



รูปที่ 2.19 การควบคุมความเร็วด้วยระบบ Ward Leonard [17]

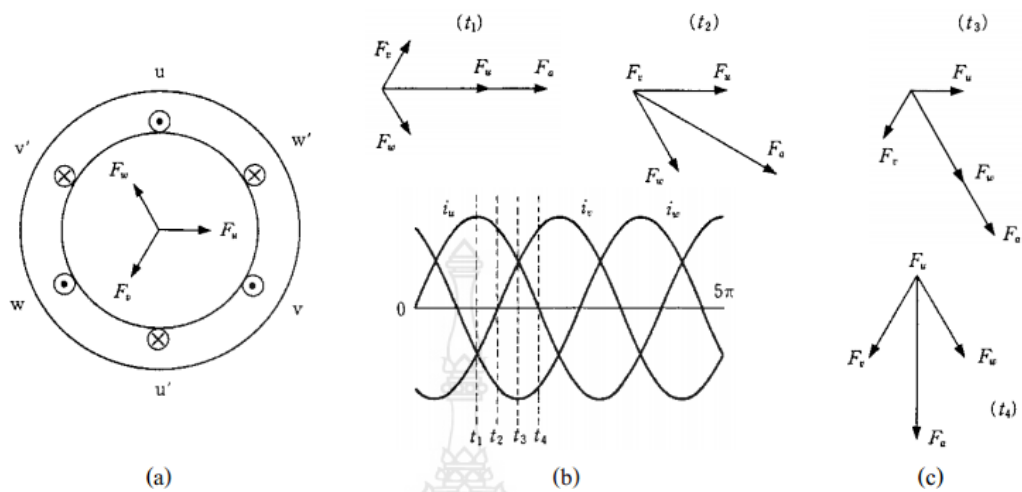
2.3.2 ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current)

พื้นฐานของเครื่องกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้า

1) คำจำกัดความของเครื่องกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เครื่องกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นเครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับที่ประกอบด้วย สเตเตอร์และโรเตอร์ซึ่งต่างมีขดลวดอาร์เมเจอร์ที่เป็นอิสระต่อกัน และทำงานด้วยการถ่ายทอดกำลังไฟฟ้าโดยใช้หลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าจากขดลวดด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง ในสถานะที่มี เครื่องหมุนด้วยความเร็วคงที่ ความเร็วนี้จะไม่เท่ากับความเร็วซิงโครนัส ขดลวดที่ต่อกับแหล่งจ่ายไฟ กระแสสลับเรียกว่า ขดลวดปฐมภูมิ ส่วนขดลวดอีกขดหนึ่งเรียกว่า ขดลวดทุติยภูมิ

2) หลักการของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส



รูปที่ 2.20 การเกิดสนามแม่เหล็กหมุน [17]

(a) สนามแม่เหล็กหมุน ดังรูปที่ 2.20 (a) แสดงขดลวดที่เหมือนกัน 3 ขด ได้แก่ uu' , vv' และ ww' เรียงตัวโดยทำมุม $2\pi/3[\text{rad}]$ ซึ่งกันและกัน เมื่อลัดวงจรขั้ว u' , v' และ w' และจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสตามที่ตั้งรูปที่ 2.20 (b) ให้กับขั้ว u , v และ w แล้ว เมื่อเวลาเท่ากับ t_1 , t_2 , t_3 และ t_4 ในขดลวดแต่ละขดตามทิศทางแกนหมุนจะเกิดแรงแม่เหล็กเหนี่ยวนำตัดกัน และที่มีขนาดแปรผันตามกระแสตั้งรูปที่ 2.20 (c) แรงลัพธ์ของแรงแม่เหล็กเหนี่ยวนำ จะมีขนาดคงที่ค่าหนึ่งตามรูป เป็นแรงแม่เหล็กเหนี่ยวนำที่หมุนด้วยความเร็วเชิงมุม $\omega_0 = 2\pi f[\text{rad}/\text{s}]$ ทำให้ในบริเวณนั้นเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้น

(b) การเกิดแรงบิดเมื่อวางทรงวัตถุกระบอกที่นำไฟฟ้าไว้ในสนามแม่เหล็กหมุน เส้นแรงแม่เหล็กจะตัดผ่านวัตถุกระบอกที่นำไฟฟ้าทรงกระบอก ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในวัตถุกระบอกที่นำไฟฟ้า และมีกระแสไหลวนเกิดขึ้น แรงแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างกระแสนี้กับเส้นแรงแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงบิดขึ้นตามทิศทางการหมุนของสนามแม่เหล็ก และวัตถุกระบอกที่นำไฟฟ้าจะหมุนตามทิศทางการหมุนของสนามแม่เหล็ก หรือแทนที่จะใช้วัตถุกระบอกที่นำไฟฟ้าจะใช้ขดลวด 3 เฟสที่ต่อลัดวงจรแล้วก็ได้ผลลัพธ์เช่นเดียวกัน นี่เป็นหลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

3) คุณสมบัติพื้นฐานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

- ความเร็วซิงโครนัส n_s

$$n_s = \frac{120f_1}{p} [\text{min}^{-1}]$$

ในที่นี้ f_1 คือ ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ

p คือ จำนวนขั้ว

- ความเร็วรอบ n

$$n = n_s(1 - s) [\text{min}^{-1}]$$

$$\text{ทั้งนี้ } S = \text{สลลิป} = \frac{n_s - n}{n_s}$$

- ความถี่ทุติยภูมิ (ความถี่สลลิป) f_2

$$f_2 = sf_1 [\text{Hz}]$$

$$\therefore n_s - n = \frac{120f_2}{p}$$

- แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ : แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำปฐมภูมิ E_1 [v]

และแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำทุติยภูมิ E_{2s} [v] เมื่อเดินเครื่องด้วยสลลิปเท่ากับ s คำนวณได้ตามสูตรต่อไป

$$E_1 = 4.44f_1\omega_1k\omega_1\phi \quad \text{และ} \quad E_{2s} = 4.44f_2\omega_2k\omega_2\phi$$

ทั้งนี้ ϕ คือ เส้นแรงแม่เหล็กของคลื่นมูลฐานของทุกขั้ว [Wb]

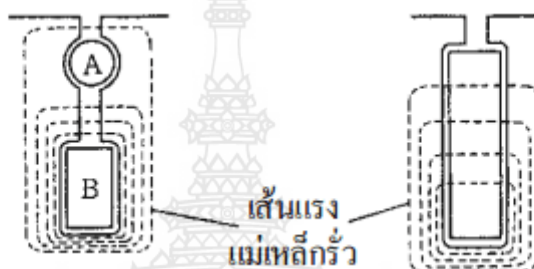
ω_1 และ ω_2 คือ จำนวนรอบของขดลวด 1 เฟสด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ

f_1 และ f_2 คือ ด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ [Hz]

$k\omega_1$ และ $k\omega_2$ คือ สัมประสิทธิ์ของขดลวดด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ

ตารางที่ 2.3 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างสถานะการเดินเครื่อง สลิป ความถี่ทุติยภูมิแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำทุติยภูมิ

สถานะการเดินเครื่อง	สลิป (s)	ความถี่ทุติยภูมิ (f_2)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าทุติยภูมิ (E_2)
หยุด	1	f_1	f_2
มอเตอร์	$0 < s < 1$	sf_1	sE_2
ความเร็วซิงโครนัส	0	0	0



รูปที่ 2.21 รูปร่างโรเตอร์ของมอเตอร์กรงกระรอกแบบพิเศษ [17]

4) ประเภทของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

แบ่งประเภทตามโครงสร้างของโรเตอร์ได้ดังต่อไปนี้

- มอเตอร์เหนี่ยวนำโรเตอร์แบบกรงกระรอกธรรมดา โครงสร้างของโรเตอร์ประกอบด้วยตัวนำ รูปแท่งจำนวนมากซึ่งมีขดลวดทุติยภูมิฝังอยู่ในสล็อต กับังแหวนลัดวงจรซึ่งทำหน้าที่ลัดวงจรขดลวดเหล่านี้

- มอเตอร์เหนี่ยวนำโรเตอร์แบบกรงกระรอกแบบพิเศษ โรเตอร์มีโครงสร้างขดลวดทุติยภูมิแบบพิเศษเพื่อควบคุมกระแสขณะเริ่มหมุนและเพิ่มแรงบิดขณะเริ่มหมุน แบ่งเป็นมอเตอร์กรงกระรอกสองชั้นกับมอเตอร์กรงกระรอกร่องลึก ดังรูปที่ 2.21

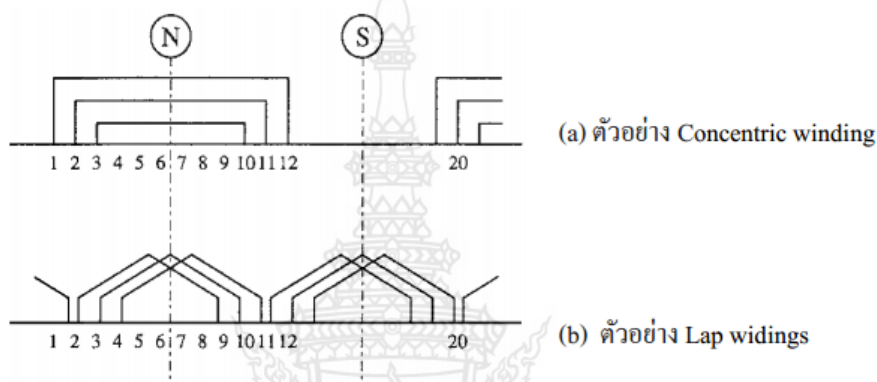
- มอเตอร์เหนี่ยวนำโรเตอร์แบบรูปขดลวด โครงสร้างของโรเตอร์มีขดลวดทุติยภูมิเป็นขดลวดหลายเฟส และต่อขั้วสายขดลวดออกมาภายนอกโดยใช้สลีปริง

5) ขดลวดสเตเตอร์

- Concentrated winding กับ Distributed winding : หากจำนวนสล็อตของแต่ละขั้วและแต่ละเฟสเท่ากับ 1 ช่องจะเรียกว่า Concentrated winding หากมีจำนวนตั้งแต่ 2 ช่องขึ้นไปจะเรียกว่า Distributed windings แบบที่นิยมใช้กันในเกือบทุกกรณีได้แก่ Distributed windings เนื่องจากจะมีอัตราการใช้งานแกนเหล็กของสเตเตอร์สูงกว่า ดังรูปที่ 2.22

- Full pitch windings กับ Fractional pitch winding: หากความกว้างของขดลวดเท่ากับระยะห่างระหว่างขั้วแม่เหล็กจะเรียกว่า Full pitch windings หากสั้นกว่าระยะห่างระหว่างขั้วแม่เหล็กจะ เรียกว่า Fractional pitch winding โดยทั่วไปจะใช้ Fractional pitch winding เพื่อลดคลื่นฮาร์โมนิก

- Lap windings กับ Concentric winding: Lap windings จะมีคลื่นฮาร์โมนิกของเส้นแรงแม่เหล็กน้อยกว่า แต่ Concentric winding จะพันขดลวดด้วยเครื่องจักรได้ง่ายกว่า



รูปที่ 2.22 เปรียบเทียบขดลวดได้ศูนย์กับขดลวดซ้อน (ต่อ 1 เฟส) [17]

2.4 การทบทวนวรรณกรรม

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเดินรถระบบรางในประเทศนั้นไม่มากนัก และจำเป็นต้องเข้าถึงแหล่งข้อมูลจากการรถไฟแห่งประเทศไทยโดยตรงซึ่งมีโครงการต่างๆจำนวนหนึ่งแต่ไม่ได้ทำการเผยแพร่ในรูปแบบการตีพิมพ์วารสาร โดยผลการทบทวนโครงการต่างๆของการรถไฟแห่งประเทศไทยที่เกี่ยวข้องกับโครงการในครั้งนี้มีดังนี้

โครงการศึกษาความเป็นไปได้การใช้เชื้อเพลิงร่วม (Diesel-CNG) สำหรับรถจักร [6] ด้วยภาวะปัจจุบันที่กำลังประสบปัญหาค่าพลังงานเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ต้นทุนการเดินรถจักรและการทำขบวนเดินรถเพิ่มขึ้นตาม ดังนั้นเพื่อเป็นการลดภาระต้นทุนที่เพิ่มมากขึ้น การรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) และการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (ปตท.) ได้ร่วมมือกันเพื่อทำการศึกษาและทดลองการใช้เชื้อเพลิงร่วมระหว่างน้ำมันดีเซล (Diesel) และก๊าซธรรมชาติอัด (CNG) กับขบวนรถจักรพบว่า การตัดแปลงใช้ระบบเชื้อเพลิงร่วมดังกล่าวสามารถลดต้นทุนด้านพลังงานได้ 2,500 บาท/เที่ยว ในขณะที่เกิดค่าเสียโอกาสการขนส่งจากขบวนรถที่ต้องทำการติดตั้งชุดบรรจุก๊าซธรรมชาติอัด 2,700 บาท/เที่ยว ดังรูปที่ 2.23 พิจารณาจากค่าน้ำมันดีเซล 24 บาท/ลิตร และ ค่าก๊าซธรรมชาติอัด 8.5 บาท/กิโลกรัม) ซึ่งไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน



รูปที่ 2.23 การเสียโอกาสการขนส่งจากขบวนรถที่ต้องทำการติดตั้งชุดบรรจุก๊าซธรรมชาติอัด [6]

โครงการศึกษาความคุ้มค่าจากการปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์ดีเซลรถจักรจากระบบฉีดเชื้อเพลิงเป็นระบบฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูง [7] เนื่องด้วยต้นทุนพลังงานเชื้อเพลิงและค่าการซ่อมบำรุงที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ต้นทุนการเดินรถจักรและการทำขบวนเดินรถเพิ่มขึ้นตาม ดังนั้นเพื่อเป็นการลดภาระต้นทุนที่เพิ่มมากขึ้น การรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) ได้ศึกษาและจัดทำแนวทางการแก้ไขด้วยการจัดซื้อเครื่องยนต์ทดแทนเครื่องยนต์ Pielstick รถจักร Alsthom โดยใช้เครื่องยนต์ MTU series 16V4000 R41 ดังรูปที่ 2.24 และ Caterpillar 3516BHD ดังรูปที่ 2.25 เพื่อทำการทดแทนเครื่องยนต์เดิม ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าเครื่องยนต์ทั้ง 2 แบบสามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้มากกว่า 10 % ซึ่งจะคุ้มค่าการลงทุนภายในระยะเวลา 6 ปีแต่เครื่องยนต์ MTU series 16V4000 R41 จะมีค่าใช้จ่ายด้านการซ่อมบำรุงที่สูงกว่าเครื่องยนต์ Caterpillar 3516BHD



รูปที่ 2.24 เครื่องยนต์ MTU series 16V4000 R41 [7]



รูปที่ 2.25 เครื่องยนต์ Caterpillar 3516BHD [7]

โครงการศึกษาผลกระทบจากการใส่สารเติมแต่งน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีต่ออัตราการสิ้นเปลือง [8] จากปัญหาด้านต้นทุนพลังงานและค่าเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ต้นทุนการเดินรถจักร และการทำขบวนเดินรถเพิ่มขึ้นตาม ดังนั้นเพื่อเป็นการลดภาระต้นทุนที่เพิ่มมากขึ้น การรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) ได้จัดทำโครงการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของรถจักรดีเซล ซึ่งทำการศึกษาการใส่สารเติมแต่งลงในน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ และลดอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงกับรถจักร โดยทำการทดสอบกับรถจักรแบบ Alsthom ภายใต้ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องยนต์และวัดค่าทางไฟฟ้า (Load-test) ในสภาวะความเร็วรอบที่แตกต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงระหว่างจากการใช้น้ำมันดีเซลและการใช้เชื้อเพลิงดีเซลผสมสารเติมแต่ง ซึ่งจากผลการทดสอบปรากฏว่าการใช้เชื้อเพลิงดีเซลผสมสารเติมแต่งสามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้มากกว่าจากการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว 7% อย่างไรก็ตามการใส่สารเติมแต่งดังกล่าวยังมีค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อสารเติมแต่ง ซึ่งยังไม่คุ้มค่าการลงทุนกับผลความประหยัดเชื้อเพลิงที่ได้รับ

โครงการจัดทำแผนแม่บทและศึกษาแนวทางการจัดการพลังงานสำหรับการเดินขบวนรถไฟภายใต้มาตรฐาน ISO50001 [9] งานวิจัยนี้ได้จัดทำ โดยมีการแยกส่วนงานออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ 1) การศึกษาต้นทุน และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของรถจักร 2) ศึกษาแนวทางการปรับปรุงสภาพรถจักร 3) ศึกษาแผนงาน และแนวทางการซ่อมบำรุงรักษารถจักร 4) ศึกษาความเป็นไปได้ และจัดทำแผนแม่บทเพื่อนำไปสู่ระบบรถไฟไฟฟ้า 5) การจัดการพลังงานสำหรับการเดินขบวนรถไฟภายใต้มาตรฐาน ISO50001 ซึ่งโครงการดังกล่าวได้มุ่งเน้นด้านการบริหารจัดการด้านการใช้พลังงานทั้งหมดในการดำเนินกิจการของการรถไฟแห่งประเทศไทย

การศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการลดมลพิษและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถจักร เพื่อความคุ้มค่าต่อการลงทุน [10] สืบเนื่องจากปัญหาเครื่องยนต์ดีเซลรถจักรที่มีอายุการใช้งานมาก และเสื่อมสมรรถนะ ทางการรถไฟแห่งประเทศไทยทำให้เกิดการศึกษาเทคโนโลยีของเครื่องยนต์ที่เหมาะสมและสามารถลดอัตราการปล่อยมลพิษและอัตราประเทศไทยจึงได้มีความพยายามในการเปลี่ยนเครื่องยนต์ที่มีเทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามาทดแทน แต่กลับประสบปัญหาต้นทุนการบำรุงรักษาสำหรับเทคโนโลยีใหม่ที่ค่อนข้างสูง จึงทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประมาณการความคุ้มค่าในการลงทุน สำหรับการลดต้นทุนด้านเชื้อเพลิงควบคู่ไปกับการลดมลพิษจากการขนส่งทางราง

โครงการพัฒนาระบบทดสอบและติดตามสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขณะทำงาน [11] เพื่อพัฒนาระบบการทดสอบและติดตามสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลรถจักร อีกทั้งสร้างระบบฐานข้อมูลสำหรับการวินิจฉัยเครื่องยนต์ดีเซลรถจักร เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าวรถจักรดีเซลไฟฟ้า Alsthom หมายเลข 4220 เครื่องยนต์ Pielstick 16PA4V185VG และ รถจักรดีเซลไฟฟ้า HITACHI หมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50L ได้ถูกเลือกให้ติดตั้งระบบติดตามสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลรถจักร

นอกจากนี้ ในภูมิภาคเอเชียก็ยังมีการศึกษาถึงผลกระทบจากมลพิษ โดยในประเทศเกาหลี [12] ได้ทำการสำรวจอัตราการปล่อยมลพิษที่ออกจากปล่องควัน ซึ่งพบว่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เจือจางจากกับผสมกับบรรยากาศขณะปล่อยออกจากปล่องควันมีการรวมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ถึง 1,000 นาโนเมตร ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ ดังนั้นการเลือกใช้เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่เพื่อการขนส่งทางรางจึงควรพิจารณาถึงผลกระทบทางมลพิษโดยมีข้อบังคับเป็นตัวกำหนด

อีกทั้งในประเทศจีนก็ยังมีการศึกษาถึงการลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ใช้ในรถจักรด้วยการใช้ระบบปั๊มหัวฉีดโดย [13] ซึ่งระบบดังกล่าวอยู่ภายใต้ลิขสิทธิ์ของบริษัทผู้ผลิตส่งผลให้ลดอัตราการใช้เชื้อเพลิงเป็นอย่างมาก และจำเป็นต้องใช้สารหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์ระบบหัวฉีดซึ่งจะทำให้ยืดอายุการใช้งานและลดอัตราการซ่อมบำรุงได้เป็นอย่างมาก

มากไปกว่านั้นยังมีความพยายามนำระบบเชื้อเพลิงมาใช้ในระบบขนส่งทางรางในสหรัฐอเมริกา [14] เครื่องยนต์ต้นกำลังถูกปรับเปลี่ยนมาใช้ระบบพลังงานเซลล์ Solid Oxide Fuel Cell- Gas Turbine (SOFC-GT) และถูกนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซล โดยระบบ SOFC-GT มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าและสามารถลดปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสารมลพิษได้เป็นอย่างมาก

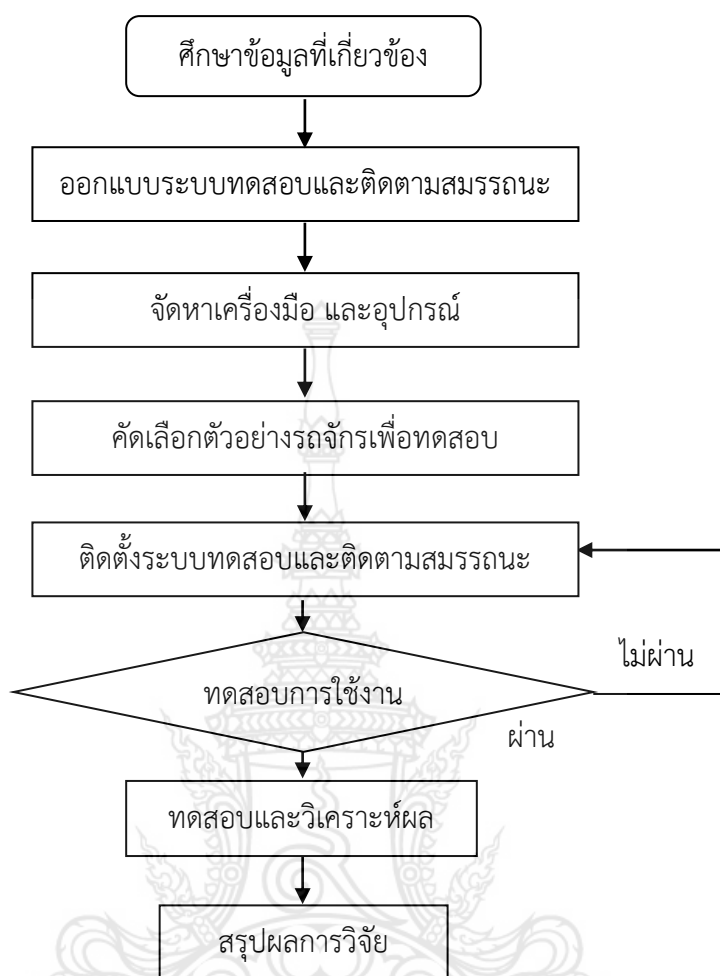
บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

จากวัตถุประสงค์ และขอบเขตการดำเนินงานของงานวิจัย นำไปสู่การกำหนดวิธีการดำเนินงานเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์การดำเนินงาน โดยสามารถแบ่งขั้นตอนการดำเนินงาน และระยะเวลาในการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนได้ดังต่อไปนี้

3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

- 1) ศึกษาทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อสนับสนุนงานวิจัย
- 2) คิดค้นและพัฒนาระบบติดตามสมรรถนะทางไฟฟ้ารถจักรดีเซลไฟฟ้าระยะไกล
- 3) จัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์
- 4) คัดเลือกรถจักรตัวอย่างเพื่อติดตั้งระบบทดสอบ
- 5) ติดตั้งระบบทดสอบและติดตามสมรรถนะทางไฟฟ้ารถจักรดีเซลไฟฟ้า
 - ทดสอบการใช้งาน
 - ทดสอบระบบทดสอบสมรรถนะทางไฟฟ้ารถจักรดีเซลไฟฟ้า ณ สถานีทดสอบ
 - ทดสอบระบบติดตามสมรรถนะทางไฟฟ้ารถจักรดีเซลไฟฟ้าขณะทำขบวน นอกสถานีทดสอบ
- 6) ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง
- 7) วิเคราะห์ผลทางวิศวกรรม
- 8) สรุปผลการวิจัย



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการวิจัย

สถานที่ทำการวิจัย

- สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 1381 ถนนพิบูลสงคราม แขวง/ตำบลบางซื่อ เขต/อำเภอบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
- โรงรถจักรดีเซลบางซื่อ ถ.รถไฟ 1 แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

3.2 การคัดเลือกรถจักรตัวอย่างเพื่อติดตั้งระบบทดสอบ

โดยทำการสุ่มรถจักรมาทำการทดสอบจำนวน 1 คัน รถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L เครื่องยนต์ที่ 1 และเครื่องยนต์ที่ 2 ดังรูปที่ 3.2 และ รูปที่ 3.3 ในการศึกษาการติดตามสมรรถนะรถจักรดีเซลไฟฟ้าระยะไกล สามารถนำผลงานวิจัยครั้งนี้ไปใช้ประโยชน์ได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อารรับประกันเครื่องยนต์จากผู้ผลิต



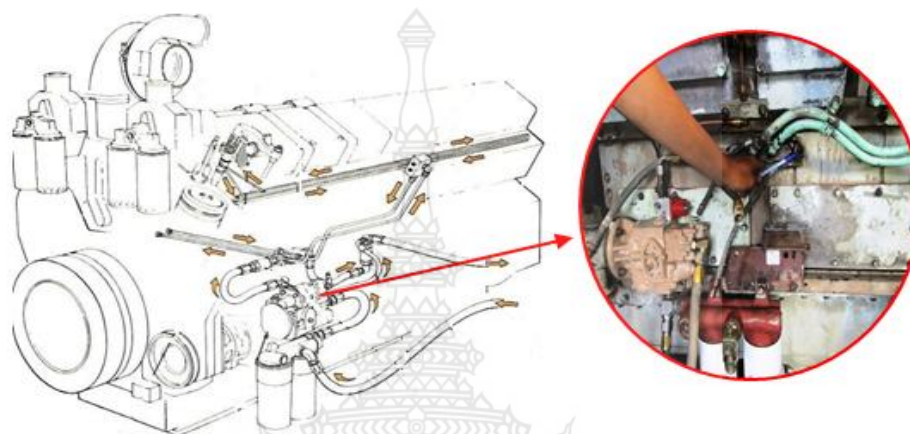
รูปที่ 3.2 รถจักรดีเซลไฟฟ้าหมายเลข 4513



รูปที่ 3.3 รถจักรดีเซลไฟฟ้าหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L

3.3 ประเภทของเทคโนโลยีเครื่องยนต์ของรถจักรดีเซลไฟฟ้า (AC)

หลักการทำการไหลน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ ของรถจักรดีเซลไฟฟ้า ที่ทำการทดสอบ จำนวน 1 คัน (รถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L เครื่องยนต์ที่ 1 และ เครื่องยนต์ที่ 2) ดังรูปที่ 3.4

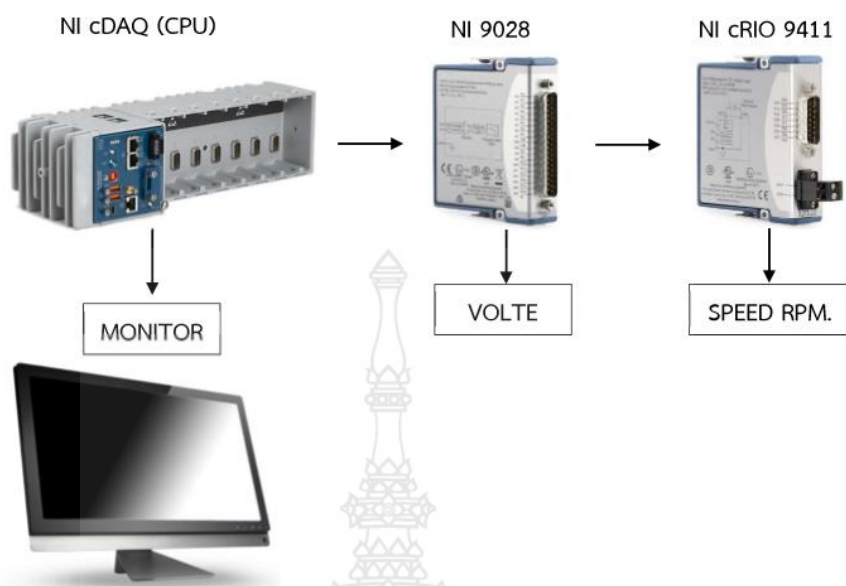


รูปที่ 3.4 หลักการทำงานการไหลน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ Cummins [11]

3.4 การออกแบบระบบทดสอบและติดตามสมรรถนะรถจักร

สำหรับงานส่วนวิศวกรรมซอฟต์แวร์ ระบบการติดตามข้อมูลจะถูกสร้างขึ้นเพื่อเชื่อมต่อข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจากส่วนงานวิศวกรรมเครื่องกล โดยมีซอฟต์แวร์ที่ถูกเขียนขึ้นเป็นตัวควบคุมการติดตามข้อมูลทั้ง 3 กลุ่มงาน คือ กลุ่มที่ 1) กำลังทางไฟฟ้า (Electrical power) กลุ่มที่ 2) ข้อมูลสถานะเครื่องยนต์ (Engine parameters) และ กลุ่มที่ 3) ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (Engine revolution) โดยมีอุปกรณ์ดังนี้ ดังรูปที่ 3.5

- 1) อุปกรณ์ประมวลผลและรวมสัญญาณ NI cDAQ CPU set ทำหน้าที่เชื่อมต่อสัญญาณ จากอุปกรณ์ย่อยและรวมสัญญาณส่งไปแสดงผลยังหน้าจอแสดงผล
- 2) NI 9028 ทำหน้าที่เชื่อมต่อสัญญาณแบบแรงดันและกระแสไฟฟ้าจากตัวตรวจจับสัญญาณ
- 3) NI cRIO 9411 ทำหน้าที่เชื่อมต่อสัญญาณจากตัวตรวจจับความเร็วรอบเครื่องยนต์



รูปที่ 3.5 ภาพรวมการต่ออุปกรณ์ประมวลผลและรวมสัญญาณ NI cDAQ set [11]

นอกจากนี้ แนวทางการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ใช้ควบคุมอุปกรณ์ประมวลผลและรวมสัญญาณ NI cDAQ ถูกแบ่งออกเป็น 3 ระบบหลักดังนี้

3.4.1 ระบบ Data Acquisition

- การวัดกำลังไฟฟ้า AC ใช้ AC Power Meter ร่วมกับ CT (3,000 A & 4,000A) สำหรับวัดกระแส และ PT (1,000Vac) แปลงสัญญาณเป็น RS485 modbus protocol เพื่อเข้าอุปกรณ์รับสัญญาณ (NI cDAQ-CPU)
- การวัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ ใช้ Thacometer แปลงสัญญาณเป็น Pulse เพื่อเข้าอุปกรณ์วัดสัญญาณ (NI cRIO 9411)

3.4.2 ระบบ Warning & Alarm monitoring

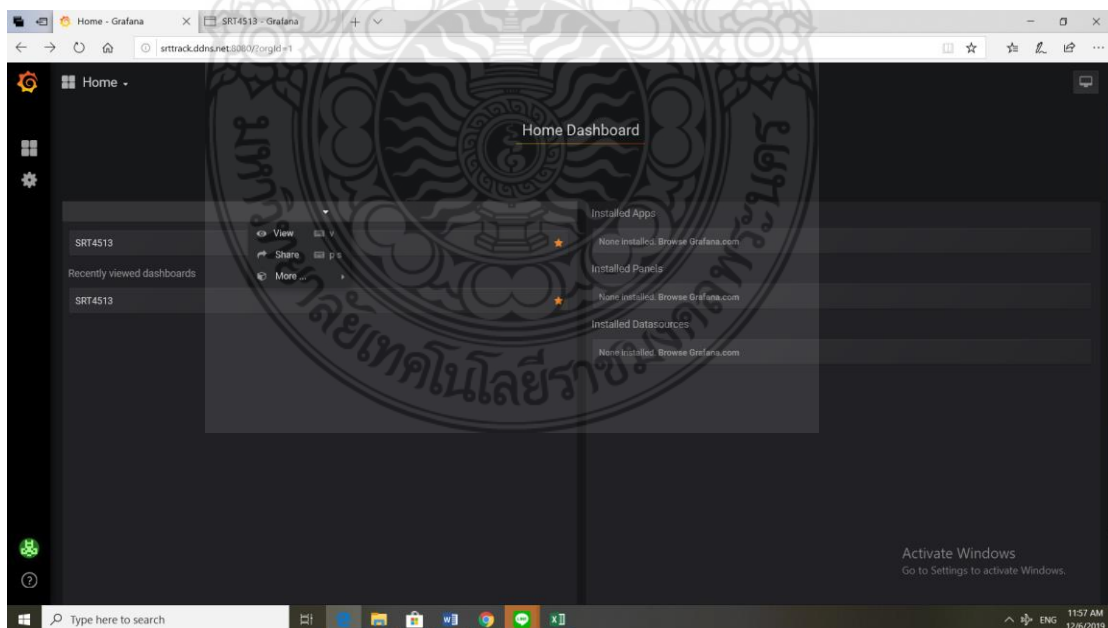
- ผู้ใช้งานสามารถกำหนดค่า Warning Limit และ Alarm Limit ได้ตามต้องการ ทั้งด้าน Upper และ Lower
- ระบบ Data Acquisition จะทำการอ่านค่าและเปรียบเทียบกับ Limit ที่กำหนด ถ้าค่าที่อ่านได้เกินกว่าค่าลิมิตที่ตั้งไว้ ระบบจะทำการบันทึกเหตุการณ์ (Events) ลงใน

ฐานข้อมูลและแสดงผลในรูปแบบของตารางบันทึกเหตุการณ์ (Event log) ให้ผู้ใช้งาน/ผู้ดูแลระบบได้รับทราบ

- ระบบ Warning & Alarm monitoring สามารถส่งข้อความแจ้งเตือนเจ้าหน้าที่ผู้เกี่ยวข้องผ่านอีเมล ในกรณีที่ค่าที่อ่านได้เกินกว่าขอบเขตที่ตั้งเอาไว้ โดยส่งข้อมูลผ่านระบบ 3G Mobile Network ที่ใช้งานร่วมกับระบบ Data Acquisition

3.4.3 ระบบ Remote monitoring

- ข้อมูลในระบบ Data Acquisition จะถูกส่งไปบันทึกในระบบ Cloud Server เพื่อรอการเรียกดูข้อมูลจากอุปกรณ์ต่างๆของผู้ใช้งานที่เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต
 - ข้อมูลในฐานข้อมูลกลาง สามารถนำขึ้นมาแสดงผลผ่านทาง Web Browser ได้
- ด้วยซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาจากนักวิจัยที่ใช้ควบคุมอุปกรณ์จะถูกเชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ต (Web Browser) และแสดงผลบนหน้าจอแสดงผลของรถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L เครื่องยนต์ที่ 1 และเครื่องยนต์ที่ 2 ดังรูปที่ 3.6 นอกจากนี้ ข้อมูลทั้งหมดถูกจัดเก็บไว้บนเซิร์ฟเวอร์ (Cloud Base) และสามารถเรียกดูข้อมูลได้จากบนตัวรถจักรและสถานีทดสอบ เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลรถจักร ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถเรียกดูย้อนหลังได้ไม่น้อยกว่า 2 สัปดาห์ ผ่านระบบคอมพิวเตอร์ (ระยะเวลาการเรียกดูข้อมูลย้อนหลังอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความถี่การเก็บข้อมูล)



รูปที่ 3.6 หน้าจอแสดงผลของรถจักรหมายเลข 4513 Cummins KTA50-L

คุณสมบัติของ HMI (Human Machine Interface) ในส่วนของ Hardware Communication (การสื่อสาร) สามารถสื่อสารข้อมูลกับอุปกรณ์เครื่องมือวัดและอุปกรณ์อื่นๆ ในลักษณะแบบดิจิทัล โดยมีรูปแบบของสัญญาณให้เลือกหลายแบบ และสามารถสื่อสารข้อมูลกับอุปกรณ์ต่างๆ ทุกยี่ห้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งสามารถเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์ Meter, Controller และอีกมากมายตามการใช้งานประเภทต่างๆ โดยอุปกรณ์ HMI เพียงตัวเดียวก็สามารถควบคุม หรืออ่านค่าตัวอุปกรณ์ ฮาร์ดแวร์อื่นๆ ที่ต่อเชื่อมอยู่ได้อย่างง่ายดาย ผ่านการเชื่อมต่อทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

การเก็บบันทึกข้อมูลสามารถบันทึกในรูปแบบไฟล์ Excel รวมไปถึงการเข้าถึงข้อมูลผ่านทาง Web Browser ได้อย่างสะดวกแม้ไม่ได้อยู่บนรถจักร การเชื่อมต่อ (Connect) สามารถอำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้งานในการเรียกดูข้อมูลระยะไกล โดยการเชื่อมต่อผ่านมือถือ หรือแท็บเล็ต ซึ่งใช้ Web Browser มาตรฐานตัวใดก็ได้ในการเรียกดูค่าหรือควบคุม ผ่านหน้าจอแสดงผล นอกจากนี้ การปรับตั้งค่าควบคุมการใช้งานของโปรแกรมโดยเจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบ (Admin) สามารถทำการควบคุมหรือแก้ไขจากระยะไกลผ่านโปรแกรมแม้ไม่ได้อยู่บนตัวรถจักร

3.5 การตรวจวัดขนาดพิกัดและจัดท่าเครื่องมือและอุปกรณ์




การลงพื้นที่สำรวจและเก็บข้อมูลโดยการตรวจวัดขนาดพิกัดจากพฤติกรรมการใช้งานจริง เพื่อกำหนดขนาดพิกัดของเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ต่างๆ ที่มีความจำเป็นต้องติดตั้งกับรถจักร การตรวจวัดกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การตรวจวัดกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของรถจักร

หมายเลข 4513 Cummins KTA50-L

ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์ที่จะนำมาติดตั้งในรถจักรดีเซลไฟฟ้า ของรถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L [11]

ลำดับ	รายการ	จำนวน	ขนาด	มาตรฐาน ความคงทน	ภาพถ่าย
1	ชุดวัดกำลังไฟฟ้า	2 ชุด	mA – 3,000 A(AC)	IP67	
2	ชุดแสดงผลกำลังไฟฟ้า	2 ชุด	3000A@300 mv RMS	IP54 (Front panel) IP20 (Terminals)	
3	อุปกรณ์รวมสัญญาณ	2 ชุด	-	-	

3.6 การติดตั้งอุปกรณ์ติดตามสมรรถนะบนรถจักรดีเซลไฟฟ้า

การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดกำลังทางไฟฟ้า และติดตามสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลไฟฟ้าของรถจักรขณะทำงานให้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ติดตามสมรรถนะรถจักรดีเซลไฟฟ้า โดยแบ่งตามประเภทรถจักรออกเป็น 1 คัน คือ (รถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L เครื่องยนต์ที่ 1 และเครื่องยนต์ที่ 2) การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดกำลังทางไฟฟ้า และติดตามสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลของรถจักรขณะทำงานได้กำหนดไว้ ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดกำลังทางไฟฟ้า บนรถจักรหมายเลข 4513
เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและวิเคราะห์

4.1 ผลการทดสอบระบบทดสอบสมรรถนะทางไฟฟ้ารถจักรดีเซลไฟฟ้า ณ สถานีทดสอบ

จากการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดกำลังทางไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเครื่องยนต์ เพื่อทดสอบสมรรถนะทางไฟฟ้ารถจักรดีเซลไฟฟ้า ณ สถานีทดสอบ บนรถจักรดีเซลไฟฟ้าจำนวน 1 คันได้แก่รถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L เครื่องยนต์ที่ 1 และเครื่องยนต์ที่ 2 อุปกรณ์ดังกล่าวได้ถูกทดสอบความพร้อมใช้งาน ณ โรงรถจักรดีเซลบางซื่อ โดยอ้างอิงจากสภาวะจาก Regulation Characteristics Curve ซึ่งเป็นสภาวะการทดสอบที่การรถไฟแห่งประเทศไทยใช้ทดสอบรถจักรดีเซลในปัจจุบัน โดยผลการทดสอบถูกแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบรถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L
เครื่องยนต์ที่ 1

Step No.	Electric Power System (Engine No.1)			
	Engine Revolution (rpm)	IDC (Amp)	VDC (Volt)	DC Power (kW)
1	940	241.66	63	15.22
2	1,260	491.65	125	61.46
3	1,380	791.64	217	171.79
4	1,500	1,066.62	317	338.12
5	1,600	1,283.28	318	408.08
6	1,690	1,433.28	363	520.28
7	1,800	1,574.94	414	652.03

หมายเหตุ: IDC, VDC และ DC Power เป็นค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดระบบทดสอบสมรรถนะทางไฟฟ้ารถจักรดีเซลไฟฟ้า ณ สถานีทดสอบ

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบรถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L
เครื่องยนต์ที่ 2

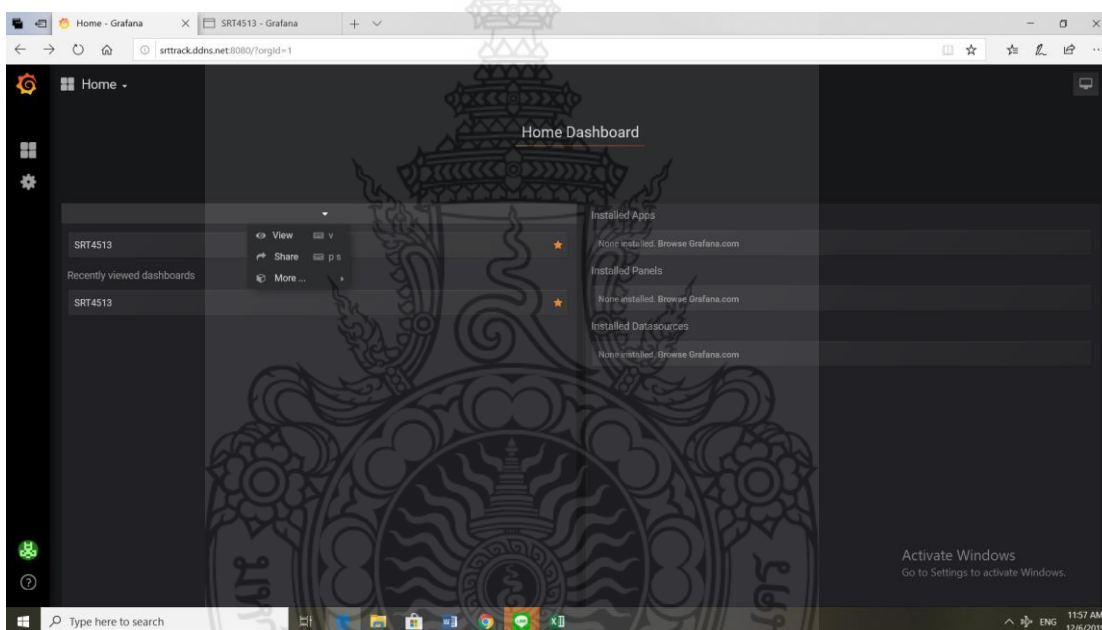
Step No.	Electric Power System (Engine No.2)			
	Engine Revolution (rpm)	IDC (Amp)	VDC (Volt)	DC Power (kW)
1	800	800	116	92.80
2	900	1,147	161	184.67
3	1,000	1,275	225	286.88
4	1,100	1,657	281	465.61
5	1,200	1,852	371	687.10
6	1,300	1,875	500	937.50
7	1,400	2,040	555	1,132.20
8	1,500	2,490	495	1,232.55

หมายเหตุ: IDC, VDC และ DC Power เป็นค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดระบบทดสอบสมรรถนะทางไฟฟ้ารถจักรดีเซลไฟฟ้า ณ สถานีทดสอบ

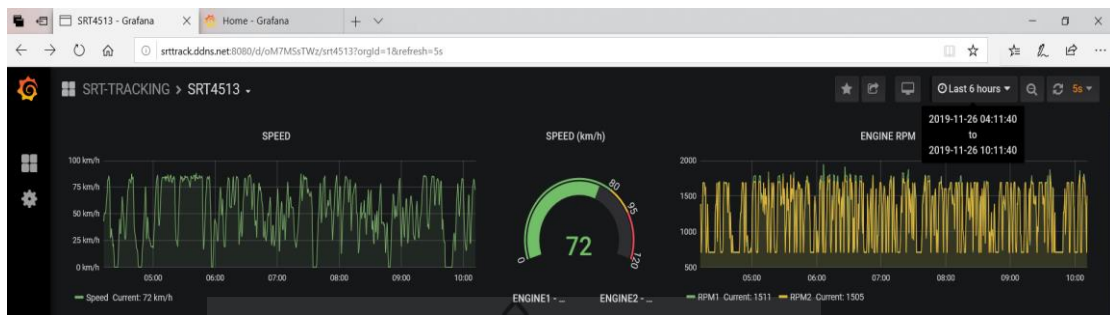


4.2 ผลการทดสอบระบบติดตามสมรรถนะทางไฟฟ้ารถจักรดีเซลไฟฟ้าระยะไกล ขณะทำขบวนนอกสถานีทดสอบ

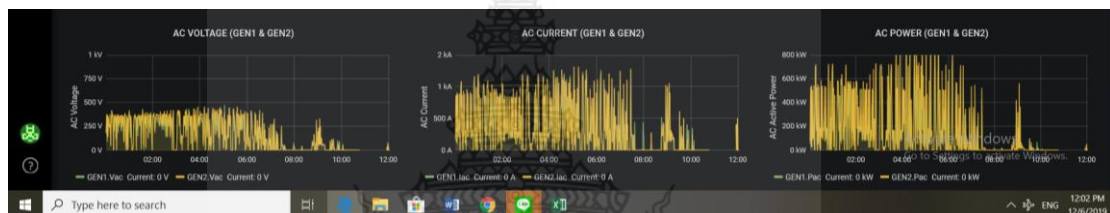
การใช้งานระบบโดยเชื่อมต่อเครือข่ายสัญญาณอินเทอร์เน็ต (Web service) การใช้งานระบบติดตามสมรรถนะเครื่องยนต์ของหัวรถจักรไฟฟ้า โดยเชื่อมต่อเครือข่ายสัญญาณอินเทอร์เน็ตเข้ากับอุปกรณ์สื่อสารสามารถทำได้กับอุปกรณ์สื่อสารทุกชนิดที่สามารถเชื่อมต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ต และสามารถเข้าระบบได้โดย Web Browser ในกรณีนี้จะสามารถเข้าใช้งานในรูปแบบ และสามารถเข้าไปใช้งานได้ที่ <http://srtrack.ddns.net:8080/login> โดยข้อมูลสมรรถนะทางไฟฟ้ารถจักรดีเซลไฟฟ้าระยะไกลขณะทำขบวน นอกสถานีทดสอบถูกแสดงดังรูปที่ 4.1 ถึง 4.3



รูปที่ 4.1 การติดตามสถานะข้อมูลทั่วไปของเครื่องยนต์ของรถจักรไฟฟ้า หมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L เครื่องยนต์ที่ 1 และเครื่องยนต์ที่ 2 เข้าระบบได้โดย Web Browser



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างแสดงความเร็วรอบเครื่องยนต์ รถจักรไฟฟ้ารถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L เครื่องยนต์ที่ 1 และเครื่องยนต์ที่ 2 จากระบบ Web Browser



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างแสดงข้อมูลสมรรถนะกำลังทางไฟฟ้า รถจักรไฟฟ้ารถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L เครื่องยนต์ที่ 1 และเครื่องยนต์ที่ 2 จากระบบ Web Browser

จากการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดกำลังทางไฟฟ้า เพื่อระบบติดตามสมรรถนะทางไฟฟ้ารถจักรดีเซลไฟฟ้าระยะไกล ขณะทำขบวน นอกสถานีทดสอบ บนรถจักรดีเซลไฟฟ้าจำนวน 1 คันได้แก่ รถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L เครื่องยนต์ที่ 1 และเครื่องยนต์ที่ 2 อุปกรณ์ดังกล่าวได้ถูกทดสอบความพร้อมใช้งาน ณ โรงรถจักรดีเซลบางซื่อ โดยอ้างอิงจากสภาวะจาก Regulation Characteristics Curve ซึ่งเป็นสภาวะการทดสอบที่การรถไฟแห่งประเทศไทยใช้ทดสอบรถจักรดีเซลในปัจจุบัน โดยผลการทดสอบถูกแสดงในตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบรถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L
เครื่องยนต์ที่ 1 จากระบบ Web Browser

Step No.	Electric Power System (Engine No.1)			
	Engine Revolution (rpm)	IAC (Amp)	VAC (Volt)	AC Power (kW)
1	940	395.6	102.7	66.50
2	1,260	643.9	170.9	178.50
3	1,380	871.3	226.6	318.20
4	1,500	1,152.5	259.6	479.30
5	1,600	1,139.3	297.1	542.90
6	1,690	1,258.5	335.3	675.20
7	1,800	1,349.5	334.9	721.80

หมายเหตุ: IAC เป็นกระแส L1 ที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดจากระบบทดสอบระบบติดตามสมรรถนะทางไฟฟ้ารถจักรดีเซลไฟฟ้าระยะไกล ขณะทำขบวน นอกสถานีทดสอบ

VAC เป็นแรงดันไฟฟ้าที่ L1 เทียบ L2 ที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดจากระบบทดสอบระบบติดตามสมรรถนะทางไฟฟ้ารถจักรดีเซลไฟฟ้าระยะไกล ขณะทำขบวน นอกสถานีทดสอบ

AC Power เป็นกำลังไฟฟ้ารวมที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดจากระบบทดสอบระบบติดตามสมรรถนะทางไฟฟ้ารถจักรดีเซลไฟฟ้าระยะไกล ขณะทำขบวน นอกสถานีทดสอบ

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบรถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L
เครื่องยนต์ที่ 2 จากระบบ Web Browser

Step No.	Electric Power System (Engine No.2)			
	Engine Revolution (rpm)	IAC (Amp)	VAC (Volt)	AC Power (kW)
1	800	1,105	120	215.00
2	900	1,463	158	374.80
3	1,000	1,625	221	550.40
4	1,100	1,724	294	810.00
5	1,200	1,755	341	956.80
6	1,300	1,941	363	1,130.00
7	1,400	2,387	321	1,240.00

*หมายเหตุ: IAC เป็นกระแส L1 ที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดจากระบบทดสอบระบบติดตามสมรรถนะทางไฟฟ้ารถจักรดีเซลไฟฟ้าระยะไกล ขณะทำขบวน นอกสถานีทดสอบ

VAC เป็นแรงดันไฟฟ้าที่ L1 เทียบ L2 ที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดจากระบบทดสอบระบบติดตามสมรรถนะทางไฟฟ้ารถจักรดีเซลไฟฟ้าระยะไกล ขณะทำขบวน นอกสถานีทดสอบ

AC Power เป็นกำลังไฟฟ้ารวมที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดจากระบบทดสอบระบบติดตามสมรรถนะทางไฟฟ้ารถจักรดีเซลไฟฟ้าระยะไกล ขณะทำขบวน นอกสถานีทดสอบ

4.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองกำลังทางไฟฟ้ารถจักรดีเซล

4.3.1 การสูญเสียกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องยนต์ที่ 1

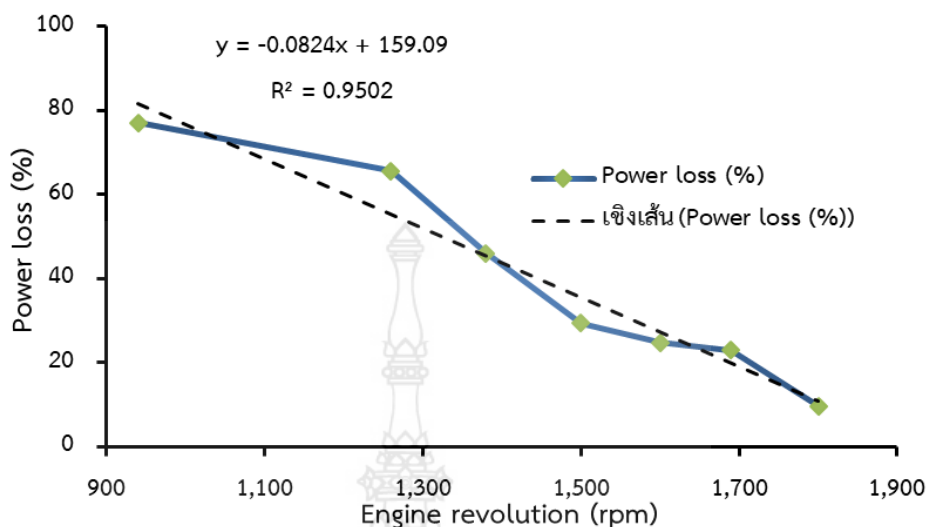
รถจักรดีเซลไฟฟ้าที่ทำการศึกษานี้ มีเครื่องยนต์ดีเซลเป็นต้นกำลังให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Generator) โดยแรงดันกระแสสลับ (AC Voltage) ที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้างกล่าวจะเป็นแรงดันขาเข้า (Input Voltage) ให้กับชุดวงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit) ซึ่งหน้าที่เปลี่ยนรูปแบบแรงดันขาเข้าให้เป็นแรงดันขาออก (Output Voltage) ซึ่งก็คือแรงดันกระแสตรง (DC Voltage)

สำหรับแรงดันกระแสตรงที่ผลิตได้นั้น จะถูกป้อนเข้าให้กับมอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) ซึ่งกำลังที่ทำให้มอเตอร์กระแสตรงสามารถขับเคลื่อนไปได้ จะถูกพิจารณาเป็นกำลังไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power) ดังนั้นกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Power) ที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจึงเป็นกำลังขาเข้า (Input Power) ของระบบทั้งหมด ในขณะที่กำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะเป็นกำลังขาออก (Output Power) โดยระหว่างการแปรผันจากกำลังกระแสสลับไปเป็นกำลังกระแสตรงนั้น จะมีปรากฏการณ์กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Power loss) มีค่าค่อนข้างคงที่ อยู่ในช่วงระหว่าง 51.28 kW ถึง 154.92 kW เกิดขึ้น โดยกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ ได้แก่ 940 rpm ถึง 1,800 rpm สามารถคิดเป็นร้อยละได้ดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบผลการทดลองกำลังทางไฟฟ้ารถจักรหมายเลข 4513

เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L เครื่องยนต์ที่ 1

รถจักรหมายเลข 4513 (Engine No.1) Step no.	Engine Revolution (rpm)	AC Power (kW)	DC Power (kW)	Power loss (kW)	Power loss (%)
1	940	66.50	15.22	51.28	77.11
2	1,260	178.50	61.46	117.04	65.57
3	1,380	318.20	171.79	146.41	46.01
4	1,500	479.30	338.12	141.18	29.46
5	1,600	542.90	408.08	134.82	24.83
6	1,690	675.20	520.28	154.92	22.94
7	1,800	721.80	652.03	69.77	9.67



รูปที่ 4.4 ผลการทดลองรถจักรดีเซลไฟฟ้าหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ที่ 1

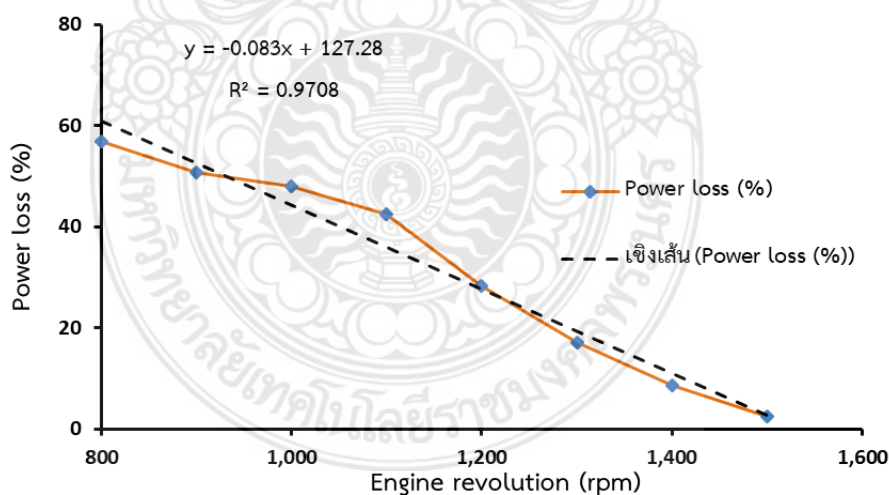
จากผลการทดลองรถจักรดีเซลไฟฟ้าหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ที่ 1 ทั้งนี้ได้นำทฤษฎีสมการถดถอยมาทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีนัยยะสำคัญต่อร้อยละกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Power loss) ดังรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเครื่องยนต์และค่าร้อยละกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Power loss) โดยทดสอบด้วยการจำลองภาระของเครื่องยนต์ ณ สถานีจำลองภาระทางไฟฟ้า (Load Test Station) โรงซ่อมบำรุงรถจักรดีเซลบางซื่อ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ตามเกณฑ์การทดสอบของการรถไฟแห่งประเทศไทย ผลการทดสอบสะท้อนให้เห็นแนวโน้มการลดลงของค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสีย ซึ่งแปรผกผันกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์อย่างชัดเจน เห็นได้จากความเร็วรอบเครื่องยนต์ 940 rpm (step 1) เกิดค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียสูงถึงร้อยละ 77.11 ในขณะที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,800 rpm (step 7) เกิดค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียเพียงร้อยละ 9.67 ซึ่งแตกต่างกันถึง 7.9 เท่า

4.3.2 การสูญเสียกำลังทางไฟฟ้าของเครื่องยนต์ที่ 2

จากเนื้อหาหัวข้อที่ 4.3.1 จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในหัวข้อนี้ได้เช่นกัน โดยจะเน้นไปที่กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Power loss) มีค่าค่อนข้างคงที่ อยู่ในช่วงระหว่าง 31.45 kW ถึง 344.39 kW เกิดขึ้น โดยกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ ได้แก่ 800 rpm ถึง 1,500 rpm สามารถคิดเป็นร้อยละได้ดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบผลการทดลองกำลังทางไฟฟ้ารถจักรหมายเลข 4513
เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L เครื่องยนต์ที่ 2

รถจักรหมายเลข 4513 (Engine No.2) Step no.	Engine Revolution (rpm)	AC Power (kW)	DC Power (kW)	Power loss (kW)	Power loss (%)
1	800	215.00	92.80	122.2	56.84
2	900	374.80	184.67	190.13	50.73
3	1,000	550.40	286.88	263.52	47.88
4	1,100	810.00	465.61	344.39	42.52
5	1,200	956.80	687.10	269.70	28.19
6	1,300	1,130.00	937.50	192.50	17.04
7	1,400	1,240.00	1,132.20	107.80	8.69
8	1,500	1,264.00	1,232.55	31.45	2.49



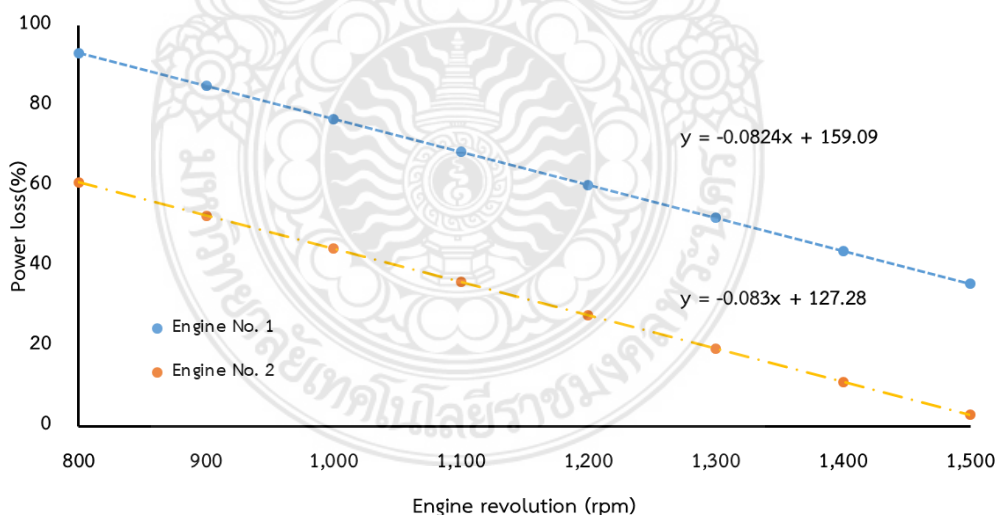
รูปที่ 4.5 ผลการทดลองรถจักรดีเซลไฟฟ้าหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ที่ 2

ในการทำงานเดียวกันวิธีการทดสอบดังกล่าวได้ถูกนำมาใช้กับรถจักรดีเซลไฟฟ้า หมายเลข 4513 เครื่องยนต์ที่ 2 ทั้งนี้ได้นำทฤษฎีสมการถดถอยมาทำการวิเคราะห์ห้ปัจจัยที่มีนัยยะสำคัญต่อ ร้อยละ

กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Power loss) ดังรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเครื่องยนต์ และค่าร้อยละกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Power loss) โดยทดสอบด้วยการจำลองภาระของเครื่องยนต์ ณ สถานีจำลองภาระทางไฟฟ้า (Load Test Station) โรงซ่อมบำรุงรถจักรยานยนต์ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ตามเกณฑ์การทดสอบของการรถไฟแห่งประเทศไทย ผลการทดสอบสะท้อนให้เห็นแนวโน้มการลดลงของค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียซึ่งแปรผกผันกับความเร็วรอบเครื่องยนต์อย่างชัดเจน เห็นได้จากความเร็วรอบเครื่องยนต์ 800 rpm (step 1) เกิดค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียสูงถึงร้อยละ 56.84 ในขณะที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,500 rpm (step 8) เกิดค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียเพียงร้อยละ 2.49 ซึ่งแตกต่างกันถึง 22.8 เท่า

4.3.3 การพยากรณ์ด้วยความสัมพันธ์ถดถอย แบบเชิงเส้น (Linear least square)

จากรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์การพยากรณ์ด้วยความสัมพันธ์ถดถอย แบบเชิงเส้นของเครื่องจักรดีเซลไฟฟ้า หมายเลข 4513 เครื่องยนต์ที่ 1 มีค่าร้อยละกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Power loss) สูงกว่าผลลัพธ์การพยากรณ์เครื่องจักรดีเซลไฟฟ้า หมายเลข 4513 เครื่องยนต์ที่ 2 ที่ความเร็วระหว่าง 800 ถึง 1,500 rpm ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องจักรดีเซลไฟฟ้า หมายเลข 4513 เครื่องยนต์ที่ 1 มีกำลังสูญเสียมากกว่าเครื่องจักรดีเซลไฟฟ้า หมายเลข 4513 เครื่องยนต์ที่ 2 ที่ความเร็วที่ทำการสนใจคือ 800 ถึง 1,500 rpm ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 ผลลัพธ์การพยากรณ์ด้วยความสัมพันธ์ถดถอย แบบเชิงเส้น

จากข้อมูลดิบที่ได้จากการทดสอบเครื่องจักรดีเซลไฟฟ้า หมายเลข 4513 เครื่องยนต์ที่ 1 และเครื่องจักรดีเซลไฟฟ้า หมายเลข 4513 เครื่องยนต์ที่ 2 จะสามารถนำผลการทดสอบ ดังกล่าว

มาทำการพยากรณ์ด้วยความสัมพันธ์ถดถอยแบบเชิงเส้น (Linear least square) โดยกำหนดให้ตัวแปรต้น (x) คือ ความเร็วรอบ (Engine revolution) และตัวแปรตาม y คือ ร้อยละกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Power loss) ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการถดถอยดังต่อไปนี้

$y = -0.0824x + 159.09$; $(R^2=0.9502)$ สำหรับเครื่องจักรดีเซลไฟฟ้าหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ที่ 1

$y = -0.0830x + 127.28$; $(R^2=0.9708)$ สำหรับเครื่องจักรดีเซลไฟฟ้าหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ที่ 2

ทั้งนี้ผลลัพธ์การพยากรณ์ด้วยความสัมพันธ์ถดถอย แบบเชิงเส้น แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า เทคโนโลยีที่ต่างกันของเครื่องยนต์ทั้ง 2 จะมีร้อยละกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Power loss) ลดลง ก็ต่อเมื่อมีเครื่องยนต์ความเร็วรอบสูงขึ้น นอกจากนี้ข้อมูลในรูปที่ 4.6 ยังแสดงให้เห็นว่าเครื่องจักรดีเซลไฟฟ้า หมายเลข 4513 เครื่องยนต์ที่ 1 มีกำลังสูญเสียมากกว่าเครื่องจักรดีเซลไฟฟ้า หมายเลข 4513 เครื่องยนต์ที่ 2 ในทุกเงื่อนไขความเร็วรอบที่ทำการศึกษาคือ 800 ถึง 1,500 rpm โดยข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจเลือกใช้เครื่องยนต์ให้เหมาะสมกับภาระการลากจูง

บทที่ 5

อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

การคิดค้นพัฒนาและระบบติดตามสมรรถนะทางไฟฟ้าของรถจักรดีเซลไฟฟ้าระยะไกล ขณะทำขบวน นอกสถานีทดสอบ ณ โรงซ่อมบำรุงรถจักรดีเซลไฟฟ้า บางซื่อ ด้วยการนำรถจักรดีเซลไฟฟ้าจำนวน 1 คัน มาทำการทดลองคือ รถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L ประกอบด้วยเครื่องยนต์ที่ 1 และเครื่องยนต์ที่ 2 พบว่าประสบความสำเร็จในขั้นต้น ระบบดังกล่าวมีความแม่นยำในการตรวจวัดข้อมูลจากการติดตามสมรรถนะทางไฟฟ้า และความเร็วรอบของเครื่องยนต์สามารถนำไปสร้างระบบฐานข้อมูลด้านกำลังทางไฟฟ้า สำหรับการวินิจฉัยเครื่องยนต์ดีเซลรถจักร โดยสามารถช่วยหลีกเลี่ยงการเกิดความเสียหายในขณะทำขบวนได้ การทราบข้อมูลระบบติดตามสมรรถนะทางไฟฟ้าที่ผิดปกติก่อนเกิดความเสียหายสามารถป้องกันปัญหาจากความผิดปกติขณะรถจักรทำขบวนและหลีกเลี่ยงความเสียหายได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังสามารถนำไปวางแผนการซ่อมบำรุงรถจักรดีเซลไฟฟ้า อีกทั้งสามารถนำไปประกอบการตัดสินใจในการเลือกจัดทำขบวน

จากการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะทางไฟฟ้าที่วัดได้จากระบบติดตามสมรรถนะรถจักรดีเซลไฟฟ้าระยะไกล และเครื่องมือวัดประจำสถานี ณ โรงซ่อมบำรุงรถจักรดีเซลไฟฟ้า พบว่าร้อยละความสูญเสียทางไฟฟ้า (Power loss) แปรผกผันกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์อย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ความสัมพันธ์ของสมการถดถอยที่ได้จากการพยากรณ์ข้อมูลกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เปรียบเทียบกับความเร็วรอบมีความน่าเชื่อถือสูง เนื่องจากมีค่าความผันแปรของตัวแปรตอบสนอง (R-Squared) อยู่ช่วงระหว่าง 0.9502 ถึง 0.9708 ซึ่งจากผลการทดลองและการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบเชิงเส้นได้แสดงให้เห็นว่าเครื่องยนต์ทั้งสอง มีแนวโน้มความสูญเสียทางไฟฟ้า (Power loss) ไปในทิศทางเดียวกัน ผลการศึกษาดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินสมรรถนะของเครื่องจักรกลดีเซลไฟฟ้าในการเดินขบวนระยะไกล ตลอดจนนำไปสู่การติดตามผลเพื่อนำไปใช้ในการตัดสินใจสำหรับการซ่อมบำรุงในระยะยาวได้

5.2 ปัญหาการดำเนินงาน

5.2.1 การคัดเลือกรถจักรดีเซลไฟฟ้า สำหรับการจัดทำวิทยานิพนธ์นี้ มีข้อจำกัดในการเลือกตัวอย่าง หรือระบุรถจักรดีเซลไฟฟ้าได้ เนื่องจากต้องรอรอบแผนการซ่อมบำรุงรถจักรดีเซลไฟฟ้า จึงต้องใช้เวลาและได้รับการพิจารณา จากการรถไฟแห่งประเทศไทย ณ โรงรถจักรดีเซลบางซื่อ มีมาตรการการตรวจสอบรถจักร โดยตรวจความพร้อมของรถจักรก่อนปล่อยรถจักรออกใช้งานทำขบวนรถ และทดสอบความพร้อมของสมรรถนะของรถจักรตามวาระ

5.2.2 การตรวจวัดค่าสมรรถนะทางไฟฟ้ารถจักรดีเซลไฟฟ้า ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดประจำสถานี มีข้อจำกัดการในการเก็บข้อมูล เนื่องจากการตรวจวัดต้องรอรอบแผนการซ่อมบำรุงรถจักรดีเซลไฟฟ้า ต้องมีการวางแผนล่วงหน้า เพื่อเตรียมความพร้อมของอุปกรณ์การตรวจวัด และทำการเก็บข้อมูลกับการรถไฟแห่งประเทศไทย ณ โรงรถจักรดีเซล บางซื่อ

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การศึกษาการติดตามสมรรถนะรถจักรดีเซลไฟฟ้า สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ ต้องทำการศึกษาแผนการซ่อมบำรุงประจำเดือน และประจำปี ทำให้มีโอกาสเข้าทำการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทำการทดสอบ และวิเคราะห์ผลการทดสอบได้อย่างสะดวก และรวดเร็ว

5.3.2 ควรมีการศึกษาแผนการเดินขบวนรถ และการซ่อมบำรุงรถจักรดีเซลไฟฟ้า โดยการประสานงานกับการรถไฟแห่งประเทศไทย ณ โรงรถจักรดีเซล บางซื่อ ซึ่งสามารถเก็บบันทึกข้อมูลได้จากระบบทดสอบและติดตามสมรรถนะเครื่องยนตรรถจักรดีเซลไฟฟ้า ของรถจักรขณะทำขบวนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเป็นรูปธรรม

บรรณานุกรม

- [1] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2562, กันยายน 10). [Online]. Available: <https://th.wikipedia.org/wiki/การขนส่งระบบราง>
- [2] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2562, กันยายน 12). [Online]. Available: <https://th.wikipedia.org/wiki/รถจักรดีเซลในประเทศไทย>
- [3] วารสารวิชาการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสวนดุสิต. (2562, กันยายน 12). [Online]. Available: <http://www.graduate.dusit.ac.th/journal/index.php>
- [4] บริษัท ฐานเศรษฐกิจ มัลติมีเดีย จำกัด. (2562, กันยายน 13). [Online]. Available: <http://www.thansettakij.com/content/218241>
- [5] คู่มือการบำรุงรักษาโครงสร้างทางรถไฟ สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร. (2562, กันยายน 14). [Online]. Available: <http://www.otp.go.th>
- [6] การรถไฟแห่งประเทศไทย. 2551. โครงการศึกษาความเป็นไปได้การใช้เชื้อเพลิงร่วม. (Diesel-CNG) สำหรับรถจักร, กรุงเทพฯ
- [7] การรถไฟแห่งประเทศไทย. 2552. โครงการศึกษาความคุ้มค่าจากการปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์ดีเซลรถจักรจากระบบฉีดเชื้อเพลิงเป็นระบบฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูง. การรถไฟแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ
- [8] การรถไฟแห่งประเทศไทย. 2554. โครงการศึกษาผลกระทบจากการใส่สารเติมแตงน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีต่ออัตราการสิ้นเปลือง. การรถไฟแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ
- [9] การพลังงานสำหรับการเดินขบวนรถไฟภายใต้มาตรฐาน ISO50001. การรถไฟแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ
- [10] พลรัชต์ บุญมี. ศุภชัย หลักคำ. และภูษิต โชติสวัสดิ์. 2558. การศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการลดมลพิษและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถจักรเพื่อความคุ้มค่าต่อการลงทุน.
- [11] กุลยศ สุวันทโรจน์. อนันต์ เต็มเปี่ยม. และศุภชัย หลักคำ. 2561. โครงการพัฒนาระบบทดสอบและติดตามสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลของรถจักรขณะทำงาน.
- [12] D. Park, Y. Yoon, S.B. Kwon, W. Jeong, Y. Cho, K. Lee. 2012. “The effects of operating conditions on particulate matter exhaust from diesel locomotive engines”, Science of the Total Environment 419. pp.76–80.
- [13] L.Minghai, C. Hongjiang, W. Juan, G. Ying,. 2009. “Improvement of fuel injection system of locomotive diesel engine”, Journal of Environmental Sciences Supplement. S139–S141.

- [14] A. S. Martinez, J. Brouwer, G. S. Samuelsen, 2012. "Feasibility study for SOFC-GT hybrid locomotive power part II. System packaging and operating route simulation", Journal of Power Sources 213. pp.358-374.
- [15] สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. (2562, ตุลาคม 1). [Online]. Available: <http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=4&chap=7&page=t4-7-infodetail11.html>
- [16] สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. (2562, ตุลาคม 2). [Online]. Available: <http://aranukromthai.or.th/sub/book>
- [17] อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น. (2562, ตุลาคม 2). [Online]. Available: <http://icelectronic.com/beginner/study/acdc.htm#dc>



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
คู่มือการใช้งาน

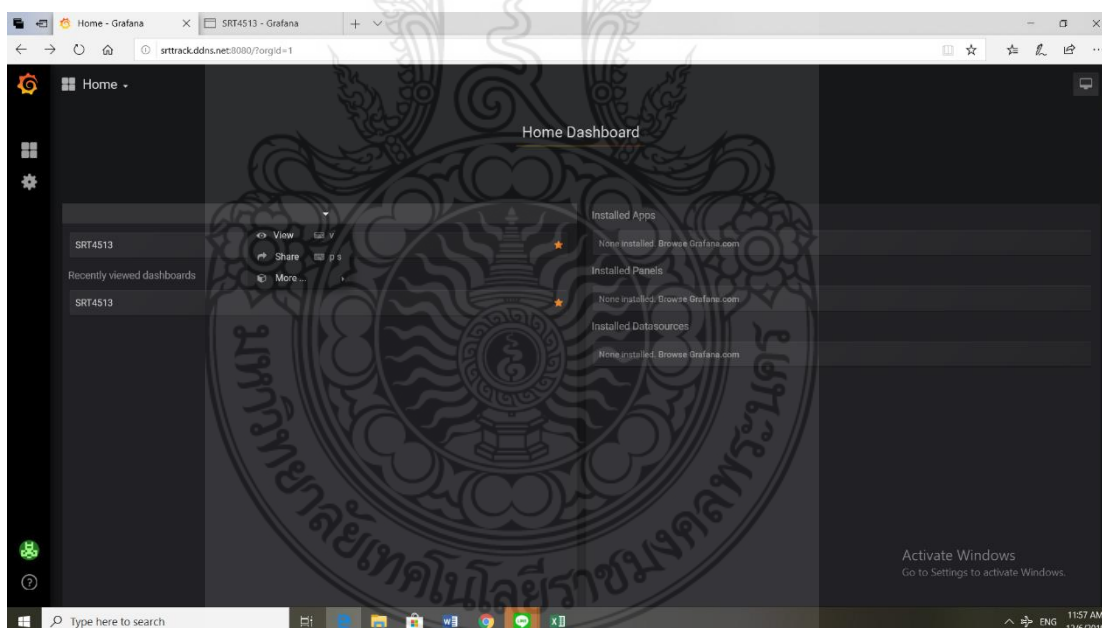


พื้นฐานการใช้งาน

การทดสอบระบบติดตามสมรรถนะทางไฟฟ้ารถจักรดีเซลไฟฟ้าระยะไกล ขณะทำขบวน นอกสถานีทดสอบ ของรถจักรดีเซลไฟฟ้าหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L เครื่องยนต์ที่ 1 และเครื่องยนต์ที่ 2 จากระบบ Web Browser การใช้งานระบบโดยเชื่อมต่อเครือข่ายสัญญาณอินเทอร์เน็ต (Web service) การใช้งานระบบติดตามสมรรถนะเครื่องยนต์ของหัวรถจักรไฟฟ้าโดยเชื่อมต่อเครือข่ายสัญญาณอินเทอร์เน็ตเข้ากับอุปกรณ์สื่อสารสามารถทำได้กับอุปกรณ์สื่อสารทุกชนิดที่สามารถเชื่อมต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ตและสามารถเข้าระบบได้โดย Web Browser ในกรณีนี้จะสามารถเข้าใช้งานในรูปแบบและสามารถเข้าไปใช้งานได้ที่ <http://srtrack.ddns.net:8080/.login> โดยข้อมูลสมรรถนะทางไฟฟ้ารถจักรดีเซลไฟฟ้าระยะไกลขณะทำขบวน นอกสถานีทดสอบ

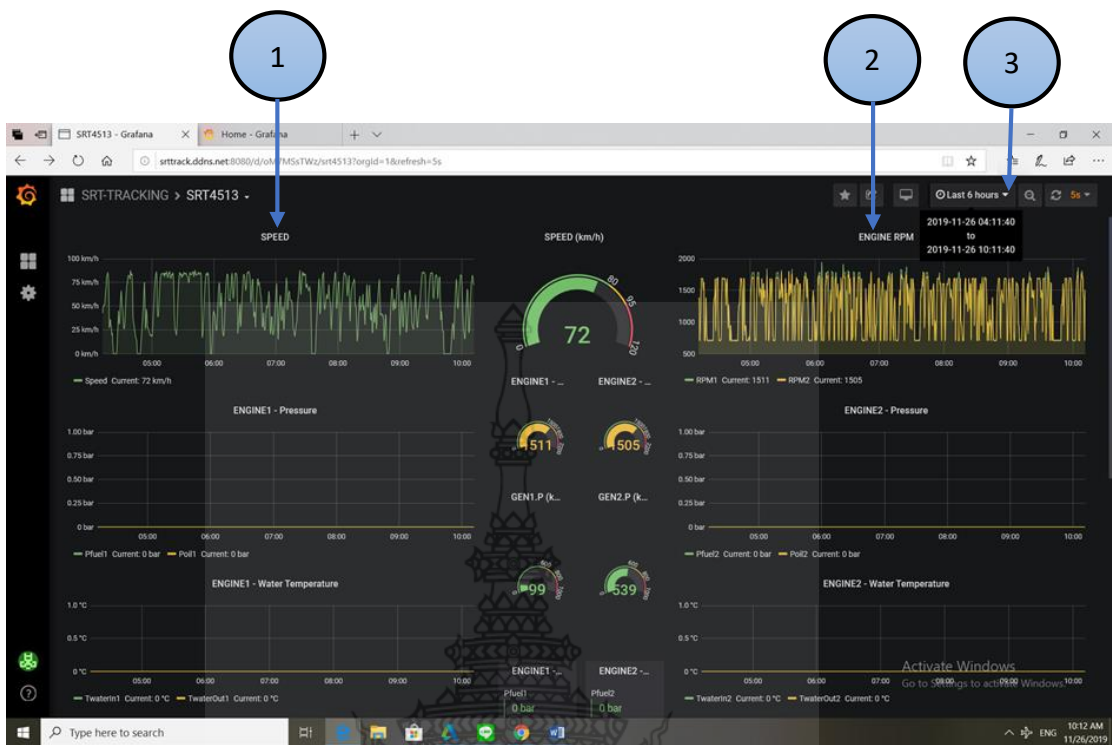
เริ่มต้นใช้งาน

เข้าระบบได้โดย Web Browser เข้าไปใช้งานได้ที่ <http://srtrack.ddns.net:8080/.login> เราสามารถเปิดโปรแกรมขึ้นมาใช้งาน โดยมีขั้นตอนดังนี้

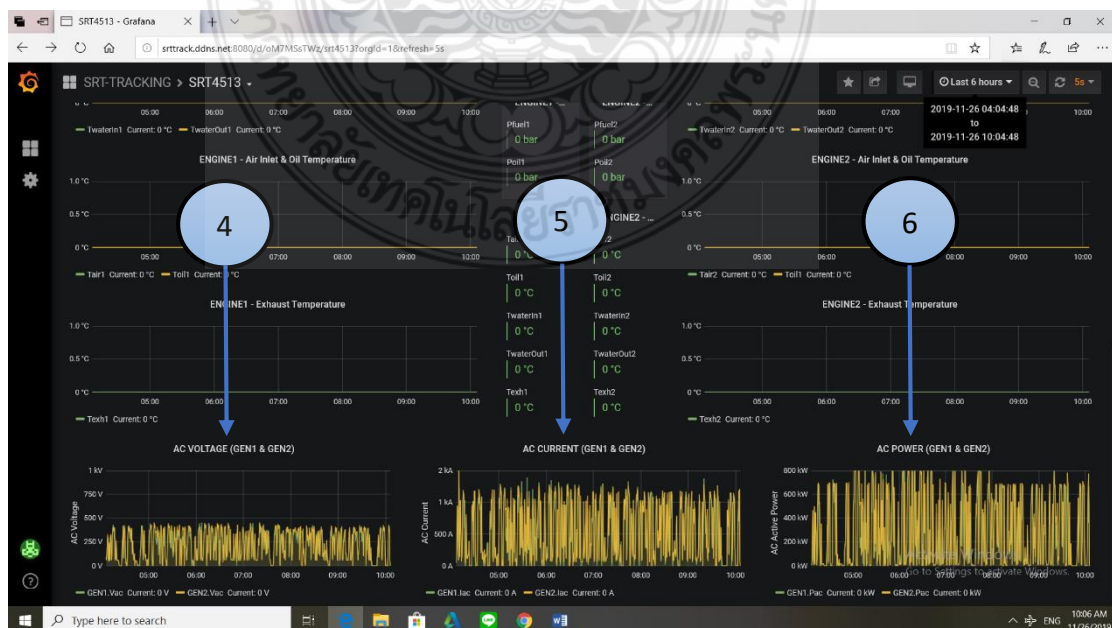


ส่วนประกอบบนหน้าจอแสดงผล

หลังจากเปิดโปรแกรมเข้ามาแล้ว จะพบหน้าต่าง SRT-TRACKING > SRT4513 โดยแต่ละจุดบนหน้าจอแสดงผลของซอฟต์แวร์สื่อความหมายดังต่อไปนี้



1. แสดงกราฟข้อมูล ค่าความเร็วของเครื่องยนต์ SPEED (km/h) ของเครื่องยนต์ที่ 1 และเครื่องยนต์ที่ 2
2. แสดงกราฟข้อมูล ค่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ENGINE RPM ของเครื่องยนต์ที่ 1 และเครื่องยนต์ที่ 2
3. แสดงสถานะข้อมูลทั่วไปของเครื่องยนต์ ณ เวลาปัจจุบันวันและเวลา TIME , DATE และสามารถดูข้อมูลการทำงานย้อนหลังได้

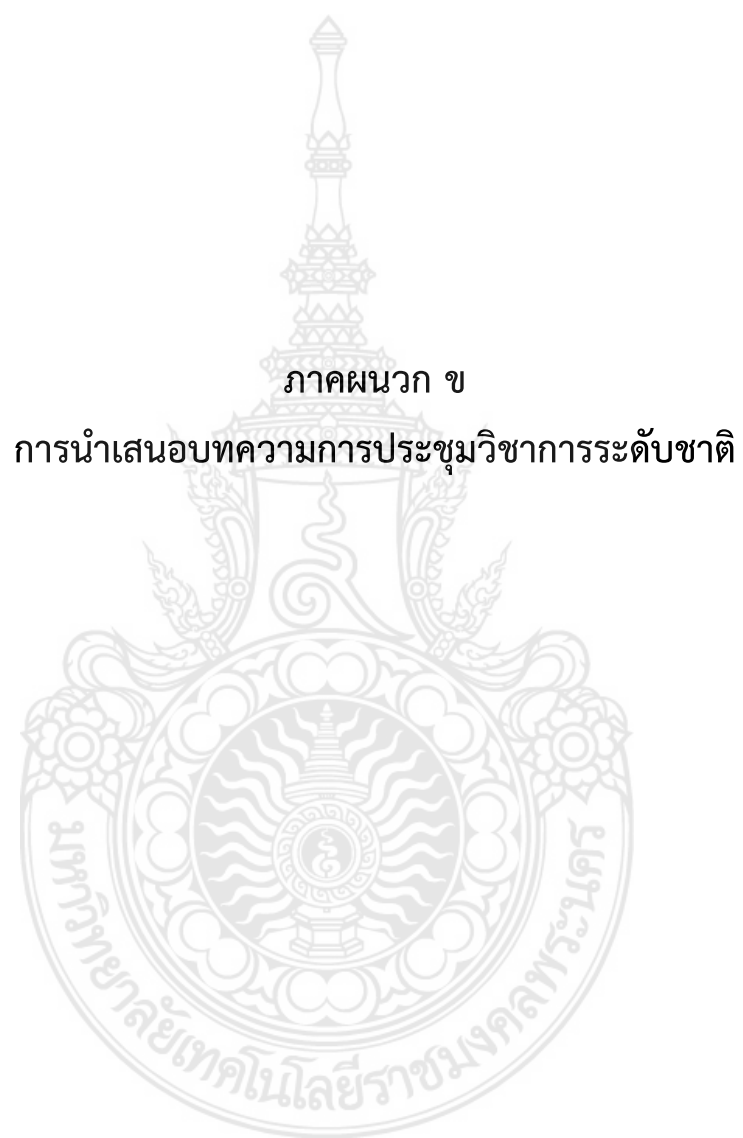


4. แสดงกราฟข้อมูลแรงดันกระแสสลับ AC VOLTAGE (GEN1 & GEN2) ที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเครื่องยนต์ที่ 1 และเครื่องยนต์ที่ 2

5. แสดงกราฟข้อมูลกระแสสลับ AC CURRENT (GEN1 & GEN2) ที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเครื่องยนต์ที่ 1 และเครื่องยนต์ที่ 2

6. แสดงกราฟข้อมูลกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ AC POWER (GEN1 & GEN2) ที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเครื่องยนต์ที่ 1 และเครื่องยนต์ที่ 2





ภาคผนวก ข

การนำเสนอบทความการประชุมวิชาการระดับชาติ

ที่ อว ๖๕๐๔.๐๑๐๓/๕๔๓



มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร
๕๙ หมู่ ๑ ตำบลเชิงเครือ อำเภอเมือง
จังหวัดสกลนคร

๓๐ ตุลาคม ๒๕๖๒

เรื่อง แจ้งผลพิจารณาบทความฉบับสมบูรณ์

เรียน ว่าที่ ร.ท. ณัฏฐกิตติ ฤทธิทอง

ตามที่ท่านได้ส่งบทความทางวิชาการ เพื่อนำเสนอในการประชุมวิชาการระดับชาติ นนทรีอีสาน ครั้งที่ ๗ ประจำปี ๒๕๖๒ ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร กำหนดจัดงาน ในวันที่ ๓๐ พฤศจิกายน ๒๕๖๒ จำนวน ๑ เรื่อง คือ “การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียของรถจักรยานยนต์เซลไฟฟ้าจากการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง” นั้น ได้ผ่านคณะกรรมการตรวจสอบ (Peer Review) แล้ว และได้พิจารณา ดังนี้

(✓) มีความยินดี ตีพิมพ์ลงในเล่มบทความฉบับสมบูรณ์ (Proceeding) การประชุมวิชาการระดับชาติ นนทรีอีสาน ครั้งที่ ๗ ประจำปี ๒๕๖๒

() ไม่สามารถ ตีพิมพ์ลงในเล่มบทความฉบับสมบูรณ์ (Proceeding) การประชุมวิชาการระดับชาติ นนทรีอีสาน ครั้งที่ ๗ ประจำปี ๒๕๖๒ ได้ เนื่องจาก ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาแล้วยังไม่มีความเหมาะสม

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัชรพงษ์ อินทวงศ์)

รองอธิการบดีวิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร
ปฏิบัติหน้าที่แทนอธิการบดีมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร

ขอมอบเกียรติบัตรฉบับนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

ว่าที่ร้อยโทณัฐภักดิ์ ฤทธิทอง

ได้ส่งผลงานเข้าร่วมนำเสนอ ประเภทบรรยาย (Oral Presentation)

ในการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ ๗ ภายใต้หัวข้อ “นวัตกรรมและเทคโนโลยีเพื่อคุณภาพชีวิตและสังคมที่ยั่งยืน”

(Innovation and Technology for Quality of Life and Sustainable Society)

ให้ไว้ ณ วันที่ ๓๐ พฤศจิกายน พ.ศ. ๒๕๖๒

(ดร.ชัยวัฒน์ ลิ้มปัสรงษ์)

ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและบริการวิชาการ
ประธานคณะกรรมการจัดประชุม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชรพงษ์ อินทรวงศ์)

รองอธิการบดีวิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร
ปฏิบัติหน้าที่แทนอธิการบดีมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทความฉบับเต็ม
Proceeding

งานประชุมวิชาการระดับชาติ นนทรีอีสาน ครั้งที่ 7
 นวัตกรรมและเทคโนโลยีเพื่อคุณภาพชีวิตและสังคมที่ยั่งยืน
 Innovation and Technology for Quality of Life and Sustainable Society

หนังสือ
 การเกษตร

อังกูยเอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

นวัตกรรมและเทคโนโลยี
Innovation and technology

KU

30 พฤศจิกายน 2562
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร
 Kasetsart University Chulalongkornrajavidyalaya Sakon Nakhon Campus

การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียของรถจักรดีเซลไฟฟ้าจากการแปลงไฟฟ้า
กระแสสลับเป็นกระแสตรง

A comparison of the Electrical Power Loss of the Electrical Diesel Locomotive
from Converting Alternating Current to Direct Current Electricity

ณัฐกิตติ์ ฤทธิทอง^{1*}, ศุภชัย หลีกคำกุลยศ สุวันทโรจน์¹ และ สถาพรวันนาพอ¹
Natthakit Ritthong^{1*}, Supachai Lakkam¹, Kullayot Suwantaroj¹ and Sthaphorn Wannapor¹

บทคัดย่อ

การขนส่งระบบรางหรือรถไฟเป็นการขนส่งที่มีอิทธิพลทางเศรษฐกิจ และสามารถขนส่งผู้โดยสารหรือสินค้าได้เป็นจำนวนมากต่อเที่ยว ดังนั้นความพร้อมทางด้านสมรรถนะเครื่องยนต์ของรถจักรถือเป็นสิ่งสำคัญ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบ และเปรียบเทียบกำลังทางไฟฟ้าของรถจักรดีเซลไฟฟ้าโดยทำการสุ่มรถจักรมาทำการทดสอบจำนวน 2 คัน (รถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L และหมายเลข 4220 เครื่องยนต์ Pielstick 16PA4V185VG) โดยการจำลองภาระทางไฟฟ้าด้วยชุดจำลองไฟฟ้า ณ สถานีทดสอบสมรรถนะรถจักรดีเซลไฟฟ้า โรงซ่อมบำรุงรถจักรบางซื่อ การรถไฟแห่งประเทศไทย จากการทดสอบพบว่า การสูญเสียกำลังไฟฟ้าของรถจักรดีเซลไฟฟ้าจากการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงผกผันกับความเร็วยานพาหนะ ในขณะที่ยานพาหนะของเทคโนโลยีเครื่องยนต์รถจักรดีเซลไฟฟ้าไม่เป็นปัจจัยการที่ส่งผลต่อการสูญเสียกำลังไฟฟ้า

คำสำคัญ: การสูญเสียพลังงานไฟฟ้า, หัวรถจักร, กระแสสลับ, กระแสตรง

* Corresponding author; e-mail address: natthakit.rit@gmail.com

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพฯ 10800

¹ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok 10800

Abstract

The railway system or Train system plays an important role on transportation and also is able to transport a large number of passengers or goods per trip. Therefore, the performance of locomotive engine is a main concerning topic in the railway system. As mentioned above, the objectives of this research are to test the performance and compare the electrical power. There are two locomotives (train number 4513 diesel engine Cummins KTA50-L and train number 4220 diesel engine Piestic 16PA4V185VG) were tested using the electrical load simulator of the Bang sue maintenances station (Authorize by State Railway of Thailand). As a result, the electrical power loss of all the electrical-diesel engines (converting from Alternative Current to Direct Current) are inversely variable with the revolution speeds. While, all technology of the electrical-diesel engine is not cause to the electrical power loss.

Keywords: electrical power loss, locomotive, alternating current, direct current

คำนำ

นับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน “การขนส่งทางระบบราง” หรือ “การขนส่งทางรถไฟ” ได้ถูกดำเนินงานโดยการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) ซึ่ง รฟท. มีรถจักรสำหรับใช้งานบริการประชาชนเป็นจำนวน 2 ประเภท ได้แก่ รถจักรดีเซลไฟฟ้า และรถจักรดีเซลไฮดรอลิก ตามลำดับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งรถจักรดีเซลไฟฟ้า (รถจักรที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลเป็นต้นกำลัง) เป็นรถจักรที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากมันถูกใช้งานเป็นจักรกลหลักในด้านการลากจูงรถโดยสารและรถสินค้าซึ่งหลักการทำงานของรถจักรดีเซลไฟฟ้านั้นจะสามารถอธิบายพอสังเขปได้ดังต่อไปนี้คือ เครื่องยนต์ดีเซลจะทำหน้าที่เป็นตัวต้นกำลังเพื่อไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้ทำงาน และหลังจากที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานแล้วมันจะจ่ายกระแสไฟฟ้าจำนวนหนึ่งเข้าสู่มอเตอร์ขับเคลื่อนของรถจักร ตามลำดับแต่อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้ทำการทบทวนวรรณกรรมและทำการค้นคว้างานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องพบว่างานวิจัยด้านการเดินรถระบบรางและการขนส่งทางรถไฟภายในประเทศยังคงไม่มีความแพร่หลายในรูปของเอกสารทางวิชาการที่มากพอซึ่งแหล่งข้อมูลสำคัญส่วนใหญ่ยังจำเป็นต้องอ้างอิงจากเอกสารภายในหน่วยงานของ รฟท. เท่านั้น ซึ่งหลาย ๆ โครงการวิจัยของ รฟท. ก็ยังไม่เคยถูกทำการเผยแพร่สู่สาธารณะ โดยในที่นี้ผู้วิจัยได้ทำการทบทวนโครงการต่างๆของ รฟท. ที่เกี่ยวข้อง กับโครงการวิจัยฉบับนี้ ซึ่งสามารถกล่าวได้ดังต่อไปนี้

1. โครงการศึกษาความเป็นไปได้การใช้เชื้อเพลิงร่วม (Diesel-CNG) สำหรับรถจักร (การรถไฟแห่งประเทศไทย, 2551)

ด้วยภาวะปัจจุบันที่กำลังประสบปัญหาการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของค่าพลังงานเชื้อเพลิงซึ่งส่งผลทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของต้นทุนการเดินรถจักรและการเพิ่มขึ้นของต้นทุนการทำขบวนเดินรถ ตามลำดับ ดังนั้นเพื่อเป็นการลดภาระต้นทุนที่เพิ่มมากขึ้นดังกล่าว การรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) และการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (ปตท.) จึงได้ทำความร่วมมือเพื่อทำการศึกษาและทดลองการใช้เชื้อเพลิงร่วมระหว่างน้ำมันดีเซล (Diesel) และก๊าซธรรมชาติอัด (CNG) โดยผลการทดลองใช้เชื้อเพลิงร่วมดังกล่าวกับขบวนรถจักรของ รฟท. พบว่าสามารถลดต้นทุนด้านพลังงานได้ถึง 2,500 บาท/เที่ยวแต่อย่างไรก็ตามจะเกิดค่าเสียโอกาสการขนส่งจากขบวนรถที่ต้องทำการติดตั้งชุดบรรจุก๊าซธรรมชาติคือ 2,700 บาท/เที่ยว ซึ่งไม่เกิดความคุ้มค่าต่อการลงทุน โดยการผลทดลองนี้ถูกพิจารณาจากเงื่อนไขที่ค่าน้ำมันดีเซลคือ 24 บาท/ลิตร และค่าก๊าซธรรมชาติคือ 8.5 บาท/ลิตร ตามลำดับ

2. โครงการศึกษาความคุ้มค่าจากการปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์ดีเซลรถจักรจากระบบฉีดเชื้อเพลิงเป็นระบบฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูง (การรถไฟแห่งประเทศไทย, 2552)

เนื่องด้วยสภาวะการผันผวนทางราคาด้านพลังงานปัจจุบัน จึงทำให้ราคาต้นทุนพลังงานเชื้อเพลิงและราคาค่าการซ่อมบำรุงของรถจักรเกิดการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนการเดินรถจักรและการทำขบวนเดินรถเพิ่มขึ้นตามไปด้วยโดยการเพิ่มขึ้นของต้นทุนทั้งหมดจะส่งผลกระทบต่อเป็นภาระค่าโดยสารรถไฟของประชาชนในอนาคตดังนั้นเพื่อเป็นการลดปัญหาภาระต้นทุนที่เพิ่มมากขึ้น การรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) จึงได้ทำการศึกษาและจัดทำแนวทางการแก้ไขด้วยการจัดซื้อเครื่องยนต์ชนิดใหม่คือ เครื่องยนต์ MTU series 16V4000 R41 และ Caterpillar 3516 BHD (เพื่อทดแทนเครื่องยนต์ชนิดเดิมที่เคยถูกใช้งานคือเครื่องยนต์ Pielstick ของรถจักร Alsthom) ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าเครื่องยนต์ชนิดใหม่ทั้ง 2 แบบสามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้มากกว่า 10 % ซึ่งจะคุ้มค่าการลงทุนภายในระยะเวลา 6 ปีแต่อย่างไรก็ตามเครื่องยนต์ MTU series 16V4000 R41 จะมีค่าใช้จ่ายด้านการซ่อมบำรุงที่สูงกว่าเครื่องยนต์ Caterpillar 3516BHD

3. โครงการศึกษาผลกระทบจากการใส่สารเติมแต่งน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีต่ออัตราการสิ้นเปลือง (การรถไฟแห่งประเทศไทย, 2554)

จากปัญหาด้านต้นทุนพลังงานและค่าเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ต้นทุนการเดินรถจักรและการทำขบวนเดินรถเพิ่มขึ้นตาม ดังนั้นการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) จึงได้จัดทำโครงการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของรถจักรดีเซลซึ่งทำการศึกษาจากการใส่สารเติมแต่งลงในน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ และลดอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงกับรถจักร โดยโครงการศึกษานี้จะทำการทดสอบกับรถจักรแบบ Alsthom ภายใต้ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องยนต์และวัดค่าทางไฟฟ้า (Load-test) ที่เงื่อนไขในสภาวะความเร็วรอบที่แตกต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงระหว่างจากการใช้น้ำมันดีเซลและการใช้เชื้อเพลิงดีเซลผสมสารเติมแต่ง ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าการใช้เชื้อเพลิงดีเซลผสมสารเติมแต่งสามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้มากกว่าการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวถึง 7% อย่างไรก็ตามการใส่สารเติมแต่งดังกล่าวยังมีค่าใช้จ่ายสูงมาก ซึ่งไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนกับผลความประหยัดเชื้อเพลิงที่ได้รับ

5. โครงการจัดทำแผนแม่บทและศึกษาแนวทางการจัดการพลังงานสำหรับการเดินขบวนรถไฟภายใต้มาตรฐาน ISO50001 (การรถไฟแห่งประเทศไทย, 2555)

โครงการจัดทำแผนแม่บทนี้ถูกจัดตั้งขึ้นเพื่อตอบสนองนโยบายตามมติ คณะกรรมการระบบขนส่งทางราง และระบบขนส่งมวลชน โดยมีการแยกส่วนงานออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ 1) การศึกษาต้นทุน และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของรถจักร 2) ศึกษาแนวทางการปรับปรุงสภาพเครื่องจักร 3) ศึกษาแผนงาน และแนวทางการซ่อมบำรุงรถจักร 4) ศึกษาความเป็นไปได้ และจัดทำแผนแม่บทเพื่อนำไปสู่ระบบรถไฟ 5) การจัดการพลังงานสำหรับการเดินขบวนรถไฟภายใต้มาตรฐาน ISO50001 ซึ่งโครงการดังกล่าวได้มุ่งเน้นด้านการบริหารจัดการด้านการใช้พลังงานทั้งหมดในการดำเนินกิจการของการรถไฟแห่งประเทศไทย

6. การศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการลดมลพิษและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถจักรเพื่อความคุ้มค่าต่อการลงทุน (พลริชต์ และ คณะ, 2558)

สืบเนื่องจากปัญหาเครื่องยนต์ดีเซลรถจักรที่มีอายุการใช้งานมาก ซึ่งมีผลทำให้เกิดการเสื่อมสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลด้วยเหตุดังกล่าวการรถไฟแห่งประเทศไทยจึงได้มีความพยายามในการเปลี่ยนเครื่องยนต์ที่มีเทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามาทดแทน แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนมาใช้เครื่องยนต์ที่ทันสมัยก็จะประสบปัญหาเรื่องต้นทุนการบำรุงรักษาที่สูง ดังนั้นจึงทำให้เกิดการศึกษาด้านเทคโนโลยีใหม่ของเครื่องยนต์ที่สามารถลดอัตราการปล่อยมลพิษและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประมาณการความคุ้มค่าในการลงทุน สำหรับการลดต้นทุนด้านเชื้อเพลิงควบคู่ไปกับการลดมลพิษจากการขนส่งทางราง

นอกจากนี้ ในภูมิภาคเอเชียก็ยังมีการศึกษาถึงผลกระทบจากมลพิษ โดยในประเทศเกาหลี (D. Park *et al.*, 2012) ได้ทำการสำรวจอัตราการปล่อยมลพิษที่ออกจากปล่องควัน ซึ่งพบว่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เจือจางจากกับผสมกับบรรยากาศขณะปล่อยออกจากปล่องควันมีการรวมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ถึง 1,000 นาโนเมตร ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ ดังนั้นการเลือกใช้เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่เพื่อการขนส่งทางรางจึงควรพิจารณาถึงผลกระทบทางด้านมลพิษโดยมีข้อบังคับเป็นตัวกำหนด

อีกทั้งในประเทศจีนก็ยังมีการศึกษาถึงการลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ใช้ในรถจักรด้วยการใช้ระบบบีบหัวฉีดโดย (L.Minghai *et al.*, 2009) ซึ่งระบบดังกล่าวอยู่ภายใต้ลิขสิทธิ์ของบริษัทผู้ผลิตส่งผลให้ลดอัตราการใช้เชื้อเพลิงเป็นอย่างมาก และจำเป็นต้องใช้สารหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์ระบบหัวฉีด ซึ่งจะทำให้ยืดอายุการใช้งานและลดอัตราการซ่อมบำรุงได้เป็นอย่างมาก

มากไปกว่านั้นยังมีความพยายามนำระบบเชื้อเพลิงมาใช้ในระบบขนส่งทางรางในสหรัฐอเมริกา โดย (A. S. Martinez *et al.*, 2012) เครื่องยนต์ต้นกำลังถูกปรับเปลี่ยนมาใช้ระบบพลังงานเซลล์ Solid Oxide Fuel Cell-Gas Turbine (SOFC-GT) และถูกนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซล โดยระบบ SOFC-GT มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าและสามารถลดปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสารมลพิษได้เป็นอย่างมาก

วิธีการดำเนินงาน

จากวัตถุประสงค์ และขอบเขตการดำเนินการของโครงการวิจัย นำไปสู่การกำหนดวิธีการดำเนินงาน โดยสามารถแบ่งขั้นตอนการดำเนินงาน และระยะเวลาในการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้คือแบ่งประเภทของเทคโนโลยีเครื่องยนต์โดยการเปรียบเทียบกำลังทางไฟฟ้าของรถจักรดีเซลไฟฟ้า โดยทำการสุ่มรถจักรมาทำการทดสอบจำนวน 2 คัน (รถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L และหมายเลข 4220 เครื่องยนต์ Pielstick 16PA4V185VG) แต่ละประเภทของเทคโนโลยีเครื่องยนต์ แตกต่างกันคือ หลักการไหลน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ (Figure 1, Figure 2)

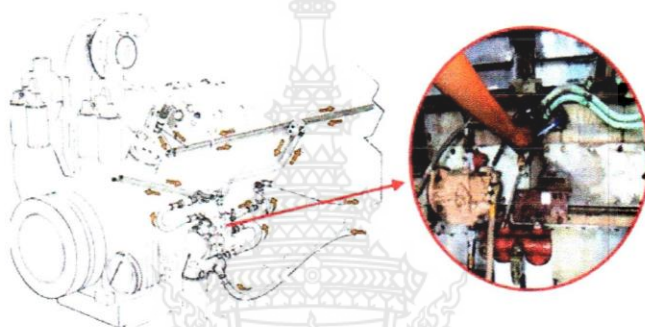


Figure 1 An operating principle of the fuel oil flow within the Cummins's Engine

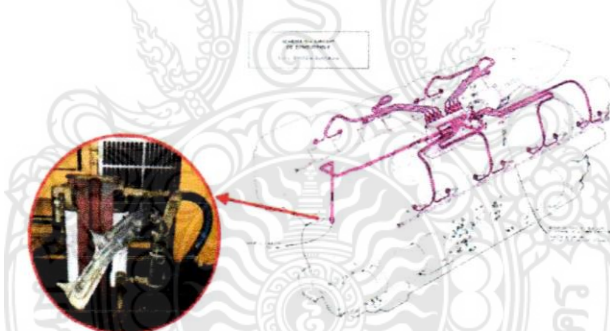


Figure 2 An operating principle of the fuel oil flow within the Pielstick's Engine

การทดสอบสมรรถนะรถจักรอาศัยเครื่องจำลองภาระขณะทำงานที่มีใช้งานอยู่ที่โรงรถจักรดีเซล บางซื่อ ประกอบไปด้วยถังน้ำเกลือ, แผ่นเหล็ก, มอเตอร์ 3 เฟส และสายไฟสำหรับต่อเข้ารถจักร โดยที่แผ่นเหล็กนั้นจะถูกปรับขึ้น-ลง จากมอเตอร์ 3 เฟส ซึ่งจะถูกควบคุมมาจาก ตู้ปรับภาระของเครื่องยนต์แผ่นเหล็กนั้นจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือชุดของแผ่นบวกและแผ่นลบ จะรับกระแสไฟฟ้าประจุบวกและลบผ่านสายไฟ ซึ่งต่อมาจากรถจักร (Figure 3)

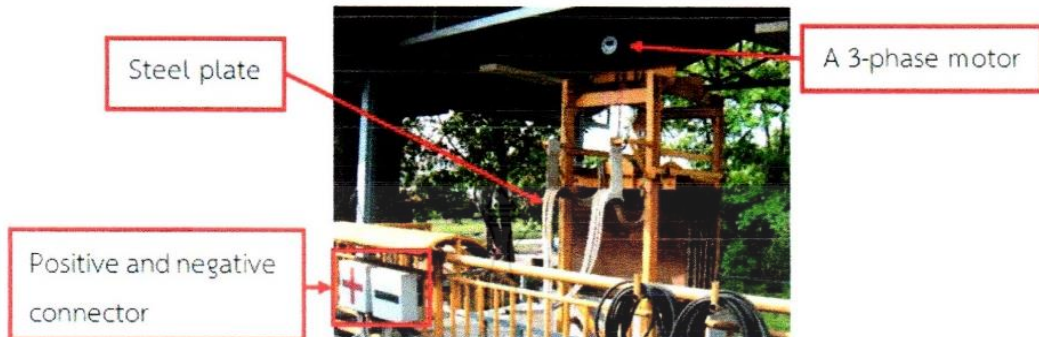


Figure 3 The simulation model of a locomotive engine(Direct current railway system)

สภาวะการทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน UIC 623-3 หรือความต้องการของการรถไฟแห่งประเทศไทย เช่น มาตรฐาน Regulation Curve หรืออาจมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับเครื่องยนต์แต่ละรุ่นจากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นพบว่า หลักการทำงานของรถจักรดีเซลไฟฟ้า ใช้เครื่องยนต์ดีเซลในการผลิตไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ก่อนแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) และจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังมอเตอร์เพื่อทำการขับเคลื่อน ในขณะที่การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลรถจักรขณะทำขบวนของโรงรถจักรดีเซลบางซื่ออาศัยการตรวจวัดไฟฟ้ากระแสตรง ที่ผลิตได้จากเครื่องยนต์ โดยผ่านขั้นตอนการสร้างภาระจำลองการปล่อยกระแสไฟฟ้าตรงไหลผ่านน้ำ (Figure 4) ในขณะที่ไฟฟ้ากระแสสลับที่รถจักรสามารถผลิตได้ถูกตรวจวัด (Figure 5) และทำการบันทึกผลการทดลองและเปรียบเทียบค่าไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อร้อยละกำลังไฟฟ้าสูญเสีย Power loss (%)

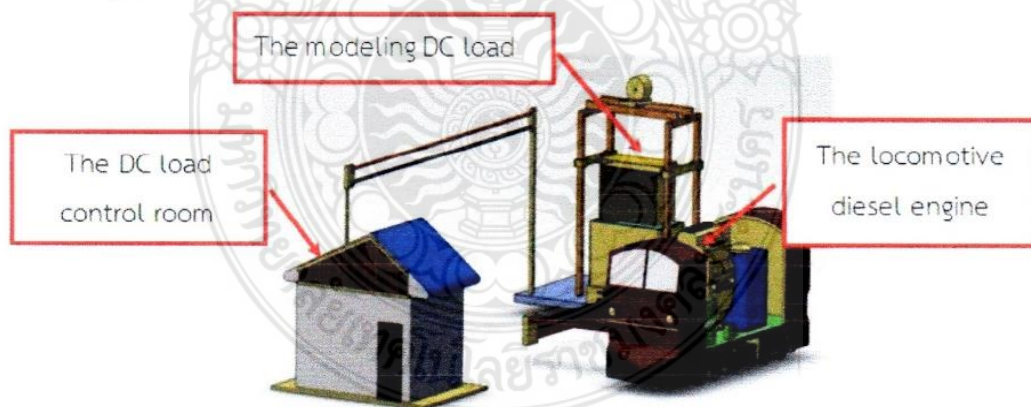


Figure 4 The inspection of a locomotive performance based on the modeling DC load

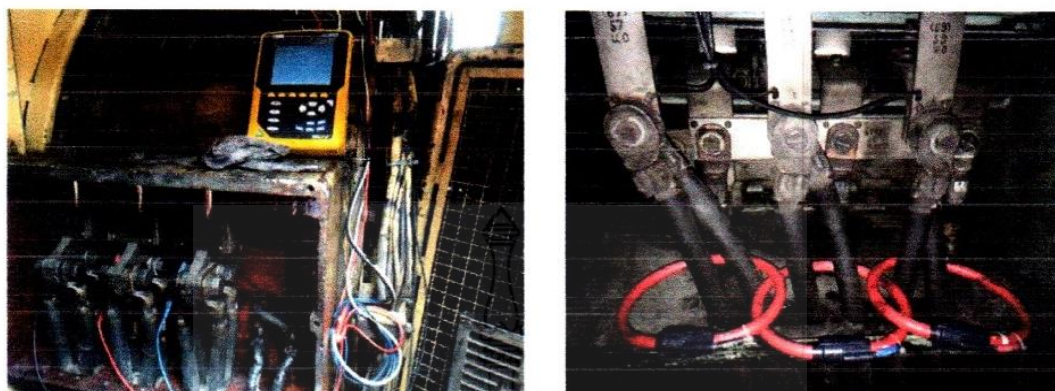


Figure 5 The practical detection of an AC electrical power

จากการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียของรถจักรดีเซลไฟฟ้าจากการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ(AC) เป็นกระแสตรง (DC) ด้วยเครื่องมือวัดประจำสถานี ณ สถานีทดสอบ (โรงรถจักรดีเซลบางซื่อ) จากผลการทดสอบรถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L(Table1) รถจักรหมายเลข 4220 เครื่องยนต์ Pielstick 16PA4V185VG (Table 2)

Table 1 The testing results of a locomotive engine number 4513 (Cummins KTA50-L)

Locomotive 4513 (Step No.)	Engine Revolution (rpm)	IAC* (Amp)	VAC* (Volt)	PowerDC* (kw)	Power loss(%)
1	972	386.3	98.7	62.2	75.5
2	1254	643.9	170.9	178.5	65.5
3	1340	858.8	218.1	302.7	43.2
4	1453	1152.5	259.6	479.3	29.4
5	1565	1118.2	293.7	528.4	22.7
6	1577	1258.5	335.3	675.2	22.9
7	1754	1321.3	354.6	750.5	13.1

Table 2 The testing results of a locomotive engine number 4220(Pielstick 16PA4V185VG)

Locomotive	Engine	IAC*	VAC*	PowerDC*	Power loss
4513	Revolution	(Amp)	(Volt)	(kw)	(%)
(Step No.)	(rpm)				
1	800	1,147	161	184.67	56.8
2	900	1,275	225	286.88	51.7
3	1,000	1,657	281	465.61	47.8
4	1,100	1,852	371	687.10	42.5
5	1,200	1,875	500	937.50	28.1
6	1,300	2,040	555	1,132.20	17.0
7	1,400	2,490	495	1,232.55	8.7

*Remark: All the results of IAC at a L1 were detected by using the high accuracy amper meter.

All the results of VAC (as the comparative between voltage L1 and L2) were demonstrated based on the high accuracy voltage meter

All the results of electrical power were illustrated based on the high accuracy power meter

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองรถจักรดีเซลไฟฟ้าหมายเลข 4513 ทั้งนี้ได้นำทฤษฎีสมการถดถอยมาทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีนัยยะสำคัญต่อ Power loss (%) (Figure 6) แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเครื่องยนต์และค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสีย Power loss (%) โดยทดสอบด้วยการจำลองภาระของเครื่องยนต์ ณ สถานีจำลองภาระทางไฟฟ้า (Load Test Station) โรงซ่อมบำรุงรถจักรดีเซลบางซื่อ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ตามเกณฑ์การทดสอบของการรถไฟแห่งประเทศไทย ผลการทดสอบสะท้อนให้เห็นแนวโน้มการลดลงของค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียซึ่งแปรผกผันกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์อย่างชัดเจน เห็นได้จากความเร็วรอบเครื่องยนต์ 972 rpm (step 1) เกิดค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียสูงถึงร้อยละ 75.7 ในขณะที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,754 rpm (step 7) เกิดค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียเพียงร้อยละ 13.1 ซึ่งแตกต่างกันถึง 5.7 เท่า

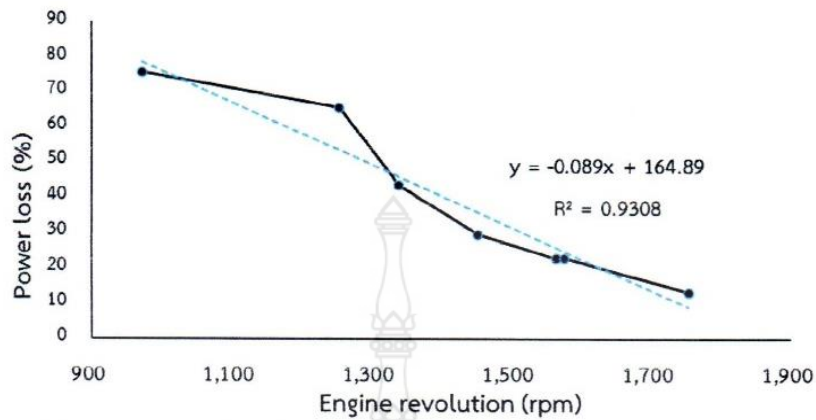


Figure 6 The testing results of a locomotive engine number 4513 (Cummins KTA50-L)

ในการทำงานเดียวกันวิธีการทดสอบดังกล่าวได้ถูกนำมาใช้กับรถจักรดีเซลไฟฟ้าหมายเลข 4220 ทั้งนี้ได้นำทฤษฎีสมการถดถอยมาทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีนัยยะสำคัญต่อ Power loss (%) (Figure 7) แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเครื่องยนต์และค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสีย Power loss (%) โดยทดสอบด้วยการจำลองภาระของเครื่องยนต์ ณ สถานีจำลองภาระทางไฟฟ้า (Load Test Station) โรงซ่อมบำรุงรถจักรดีเซลบางซื่อ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ตามเกณฑ์การทดสอบของการรถไฟแห่งประเทศไทย ผลการทดสอบสะท้อนให้เห็นแนวโน้มการลดลงของค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียซึ่งแปรผกผันกับความเร็วรอบเครื่องยนต์อย่างชัดเจน เห็นได้จากความเร็วรอบเครื่องยนต์ 800 rpm (step 1) เกิดค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียสูงถึงร้อยละ 56.8 ในขณะที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,500 rpm (step 8) เกิดค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียเพียงร้อยละ 2.4 ซึ่งแตกต่างกันถึง 23.6 เท่า

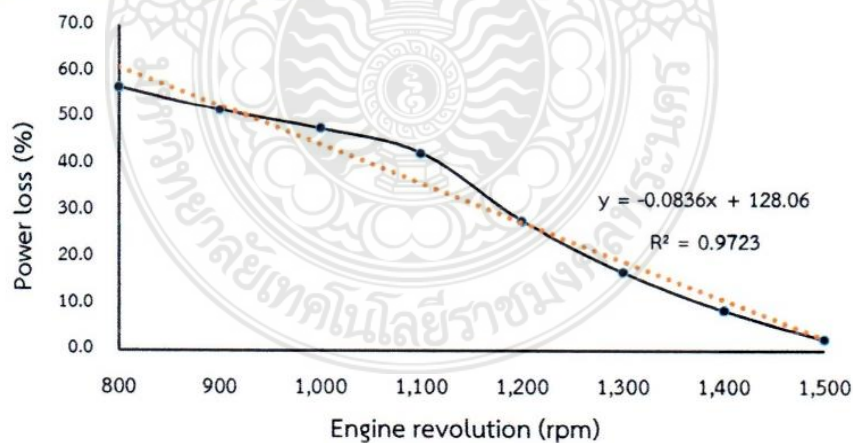


Figure 7 The testing results of a locomotive engine number 4220 (Pielstick 16PA4V185VG)

(Figure8) แสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์การพยากรณ์ด้วยความสัมพันธ์ถดถอย แบบเชิงเส้นของเครื่องจักรดีเซลไฟฟ้า หมายเลข 4513 มีค่าเปอร์เซ็นต์ไฟฟ้าสูญเสีย Power loss (%) สูงกว่าผลลัพธ์การพยากรณ์เครื่องจักรดีเซลไฟฟ้า หมายเลข 4220 ที่ความเร็วระหว่าง 800 ถึง 1,500 rpm ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องจักรดีเซลไฟฟ้า หมายเลข 4513 มีกำลังสูญเสียมากกว่าเครื่องจักรดีเซลไฟฟ้า หมายเลข 4220 ที่ความเร็วที่ทำการสนใจคือ 800 ถึง 1,500 rpm ตามลำดับ

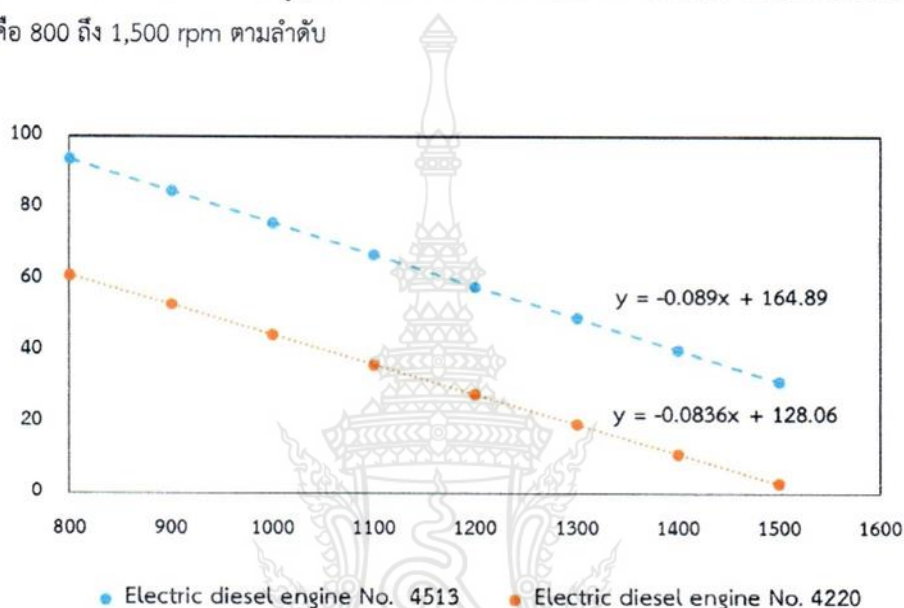


Figure 8 The analyzing results of the least square method (linear regression)

จากข้อมูลดิบที่ได้จากการทดสอบเครื่องจักรดีเซลไฟฟ้า หมายเลข 4513 และเครื่องจักรดีเซลไฟฟ้า หมายเลข 4220 จะสามารถนำผลการทดสอบ ดังกล่าวมาทำการพยากรณ์ด้วยความสัมพันธ์ถดถอยแบบเชิงเส้น (Linear least square) โดยกำหนดให้ตัวแปรต้น (x) คือความเร็วรอบ (Engine revolution) และตัวแปรตาม y คือ ร้อยละ (Power loss) ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการถดถอยดังต่อไปนี้

$$y = -0.0890x + 164.89 ; (R^2 = 0.9308) \text{ สำหรับเครื่องจักรดีเซลไฟฟ้าหมายเลข 4513}$$

$$y = -0.0836x + 128.06 ; (R^2 = 0.9723) \text{ สำหรับเครื่องจักรดีเซลไฟฟ้าหมายเลข 4220}$$

ทั้งนี้ผลลัพธ์การพยากรณ์ด้วยความสัมพันธ์ถดถอย แบบเชิงเส้นแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเทคโนโลยีที่ต่างกันของเครื่องยนต์ทั้ง 2 ไม่เป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อร้อยละกำลังไฟฟ้าสูญเสีย Power loss (%)

สรุป

การศึกษากำลังไฟฟ้าสูญเสียของรถจักรดีเซลไฟฟ้าจากการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงด้วยการสูมรถจักรจำนวน 2 คัน มาทำการทดลอง(ได้แก่ รถจักรหมายเลข 4513 เครื่องยนต์ Cummins KTA50-L และหมายเลข 4220 เครื่องยนต์ Piestic 16PA4V185VG) ที่เงื่อนไขการจำลองภาระการใช้งานด้วยชุดจำลองการใช้งานรถจักรขณะทำขบวนไฟฟ้ากระแสตรง ณ โรงซ่อมบำรุงรถจักรดีเซลไฟฟ้า บางชื่อ ประกอบกับการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีสมการถดถอยแบบเชิงเส้น ตามลำดับซึ่งจากการเปรียบเทียบผลการทดลองกำลังทางไฟฟ้าของรถจักรดีเซลไฟฟ้าที่ได้ พบว่าร้อยละความสูญเสียทางไฟฟ้ามีความแปรผกผันกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์อย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ความสัมพันธ์ของสมการถดถอยที่ได้จากการพยากรณ์ข้อมูลกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เปรียบเทียบกับความเร็วรอบของบทความฉบับนี้ จะมีความน่าเชื่อถือสูงต่อการนำไปใช้งาน เนื่องจากมีค่าR-Squared สูง (โดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.93 ถึง 0.97ตามลำดับ) ซึ่งจากผลการทดลองและการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบเชิงเส้นได้แสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยีที่แตกต่างกันของเครื่องยนต์ทั้ง 2 คันไม่สัมพันธ์กับร้อยละความสูญเสียทางไฟฟ้า

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) ที่ให้ความอนุเคราะห์รถจักรดีเซลไฟฟ้า และชุดจำลองการใช้งานรถจักรขณะทำขบวนไฟฟ้ากระแสตรง ณ โรงซ่อมบำรุงรถจักรดีเซลไฟฟ้า บางชื่อ อีกทั้งสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- การรถไฟแห่งประเทศไทย.2551 .โครงการศึกษาความเป็นไปได้การใช้เชื้อเพลิงร่วม. (Diesel-CNG) สำหรับรถจักร, กรุงเทพฯ
- การรถไฟแห่งประเทศไทย . 2552. โครงการศึกษาความคุ้มค่าจากการปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์ดีเซลรถจักรจากระบบฉีดเชื้อเพลิงเป็นระบบฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูง. การรถไฟแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ
- การรถไฟแห่งประเทศไทย. 2554. โครงการศึกษาผลกระทบจากการใส่สารเติมแต่งน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีต่ออัตราการสิ้นเปลือง. การรถไฟแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ
- การรถไฟแห่งประเทศไทย . 2555 .โครงการจัดทำแผนแม่บทและศึกษาแนวทางการจัดการพลังงาน สำหรับการเดินขบวนรถไฟภายใต้มาตรฐาน ISO50001. การรถไฟแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ
- พลรัชต์บุญมี. ศุภชัยหลักคำ. และภูษิตโชติสวัสดิ์. 2558.การศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการลดมลพิษและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถจักรเพื่อความคุ้มค่าต่อการลงทุน.

- D .Park, Y .Yoon, S.B .Kwon, W .Jeong, Y .Cho, K .Lee .2012“ .The effects of operating conditions on particulate matter exhaust from diesel locomotive engines”, *Science of the Total Environment* 419 .pp.76–80.
- L.Minghai, C .Hongjiang, W .Juan, G .Ying,.20“ Improvement of fuel injection system of locomotive diesel engine”, *Journal of Environmental Sciences Supplement*.S139–S141.
- A .S .Martinez, J.Brouwer, G .S .Samuelsen,.2012“ .Feasibility study for SOFC-GT hybrid locomotive power part II .System packaging and operating route simulation”, *Journal of Power Sources* 213.pp.358-374.



3/2/2563

Gmail - ประกาศผลตอบรับบทความ



ว่าที่ร้อยโทกิตติภณ ฤทธิ์ทอง <kittipon.rit@gmail.com>

ประกาศผลตอบรับบทความ

1 ข้อความ

IET-CON2018 <ietcon2018@easychair.org>
ถึง: Kittipon Ritthong <kittipon.rit@gmail.com>

6 ธันวาคม 2561 17:03

เรียน ผู้วิจัย

คณะกรรมการขอประกาศผลการตอบรับบทความของการประชุมวิชาการนวัตกรรม
ด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม (IET-CON 2018)

ผลการตอบรับ Accepted โดยมีข้อแก้ไขดังนี้

1. เป็นบทความที่น่าสนใจและนำไป present ในงาน conference ได้
2. การทดลองและการวิเคราะห์ผลว่าทำแล้วเกิดประสิทธิภาพเป็นเช่นไร ควรเพิ่มให้ชัดเจน
3. ตรวจสอบไวยากรณ์ภาษาอังกฤษ และภาษาไทยกับภาษาอังกฤษควรแปลตรงกันหรือใกล้เคียง

ด้วยความเคารพอย่างสูง
ดร. นฤตา หวังโซ๊ะ
โทร.094-4989608





**การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยี
เพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 2 ประจำปี 2561**

The 2nd Conference on Innovation of Engineering and Technology for Economy and Society

ขอขอบเกียรติบัตรฉบับนี้ให้เพื่อแสดงว่า

นายกิตติภณ ฤทธิ์ทอง

ได้เข้าร่วมนำเสนอบทความเรื่อง

การออกแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกพลังงานความร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดเซชัน

Design of Paddy Drying Machine Using Thermal Energy in Combination with Infrared Radiation with Fluidization Technique

ให้ไว้ ณ วันที่ 16 ธันวาคม พ.ศ. 2561

ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร

รองศาสตราจารย์ ดร.เสถียร อัญศรีรัตน์
รักษาการแทนอธิการบดี
สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

ดร.เสถียร อัญศรีรัตน์
รองอธิการบดี ฝ่ายวางแผนและพัฒนา
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



**การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยี
เพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 2 ประจำปี 2561**

The 2nd Conference on Innovation of Engineering and Technology for Economy and Society

ขอมอบเกียรติบัตรฉบับนี้ให้เพื่อแสดงว่า

นายกิตติฉิน ฤทธิ์ทอง

ได้รับการพิจารณาเป็นบทความวิจัยดีเด่น

ในการประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 2

ให้ไว้ ณ วันที่ 16 ธันวาคม พ.ศ. 2561

ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏบรบือ จังหวัดอุดรธานี

รองศาสตราจารย์ ดร.เสถียร อัญญาศรีรัตน์

รักษาราชการแทนอธิการบดี

สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

ดร.เสนีย์ สุวรรณดี

รองอธิการบดี ฝ่ายวางแผนและพัฒนา

มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

IET-CON2018

การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม
ครั้งที่ 2 ประจำปี 2561

The 2nd Conference on Innovation Engineering and Technology for Economic and Society



ดำเนินการโดย สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
วันที่ 16 ธันวาคม 2561

ณ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขตร่มเกล้า กรุงเทพมหานคร



การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 2
The 2nd Conference on Innovation Engineering and Technology for Economy and Society
วันที่ 16 ธันวาคม 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต ร่มเกล้า

การออกแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกพลังงานความร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดเซชัน

Design of Paddy Drying Machine Using Thermal Energy in Combination with Infrared Radiation
with Fluidization Technique

กิตติภณ ฤทธิทอง¹ จันทิมา รวีลายเงิน^{2*} วิโรจน์ ฤทธิทอง² และ ประเสริฐ วิโรจน์ชิวัน²
¹สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

Kittipon Ritthong¹, Chantima Rewlay-ngoen^{2*}, Wirote Ritthong² and Prasert Wirotcheewan²

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
Phra Nakhon

E-mail¹: kittipon.rit@gmail.com E-mail^{2*}: chantima.r@mutp.ac.th E-mail²: writthong@gmail.com

E-mail²: prasertwirot@mutp.ac.th *Corresponding author

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดเซชัน เพื่อศึกษารูปแบบการอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันที่ใช้พลังงานความร้อน (HF) และการอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันร่วมกับการแผ่รังสี (IF) โดยตัวเครื่องมีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนดังนี้ 1) เครื่องเป่าลมแรงดันสูง (Blower) ขนาด ½HP 0.5kW มีหน้าที่ป้อนอากาศเข้าสู่ระบบ โดยมีอินเวอร์เตอร์ (Inverter) DC240-400V เป็นตัวควบคุมความเร็วรอบการหมุนของเครื่องเป่าลมแรงดันสูง 2) ชุดทำความร้อนแบบไฟฟ้า (Finned heater) จำนวน 3 ตัว แต่ละตัวมีขนาด 1,300W ทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิความร้อนให้กับตัวกลางที่ใช้ในการอบแห้ง โดยมีชุดควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller) แบบ PID 3) ห้องอบแห้ง (Drying chamber) รูปทรงสี่เหลี่ยมสูง มีหน้าที่รองรับข้าวเปลือกที่ใช้ในการอบแห้ง ภายในมีหลอดกำเนิดรังสีอินฟราเรด (Infrared radiator) 650W จำนวน 1 ชุด ป้อนพลังงานความร้อนให้กับข้าวเปลือกพันธุ์ ข้าวดอกมะลิ 105 และมีเครื่องควบคุมการทำงานของหลอดอินฟราเรด (Infrared radiator controller) ควบคุมความเข้มของการแผ่รังสีอินฟราเรด และต่อจากห้องอบแห้งมีช่องระบายอากาศออก 10% ส่วนที่เหลือ 90% เป็นอากาศหมุนเวียนกลับเข้าสู่ภายในระบบ จากการศึกษาพบว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการอบแห้งแบบ HF คือที่อุณหภูมิ 90°C ใช้เวลาอบแห้งน้อยที่สุด 65 นาที มีค่า SEC น้อยที่สุด 65.3 MJ/kg_{water} และแบบ IF ที่ค่าความเข้มของการแผ่รังสีอินฟราเรด 400W ใช้เวลาการอบแห้งมากที่สุด 125 นาที มีค่า SEC น้อยที่สุด 57.8 MJ/kg_{water} ในกรณีศึกษาเพิ่มเติม เป็นลักษณะรูปแบบการอบแห้งแบบผสมผสานโดยใช้อุณหภูมิความร้อนร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด และศึกษาการหาร้อยละของต้นข้าว (Head rice yield) ของข้าวเปลือก

คำหลัก การออกแบบเครื่องอบแห้ง การแผ่รังสีอินฟราเรด คุณภาพของข้าว ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชัน

Abstract

The objectives, to a fluidization dryer was constructed in which two different heat sources hot air and infrared radiation were applied, and Khao Dawk Mali 105 were chosen as a test sample. In different operational conditions of the fluidization, Infrared fluidization drying (IF) and Hot air fluidization drying



การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 2
The 2nd Conference on Innovation Engineering and Technology for Economy and Society
วันที่ 16 ธันวาคม 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต ร่มเกล้า

(HF). A fluidization dryer machine has three main components: (1) high pressure blower with the dimensions of $\frac{1}{2}$ HP 0.5kW with the air entry in to the DC 240-400V inverter controlling the rotation speed of a high pressure blower, (2) Finned heater from three heaters, 1,300 W/heater, that is to increase the heat to medium used for drying, the thermostat controller or PID, (3) temperature controller, which the rectangular drying chamber, infrared light from three lamps was used to irradiate the drying sample and the bed. In this study, hot air was returning to system remaining 90%, and will be used. The results of this study showed that hot air fluidization (HF) the temperature should be at 90°C drying with the least time of 65 minutes, SEC of 65.3 MJ/kg_{water}. In addition, in the infrared radiation 400 W, the estimation of time distribution during 125 minutes, SEC value of 57.8 MJ/kg_{water}. For the future, in the combined fluidization and infrared radiation and head rice yield of the paddy that are should be considered.

Keywords: Dryer design, Fluidization, Infrared Radiation, Paddy drying, Quality of rice, Specific Energy Consumption

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยยังคงอันดับหนึ่งของประเทศส่งออกข้าวมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามขบวนการก็ยังประสบปัญหา ข้าวนาปี นาปรังที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนมักมีปัญหาข้าวเปลือกมีความชื้นสูง ปัญหาข้าวความชื้นสูงส่งผลให้ข้าวเสื่อมคุณภาพเร็ว เมล็ดเกิดรอยร้าวภายในก่อนสี ทำให้คุณภาพการสีต่ำ การเกิดกลิ่นสาบ เมล็ดมีสีเหลืองคล้ำ แผลงที่ติดมากับเมล็ดเจริญเติบโตและขยายพันธุ์รวดเร็ว ดังนั้นวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว และระบบการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่มีประสิทธิภาพ จึงเป็นส่วนสำคัญในการคงสภาพและถนอมคุณภาพของข้าวไว้ เพื่อให้สามารถเก็บไว้บริโภคได้ตลอดปี รวมทั้งสามารถรักษาคุณภาพของข้าวที่ส่งออกให้ยังคงได้คุณภาพและเป็นที่ยอมรับของต่างประเทศ เทคโนโลยีการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร จึงเป็นขบวนการสำคัญในงานเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว เพราะช่วยลดปัญหาการสูญเสีย รักษาคุณภาพและยืดระยะเวลาการเก็บรักษาผลผลิตของเกษตรกรได้ การอบแห้งทั้งกระบวนการอบแห้งด้วยการพาความร้อนแบบธรรมชาติ และการอบแห้งด้วยการพาความร้อนแบบบังคับ สามารถลดปัญหาดังกล่าวได้เป็นอย่างดี จากงานวิจัยที่ผ่านมา การอบแห้งแบบกระแสนคือการให้กระแสการไหลของตัวกลางที่ใช้ในการอบแห้ง 2 กระแส หรือมากกว่ามาชนกัน โดยให้กระแสใดกระแสหนึ่งพาวัดเข้าสู่ระบบผลจากการชนกันของกระแสการไหลของตัวกลางที่ใช้ใน

การอบแห้งจะทำให้เกิดบริเวณที่มีอัตราการถ่ายเทมวลสารความร้อนและโมเมนต์สูงมาก เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีแรงเฉือนและความปั่นป่วนของกระแสการไหลสูงมาก เมื่อนำเครื่องอบแห้งแบบกระแสนมาอบแห้งข้าวเปลือก พบว่า ความชื้นของข้าวเปลือกสามารถลดลงได้มากในระยะเวลาอันสั้น 2 ถึง 3 วินาที ส่งผลให้อัตราการอบแห้งมีค่าสูงมาก สูงกว่าการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด รวมถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งที่ได้ก็มีค่าสูงมาก [1] อย่างไรก็ตามคุณภาพของข้าวที่ได้กลับไม่เป็นไปตามที่ต้องการ กล่าวคือ ข้าวสารที่ได้หลังการสีมีการแตกหักค่อนข้างมากหรืออีกนัยหนึ่งคือร้อยละต้นข้าว (Head rice yield) อยู่ในระดับต่ำมาก [2] โดยอาจมีสาเหตุมาจากข้าวเกิดการชนกันในระหว่างการอบแห้ง ซึ่งถือเป็นคุณลักษณะเฉพาะตัวของเครื่องอบแห้งแบบกระแสน ดังนั้นเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดถือเป็นเครื่องอบแห้งที่มีข้อดีมากกว่า โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาในแง่ของคุณภาพของข้าวที่ได้หลังการอบแห้ง กล่าวคือ ข้าวเปลือกที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด จะมีร้อยละต้นข้าวสูงกว่าข้าวเปลือกที่ได้จากเครื่องอบแห้งแบบกระแสนมาก [3] จึงเป็นแนวคิดของการออกแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไดซ์



การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 2
The 2nd Conference on Innovation Engineering and Technology for Economy and Society
วันที่ 16 ธันวาคม 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขต ร่มเกล้า

เซชัน ด้วยการนำเอาเทคโนโลยีการใช้พลังงานความร้อนจากการแผ่รังสีอินฟราเรดรวมมาใช้ในการอบแห้ง เพื่อพัฒนาด้านคุณภาพและเพิ่มราคาของข้าวเปลือกด้วย

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 สมการสำหรับการออกแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก

2.1.1 การหาอัตราการป้อนของเมล็ดข้าวเปลือก [4]

$$\text{Hole up} = AL\rho_p \quad (1)$$

$$\text{Hole up} = F \times t \quad (2)$$

$$\text{ดังนั้น } F = \text{Hole up} / t \quad (3)$$

เมื่อ *Hole up* คือ ปริมาณข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องอบ

A คือ พื้นที่หน้าตัดของแผ่นกระจายอากาศ

L คือ ความสูงเบตในห้องอบแห้ง

ρ_p คือ ความหนาแน่นปรากฏของเมล็ดข้าวเปลือก

F คือ อัตราการป้อนของเมล็ดข้าวเปลือก

t คือ เวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้ง

2.1.2 ความดันลดลงของอากาศในห้องอบแห้ง [4]

$$\Delta P = L_1(\rho_i - \rho_a)g \quad (4)$$

เมื่อ ΔP คือ ความดันลดลงของอากาศในห้องอบแห้ง

ρ_i คือ ความหนาแน่นจริงของเมล็ดข้าวเปลือก

ρ_a คือ ความหนาแน่นของอากาศแวดล้อม

*L*₁ คือ ความสูงของเบต

g คือ ความเร่งอันเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

2.1.3 อัตราการไหลของอากาศ [5]

ความเร็วของอากาศไหลเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญมากในการอบแห้งแบบชั้นบาง กล่าวคือ ถ้าความเร็วของของไหลมากเกินไป จะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานโดยไม่จำเป็น

$$Q = VA \quad (5)$$

เมื่อ *Q* คือ อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านเบต

V คือ ความเร็วของอากาศที่ผ่านเบต

A คือ พื้นที่หน้าตัดของเบตที่อากาศไหลผ่าน

2.1.4 การคำนวณหาความร้อน [4]

ในการออกแบบเครื่องอบแห้งนี้ จะใช้ความร้อนจาก Heater โดยใช้พลังงานจากไฟฟ้าสูตรคำนวณ

$$q = \rho_a \cdot Q_a \cdot C_a \cdot (T_{\max} - T_a) \quad (6)$$

เมื่อ *q* คือ ปริมาณความร้อน

C_a คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศแวดล้อม

ρ_a คือ ความหนาแน่นของอากาศแวดล้อม

Q_a คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ

แวดล้อม

T_a คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม

T_{max} คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง

2.1.5 การคำนวณกำลังงานที่ใช้จริงของเครื่องอบแห้ง [4]

ในการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบชั้นบางนี้จะใช้พลังงานไฟฟ้าในการป้อนให้กับเครื่องต้นกำลัง (มอเตอร์) ซึ่งจะต้องใช้สมการดังต่อไปนี้ในการคำนวณ

$$\text{Power} = \Delta P \cdot Q \quad (7)$$

เมื่อ *Power* คือ กำลังงาน

ΔP คือ ความดันรวมทั้งระบบ

Q คือ อัตราการไหลในระบบ

2.2 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในเครื่องอบแห้ง

ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (specific energy consumption: SEC) เป็นดัชนีแสดงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการ ลดความชื้นข้าวเปลือก โดยค่า SEC แสดงให้ทราบถึงพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำ (ความชื้น) จำนวน 1 kg ออกจากข้าวเปลือกซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการสมการที่ 8 ต่อไปนี้ [6]

$$\text{SEC} = \frac{E}{m_{\text{water}}} \quad (8)$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของเครื่องอบแห้ง (MJ/kg_{water}) *E* คือ ผลรวมของพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดเครื่องเป่าลมแรงดันสูง ชุดทำความร้อนแบบไฟฟ้า และหลอดกำเนิดรังสีอินฟราเรด (MJ) ซึ่งสามารถวัดได้โดยตรงด้วยมาตรวัดความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า และ *m_{water}* คือ ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากข้าวเปลือก (kg_{water}) ซึ่งประเมินได้จากความแตกต่างระหว่างความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกตามสมการต่อไปนี้ [6]

3. อุปกรณ์

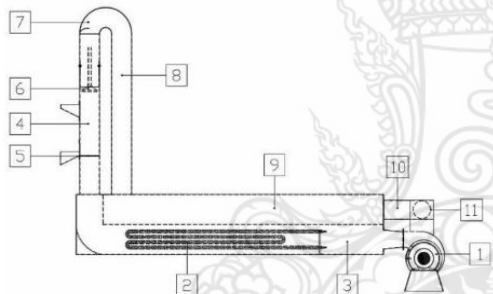
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ



การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 2
The 2nd Conference on Innovation Engineering and Technology for Economy and Society
วันที่ 16 ธันวาคม 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขต ร่มเกล้า

ในส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบแสดงดังรูปที่ 1 มีส่วนประกอบหลักดังนี้ 1) เครื่องเป่าลมแรงดันสูง 2) ชุดทำความร้อนแบบไฟฟ้า 3) ห้องทำความร้อน 4) ห้องอบแห้ง 5) แผ่นเบดกระจายอากาศ 6) หลอดกำเนิดรังสีอินฟราเรด 7) ชุดขี้อากาศหมุนกลับ 8) ห้องอากาศหมุนวนกลับ 9) ห้องอากาศหมุนวนเข้าเครื่องเป่าแรงดันสูง 10) ชุดห้องกลับ 11) ห้องอากาศหมุนกลับ

หมายเหตุ วัสดุภายนอกห้องอบแห้งหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน เพื่อใช้ลดหรือป้องกันความร้อนออกนอกระบบ



รูปที่ 1 แผนผังการออกแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกพลังงานความร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดเซชัน

3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ข้าวเปลือกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

3.3 ขอบเขต

ปริมาณข้าวเปลือก 500 กรัม (g) ค่าความชื้นเริ่มต้น 30% (d.b.) ความสูงของห้องอบแห้ง 0.5 m ใช้ความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชัน 2.3 m/s

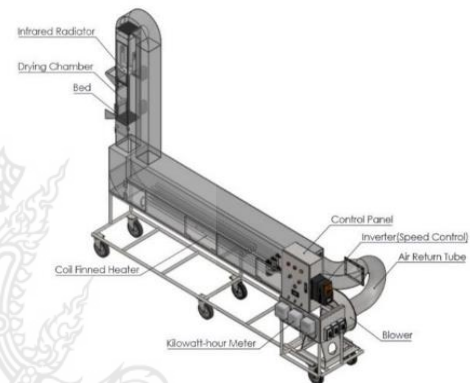
3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การทดลองมีขั้นตอนดังนี้ 1) นำข้าวเปลือกที่มีความชื้นป้อนข้าวเปลือกตรงทางเข้าตำแหน่ง paddy inlet 2) ตั้งค่าที่ชุดควบคุมอุณหภูมิ PID เปิดเครื่องเป่าลมแรงดันสูงและชุดทำความร้อนแบบไฟฟ้า ตามเงื่อนไขที่กำหนด 3) ทำการชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกทุก 5 นาที พร้อมบันทึกผลการทดลองทุกขั้นตอน จนกว่าจะเกิดความชื้นสุดท้าย หรือความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content) 3) นำข้าวเปลือกออกจากห้องอบแห้งที่ตำแหน่ง paddy outlet 4) นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดไปวิเคราะห์ เพื่อประมวลผลการ

ทดลอง ซึ่งได้แบ่งรูปแบบการอบแห้งไว้ 2 รูปแบบคือ 1) การอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันที่ใช้พลังงานความร้อน (HF) และ 2) การอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันร่วมกับการแผ่รังสี (IF)

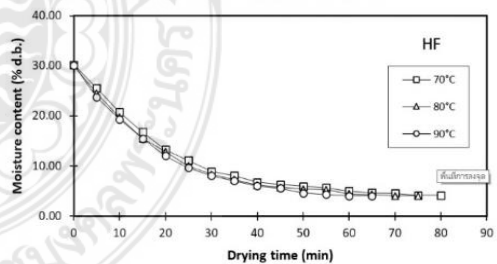
4. ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การออกแบบเครื่อง



รูปที่ 4 โดอะแกรมแสดงภาพของการออกแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกพลังงานความร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดเซชัน

4.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือก



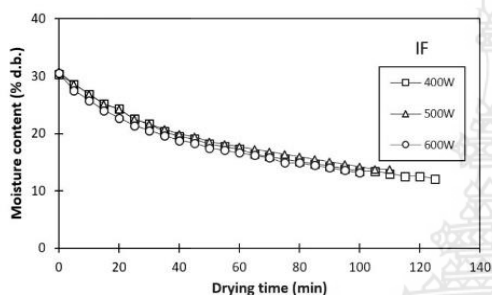
รูปที่ 2 การอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันที่ใช้พลังงานความร้อน (HF)

จากผลการทดลองเมื่อวิเคราะห์ปัจจัยของอุณหภูมิอบแห้งต่อจลนพลศาสตร์ การอบแห้งข้าวเปลือก ด้วยพลังงานความร้อนของชุดทำความร้อนแบบไฟฟ้า (HF) แสดงดังรูปที่ 3 การใช้พลังงานความร้อนที่อุณหภูมิ 70°C ใช้เวลา 80 นาที มีค่า SEC 69.3 MJ/kg_{water} การใช้พลังงานความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C ใช้เวลา 75 นาที มีค่า SEC 67.4 MJ/kg_{water} และการใช้พลังงานความร้อนที่อุณหภูมิ 90°C ใช้เวลา 65 นาที มีค่า SEC 65.3 MJ/kg_{water} จะเห็นได้ว่าใน



การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 2
The 2nd Conference on Innovation Engineering and Technology for Economy and Society
วันที่ 16 ธันวาคม 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขต ร่มเกล้า

การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น เวลาที่ใช้จะลดน้อยลง และ
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะลดตามลำดับ



รูปที่ 3 การอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันร่วมกับการแผ่รังสี (IF)

สำหรับการอบแห้งแบบ IF แสดงดังรูปที่ 3 เมื่อใช้กำลังไฟฟ้าของค่าความเข้มของการแผ่รังสีอินฟราเรดที่ 400W ใช้เวลา 125 นาที มีค่า SEC 51.1 MJ/kg_{water} ความเข้มของการแผ่รังสีอินฟราเรด 500W ใช้เวลา 120 นาที มีค่า SEC 54.9 MJ/kg_{water} และความเข้มของการแผ่รังสีอินฟราเรด 600W ใช้เวลา 110 นาที มีค่า SEC 57.8 MJ/kg_{water} จะเห็นได้ว่าถ้าใช้ค่าความเข้มของการแผ่รังสีอินฟราเรดต่ำ เวลาที่ใช้ก็จะสูง แต่ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะน้อย เมื่อเทียบกับการใช้ค่าความเข้มของการแผ่รังสีอินฟราเรดสูง จะใช้เวลาน้อยลง แต่ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะสูง

5.สรุป

จากการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก พลังงานความร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดเซชัน สามารถใช้อบแห้งข้าวเปลือกได้ตามรูปแบบการอบแห้งและเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันที่ใช้พลังงานความร้อน (HF) ที่อุณหภูมิ 90°C จะทำให้ความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วและใช้เวลา 65 นาที มีค่า SEC น้อยที่สุด 65.3 MJ/kg_{water} และเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันร่วมกับการแผ่รังสี (IF) ค่าความเข้มของการแผ่รังสีอินฟราเรดที่ 400W ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานที่สุด 125 นาที มีค่า SEC น้อยที่สุด 51.1 MJ/kg_{water} กรณีศึกษาเพิ่มเติมลักษณะรูปแบบการอบแห้งแบบผสมผสานโดยใช้อุณหภูมิความร้อนร่วมกับ

การแผ่รังสีอินฟราเรด และศึกษาการหาร้อยละของต้นข้าว (Head rice yield) ของข้าวเปลือก

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ จันทร์แก้ว คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา (ตาก) ที่ให้การสนับสนุน และแนวทางในการแก้ปัญหา งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Nimmol, C., Devahastin, S. 2010. Evaluation of performance and energy consumption of an impinging stream dryer for paddy, Applied Thermal Engineering, 30, pp. 2204–2212.
- [2] Swasdisevi, T., Devahastin, S., Thanasookprasert, S., Soponronnarit, S. 2013. Comparative evaluation of hot-air and superheated-steam impinging stream drying as novel alternatives for paddy drying. Drying Technology, 31, pp. 717–725.
- [3] Meeso, N., Nathakaranakule, A., Madhiyanon, T., Soponronnarit, S. 2004. Influence of FIR irradiation on paddy moisture reduction and milling quality after fluidized bed drying. Journal of Food Engineering, 65, pp. 293–301
- [4] วุฒิกกรณ์ จรรย์ตันติเวทย์. การออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไดซ์เบดสั้นสะเทือน วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2548.
- [5] เสรี ศุภราทิพย์. กลศาสตร์ของไหล. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรังสิต, 2542.
- [6] Nimmol, C., Sathapornprasath, K., Devahastin, S. 2012. Drying of high-moisture paddy using a combined impinging stream and pneumatic drying system. Drying Technology, 30, pp. 1854–1862

ที่ ศธ ๐๕๘๖.๐๓(ควว.)/๓๒๗



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
วิทยาเขตขอนแก่น
อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ๔๐๐๐๐

๑๖ สิงหาคม ๒๕๖๑

เรื่อง แจ้งผลการพิจารณาบทความโครงการประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และ สถาปัตยกรรมศาสตร์ ครั้งที่ ๙ (ESTACON 2018)

เรียน คุณ กิตติภณ

ตามที่ท่าน ได้ส่งบทความเพื่อเข้าร่วมโครงการประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และ สถาปัตยกรรมศาสตร์ ครั้งที่ ๙ (ESTACON 2018) ในวันศุกร์ที่ ๗ กันยายน ๒๕๖๑ ณ อาคาร ๕๐ ปี เทคนิคไทย-เยอรมัน ขอนแก่น (อาคาร ๑๘) ชั้น ๓ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

ชื่อบทความ การพัฒนาระบบอบแห้งข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชัน ร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด

รหัสบทความ ME274

การนำเสนอ บรรยาย (Oral Presentation)

ในการนี้ คณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการ มีความยินดีที่จะเรียนให้ท่านทราบว่า บทความดังกล่าว “ผ่านการพิจารณา” โดยผู้ทรงคุณวุฒิให้นำเสนอผลงานในงานการประชุมวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และ สถาปัตยกรรมศาสตร์ ครั้งที่ ๙ (ESTACON 2018) โดยกำหนดการและรายละเอียดอื่นๆจะดำเนินการแจ้งให้ทราบทาง <http://apps.eng.rmuti.ac.th/estacon2018/> ต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(นายปริญ นาชัยสิทธิ์)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

สำนักงานคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

โทร. ๐-๔๓๓๓-๘๘๖๙

โทรสาร ๐-๔๓๓๓-๘๘๗๐

9th EST
CON 2018



โครงการประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี
และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ครั้งที่ ๙ (ESTACON 2018)

ขอขอบเกียรติบัตรฉบับนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

กิตติมถรณ์ ฤทธิทอง, วิโรจน์ ฤทธิทอง และ ฉัตรชัย นิยมผล

ได้นำเสนอบทความวิจัย

เรื่อง “การพัฒนาระบบอบแห้งข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชัน ร่วมกับ การแผ่รังสีอินฟราเรด”

ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตดอนแก่น

ขอให้ประสบความสำเร็จ ความเจริญ อุดมด้วยเจริญพรทุกประการ

ในไว้ ณ วันที่ ๗ เดือน กันยายน พุทธศักราช ๒๕๖๑

(นายปริญญา นาศัยสิทธิ์)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตดอนแก่น

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชยุพร จันทะวี)

รองอธิการบดีประจำวิทยาเขตดอนแก่น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



บทความฉบับเต็ม

การประชุมวิชาการ
วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี
และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 9

The 9th Engineering Science Technology and Architecture Conference 2018

9th EST
CON 2018

เทคโนโลยีและนวัตกรรม เพื่ออุตสาหกรรมแห่งอนาคต
Technology and Innovation for Future Industry

7 กันยายน 2561



ณ อาคาร 50 ปี เทคนิค ไทย-เยอรมัน ขอนแก่น
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น



การพัฒนาระบบอบแห้งข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชัน ร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด

Development of a high-moisture paddy system using a combined fluidization technique and infrared radiation

กิตติภณ ฤทธิ์ทอง^{1*}, วิโรจน์ ฤทธิ์ทอง¹, ฉัตรชัย นิยมมล²

¹สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถ.ประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

²ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถ.ประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

*E-mail: kittipon.rit@gmail.com , 090-082-2189

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาระบบอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด โดยพิจารณาถึงอิทธิพลอุณหภูมิของอากาศร้อน การแผ่รังสีอินฟราเรด รูปแบบการอบแห้ง ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือก และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) งานวิจัยนี้มีรูปแบบการอบแห้ง 3 รูปแบบคือ 1) การอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันที่ใช้อากาศร้อน (HFB) 2) การอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด (IFB) และ 3) การอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด ตามด้วยการเป่าด้วยอากาศแวดล้อมและการอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันที่ใช้อากาศร้อน (IVHFB) จากผลการศึกษาได้นำมาเปรียบเทียบ ของการใช้แนวความคิดแต่ละรูปแบบ พบว่าการอบแห้งแบบ HFB ที่อากาศร้อนอุณหภูมิ 100°C ใช้เวลาน้อยที่สุดในการอบแห้ง (75 นาที) แต่มีค่า SEC มากที่สุดมีค่า 63 MJ/kg_{water} กรณีเงื่อนไขการอบแห้งแบบ IFB ร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด 200W ใช้เวลามากที่สุดในการอบแห้ง (240 นาที) มีค่า SEC ต่ำที่สุดมีค่า 50 MJ/kg_{water} และการอบแห้งแบบ IVHFB ร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด 600W ที่อากาศร้อนอุณหภูมิ 100°C ใช้เวลา (140 นาที) มีค่า SEC 53 MJ/kg_{water} จากการศึกษาพบว่า เครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นสามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้ถึง นอกจากนี้การใช้แนวคิดของการแผ่รังสีอินฟราเรด ช่วยลดเวลาในการอบแห้งที่มีความชื้นสูงได้มากที่สุด ประหยัดพลังงานมาก จุดที่น่าสนใจคือค่า SEC ที่น้อยที่สุดของเงื่อนไขการอบแห้งคือการอบแห้งแบบ IFB ร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด 200W เป็นเงื่อนไขที่ประหยัดพลังงานมากที่สุดในงานวิจัยนี้

คำหลัก: การแผ่รังสีอินฟราเรด ข้าวเปลือก ความชื้น ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชัน

Abstract

This study investigates the development of a high-moisture paddy system using a combined fluidization technique and infrared radiation by considering the influence of the hot air temperature, infrared radiating, and drying patterns affecting the change of the paddy moisture content and the Specific Energy Consumption (SEC). Three types of drying methods include 1) hot air fluidization drying (HFB), 2) infrared fluidization drying (IFB), and 3) infrared fluidization drying followed by ambient air ventilation and hot air fluidization drying (IVHFB). The study results have been compared and found that HFB drying at 100°C has the lowest drying time (75 minutes) but the highest SEC value of 63 MJ/kg_{water}. As for IFB drying conditions combined with 200W infrared radiation, the maximum drying time (240 minutes) with the lowest SEC value was 50 MJ/kg_{water} has been generated. In addition to that,

IVHFB drying combined with 600W infrared radiation at 100°C (140 min) has resulted SEC 53 MJ/kg_{water}. It has been found that the developed paddy dryer can reduce the moisture content. In addition, the use of infrared radiation can also decrease the drying time of the highest humidity as well as the energy consumption. More interestingly, the smallest SEC value of IFB drying condition combined with 200W infrared radiation is the most energy-saving condition in this research.

Keywords: Infrared Radiation, Paddy, Moisture, Specific Energy Consumption, Fluidization

1. บทนำ

ข้าว นับเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรชนิดหนึ่งที่ทำรายได้ให้กับประเทศค่อนข้างมากและเป็นอาหารหลักของประชากรในหลายประเทศ ข้าวที่มีคุณภาพดีตรงกับความต้องการของตลาดสามารถขายได้ในราคาสูง อย่างไรก็ตาม ข้าวเปลือก (paddy) ที่เก็บเกี่ยวมาส่วนใหญ่ยังมีความชื้นสูง กล่าวคือ มีความชื้นประมาณ 25% (d.b.) ถึง 33% (d.b.) ซึ่งอาจเกิดความเสียหายจากเชื้อราในระหว่างการเก็บรักษา หรืออาจส่งผลให้ข้าวสารมีสีเหลืองเนื่องจากความร้อนซึ่งเกิดจากการหายใจของข้าวเปลือก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องนำข้าวเปลือกมาลดความชื้นหรืออบแห้ง (drying) เพื่อให้ความชื้นของข้าวเปลือกมีค่าประมาณ 14% (d.b.) ถึง 16% (d.b.) ซึ่งเป็นระดับความชื้นของข้าวเปลือกที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษาโดยปราศจากการทำลายของแมลงและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ในประเทศไทย การอบแห้งข้าวเปลือกสามารถทำได้ด้วยวิธีการที่หลากหลาย เช่น เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด (fluidized-bed dryer) [1-4] และเครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำ (impinging stream dryer) [5,6]

ในกรณีของเครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำนั้น ถือได้ว่าเป็นเครื่องอบแห้งที่มีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้ลดความชื้นของวัสดุอนุภาคที่มีปริมาณความชื้นที่ผิวสูง [7] หลักการของการอบแห้งแบบกระแสน้ำคือการให้กระแสการไหลของตัวกลางที่ใช้ในการอบแห้ง 2 กระแส (หรือมากกว่า) มาชนกัน โดยให้กระแสใดกระแสหนึ่งพาวัสดุเข้ามาสู่ระบบ ผลจากการชนกันของกระแสการไหลของตัวกลางที่ใช้ในการอบแห้งจะทำให้เกิดบริเวณที่มีอัตราการถ่ายเทมวลสาร ความร้อนและโมเมนตัมสูงมาก เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีแรงเฉือนและความปั่นป่วนของกระแสการไหลสูงมาก เมื่อนำเครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำมาอบแห้งข้าวเปลือก พบว่า ความชื้นของข้าวเปลือกสามารถลดลงได้มากในระยะเวลาอันสั้น (2 ถึง 3 วินาที)

ส่งผลให้อัตราการอบแห้งมีค่าสูงมาก (สูงกว่าการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดและเครื่องอบแห้งแบบสเปาเด็ดเบด) รวมถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งที่ได้ก็มีค่าสูงมาก [5] อย่างไรก็ตามคุณภาพของข้าวที่ได้กลับไม่เป็นไปตามที่ต้องการ กล่าวคือ ข้าวสารที่ได้หลังการสีมีการแตกหักค่อนข้างมากหรืออีกนัยหนึ่งคือร้อยละต้นข้าว (head rice yield) อยู่ในระดับต่ำมาก [6] โดยอาจมีสาเหตุมาจากข้าวเกิดการชนกันในช่วงการอบแห้งซึ่งถือเป็นคุณลักษณะเฉพาะตัวของเครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำ

เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดถือเป็นเครื่องอบแห้งที่มีข้อดีมากโดยเฉพาะเมื่อพิจารณาในแง่ของคุณภาพของข้าวที่ได้หลังการอบแห้ง กล่าวคือข้าวเปลือกที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดจะมีร้อยละต้นข้าวสูงกว่าข้าวเปลือกที่ได้จากเครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนำข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งทั้งสองชนิดมาทำการพักตัว (tempering) และเป่าด้วยอากาศแวดล้อม (ventilation by ambient air) [8] ด้วยระยะเวลาที่เหมาะสม และด้วยลักษณะการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่วัสดุที่นำมาอบแห้งจะถูกทำให้ลอยตัวโดยอาศัยอากาศร้อนที่ใช้เป็นตัวกลางในการอบแห้งเป็นตัวทำให้วัสดุที่นำมาอบแห้งเกิดการเคลื่อนที่ วัสดุจึงสามารถคลุกเคล้าและสัมผัสกับอากาศร้อนที่ได้ดี ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการถ่ายเทมวลที่เพิ่มขึ้นระหว่างการอบแห้งมีค่ามาก อย่างไรก็ตาม การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดยังต้องการพลังงานมากสำหรับการทำให้เกิดการคลุกเคล้าของวัสดุที่นำมาอบแห้ง [9] เพื่อที่จะลดการใช้พลังงานในการอบแห้ง จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเร่งกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดให้เร็วขึ้นเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการใช้

พลังงาน (ประหยัดพลังงาน) โดยวิธีการหนึ่งที่มีความน่าสนใจในการนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าวคือการใช้พลังงานความร้อนเสริมจากการแผ่รังสีอินฟราเรด (infrared radiation: IR) ซึ่งถือเป็นแหล่งความร้อนเสริมที่มีศักยภาพสูงในการนำมาใช้ในกระบวนการอบแห้ง

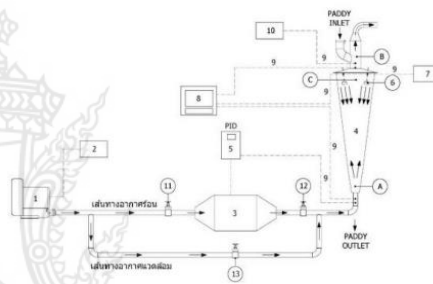
2. อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ในส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแสดงรูปที่ 1 แผนผังเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด ที่ใช้ในงานวิจัยมีส่วน ประกอบหลักดังนี้

- 1) เครื่องเป่าลมแรงดันสูง (blower) (Norvax, NVT-400, Taiwan) ทำหน้าที่สร้างอัตราการไหลของอากาศ โดยทำหน้าที่ป้อนอากาศเข้าสู่ระบบเพื่อเป็นตัวกลางในการอบแห้งและพาข้าวเปลือกให้เคลื่อนที่ในระบบ
- 2) อินเวอร์เตอร์ (inverter) (INVT, CHF100A-004G/5R5P-4, China) มีหน้าที่เปลี่ยนแปลงความเร็วลมโดยการปรับรอบการหมุนของเครื่องเป่าลมแรงดันสูง
- 3) ชุดทำความร้อนแบบไฟฟ้า (electric heater) จำนวน 10 ตัว รวมทั้งหมดขนาด 15 kW ทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิให้กับตัวกลาง (ในที่นี้คืออากาศ) ที่ใช้ในการอบแห้ง
- 4) ห้องอบแห้ง (drying chamber) มีรูปทรงเป็นพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมคว่ำสูง 1.2 เมตร ด้านบนเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 0.57 x 0.57 เมตร โดยใส่ข้าวเปลือกตรงทางเข้า (paddy inlet) และมีเบด (ตำแหน่ง A) ขนาดรูเท่ากับ 0.2 mm. มีหน้าที่รองรับข้าวเปลือกที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งจะอยู่ด้านล่างของห้องอบแห้ง
- 5) ชุดควบคุมอุณหภูมิ (temperature controller) เป็นแบบ PID (Shinko, JCS-33A-R/M, Japan) ซึ่งมีความแม่นยำในการควบคุม $\pm 1^{\circ}\text{C}$ และทำการตรวจวัดอุณหภูมิของอากาศที่เข้าสู่ระบบ ณ ตำแหน่ง A โดยทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของชุดทำความร้อน
- 6) หลอดกำเนิดรังสีอินฟราเรด (Heat Plus, A-1-650, Japan) มีจำนวน 2 ชุด แต่ละชุดมีขนาด 60 x 245 mm. ติดตั้งที่ด้านบนของห้องอบแห้ง หน้าที่ป้อนพลังงานความร้อนให้กับวัสดุ (ข้าวเปลือก)
- 7) เครื่องควบคุมการทำงานของหลอดอินฟราเรด (infrared radiator controller) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของหลอดอินฟราเรด
- 8) ดาต้าล็อกเกอร์ (Data Logger, HIOKI LR8400-20 SERIES, Japan) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้

เก็บค่าอุณหภูมิที่ผิวของหลอดรังสีอินฟราเรด ที่ตำแหน่ง (C) อุณหภูมิลมร้อนที่ทางเข้าและทางออกที่ตำแหน่ง (A) และ (B) 9) เทอร์โมคัปเปิล มีทำหน้าที่ส่งค่าอุณหภูมิไปยังชุด PID กับดาต้าล็อกเกอร์ 10) เครื่องมือวัดความชื้นที่มีความเที่ยงตรงสูง (VAISALA, HMP77, Finland) ใช้วัดที่ตำแหน่ง (B) 11,12) โกลบวาล์ว (globe valve) ทำหน้าที่ปรับปริมาณอากาศที่เข้าสู่ระบบ (กรณีใช้เส้นทางอากาศร้อน) ให้เปิดโกลบวาล์วตำแหน่งที่ 11 และ 12 และทำการปิดโกลบวาล์วตำแหน่งที่ 13 13) โกลบวาล์ว (globe valve) ทำหน้าที่ปรับปริมาณอากาศที่เข้าสู่ระบบ (กรณีใช้เส้นทางอากาศแวดล้อม) ให้เปิดโกลบวาล์วให้สุดตำแหน่งที่ 13 และปิดโกลบวาล์วตำแหน่งที่ 11 และ 12



รูปที่ 1 แผนผังเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด

2.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ กข.71 เป็นวัสดุในการทดลอง โดยข้าวเปลือกมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 31 % (d.b.) ถูกเตรียมโดยการเติมน้ำตามจำนวนที่กำหนดเข้าไปผสมกับข้าวเปลือก จากนั้นจึงนำข้าวเปลือกดังกล่าวไปเก็บในภาชนะปิด เป็นระยะเวลา 2 วัน ก่อนเริ่มการทดลอง ข้าวเปลือกจะถูกนำออกจากภาชนะเพื่อผึ่งในบรรยากาศเป็นระยะเวลาประมาณ 20 นาที (ปรับอุณหภูมิของข้าวเปลือกให้เท่ากับอุณหภูมิห้อง) ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงการควบแน่นของไอน้ำที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการทดลอง

2.3 วิธีการทดลอง

ในการทดลองมีขั้นตอนดังนี้ 1) นำข้าวเปลือกมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 31 % (d.b.) ปริมาณ 3 กิโลกรัม (kg) ป้อนข้าวเปลือกตรงทางเข้า ณ ตำแหน่ง paddy

inlet 2) ควบคุมเครื่องเป่าลมแรงดันสูงและชุดทำความร้อนแบบไฟฟ้า ให้ทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนด 3) นำข้าวเปลือกออกจากกระบอก ณ ตำแหน่ง paddy outlet เพื่อทำการชั่งน้ำหนัก 4) นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดไปวิเคราะห์

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งรูปแบบการอบแห้งไว้ 3 รูปแบบคือ 1) การอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันที่ใช้อากาศร้อน (HFB) 2) การอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด(IFB) 3) การอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด ตามด้วยการเป่าด้วยอากาศแวดล้อมและการอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันที่ใช้อากาศร้อน (IVHFB) โดยมีเงื่อนไขการอบแห้ง การทดลอง 3 รูปแบบ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เงื่อนไขและรูปแบบการอบแห้ง

เงื่อนไขการอบแห้ง	รูปแบบการอบแห้ง				
	HFB	IFB	IVHFB		
IR POWER (W)	-	200	200	400	600
		400			
		600			
T (°C)	80	-	80	80	80
	90		90	90	
	100		100	100	

2.4 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในเครื่องอบแห้ง

ในส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเครื่องเป่าลมแรงดันสูง ชุดทำความร้อนแบบไฟฟ้า และหลอดกำเนิดรังสีอินฟราเรด เพื่อให้อากาศสามารถพาข้าวเปลือกให้ลอยขึ้นในระบบได้ และพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับชุดทำความร้อนเพื่อสร้างพลังงานความร้อนให้แก่อากาศที่ใช้เป็นตัวกลางสำหรับการอบแห้ง ในงานวิจัยนี้เราจะวิเคราะห์โดยใช้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (specific energy consumption: SEC) เป็นดัชนีแสดงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการ ลดความชื้นข้าวเปลือก โดยค่า SEC แสดงให้ทราบถึงพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำ (ความชื้น) จำนวน 1 kgออกจากข้าวเปลือกซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการสมการที่ 1 ต่อไปนี้ [10]

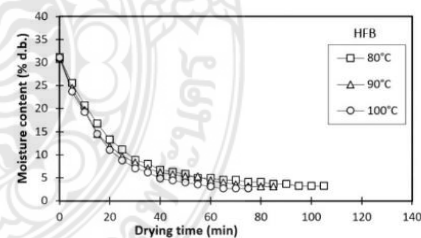
$$SEC = \frac{E}{m_{water}} \quad (1)$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของเครื่องอบแห้ง (MJ/kg_{water}) E คือ ผลรวมของพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ชุดเครื่องเป่าลมแรงดันสูง ชุดทำความร้อนแบบไฟฟ้า และหลอดกำเนิดรังสีอินฟราเรด (MJ) ซึ่งสามารถวัดได้โดยตรงด้วยมาตรวัดความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า และ m_{water} คือ ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากข้าวเปลือก (kg_{water}) ซึ่งประเมินได้จากความแตกต่างระหว่างความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกตามสมการต่อไปนี้ [10]

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือก

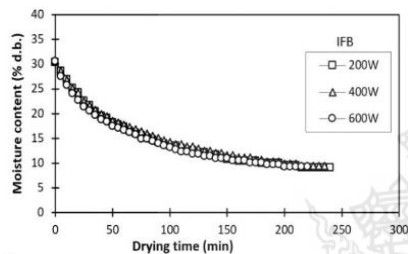
จากผลการทดลองเมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของอุณหภูมิอากาศร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้น สำหรับการอบแห้งแบบ HFB แสดงดังรูปที่ 1 เมื่ออุณหภูมิของอากาศร้อนที่ 80 90 และ 100°C พบว่า การลดลงของความชื้นมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วทั้ง 3 เงื่อนไขเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูง ความชื้นจะลดลงและช้าลงจนมีอัตราความชื้นมีค่าคงที่ จะเห็นว่าการใช้อากาศร้อนที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วและใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการใช้อากาศร้อนที่อุณหภูมิต่ำ



รูปที่ 1 ผลกระทบของอุณหภูมิ ลมร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือก สำหรับการอบแห้งแบบ HFB

สำหรับการอบแห้งแบบ IFB แสดงดังรูปที่ 2 เมื่อใช้กำลังไฟฟ้าของหลอดกำเนิดรังสีอินฟราเรดที่ 200 400 และ 600W จะเห็นว่าที่ 200W ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานที่สุด เมื่อเทียบกับขนาด 600W ซึ่งใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด ที่มีผลต่อความชื้น

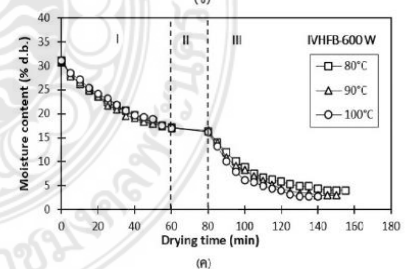
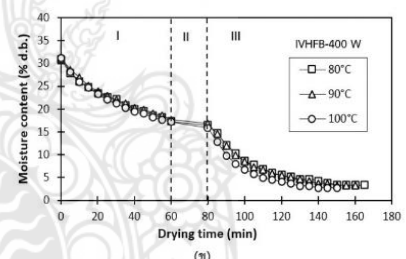
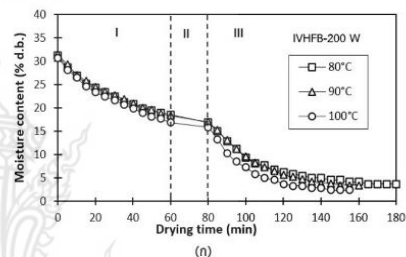
สุดท้ายของข้าวเปลือก ผลกระทบระหว่างกำลังไฟฟ้าของหลอดกำเนิดรังสีอินฟราเรดต่อความชื้น สำหรับการอบแห้งแบบ IFB แสดงดังรูปที่ 2 จะเห็นว่า เมื่อใช้กำลังไฟฟ้าของหลอดกำเนิดรังสีอินฟราเรดสูง ความชื้นจะลดลงได้เร็วกว่าเมื่อเทียบกับการใช้กำลังไฟฟ้าของหลอดกำเนิดรังสีอินฟราเรดต่ำ หมายความว่า การอบแห้ง จะใช้เวลาน้อยตามไปด้วย เนื่องจากผลกระทบของกำลังไฟฟ้าของหลอดกำเนิดรังสีอินฟราเรด มีปริมาณความร้อนจากการแผ่รังสีอินฟราเรด ที่ปริมาณมากหรือน้อย ส่งผลให้ความชื้นในข้าวเปลือกลดลงเร็วกว่าเช่นกัน



รูปที่ 2 ผลกระทบของกำลังไฟฟ้าของหลอดกำเนิดรังสีอินฟราเรด ต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือก สำหรับการอบแห้งแบบ IFB

นอกจากนี้ผลกระทบระหว่างกำลังไฟฟ้าของหลอดกำเนิดรังสีอินฟราเรดต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้น สำหรับการอบแห้งแบบ IVHFB ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3 มี 3 กรณีดังนี้คือ ในกรณีกำลังไฟฟ้าของหลอดกำเนิดรังสีอินฟราเรดที่ 200 400 และ 600W มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ 80 90 และ 100°C ตามลำดับ จะเห็นว่า จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบแห้ง จะเห็นว่า การใช้กำลังไฟฟ้าของหลอดกำเนิดรังสีอินฟราเรด (ช่วง I) ความชื้นที่ลดลงไม่แตกต่างกัน เนื่องจากการอบแห้งที่ใช้กำลังไฟฟ้าของหลอดกำเนิดรังสีอินฟราเรดเท่ากัน ส่วนในช่วงการเป่าด้วยอากาศแวดล้อม (ช่วง II) เป็นช่วงที่ไม่ได้ใส่พลังงานใดๆ ให้กับข้าวเปลือกแต่ความชื้นก็ยังคงลดลงอยู่ เนื่องจากพลังงานความร้อนที่สะสมอยู่ในเมล็ดข้าวเปลือกลดลงมาก (อากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนออกจากข้าวเปลือก) ส่งผลให้ความชื้นที่ผิวของข้าวเปลือกลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาดังกล่าว และเมื่อความชื้นที่ผิวของข้าวเปลือกถูกอากาศแวดล้อมพาออกไป ในขณะที่ความชื้นในเมล็ดข้าวก็จะซึมออกมาที่ผิว

ของเมล็ดข้าวด้วย ทั้งนี้ช่วงการเป่าด้วยอากาศแวดล้อมนั้นจะช่วยในการลดเวลาในการอบแห้งลงอย่างมาก สุดท้ายช่วงที่ใช้อากาศร้อนร้อน (ช่วง III) ความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งถ้าใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิสูง ความชื้นจะยิ่งลดลงเร็วและใช้เวลาน้อย ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการอบแห้งด้วยอินฟราเรดที่กำลังไฟฟ้าของหลอดกำเนิดอินฟราเรดสูงๆ จะทำให้ปริมาณความร้อนในการแผ่รังสีมีค่ามากกว่าการใช้กำลังไฟฟ้าของหลอดกำเนิดรังสีอินฟราเรดต่ำหรือการอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงจะทำให้แรงขับเคลื่อนสำหรับการถ่ายเทความร้อนมีค่ามาก [11] ซึ่งทั้งสองแบบส่งผลให้อัตราการถ่ายเทมวล (ความชื้น) มีค่ามากขึ้น



รูปที่ 3 ผลกระทบของกำลังไฟฟ้าของหลอดกำเนิดรังสีอินฟราเรด การเป่าด้วยอากาศแวดล้อมและอุณหภูมิของลมร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือก สำหรับการอบแห้งแบบ IVHFB

สรุปผล เมื่อพิจารณาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ SEC พบว่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอบแห้งและกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น โดยความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งทั้ง 3 รูปแบบการอบแห้งเมื่อเปรียบเทียบ เมื่อมองด้านพลังงานเป็นหลัก วิธีการอบแห้งที่ดีที่สุดคือการอบแห้งแบบ IFB ที่ 200 W ซึ่งมีค่า SEC ต่ำที่สุดคือ 50 MJ/kg_{water} และเป็นเงื่อนไขที่ประหยัดพลังงานรวมในการอบแห้งมากที่สุด ดังตารางที่ 2 แสดงเวลาและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ตารางที่ 2 เวลาและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

รูปแบบการอบแห้ง	IR Power (W)	T (°C)	Drying Time (min)	E (MJ)	SEC (MJ/kg _{water})
IFB	200	-	240	6.8	49.9
	400		235	7.3	53.6
	600		220	7.7	56.5
HFB	-	80	105	12.1	68.0
		90	85	11.5	64.6
		100	75	11.4	63.1
IVHFB	200	80	180	11.1	63.4
		90	160	11.2	63.0
		100	150	11.0	60.9
	400	80	170	10.9	62.2
		90	160	10.8	60.7
		100	150	10.7	59.2
	600	80	155	9.9	55.7
		90	150	9.8	55.1
		100	140	9.6	53.1

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุและโลหิตศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณรายได้ในการทำวิจัย ในการสร้างเครื่องรวมทั้งวัสดุอุปกรณ์และสถานที่ในการทดลองครั้งนี้ และขอขอบคุณนักศึกษาที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยได้แก่ นายดลนภัส วิชชาวุฒ นายศรายุทธ ปานเถื่อน นายชัยวัฒน์ เปลื้องกลาง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Soponronnarit, S., Yapha, M., Prachayawarakorn, S. 1995. Cross-flow fluidized bed paddy dryer: Prototype and commercialization. *Drying Technology*, 13, pp. 2207–2216.
- [2] Poomsa-ad, N., Soponronnarit, S., Wetchacama, S., Swasdisevi, T. 1999. Managing moist paddy by drying, tempering and ambient air ventilation. *Drying Technology*, 17, pp. 335–344.
- [3] Tirawanichakul, S., Prachayawarakorn, S., Waranyanon, W., Tungtrakul, P., Soponronnarit, S. 2004. Effect of fluidized bed drying temperature on various quality attributes of paddy. *Drying Technology*, 22, pp. 1731–1754.
- [4] Poomsa-ad, N., Terdyothin, A., Prachayawarakorn, S., Soponronnarit, S. 2005. Investigations on head rice yield and operating time in the fluidized-bed drying process: Experiment and simulation *Journal of Stored Products Research*, 41, pp. 387–400.
- [5] Nimmol, C., Devahastin, S. 2010. Evaluation of performance and energy consumption of an impinging stream dryer for paddy, *Applied Thermal Engineering*, 30, pp. 2204–2212.
- [6] Swasdisevi, T., Devahastin, S., Thanasookprasert, S., Soponronnarit, S. 2013. Comparative evaluation of hot-air and superheated-steam impinging stream drying as novel alternatives for paddy drying. *Drying Technology*, 31, pp. 717–725.
- [7] Kudra, T., Mujumdar, A.S., Meltser, V.L. 1995. “Impinging stream dryers”, *Handbook of Industrial Drying*, 2nd ed., Mujumdar, A.S. (Ed.), Marcel Dekker, New York, pp. 539–566.
- [8] Meeso, N., Nathakaranakule, A., Madhiyanon, T., Soponronnarit, S. 2004. Influence of FIR irradiation on paddy moisture reduction and

milling quality after fluidized bed drying. Journal of Food Engineering, 65, pp. 293–301

[9] Mihindukulasuriya, S.D.F., Jayasuriya, H.P.W. 2013. Mathematical modeling of drying characteristics of chilli in hot air oven and fluidizedbed dryers. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 15, pp. 154–166.

[10] Nimmol, C., Sathapornprasath, K., Devahastin, S. 2012. Drying of high-moisture paddy using a combined impinging stream and

pneumatic drying system. Drying Technology, 30, pp. 1854–1862

[11] Nimmol, C., Devahastin, S., Swasdisevi, T., Soponronnarit, S. 2007. Drying and heat transfer behavior of banana undergoing combined low-pressure superheated steam and far-infrared radiation drying. Applied Thermal Engineering, 27, pp. 2483–2494.



ประวัติการศึกษาและการทำงาน



ชื่อ นามสกุล ว่าที่ร้อยโท ณิชฐกิตติ ฤทธิทอง
วัน เดือน ปีเกิด 19 พฤษภาคม 2521
ภูมิลำเนา 81 หมู่ 2 ต.เนินมะกอก อ.พยุหะคีรี จ.นครสวรรค์ 60130

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตตาก	2542
ปริญญาตรี	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ	2544
ปริญญาโท	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2562

ประวัติการทำงาน

บริษัท	ตำแหน่ง	ปีที่ทำงาน
บริษัท ฟุรา จำกัด	ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม	2552 - ปัจจุบัน
บริษัท อีทีเอช เอ็นจิเนียริง (ประเทศไทย) จำกัด	กรรมการผู้จัดการ	2555 - 2562
บริษัท สีดเดอร์พีซีซีเอ็น กรุ๊ป จำกัด	วิศวกรฝ่ายขาย	2555 - 2557
บริษัท เควายบี สเตียร์ริง (ประเทศไทย) จำกัด	ผู้ช่วยผู้จัดการฝ่าย QC/QA	2548 - 2555
บริษัท วาลโบร (ประเทศไทย) จำกัด	หัวหน้าฝ่าย QC	2547 - 2548
โรงเรียนเทคโนโลยีภาคตะวันออก (อี.เทค.)	อาจารย์ประจำแผนกช่างยนต์	2544 - 2547