

การศึกษาความเป็นไปได้ในการจ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนสู่ระบบด้วยระบบ
พลังงานแสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับระบบแสงสว่างไฟถนน

FEASIBILITY STUDY OF GENERATION OF ELECTRIC POWER TO THE GRID
USING SOLAR ENERGY CONNECTED TO THE ROADWAY LIGHTING
SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-M-020-136

การศึกษาความเป็นไปได้ในการจ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนสู่ระบบด้วยระบบ
พลังงานแสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับระบบแสงสว่างไฟถนน

FEASIBILITY STUDY OF GENERATION OF ELECTRIC POWER TO THE GRID
USING SOLAR ENERGY CONNECTED TO THE ROADWAY LIGHTING
SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2559
KMITL-2016-EN-M-020-136

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FEASIBILITY STUDY OF GENERATION OF ELECTRIC POWER TO THE GRID
USING SOLAR ENERGY CONNECTED TO THE ROADWAY LIGHTING
SYSTEM



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016
KMITL-2016-EN-M-020-136

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาความเป็นไปได้ในการจ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนสู่ระบบด้วยระบบพลังงาน
แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับระบบแสงสว่างไฟถนน
Thesis Title Feasibility Study of Generation of Electric Power to the Grid Using Solar
Energy Connected to the Roadway Lighting System
นักศึกษา นายสันฐิติ อยู่มาก
รหัสประจำตัว 57601109
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.อรรถพล เเง่พิทักษ์กุล
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-M-020-136

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.วรุตม์	สุอำพัน	
ผศ.ดร.ชัยยันต์	เจตนาเสน	
ผศ.ดร.ปฐมทัศน์	จิระเดชะ	
ผศ.ดร.นิรุช	จิรสวรรณกุล	
รศ.ดร.อรรถพล	เเง่พิทักษ์กุล	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 5 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 เวลา 08.00-10.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ ห้อง HM-301

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วันที่ 5 กรกฎาคม พ.ศ. 2559

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาความเป็นไปได้ในการจ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนสู่ระบบด้วยระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับระบบแสงสว่างไฟถนน
นักศึกษา	นายสันฐิติ อยู่มาก
รหัสประจำตัว	57601109
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ. ดร.อรรถพล เก้าพิทักษ์กุล

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแสงสว่างไฟถนน โดยทำการศึกษาคุณภาพแสงสว่างไฟถนนระหว่างการใช้โคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงและโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง ด้วยการจำลองระบบแสงสว่างไฟถนนจากโปรแกรม DIALux ในลำดับต่อมาทำการศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าจากการใช้งานโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงและโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ชุดทดลองถูกสร้างแบบเพื่อใช้ตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าของระบบแสงสว่างไฟถนนทั้งหมด 3 กรณีศึกษา จากนั้นนำเสนอความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์กับระบบแสงสว่างไฟถนนแบบเก่า ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ถูกออกแบบให้มีการกระจายแสงที่เหมาะสมสามารถเพิ่มค่าความสว่างเฉลี่ย ค่าความสม่ำเสมอแสงและช่วยลดค่าแสงจ้าแยงตาได้ จึงมีความเป็นไปได้ในการนำโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงขนาด 120 วัตต์ มาใช้แทนโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงขนาด 250 วัตต์ ผลการการศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าจากการใช้โคมทั้ง 2 ชนิด ร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ พบว่าการใช้โคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงร่วมกับระบบแสงอาทิตย์มีคุณภาพไฟฟ้าดีกว่าโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง เช่น มีค่ากระแสฮาร์มอนิกต่ำ ค่าตัวประกอบกำลังสูงและมีพลังงานสูญเสียภายในโคมไฟถนนต่ำ จากการศึกษาผลกระทบการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เข้าสู่ระบบจำหน่าย พบว่าระบบสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่ายผ่านเครื่องแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาดพิกัดเล็ก (ไมโครอินเวอร์เตอร์) ได้ในทุกช่วงของค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ แต่ในช่วงเวลาที่มีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์น้อย (ช่วงเวลาเช้าและเย็น) คุณภาพไฟฟ้ามีค่าต่ำลง จากการศึกษาทางเศรษฐศาสตร์พบว่าระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง สามารถให้ระยะเวลาคืนทุนและผลตอบแทนภายในดีกว่า เนื่องจากประสิทธิภาพของโคมไฟถนนและการประหยัดพลังงาน

Thesis Title	Feasibility Study of Generation of Electric Power to the Grid using Solar Energy Connected to the Roadway Lighting System
Student	Mr. Suntiti Yoomak
Student ID.	57601109
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2016
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Atthapol Ngaopitakkul

ABSTRACT

The aim of this thesis is to study the performance of High-Pressure Sodium (HPS) and Light-Emitting Diode (LED) in roadway lighting system, and their integration with solar panel systems. First, lighting quality of both types of luminaires is compared by roadway lighting simulation using the DIALux program. Next, when photovoltaic panels are integrated into both roadway lighting system, their power quality is investigated and analyzed. An experimental setup is built and tested to measure the power quality values of the roadway lighting systems. Moreover, the economic feasibility comparison between a conventional roadway lighting system and the systems using solar power is performed. The simulation results show that an optimal light distribution of an LED luminaire can increase average luminance values, uniformity values and provide low levels of discomfort glare values, so there is a possibility to replace a 250-watt HPS luminaire with a 120-watt LED luminaire. Then, the experimental results concerning power quality from using both luminaires with integrated solar panel systems reveal that the use of an LED luminaire in a solar power system can provide more power quality than an HPS luminaire, for example low current harmonic distortion, high power factor and low power loss in luminaire. For the study of power quality of the grid-connected solar street lighting system, the system can successfully generate electricity from the solar panel to the electrical grid through a micro-inverter for any solar irradiance conditions. However, when solar irradiance levels are poor (periods in the morning and evening), the power quality will drop. Finally, by considering the economic feasibility, the using of LED luminaires in solar power roadway lighting systems can give a shorter discounted payback period and higher internal rate of return than using HPS luminaires due to efficiency and energy saving of the luminaires.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้อย่างด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก รองศาสตราจารย์ ดร.อรรถพล เก่าพิทักษ์กุล ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ คำแนะนำปรึกษาตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัย ตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ และสถานที่ตลอดการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

สุดท้ายขอกราบเท้า คุณพ่อ สว่าง อยู่มาก และคุณแม่ เตือนใจ อยู่มาก ผู้เป็นพรหมของลูกที่ให้ กำเนิดชีวิต มอบ อดีต ปัจจุบัน และอนาคตให้กับผู้วิจัย ตลอดชีวิตที่ผ่านมาท่านทั้งสอง อบรม สั่งสอน และให้กำลังใจในการต่อสู้กับชีวิต รวมถึงทุกคนในครอบครัวสำหรับความช่วยเหลือและกำลังใจที่มี ให้กับผู้วิจัยตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สัจจิติ อยู่มาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตั้งชื่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	11
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	11
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	12
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	13
1.6 ข้อตกลงเบื้องต้นของการศึกษา.....	13
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	13
บทที่ 2 ระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์.....	15
2.1 ระบบแสงสว่างไฟถนน.....	15
2.2 การพิจารณาออกแบบระบบแสงสว่างไฟถนน.....	16
2.2.1 รูปแบบของการติดตั้งเสาไฟถนน.....	18
2.3 เกณฑ์การส่องสว่างในการออกแบบระบบไฟถนน.....	21
2.3.1 ประเภทของถนนและทางเดิน (Roads and Walkway Classifications).....	21
2.3.2 การเลือกระดับชั้นการส่องสว่างสำหรับถนนในประเทศไทย.....	22
2.3.3 เกณฑ์มาตรฐานการส่องสว่างสำหรับระบบไฟถนนในประเทศไทย.....	23
2.4 ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบอิสระ.....	25
2.5 ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบรรยากาศ.....	27
2.6 ข้อกำหนดการเชื่อมต่อบรรยากาศไฟฟ้า [64-65].....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.1 การควบคุมคุณภาพไฟฟ้า	29
2.7 ระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์.....	32
2.7.1 ระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ.....	33
2.7.2 ระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย.....	34
บทที่ 3 การศึกษาคุณภาพแสงสว่างของระบบแสงสว่างไฟถนน	36
3.1 การจำลองระบบแสงสว่างไฟถนน	36
3.1.1 ประเภทของถนน	36
3.1.1.1 การติดตั้งเสาไฟถนนชนิดไม่มีเกาะกลาง	36
3.1.1.2 การติดตั้งเสาไฟถนนชนิดมีเกาะกลาง.....	38
3.1.2 ลักษณะของเสาไฟถนน.....	40
3.2 การจำลองเปรียบเทียบคุณภาพแสงสว่างไฟถนน	43
3.2.1 ในกรณีถนนไม่มีเกาะกลาง.....	43
3.2.2 ในกรณีถนนมีเกาะกลาง.....	51
บทที่ 4 ระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์.....	60
4.1 ชุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนน.....	60
4.1.1 ผลทดลองการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าจากชุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนน	61
4.1.1.1 ผลการทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง.....	62
4.1.1.2 ผลการทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง	67
4.2 ชุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ	73
4.2.1 ผลทดลองการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าจากชุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ	76
4.2.1.1 ผลการทดลองประจูปะเตอรี่ยุคด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์	77
4.2.1.2 ผลการทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบอิสระ	81
4.2.1.3 ผลการทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบอิสระ.....	87
4.3 ระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย.....	93

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.1 ผลทดลองการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าจากชุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบนระบบจำหน่าย	96
4.4 การพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์ในระบบแสงสว่างไฟถนน	113
บทที่ 5 บทสรุป	125
5.1 การจำลองระบบแสงสว่างไฟถนน	125
5.2 การศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า	125
5.2.1 ระบบแสงสว่างไฟถนน	125
5.2.2 ระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ	126
5.2.3 ระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบนระบบจำหน่าย	127
5.3 การพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์	129
5.4 สิ่งที่ต้องพัฒนาต่อไป	131
เอกสารอ้างอิง	132
ภาคผนวก	139
ภาคผนวก ก	140
ภาคผนวก ข	150
ภาคผนวก ค	155
ภาคผนวก ง	162
ภาคผนวก จ	175
ประวัติผู้เขียน	188

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตัดอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงระดับชั้นของการส่องสว่างสำหรับถนนประเภทต่าง ๆ ของประเทศไทย	23
2.2 แสดงเกณฑ์การส่องสว่างไฟถนนของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบท.....	24
2.3 แสดงข้อกำหนดการส่องสว่างสำหรับการจราจรด้วยรถยนต์บนพื้นฐานทางความส่องสว่าง.....	25
2.4 แสดงมาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของการเชื่อมต่อระบบจำหน่าย.....	30
2.5 แสดงขีดจำกัดความผิดพลาดของแรงดันที่เกิดจากฮาร์มอนิกสำหรับเชื่อมต่อระบบ.....	31
2.6 แสดงขีดจำกัดความผิดพลาดของกระแสที่เกิดจากฮาร์มอนิกสำหรับเชื่อมต่อระบบ.....	32
3.1 แสดงรูปแบบการจำลองระบบแสงสว่างไฟถนนในกรณีถนนไม่มีเกาะกลาง.....	44
3.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าคุณภาพแสงสว่างไฟถนนในกรณีถนนไม่มีเกาะกลาง	45
3.3 แสดงการเปรียบเทียบคุณภาพแสงสว่างไฟถนนกับมาตรฐานการส่องสว่างในกรณีถนนไม่มี เกาะกลาง.....	46
3.4 แสดงรูปแบบการจำลองเพื่อศึกษาคุณภาพแสงสว่างของโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงในกรณี ถนนมีเกาะกลาง.....	52
3.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าคุณภาพแสงสว่างไฟถนนในกรณีถนนมีเกาะกลาง	53
3.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าคุณภาพแสงสว่างไฟถนนกับมาตรฐานการส่องสว่างในกรณีถนนมี เกาะกลาง.....	54
4.1 แสดงคุณภาพไฟฟ้าจากการใช้งานโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง 250 วัตต์.....	62
4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์มอนิกของโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงกับ มาตรฐาน IEC 61000-3-2 Class C.....	62
4.3 แสดงคุณภาพไฟฟ้าจากการใช้งานโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง 120 วัตต์	68
4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์มอนิกของโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงกับมาตรฐาน IEC 61000-3-2 Class C.....	68
4.5 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในเดือนเมษายน.....	77
4.6 แสดงคุณภาพไฟฟ้าจากการใช้งานโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงร่วมกับระบบ แสงอาทิตย์แบบอิสระ	81
4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์มอนิกของโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันสูงในระบบ แสงอาทิตย์แบบอิสระกับมาตรฐาน IEC 61000-3-2 Class C.....	81
4.8 แสดงคุณภาพไฟฟ้าจากการใช้งานโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง 120 วัตต์ ร่วมกับระบบ แสงอาทิตย์แบบอิสระ	87
4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์มอนิกของโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงในระบบ แสงอาทิตย์แบบอิสระกับมาตรฐาน IEC 61000-3-2 Class C.....	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และดัดแปลงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.10 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายในเดือน เมษายน	98
4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์มอนิกกับมาตรฐานการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายการไฟฟ้า ในกรณีที่ 1	106
4.12 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดันฮาร์มอนิกกับมาตรฐานการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายการไฟฟ้า ในกรณีที่ 1	107
4.13 แสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์มอนิกกับมาตรฐานการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายการไฟฟ้า ในกรณีที่ 2	108
4.14 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดันฮาร์มอนิกกับมาตรฐานการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายการไฟฟ้า ในกรณีที่ 2	109
4.15 แสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์มอนิกกับมาตรฐานการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายการไฟฟ้า ในกรณีที่ 3	111
4.16 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดันฮาร์มอนิกกับมาตรฐานการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายการไฟฟ้า ในกรณีที่ 3	112
4.17 แสดงรายละเอียดต้นทุนการติดตั้งระบบแสงสว่างไฟถนนกับระบบเซลล์สุริยะ	115
4.18 แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์และต้นทุนในการติดตั้งระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียม ความดันไอสูงร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	116
4.19 แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์และต้นทุนในการติดตั้งระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไอโอด เปล่งแสงร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	118
4.20 แสดงการเปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง ร่วมกับระบบแสงอาทิตย์ในระยะทาง 1 กิโลเมตร	121
4.21 แสดงการเปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงร่วมกับ ระบบแสงอาทิตย์ในระยะทาง 1 กิโลเมตร	122
ก.1 แสดงมาตรฐานระดับการสะท้อนแสงของผิวถนนทั้งในสภาวะผิวถนนแห้ง (R) และ	141
ก.2 แสดงค่าคุณภาพแสงสว่างในการใช้งานบนพื้นผิวถนนแห้ง กรณีถนนไม่มีเกาะกลาง	142
ก.3 แสดงค่าคุณภาพแสงสว่างในการใช้งานบนพื้นผิวถนนเปียก กรณีถนนไม่มีเกาะกลาง	144
ก.4 แสดงค่าคุณภาพแสงสว่างในการใช้งานบนพื้นผิวถนนแห้ง กรณีถนนมีเกาะกลาง	146
ก.5 แสดงค่าคุณภาพแสงสว่างในการใช้งานบนพื้นผิวถนนเปียก กรณีถนนมีเกาะกลาง	148
ข.1 แสดงค่าคุณภาพแสงสว่างจากการปรับความสูงเสาไฟถนน ในกรณีถนนไม่มีเกาะกลาง	151

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.2 แสดงค่าคุณภาพแสงสว่างจากการปรับระยะห่างระหว่างเสาไฟถนน ในกรณีถนนไม่มีเกาะกลาง	152
ข.3 แสดงค่าคุณภาพแสงสว่างจากการปรับความสูงเสาไฟถนน ในกรณีถนนมีเกาะกลาง	153
ข.4 แสดงค่าคุณภาพแสงสว่างจากการปรับระยะห่างระหว่างเสาไฟถนน ในกรณีถนนมีเกาะกลาง	154
ง.1 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในเดือน	163
ง.2 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในเดือน	164
ง.3 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในเดือน	165
ง.4 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในเดือน	166
ง.5 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในเดือน	167
ง.6 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในเดือน	168
ง.7 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในเดือน	169
ง.8 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในเดือน	170
ง.9 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในเดือน	171
ง.10 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในเดือน	172
ง.11 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในเดือน	173
ง.12 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในเดือน	174
จ.1 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายในเดือน มกราคม	176
จ.2 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายในเดือน กุมภาพันธ์	177
จ.3 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายในเดือน มีนาคม	178
จ.4 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายในเดือน เมษายน	179
จ.5 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายในเดือน พฤษภาคม	180
จ.6 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายในเดือน มิถุนายน	181
จ.7 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายในเดือน กรกฎาคม	182

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และดัดแปลงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
จ.8 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายในเดือน สิงหาคม	183
จ.9 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายในเดือน กันยายน.....	184
จ.10 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายในเดือน ตุลาคม	185
จ.11 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายในเดือน พฤศจิกายน.....	186
จ.12 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายในเดือน ธันวาคม	187



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงองค์ประกอบของการติดตั้งเสาไฟถนน	17
2.2 การติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านเดียว.....	18
2.3 การติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านตรงข้ามสลับ.....	19
2.4 การติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านตรงข้าม.....	20
2.5 การติดตั้งเสาไฟถนนแบบเสาเดี่ยวกึ่งคูบนเกาะกลางถนน	20
2.6 การติดตั้งเสาไฟถนนแบบเสาคู่กึ่งเดี่ยวบนเกาะกลางถนน	21
2.7 องค์ประกอบพื้นฐานการทำงานของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบอิสระ	27
2.8 องค์ประกอบพื้นฐานการทำงานของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย.....	29
2.9 แสดงส่วนประกอบของระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ	34
2.10 แสดงส่วนประกอบของระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย	35
3.1 รูปแบบถนนไม่มีเกาะกลาง	37
3.2 แสดงรูปแบบของถนนชนิดไม่มีเกาะกลางและลักษณะการติดตั้งเสาไฟถนน	37
3.3 รูปแบบถนนมีเกาะกลาง	38
3.4 แสดงรูปแบบของถนนชนิดมีเกาะกลางและลักษณะการติดตั้งเสาไฟถนน	39
3.5 แสดงลักษณะองค์ประกอบของเสาไฟถนน	40
3.6 แสดงลักษณะการกระจายแสง (Polar curves) ของโคมไฟถนน	42
4.1 ระบบแสงสว่างไฟถนน.....	61
4.2 แสดงรูปคลื่นไซน์ของโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง.....	63
4.3 แสดงพฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าจากการใช้งานโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง	66
4.4 แสดงรูปคลื่นไซน์ของโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง	69
4.5 แสดงพฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าจากการใช้งานโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง	72
4.6 การทำงานของระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ	74
4.7 ระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ	75
4.8 แสดงพฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าจากแผงเซลล์สุริยะ.....	78
4.9 แสดงพฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าจากแบตเตอรี่.....	79
4.10 แสดงรูปคลื่นไซน์ของโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงร่วมกับระบบแสงอาทิตย์แบบอิสระ.....	82

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 แสดงพฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าจากโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงร่วมกับระบบ แสงอาทิตย์แบบอิสระ	86
4.12 แสดงรูปคลื่นไซน์ของโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงร่วมกับระบบแสงอาทิตย์แบบอิสระ ...	88
4.13 แสดงพฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าจากโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงร่วมกับระบบแสงอาทิตย์ แบบอิสระ	91
4.14 การทำงานของระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย	93
4.15 ระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย	95
4.16 แสดงพฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าจากแผงเซลล์สุริยะในเดือนเมษายน	99
4.17 แสดงพฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายในเดือนเมษายน	102
5.1 แสดงการเปรียบเทียบกระแสฮาร์มอนิกจากระบบแสงสว่างไฟถนนกับมาตรฐาน IEC 61000-3-2 Class C.....	126
5.2 แสดงการเปรียบเทียบกระแสฮาร์มอนิกจากระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ กับมาตรฐาน IEC 61000-3-2 Class C.....	127
5.3 แสดงการเปรียบเทียบฮาร์มอนิกรวมในแต่ละช่วงเวลาเทียบกับมาตรฐานการเชื่อมโครงข่ายไฟฟ้า ในเดือนเมษายน.....	128
5.4 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนแบบคิดลดของระบบแสงสว่างไฟถนนในกรณีต่าง ๆ...	130
5.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าผลตอบแทนภายในของระบบแสงสว่างไฟถนนในกรณีต่าง ๆ	130
ค.1 กราฟคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดกำลัง 250 วัตต์.....	156
ค.2 แสดงลักษณะกราฟความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนมกราคม.....	157
ค.3 แสดงลักษณะกราฟความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนกุมภาพันธ์.....	157
ค.4 แสดงลักษณะกราฟความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนมีนาคม.....	158
ค.5 แสดงลักษณะกราฟความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนเมษายน	158
ค.6 แสดงลักษณะกราฟความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนพฤษภาคม	158
ค.7 แสดงลักษณะกราฟความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนมิถุนายน	159
ค.8 แสดงลักษณะกราฟความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนกรกฎาคม	159
ค.9 แสดงลักษณะกราฟความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนสิงหาคม.....	159
ค.10 แสดงลักษณะกราฟความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนกันยายน	160
ค.11 แสดงลักษณะกราฟความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนตุลาคม.....	160
ค.12 แสดงลักษณะกราฟความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนพฤศจิกายน	160
ค.13 แสดงลักษณะกราฟความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนธันวาคม.....	161

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

จากการเติบโตทางเศรษฐกิจ ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี การขยายตัวของระบบขนส่ง ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงทางกระแสนิยมในการดำเนินชีวิตมนุษย์ที่สะดวกสบายขึ้น ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ล้วนส่งผลกระทบต่ออัตราการบริโภคพลังงานที่เพิ่มขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามพลังงานส่วนใหญ่ผลิตมาจากธรรมชาติ ที่เกิดจากการทับถมกันของซากพืชซากสัตว์ ต้องใช้เวลาสะสมนับหลายล้านปี ในปัจจุบันพลังงานฟอสซิลถูกนำมาใช้ในจำนวนมาก จนทำให้แหล่งพลังงานจากธรรมชาติลดเหลือน้อยลง ส่งผลให้ราคาต้นทุนทางพลังงานมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

ด้วยเหตุนี้เอง โลกกำลังเผชิญกับปัญหาทางพลังงานอยู่ 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ปัญหาการขาดแคลนแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลและความคิดในการวางรากฐานเพื่อเพิ่มความมั่นคงทางพลังงาน ซึ่งมนุษย์ต้องการพลังงานจากน้ำมันเพิ่มมากขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามโลกมีแหล่งพลังงานอยู่อย่างจำกัดเนื่องจากในหลาย ๆ ประเทศมีความต้องการใช้พลังงานน้ำมันเพิ่มมากขึ้น โดยมีสาเหตุจากการขยายตัวทางอุตสาหกรรม อย่างเช่น ในประเทศอินเดียและประเทศจีน ด้วยสถานะเช่นนี้ส่งผลให้พลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดถูกใช้จนหมดสิ้นลง โดยทั่วไปแหล่งพลังงานถูกพบในบริเวณที่มีลักษณะเฉพาะ จึงส่งผลให้ต้นทุนทางพลังงานในแต่ละประเทศมีราคาแตกต่างกัน จากที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าความต้องการพลังงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและจำเป็นต้องค้นหาพลังงานทางเลือกใหม่ที่ไม่ขึ้นอยู่กับราคาน้ำมัน ดังนั้นเทคโนโลยีของพลังงานทดแทนอย่างเช่นพลังงานลม พลังงานจากแสงอาทิตย์จึงถูกสนับสนุนและผลักดันใช้งานกันอย่างกว้างขวาง พลังงานทดแทนจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในการแก้ไขปัญหาทางพลังงานและช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

สำหรับในประเทศไทย ถือว่าเป็นอีกประเทศหนึ่งที่มีขีดจำกัดในเรื่องของต้นทุนแหล่งพลังงาน เนื่องจากเป็นประเทศที่มีแหล่งพลังงานจากธรรมชาติน้อย ไม่เพียงพอต่อความต้องการบริโภคภายในประเทศ จึงต้องนำเข้าพลังงานส่วนใหญ่จากต่างประเทศ โดยสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) เปิดเผยสถานการณ์การใช้พลังงานในปี 2558 ว่าเศรษฐกิจไทยมีแนวโน้มขยายตัวในช่วงร้อยละ 2.7 – 3.2 ส่งผลให้มีการใช้พลังงานรวมทั้งประเทศเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.4 แต่การผลิตในประเทศลดลงร้อยละ 1.1 ส่งผลให้ต้องนำเข้าพลังงานสูงขึ้นร้อยละ 8.6 [1] เป็นเหตุให้ประเทศไทยต้องสูญเสียรายได้จำนวนมากต่อปีในการจัดสรรพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการ ส่งผลให้ประเทศมีการพัฒนาตัวช้า เศรษฐกิจของประเทศไม่มั่นคงเนื่องจากผลกระทบของความผันผวนในราคาพลังงานเชื้อเพลิงที่แปรเปลี่ยนตามกลไกของตลาดโลก

สืบเนื่องมาจากปัญหาดังกล่าว สำหรับประเทศไทย พลังงานที่สามารถใช้งานส่วนใหญ่ก็คือ พลังงานธรรมชาติจากน้ำและแสงอาทิตย์ แต่ในปัจจุบันพลังงานน้ำได้มีการจัดสร้างและสนับสนุนให้มีการใช้งานกันอยู่แล้ว และอีกอย่างข้อเสียของพลังงานน้ำก็คือการก่อสร้างเขื่อนขนาดใหญ่ในประเทศไทยถูกจำกัด เนื่องจากอ่างเก็บน้ำของเขื่อนขนาดใหญ่ทำให้เกิดน้ำท่วมบริเวณกว้าง ส่งผลกระทบต่อบ้านเรือนประชาชนในพื้นที่ใกล้เคียง และจากกรณีของเขื่อนภูมิพลพบว่าในปัจจุบันป่าต้นน้ำบริเวณลุ่มน้ำปิงถูกทำลายไปมาก เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากรที่อยู่บนพื้นที่ต้นน้ำขาดความตระหนักว่าการแผ้วถางป่าเมื่อปลูกข้าวและพืชไร่เพื่อทำมาหากินเลี้ยงครอบครัวทำให้น้ำไหลลงเขื่อนน้อยลง ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลกระทบท่อปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้า [2]

ดังนั้นพลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์จึงถูกให้ความสำคัญและมีการสนับสนุนเพิ่มสัดส่วนให้เพียงพอต่อความต้องการ จากการสำรวจข้อมูลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [3] ชี้ให้เห็นว่าในประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีศักยภาพความพร้อมทางพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากมีค่าความเข้มของแสงแดดเฉลี่ยสูง จึงมีความเหมาะสมในการลงทุนติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ถึงแม้ว่าในอดีตอาจเห็นได้ว่าพลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์ไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายนัก เนื่องจากประสิทธิภาพของแผงเซลล์สุริยะ (Solar cell) ที่ใช้ในการเปลี่ยนแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้ามีประสิทธิภาพต่ำ ไม่คุ้มค่ากับการลงทุนเมื่อเทียบกับพลังงานทดแทนในรูปแบบอื่น ๆ แต่ปัจจุบันมีเทคโนโลยีและงานวิจัยต่าง ๆ มากมายเข้ามาช่วยในการศึกษาพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์จนสามารถนำมาใช้งานให้เกิดประโยชน์ได้ บวกกับทางภาครัฐยังมีนโยบายสนับสนุนส่งเสริมให้มีการติดตั้งพลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์ จึงมีการนำพลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์ใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้ากันอย่างแพร่หลาย และอีกข้อดีอย่างหนึ่งของพลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์คือเป็นพลังงานที่สะอาดเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าการใช้พลังงานจากฟอสซิล และยังช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นสาเหตุสำคัญของสภาวะโลกร้อน [4] ปัจจุบันทางภาครัฐมีการรณรงค์ให้มีการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์บนหลังคาเรือน (Solar roof top) เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าใช้เองภายในบ้าน หรืออีกแนวทางหนึ่งคือการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อขายคืนระบบจำหน่าย การขายพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแสงอาทิตย์ให้การไฟฟ้าในรูปแบบ (feed in tariff) มีทั้งรูปแบบการติดตั้งบนหลังคาและติดตั้งบนพื้นที่ขนาดใหญ่ (Solar farm) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) มีนโยบายส่งเสริมการใช้เซลล์สุริยะผลิตไฟฟ้า โดยเผยแพร่และถ่ายทอดองค์ความรู้ในเรื่องเทคนิคการประยุกต์ใช้งานเซลล์สุริยะอย่างเป็นระบบและครบวงจร ในลักษณะของการพัฒนาหลักสูตรการฝึกอบรมสำหรับผู้ให้การอบรม (train-the-trainer) โดยร่วมมือกับหน่วยงานระดับสากลที่มีองค์ความรู้และประสบการณ์การดำเนินงานในเรื่องดังกล่าว เพื่อเป็นต้นแบบหลักสูตรสำหรับการพัฒนาบุคลากรด้านเซลล์สุริยะ ในประเทศไทยต่อไป และยังมี การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์สุริยะให้แก่หน่วยงานในพื้นที่ชนบทห่างไกลที่ไม่มีไฟฟ้าเข้าถึง เช่น โรงเรียนชนบท ศูนย์การเรียนรู้ชุมชน พื้นที่เขตป่าสงวนแห่งชาติ โครงการในพื้นที่พระราชดำริ เป็นต้น [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจากที่กล่าวมาข้างต้นพลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์เป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ไขปัญหาทางด้านพลังงานของประเทศไทย แต่พลังงานทดแทนยังมีประสิทธิภาพน้อยกว่าการใช้พลังงานจากฟอสซิลและยังไม่สามารถทดแทนพลังงานหลักได้ทั้งหมด ดังนั้นการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าจึงมีบทบาทสำคัญและเป็นแนวทางที่เฝ้าระวังกันเพื่อให้บรรลุผลสำเร็จในการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและรู้คุณค่ามากที่สุด

จากรายงานสถิติการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยของกระทรวงพลังงานแสดงให้เห็นว่าภายในปี พ.ศ.2558 ที่ผ่านมามีการใช้พลังงานไฟฟ้า 168,620 ล้านหน่วย ซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดิมในปีที่แล้ว 4,380 ล้านหน่วย คิดเป็นร้อยละ 2.6 ของพลังงานทั้งหมด เนื่องจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจและการเติบโตของอุตสาหกรรม จึงทำให้ประเทศไทยมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นในทุกปี ซึ่งในจำนวนพลังงานทั้งหมดนี้ มีประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ที่ต้องจ่ายให้กับระบบแสงสว่างไฟถนนหรือระบบไฟสาธารณะ [6]

จากการที่ประเทศไทยมีระบบไฟถนนติดตั้งใช้งานอยู่ทั่วประเทศ สิ่งหนึ่งที่ตามมาคือภาระทางพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบแสงสว่างไฟถนน โดยทั่วไปแล้วระบบแสงสว่างไฟถนนมีหน้าที่และความสำคัญต่อการใช้รถใช้ถนนเป็นอย่างมาก ในมุมมองของผู้ขับขี่ระบบแสงสว่างไฟถนนที่ดีต้องประกอบไปด้วยคุณสมบัติในการเพิ่มประสิทธิภาพการมองเห็นและความสะดวกสบายในการมองเห็นของผู้ขับขี่และยังช่วยให้ผู้ขับขี่เกิดการตื่นตัว เนื่องจากสาเหตุหลักของการเกิดอุบัติเหตุบนท้องถนนในช่วงเวลากลางคืน เกิดมาจากอาการง่วงหรือหลับใหลในขณะขับรถ ดังนั้นการออกแบบระบบแสงสว่างที่ดีสามารถช่วยให้ผู้ขับขี่เกิดการตื่นตัวเพื่อช่วยลดอุบัติเหตุซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการขับขี่ช่วงเวลากลางคืนได้อีกด้วย มีการศึกษาจากในหลาย ๆ ประเทศที่แสดงให้เห็นว่าระบบแสงสว่างไฟถนนสามารถลดจำนวนการเกิดอุบัติเหตุได้มากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ [7-9] และอีกประการหนึ่งที่สำคัญของระบบแสงสว่างไฟถนนคือช่วยผู้ขับขี่สามารถรับรู้ข้อมูลข่าวสารได้อย่างครบถ้วนในขณะขับขี่ช่วงเวลากลางคืน โดยเฉพาะเมื่อผู้ขับขี่ต้องขับรถเป็นระยะเวลานาน ผู้ขับขี่ต้องรู้สึกถึงความสบายของการมองเห็นทัศนียภาพโดยรอบ ไม่ก่อให้เกิดความเหนื่อยล้าของดวงตาจากการขับขี่

แต่เนื่องจากการใช้งานระบบแสงสว่างไฟถนนมากขึ้น พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบแสงสว่างไฟถนนนั้นถือว่าเป็นส่วนเดียวกันกับระบบไฟสาธารณะ เนื่องจากไม่ก่อให้เกิดรายได้กลับคืนมา ดังนั้นการบริการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบแสงสว่างไฟถนนจึงเป็นความรับผิดชอบหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจากการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแบ่งตามเขตพื้นที่ของการรับผิดชอบ ด้วยเหตุนี้การไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจึงเป็นผู้แบกรับค่าใช้จ่ายจำนวนมาก จากรายงานงบประมาณปี 2557 แสดงให้เห็นว่าการไฟฟ้านครหลวงต้องจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบไฟสาธารณะ 1 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานทั้งหมด คิดเป็นจำนวนเงิน 1,350 ล้านบาทต่อปี และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคซึ่งมีพื้นที่ในการรับผิดชอบให้บริการจำหน่ายไฟฟ้าครอบคลุมเกือบทั้งประเทศไทย ต้องมีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบไฟสาธารณะ 24.7 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นจำนวนเงิน 87,000 ล้านบาทต่อปี ซึ่งถือได้ว่าประเทศไทยต้องเสียรายได้เป็นจำนวนมากในแต่ละปี [10-11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับระบบแสงสว่างไฟถนนของประเทศไทย โดยทั่วไปจะมีการติดตั้งใช้งานโคมไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันไอสูง (High Pressure Sodium lamps, HPS) มีลักษณะให้แสงสว่างสีเหลือง มีคุณภาพแสงสว่างสูง (ลูเมนต่อวัตต์) ทำให้เป็นที่นิยมในการติดตั้งบนถนนที่ต้องการค่าความส่องสว่างมาก ๆ เช่น ถนนสายหลัก ถนนทางด่วนและถนนมอเตอร์เวย์ของประเทศไทย ส่วนโคมไฟถนนอีกชนิดหนึ่งที่เป็นที่นิยมคือโคมไฟถนนชนิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent lamps, CFL) ส่วนมากนิยมติดตั้งในบริเวณแหล่งชุมชน ที่พักอาศัย เนื่องจากมีลักษณะเป็นแสงสีขาวและมีค่าความถูกต้องของสีสูง (Colour rendering index, Ra) แต่ในช่วงเวลาที่ผ่านมาระบบแสงสว่างไฟถนนของประเทศไทยกำลังถูกแทนที่ด้วยระบบแสงสว่างจากอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ที่เรียกว่าหลอดไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode lamps, LED) มีข้อดีคือมีประสิทธิภาพแสงสว่างสูง ประหยัดพลังงาน มีอายุการใช้งานยืนยาว สามารถปรับเพิ่มคุณภาพของแสงสว่างหรือสเปกตรัมของแสงได้ ตัวอุปกรณ์ให้แสงสว่างมีขนาดเล็กและสามารถควบคุมการกระจายตัวของลำแสงได้ดี ด้วยเหตุนี้ประเทศไทยจึงมีการรณรงค์ให้เปลี่ยนหลอดไฟฟ้าแบบเดิมมาเป็นหลอดไดโอดเปล่งแสง นายอารีพงศ์ ภู่ชอุ่ม ปลัดกระทรวงพลังงานกล่าวว่า นโยบายที่น่าจับตามองในขณะนี้คือการเปลี่ยนมาใช้หลอดไดโอดเปล่งแสง ซึ่งสามารถประหยัดไฟฟ้าได้มากกว่าหลอดไฟชนิดอื่น และช่วยลดการใช้ไฟฟ้าได้ร้อยละ 40-85 เมื่อเทียบกับหลอดไฟทั่วไป จากโครงการที่ผ่านมาคือการเปลี่ยนหลอดไดโอดเปล่งแสงของหน่วยงานราชการและติดตั้งโคมไฟถนนประหยัดพลังงานชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงจำนวน 445,783 โคม ด้วยงบประมาณประมาณ 8,760 ล้านบาท คาดว่าจะลดการใช้พลังงานไม่น้อยกว่า 400 ล้านหน่วยต่อปี คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ไม่น้อยกว่า 980 ล้านบาทต่อปี [12]

ด้วยเหตุนี้ทางการไฟฟ้าภูมิภาค (กฟภ.) จึงทำโครงการ “PEA Road to LED” มุ่งสู่ความเป็นผู้นำการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพด้วยเทคโนโลยีหลอดไดโอดเปล่งแสง ในทุกภาคส่วนทั้งภาครัฐ ภาคสาธารณะ ภาคอุตสาหกรรม ผ่านโครงการบริหารจัดการเพื่อการประหยัดพลังงานต่างๆ [13] สำหรับการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) มีโครงการวิจัยและทดลองติดตั้งโคมไฟฟ้าสาธารณะด้วยหลอดไดโอดเปล่งแสง ในเขตกรุงเทพมหานครฯ โดยการทดลองติดตั้งโคมไฟฟ้าสาธารณะชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงแทนโคมไฟฟ้าสาธารณะชนิดหลอดโซเดียมความดันไอสูง 250 วัตต์ และศึกษาการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า แสดงให้เห็นว่าการใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน และสามารถประหยัดพลังงานได้ 60 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบการใช้งานกับโคมไฟถนนแบบดั้งเดิม [14]

ในระบบที่มีการใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสงในระบบแสงสว่างไฟถนน จากการศึกษาคุณภาพของหลอดไดโอดเปล่งแสง มีงานวิจัยและบทความต่าง ๆ มากมาย นำเสนอความสำคัญในการพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสงแทนอุปกรณ์แสงสว่างแบบเก่าในระบบแสงสว่างไฟถนน อย่างเช่น ในงานวิจัยของ Mr. Chun-An [15] นำเสนอการออกแบบตัวขับหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบสถานะเดียว (single-stage) สำหรับใช้งานในระบบแสงสว่างไฟถนน โดยการการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (power factor corrections (PFC)) ใช้ตัวแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งบริดจ์ (PFC ac-dc converter with a half-bridge-type) ร่วมกับการทำงานของตัวขับโหลดในระบบกระแสสลับ-กระแสตรงแบบเรโซแนนซ์ (ac-dc resonant) สร้างกระแสไฟฟ้าขาเข้า ช่วยลดค่าความสูญเสียในช่วงเวลาสวิตช์ซึ่ง จากผลการทดลองพบว่าตัวขับโหลดมีประสิทธิภาพมากกว่า 92 เปอร์เซ็นต์ มีค่าตัวประกอบกำลังสูงมากกว่า 0.99 และมีค่าความผิดเพี้ยนรวมของกระแสฮาร์โมนิก (current total harmonics distortion) ต่ำ น้อยกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ ในงานวิจัยของ Mr. Cheng [16] อธิบายถึงความเป็นไปได้ในการใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงแทนหลอดไฟแบบเก่า แต่ในการใช้งานจำเป็นต้องออกแบบวงจรกำลังในการควบคุมกระแสและระบบระบายความร้อน สำหรับส่วนที่สำคัญคือการออกแบบเลนส์กระจายแสงให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่ใช้งาน ต่อมาในงานวิจัยของ Mr. Chen [17] นำเสนอวิธีการออกแบบเลนส์เพื่อช่วยแก้ปัญหาค่าการกระจายแสงของโคมไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงในระบบแสงสว่างไฟถนนโดยจำลอง การคำนวณหาค่าฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสงมาออกแบบเลนส์กระจายแสงให้มีความเหมาะสมระหว่างค่าความสม่ำเสมอแสงและค่าความส่องสว่าง ในการศึกษาเลือกใช้โคมไฟถนนขนาด 75 วัตต์ เพื่อวิเคราะห์ลักษณะของเลนส์กระจายแสง ค่าความส่องสว่างและค่าความสม่ำเสมอแสงให้เหมาะสมกับระบบไฟถนน เนื่องจากตัวเลนส์กระจายแสงส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพแสงสว่างของโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง ในงานวิจัยต่อมา [18] จึงนำเสนอเลนส์กระจายแสงที่มีพื้นผิวแบบไม่สมมาตรรูปทรงสี่เหลี่ยม ออกแบบให้แสงสว่างที่ออกมาจากโคมไฟถนนครอบคลุมพื้นผิวถนนมากที่สุด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางพลังงานและคุณภาพความสม่ำเสมอแสงให้มีความสอดคล้องกัน เมื่อนำมาใช้กับระบบแสงสว่างไฟถนน สำหรับในงานวิจัยต่อมา [19] กล่าวถึงการออกแบบโดยใช้องค์ประกอบการสะท้อนแสงเพื่อให้ได้ค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างใช้งานสูงสุด เพราะฉะนั้นค่าความส่องสว่างบนพื้นผิวถนนเกิดจากฟลักซ์ส่องสว่างที่ออกจากตัวกำเนิดแสงหลอดไดโอดเปล่งแสงแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ในส่วนที่ออกจากตัวหลอดไดโอดเปล่งแสงโดยตรง และอีกส่วนคือส่วนที่ออกจากตัวหลอดไดโอดเปล่งแสงผ่านตัวสะท้อนภายในโคมไฟถนนลงสู่พื้นผิวถนน เพื่อป้องกันข้อเสียของเลนส์กระจายแสงที่ทำให้เกิดความเสียหายของการเป็นสีเหลืองและการลดลงของความโปร่งใสเนื่องจากการเสื่อมสภาพเมื่อใช้ในระยะเวลานาน ๆ ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าค่าความส่องสว่างและค่าความสม่ำเสมอแสงมีค่าสูงขึ้นเหมาะสำหรับการใช้งานในระบบแสงสว่างไฟถนน

สำหรับในงานวิจัยต่อมา [20] ทำการออกแบบชุดโคมไฟหลอดไดโอดเปล่งแสง (9LEDM) จุดประสงค์เพื่อพัฒนาระบบระบายความร้อน เพิ่มคุณภาพแสงสว่าง นำมาประยุกต์ใช้ในระบบแสงสว่างไฟถนน ประสิทธิภาพของเทคโนโลยี 9LEDM สามารถเพิ่มค่าฟลักซ์ส่องสว่างได้มากกว่า 110 ลูเมนต่อวัตต์ และประหยัดพลังงานมากกว่าระบบแสงสว่างแบบดั้งเดิมถึง 72 เปอร์เซ็นต์ ในงานวิจัยต่อมา [21] นำเสนอการเปรียบเทียบระหว่างการใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงกับหลอดโซเดียมความดันไอสูงในระบบแสงสว่างไฟถนน จากการศึกษาพบว่าโคมไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงยังมีค่าฟลักซ์ส่องสว่างน้อยกว่าโคมไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันไอสูง แต่เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยอื่นๆ

อาทิเช่น สีของแสง การหรี่แสง การตอบสนองแสงของสายตาคอนในที่มืด (Mesopic Vision) รวมถึงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประหยัดพลังงาน พบว่าโคมไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า โดยทั่วไปแล้วโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงมีค่าความสว่างน้อยกว่าโคมไฟถนนหลอดโซเดียมแรงดันไอสูง แต่อันที่จริงค่าแสงสว่างทั้งหมดที่ออกจากโคมไฟชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงผ่านเลนส์เป็นตัวกำหนดทิศทางกระจายแสง แต่หลอดโซเดียมความดันไอสูงใช้แผ่นสะท้อนเป็นตัวกระจายแสง ดังนั้นแสงสว่างที่ออกจากโคมไฟชนิดหลอดโซเดียมความดันไอสูงเกิดความสูญเสียจากการสะท้อนด้วย [22] นอกจากนี้ด้วยลักษณะของหลอดโซเดียมความดันไอสูงที่ให้แสงสว่างมีอุณหภูมิสีต่ำลักษณะสีของแสงเป็นสีเหลือง แต่จากการศึกษาพบว่าแสงสว่างที่ได้จากหลอดไดโอดเปล่งแสงสามารถกำหนดอุณหภูมิสีได้และแสงที่ปล่อยออกจากตัวหลอดก็มีค่าความถูกต้องของสีมากกว่า ซึ่งเป็นข้อดีสำหรับระบบแสงสว่างไฟถนน เนื่องจากสามารถช่วยเพิ่มวิสัยทัศน์การมองเห็นและเพิ่มประสิทธิภาพความส่องสว่าง [23-24] และในงานวิจัยของ Mr. Su-Chin Huang [25] ก็ยังแสดงให้เห็นว่าการใช้โคมไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงแทนโคมไฟถนนชนิดหลอดแสงจันทร์ในระบบแสงสว่างไฟถนนสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 50 เปอร์เซ็นต์ และมีรายงานจากการศึกษาผลสำรวจความพึงพอใจของประชาชนที่มีผลกระทบต่อระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง ซึ่งผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าเป็นที่ยอมรับได้ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ในงานวิจัยของ Mr. S. Alzubaidi [26] นำเสนอการออกแบบระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางพลังงานและแสงสว่างในระบบแสงสว่างไฟถนน โดยใช้โปรแกรม DIALux4.9 ในการศึกษาประสิทธิภาพความสว่างระหว่างการใช้งานหลอดไฟ 3 ชนิด หลอดไดโอดเปล่งแสง หลอดเมทัลฮาไลด์และหลอดโซเดียมความดันไอสูง จากงานวิจัยสรุปได้ว่าระบบแสงสว่างที่ได้ทำการออกแบบสามารถลดการใช้พลังงานได้ถึง 40 เปอร์เซ็นต์

ในปัจจุบันมีการติดตั้งหลอดไดโอดเปล่งแสงในระบบแสงสว่างกันมากขึ้น จึงมีงานวิจัยนำเสนอการวิเคราะห์ศึกษาการทำงานของโคมไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงและศึกษาเปรียบเทียบในเชิงเศรษฐศาสตร์การลงทุน ความคุ้มค่าของระบบแสงสว่างไฟถนนระหว่างหลอดไดโอดเปล่งแสงเทียบกับระบบที่ใช้หลอดโซเดียมความดันไอสูง ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าโคมไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงมีต้นทุนการติดตั้งที่สูงกว่าการใช้โคมไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันไอสูง แต่เมื่อพิจารณาระยะยาวพบว่าโคมไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงสามารถคืนทุนได้เร็วกว่า เนื่องจากประสิทธิภาพและการประหยัดพลังงานของดวงโคม [27] ในงานวิจัยของ Mr. Leena Tähkämö [28] ทำการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของโคมไฟชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงและชนิดหลอดโซเดียมความดันไอสูงตลอดอายุการใช้งาน จากผลการศึกษายืนยันว่าหลอดโซเดียมความดันไอสูงมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 96 เปอร์เซ็นต์ ส่วนหลอดไดโอดเปล่งแสงอยู่ที่ 87 เปอร์เซ็นต์ ตลอดอายุการใช้งาน 30 ปี ในการเปรียบเทียบกันต่อโคมและในงานวิจัยของ Mr. R. Barraza Garcia [29] เป็นการศึกษาวิเคราะห์ผลกระทบจากการปรับปรุงระบบแสงสว่างไฟถนนแบบเก่า โดยเปลี่ยนมาใช้โคมไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสง ผลจากการปรับปรุงระบบแสงสว่างไฟถนนแสดงให้เห็นว่า โคมไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 64 เปอร์เซ็นต์ และช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 33,192 ตันต่อปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างไฟถนนแล้ว ยังมีอีกแนวคิดหนึ่งคือการนำพลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์มาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ร่วมกับระบบแสงสว่างไฟถนน เนื่องจากประเทศไทยมีระบบแสงสว่างไฟถนนเป็นจำนวนมาก ทำให้ทางการไฟฟ้าต้องสูญเสียพลังงานจำนวนมากให้กับระบบแสงสว่างไฟถนน โดยระบบที่มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เป็นแบบอิสระ (Stand-alone system) เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบภายในระบบของการผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบแยกอิสระ ระบบประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก ๆ คือ แผงเซลล์สุริยะ แบตเตอรี่ ตัวควบคุมการประจุและจ่ายแบตเตอรี่ จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการนำระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระมาใช้งานร่วมกับระบบแสงสว่างไฟถนนเริ่มแรกมีต้นทุนการลงทุนที่สูงเนื่องจากราคาของแผงเซลล์สุริยะกับแบตเตอรี่ แต่ข้อดีคือสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าใช้ตัวเอง

สำหรับระบบที่มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์แบบแยกอิสระ ในประเทศไทยมีการนำเสนอการวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์เปรียบเทียบโคมไฟถนนอยู่ 3 ชนิด ได้แก่ หลอดโซเดียมความดันไอต่ำ หลอดโซเดียมความดันไอสูงและหลอดฟลูออเรสเซนต์ ร่วมกับระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยออกแบบระบบควบคุมและระบบป้องกันการประจุแบตเตอรี่ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์มีความเหมาะสมมากที่สุดในการใช้งานในระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับถนนชนบทของประเทศไทย [30] ในการประจุไฟฟ้าด้วยพลังงานจากแสงอาทิตย์ถือว่ามีความซับซ้อนเนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานจากธรรมชาติ เป็นพลังงานที่ไม่คงที่ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ ดังนั้นในงานวิจัยของ Mr. Zeng Wen-xian [31] จึงนำเสนอวิธีการประจุและการคายประจุแบตเตอรี่ เพื่อหลีกเลี่ยงสภาวะการประจุด้วยแรงดันเกิน เป็นการเพิ่มอายุการใช้งานให้กับแบตเตอรี่และเพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ และงานวิจัยต่อมา [32] มีการนำเสนอระบบการประจุแบตเตอรี่จากพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยวิธีการติดตามจุดกำลังสูงสุด (Maximum power point tracking, MPPT) ทำให้ระบบสามารถดึงพลังงานไฟฟ้าสูงสุดจากแผงเซลล์สุริยะ มาใช้ในการประจุไฟฟ้าให้แบตเตอรี่ ในงานวิจัยของ Mr. Huang [33] เป็นการศึกษาการปรับปรุงระบบควบคุมการประจุไฟฟ้าเข้าออกสำหรับระบบแสงสว่างพลังงานเซลล์สุริยะแบบอิสระ โดยออกแบบระบบติดตามค่าที่ใกล้กับกำลังสูงสุด (near Maximum power point tracking, nMPPT) ในการทำงานร่วมกับสัญญาณให้มีความกว้างตามสัดส่วนที่กำหนด (Pulse Width Modulation, PWM) ควบคุมการประจุไฟฟ้าเข้าออกจากแบตเตอรี่ เพื่อจ่ายให้กับตัวขับหลอดไดโอดเปล่งแสง ในงานวิจัยต่อมา [34] นำเสนอระบบควบคุมการนำพลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์มาใช้งานร่วมกับระบบแสงสว่างไฟถนนโดยใช้แบตเตอรี่ จากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อศึกษาเสถียรภาพในระบบด้วยการควบคุมแบบพาสซีฟ (Passivity Based Control) ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมจัดการพลังงานระหว่างแหล่งจ่ายกับโหลดให้มีความเหมาะสมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาบทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ อาทิเช่น งานวิจัย [35] นำเสนอระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงรวมกับการใช้งานพลังงานแสงอาทิตย์ โดยวงจรแปลงผันแบบซีพิก (SEPIC) ถูกนำมาศึกษาเพื่อหาจุดที่มีพลังงานสูงสุดในการประจุแบตเตอรี่ ด้วยเงื่อนไขสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน ในระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ที่นำเสนอมีการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายด้วยวงจรแปลงผันแบบซีพิกแปลงผันแบบการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง (SEPIC PFC converter) เพื่อจ่ายให้กับโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงสำหรับในกรณีพลังงานสำรองจากแบตเตอรี่ไม่เพียงพอ ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าวงจรที่ได้ทำการออกแบบมีความเป็นไปได้ในการใช้งาน แต่ข้อด้อยของระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบดังกล่าวคือ มีการใช้หลอดโซเดียมความดันไอสูงเป็นแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งใช้พลังงานมากทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ในงานวิจัยต่อมา [36-37] จึงให้ความสำคัญในการศึกษาระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์กับโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง โดยมีงานวิจัยที่นำเสนอระบบแสงสว่างไฟถนนที่ไม่มีการใช้พลังงานจากระบบจำหน่าย (A standalone solar street LED light system) ในระบบประกอบด้วยแผงเซลล์สุริยะ ระบบสะสมพลังงาน (แบตเตอรี่) โคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงและชุดควบคุม ระบบสะสมพลังงานถูกประจุไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน เมื่อถึงช่วงเวลากลางคืนตัวควบคุมส่งสัญญาณให้หลอดไดโอดเปล่งแสงทำงานแบบอัตโนมัติ ระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพลังงานแสงอาทิตย์พบว่ามีต้นทุนการติดตั้งสูงกว่า แต่มีค่าบำรุงรักษาในระหว่างการดำเนินงานน้อยมาก งานวิจัยถัดมา [38] นำเสนอระบบแสงสว่างไฟถนนที่ใช้พลังงานหลักจากเซลล์สุริยะ โดยใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานสำรองและหลอดไดโอดเปล่งแสงเป็นแหล่งกำเนิดแสงสว่างแทนหลอดโซเดียมความดันไอสูงแบบเก่า นอกจากนั้นการออกแบบโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงยังคำนึงถึงค่าความเหมาะสมของการตอบสนองต่อการมองเห็นในตามนุษย์ด้วย มีการนำเสนอวิธีควบคุมการประจุแบตเตอรี่ 3 วิธี 1. วิธีการจับค่ากำลังสูงสุด (MPPT) 2. วิธีแรงดันคงที่ 3. วิธีกระแสคงที่ และทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบโดยใช้ปัจจัยค่าความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

จากที่มีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในระบบแสงสว่างกันมากขึ้นจึงมีการนำเสนอมงจรควบคุมตัวขับหลอดที่ใช้กับระบบแสงสว่างพลังงานแสงอาทิตย์ ผลงานนี้ถูกนำไปประยุกต์ใช้กับระบบแสงสว่างไฟถนนแบบอิสระ พบว่าระบบที่มีการควบคุมชุดอิเล็กทรอนิกส์กำลังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการส่องสว่างและยืดอายุการใช้งานของหลอดไดโอดเปล่งแสงได้ [39] ในงานวิจัยต่อมา [40] นำเสนอการจำลองระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยควบคุมระบบแบบง่าย (Passivity-Based Control, PBC) แบตเตอรี่ถูกประจุไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะ ในเวลากลางวัน และทำการจ่ายไฟฟ้าในเวลา กลางคืน ในระบบควบคุมเป็นการทำงานโดยตัวควบคุมแบบสัดส่วนปริพันธ์ (Proportional integral control) หรือควบคุมแบบฮิสเตอร์รีซิส (Hysteresis control) แทนการใช้อุปกรณ์ตรวจจับ และในงานวิจัยของ Mr. Huang [41] นำเสนอระบบขับหลอดไดโอดเปล่งแสงพลังงานจากแบตเตอรี่โดยใช้

เทคนิคการควบคุมกำลังไฟฟ้าคงที่ (constant-power control) ผลจากการทดสอบใช้งานกับโคมไฟ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดไดโอดเปล่งแสงแสดงให้เห็นว่าระบบควบคุมมีค่าความผิดพลาด 2-5 เปอร์เซ็นต์ ต่อมาในงานวิจัยของ Mr. Chowdhury [42] เป็นการนำเสนอแนวทางการพัฒนาระบบแสงสว่างไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการนำเสนอ 3 แนวทาง ดังนี้

1. คือการออกแบบแผ่นสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับแผ่นเซลล์สุริยะ
2. ใช้การควบคุมตัวแผงเซลล์สุริยะ ให้ทำมุมตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ตลอดเวลา
3. เพิ่มระบบการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้า (แบตเตอรี่) เข้าไปในระบบ ในระบบดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดได้ ถึงแม้ว่าต้นทุนการลงทุนสูงแต่ในระยะยาวมีประสิทธิภาพมากกว่าระบบแบบเดิม ในระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ สิ่งหนึ่งที่สำคัญก็คือต้นทุนราคาการติดตั้ง ในบทความนี้ทำการวิเคราะห์หาต้นทุนราคาที่เหมาะสมระหว่างต้นทุนของแบตเตอรี่กับต้นทุนแผงเซลล์สุริยะ ว่าในระบบที่ลงทุนจำเป็นต้องออกแบบจำนวนแผงเซลล์สุริยะ หรือความจุแบตเตอรี่ที่มากกว่ากัน [43]

จากที่กล่าวมาข้างต้นชี้ให้เห็นว่าเทคโนโลยีหลอดไดโอดเปล่งแสงสามารถช่วยเพิ่ม ประสิทธิภาพทางพลังงานให้กับระบบแสงสว่างไฟถนนได้เมื่อเทียบกับอุปกรณ์แสงสว่างแบบเก่า แต่อย่างไรก็ตามระบบแสงสว่างไฟถนนต้องใช้พลังงานจากระบบจำหน่ายอยู่ดี วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมีแนวความคิดเพื่อศึกษาและวิจัยนำระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เข้ามามีบทบาทการใช้กับระบบแสงสว่างไฟถนน ที่ให้ความสำคัญในการควบคุมประจุแบตเตอรี่ การพัฒนาชุดขับหลอดให้เหมาะสมกับระบบแสงอาทิตย์ การดึงพลังงานสูงสุดจากระบบแสงอาทิตย์มาใช้งานตลอดจนการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ

ต่อมาเป็นการกล่าวถึงงานวิจัยที่ทำการศึกษาระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบรรณจําหน่ายเพื่อนำมาใช้ร่วมกับระบบแสงสว่างไฟถนน ในงานวิจัยของ Mr. El-Amin และ Mr. Chen [44-45] นำเสนอผลกระทบของการใช้งานพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบรรณจําหน่าย โดยให้ความสำคัญกับแรงดันที่จุดเชื่อมต่อระหว่างเซลล์สุริยะ กับระบบจําหน่าย เป็นการศึกษาจากระบบจำลอง วิธีการควบคุมแรงดันนำเสนอเพื่อแก้ปัญหาแรงดันเกินระหว่างจุดเชื่อมต่อเซลล์สุริยะ กับระบบจําหน่าย รวมไปถึงการศึกษาผลกระทบจากฮาร์มอนิกส์เมื่อมีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์จ่ายเข้าสู่ระบบจําหน่ายและการออกแบบตัวกรองฮาร์มอนิกด้วย แต่ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เข้าสู่ระบบจําหน่าย ระบบต้องประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 2 ส่วนด้วยกัน คือ 1. เซลล์สุริยะ ที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ออกเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 2. อินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากเซลล์สุริยะ เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายให้กับระบบจําหน่าย ความเหมาะสมของขนาดพิกัดแผงเซลล์สุริยะต้องถูกออกแบบให้สอดคล้องกับการใช้งาน งานวิจัยของ Mr. Xiangyang [46] นำเสนอแนวทางการออกแบบระบบเซลล์สุริยะแบบจ่ายคืนระบบจําหน่าย เพื่อให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานและมีประสิทธิภาพทางพลังงานสูงสุด โดยออกแบบให้มีการใช้พลังงานจากระบบจําหน่ายน้อยที่สุดหรือสามารถตัดการใช้งานจาก

และ Mr. Cardoso [60] แสดงให้เห็นข้อดีของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายที่สามารถช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานสูงสุดได้ (Peak load)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอการออกแบบและสร้างชุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนร่วมกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ โดยในส่วนของวิทยานิพนธ์เป็นการศึกษาคุณภาพแสงสว่างไฟถนนระหว่างการใช้งานโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงกับโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง โดยจำลองระบบแสงสว่างไฟถนนด้วยโปรแกรม DIALux ต่อมาทำการศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าระหว่างระบบแสงสว่างไฟถนนที่ใช้โคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงกับระบบแสงสว่างไฟถนนที่ใช้โคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ สุดท้ายทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนติดตั้งระบบแสงสว่างไฟถนนร่วมกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

สำหรับการศึกษาระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีจุดประสงค์ที่สำคัญดังนี้

1. เพื่อศึกษาคุณภาพแสงสว่างระหว่างการใช้งานโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงกับหลอดไดโอดเปล่งแสง
2. เพื่อศึกษาการใช้งานระบบแสงสว่างไฟถนนร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์
3. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าของระบบแสงสว่างไฟถนนร่วมกับระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ
4. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าของระบบแสงสว่างไฟถนนร่วมกับระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย
5. ศึกษาและวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์การลงทุนติดตั้งระหว่างการใช้งานระบบแสงสว่างไฟถนนแบบปกติเทียบกับระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีการตั้งสมมติฐานจากการใช้งานระบบแสงสว่างไฟถนนในประเทศไทย เนื่องจากระบบแสงสว่างไฟถนนดังกล่าวใช้โคมไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันไอสูงซึ่งสามารถให้แสงสว่างได้ในจำนวนมากแต่มีประสิทธิภาพทางพลังงานต่ำ ในปัจจุบันเทคโนโลยีหลอดไดโอดเปล่งแสงกลับมีความโดดเด่นทั้งในเรื่องของการประหยัดพลังงานและประสิทธิภาพทางแสงสว่าง การศึกษาจึงทำการจำลองระบบแสงสว่างไฟถนนเปรียบเทียบกันระหว่างการใช้งานหลอดไฟทั้ง 2 ชนิด และจากนั้นทำการศึกษาเชื่อมโยงระบบแสงสว่างไฟถนนบูรณาการเข้ากับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางพลังงานให้กับระบบแสงสว่างไฟถนน โดย

ทำการศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าของระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด 2 กรณี ได้แก่

1. กรณีระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ
2. กรณีระบบแสงสว่างพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย

ผลลัพธ์จากการจำลองระบบแสงสว่างไฟถนน เมื่อพิจารณาคุณภาพแสงสว่างระหว่างการทำงานเปรียบเทียบการใช้งานโคมไฟถนนทั้ง 2 ชนิด โดยนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์การส่องสว่างไฟถนนของกรมทางหลวง จากนั้นทำการสร้างชุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ สำหรับระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ ในชุดทดลองประกอบด้วย แผงเซลล์สุริยะ เครื่องควบคุมประจุไฟฟ้า แบตเตอรี่ เครื่องแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับและโคมไฟถนน ในกรณีระบบแสงสว่างไฟถนนแบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย ในชุดทดลองประกอบด้วย แผงเซลล์สุริยะ ไมโครอินเวอร์เตอร์และโคมไฟถนน จากการศึกษาทฤษฎีแสดงให้เห็นว่าการบูรณาการระบบแสงสว่างไฟถนนเข้ากับระบบเซลล์สุริยะทำให้ระบบสามารถประหยัดพลังงานและลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายลงได้

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาาระบบแสงสว่างไฟถนนให้ประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ในส่วนแรกทำการจำลองระบบแสงสว่างไฟถนนด้วยโปรแกรม DIALux เพื่อศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพแสงสว่าง จากการใช้โคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง 250 วัตต์ กับโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง 120 วัตต์ ในระบบแสงสว่างไฟถนน ต่อมาเป็นการนำเสนอการใช้งานระบบแสงสว่างไฟถนนร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ โดยออกแบบสร้างชุดทดลองเพื่อใช้ในการศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า แบ่งออกเป็น 2 กรณีศึกษา คือ 1. ชุดทดลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบอิสระร่วมกับระบบแสงสว่างไฟ ระบบประกอบด้วย แผงเซลล์สุริยะ เครื่องควบคุมประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ เครื่องแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ โคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงและโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง 2. ชุดทดลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่ายร่วมกับระบบแสงสว่างไฟถนน ระบบประกอบด้วย แผงเซลล์สุริยะ เครื่องแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย โคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงและโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง ในส่วนสุดท้ายนำเสนอการศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนติดตั้งใช้งานระบบแสงสว่างไฟถนนร่วมกับพลังงานจากแสงอาทิตย์เพื่อหาความคุ้มค่าในการติดตั้งใช้งานจริง

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

ขั้นตอนการศึกษาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบไปด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับระบบแสงสว่างไฟถนน โคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์แบบอิสระและแบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย
2. ศึกษารายละเอียดของระบบการใช้งานพลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบ แสงสว่างไฟถนน
3. จัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ตลอดจนศึกษาวิธีการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ
4. ทำการจำลองและวิเคราะห์คุณภาพแสงสว่างระหว่างการใช้งานโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงกับโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงในระบบแสงสว่างไฟถนน
5. ออกแบบระบบแสงสว่างไฟถนนร่วมกับการใช้งานระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์
6. สร้างชุดทดลองต้นแบบเพื่อศึกษาคุณภาพไฟฟ้าของการใช้งานระบบแสงสว่างไฟถนนร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบอิสระและระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย
7. บันทึกและวิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อนำมาทำการสรุปผล
8. ทำการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์เพื่อหาความเป็นไปได้ในการลงทุนติดตั้งระบบแสงสว่างไฟถนนร่วมกับพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์
9. สรุปผลการทดลอง นำเสนอผลงานและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.6 ข้อตกลงเบื้องต้นของการศึกษา

ในการศึกษานี้เป็นการศึกษาระบบแสงสว่างพลังงานแสงอาทิตย์ ในเรื่องคุณภาพแสงสว่างไฟถนนเป็นการศึกษาคุณภาพแสงสว่างไฟถนนจากการจำลองระบบแสงสว่างไฟถนนระหว่างการใช้โคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงกับโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงเพียงเท่านั้น สำหรับระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นการศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าจากชุดทดลอง ทั้งหมด 2 กรณี คือ 1. ระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ 2. ระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่ได้รับสามารถแบ่งออกเป็น 2 ด้าน คือประโยชน์ทางด้านพลังงานทดแทนและประโยชน์ทางด้านวิศวกรรม

ประโยชน์ทางด้านพลังงานทดแทน

1. สามารถนำเอาพลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์มาบูรณาการเข้ากับระบบแสงสว่างไฟถนน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพและประโยชน์สูงสุดจากการใช้พลังงานทดแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ลดค่าใช้จ่ายทางพลังงานในส่วนจากระบบ แสงสว่างไฟถนนและสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการส่องสว่างให้กับระบบแสงสว่างไฟถนนได้
3. ส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานสะอาดกันมากขึ้น เพื่อเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการลดการใช้พลังงานจากแหล่งเชื้อเพลิงฟอสซิล
4. เป็นส่วนช่วยในการสนับสนุนและส่งเสริม ให้มีการค้นคว้าและวิจัยทางด้านพลังงานทดแทนอย่างต่อเนื่อง เป็นผลทำให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากองค์ความรู้ใหม่

1. เป็นแนวคิดในการออกแบบระบบแสงสว่างไฟถนนร่วมกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ทั้งในระบบแบบแยกอิสระและแบบเชื่อมต่อบริเวณจำหน่าย ให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด
2. เพื่อเผยแพร่องค์ความรู้ในการวิเคราะห์ทัศนภาพไฟฟ้าสำหรับการใช้งานระบบแสงสว่างไฟถนนร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการศึกษาวิจัยและพัฒนาต่อไป
3. สามารถหาจุดคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ในการเลือกติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบแสงสว่างไฟถนนให้มีความเหมาะสมทั้งด้านพลังงานและจุดคุ้มทุน
4. สามารถนำความรู้จากงานวิจัยนี้ ไปต่อยอดเพื่อพัฒนาระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ เพื่อบูรณาการเข้ากับการใช้งานในปัจจุบันให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์

บทนี้นำเสนอข้อมูลและทฤษฎีเพื่อใช้ศึกษาคุณภาพแสงสว่างของระบบไฟถนนในประเทศไทย และข้อมูลสำหรับการออกแบบระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานจากแสงอาทิตย์ เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า

2.1 ระบบแสงสว่างไฟถนน

หน้าที่ของระบบแสงสว่างไฟถนน คือ เพิ่มสมรรถนะความสามารถในการมองเห็นและการขับขี่ของผู้ใช้รถใช้ถนนในช่วงเวลากลางคืน ให้มีความใกล้เคียงกับทัศนวิสัยการขับขี่ในช่วงเวลากลางวัน ทำให้ผู้ขับขี่สามารถรับรู้ข้อมูลข่าวสารและสามารถควบคุมยานพาหนะในระหว่างช่วงเวลาขับขี่ โดยผู้ขับขี่ต้องสามารถควบคุมการบังคับเลี้ยวและใช้ความเร็วที่เหมาะสมในการควบคุมรถได้ ความสามารถในการนำทางถือเป็นเรื่องสำคัญ ในช่วงเวลากลางคืน ผู้ขับขี่ต้องรักษาตำแหน่งของรถที่ควบคุมอยู่ให้วิ่งไปตามทางได้อย่างปลอดภัย รวมไปถึงต้องรับรู้ข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับการจราจร เครื่องหมายจราจรบนพื้นทางและเครื่องหมายนำทาง เพื่อใช้ในการวางแผนการเดินทางให้บรรลุถึงจุดหมายที่ตั้งใจไว้

เห็นได้ชัดว่าการออกแบบระบบแสงสว่างไฟถนน จำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยหลาย ๆ ด้าน เพื่อให้ได้คุณภาพแสงสว่างครอบคลุมวัตถุประสงค์การใช้งาน โดยให้ความสำคัญกับความปลอดภัยของผู้ใช้รถใช้ถนนเป็นหลัก ดังนั้นเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดของการออกแบบระบบ แสงสว่างไฟถนน ปัจจัยทางด้านคุณภาพแสงสว่างและประสิทธิภาพพลังงานจึงถูกนำมาพิจารณาควบคู่กันไป แสดงดังพารามิเตอร์ต่อไปนี้

1. ความส่องสว่าง (Illuminance, E) มีหน่วย เป็น ลักซ์ (Lux) หมายถึง ความส่องสว่างจากการกระจายแสงของโคมไฟถนน เกิดจากลักซ์ส่องสว่างของหลอดไฟ กระทบลงบนพื้นผิวถนนต่อพื้นที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งของการติดตั้งโคมไฟถนนด้วย

2. ความสว่าง (Luminance, L) มีหน่วยเป็น แคนเดลา ต่อ ตารางเมตร หมายถึง ความส่องสว่างจากการกระจายแสงของโคมไฟถนนที่เกิดจากลักซ์ส่องสว่างของหลอดไฟ สะท้อนออกจากพื้นผิวถนน โดยค่าความสว่างขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการสะท้อนแสงของพื้นผิวถนนด้วย

3. ความสม่ำเสมอของค่าความส่องสว่าง (Uniformity of Illumination, U0) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างค่าความส่องสว่างต่ำที่สุดกับค่าความส่องสว่างโดยเฉลี่ย สำหรับงานออกแบบระบบแสงสว่างไฟถนน ควรมีค่าไม่น้อยกว่า 1: 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ค่าความสม่ำเสมอตามยาวของความส่องสว่าง (Longitudinal Uniformity of Illumination, UI) หมายถึง อัตราส่วนของความส่องสว่างต่ำสุดเทียบกับความส่องสว่างสูงสุดตามแนวเส้นขนานหนึ่งหรือหลายเส้นที่ขนานกับทางวิ่งของถนน

5. ส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold increment, TI) หมายถึง ขนาดของความสูญเสียทัศนวิสัยเนื่องจากความจ้าตา เนื่องจากแสงสว่างจากโคมไฟถนนที่ถูกรออกแบบไม่เหมาะสม ทำให้เกิดแสงจ้าเข้าตาผู้ขับขี่ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของการขับขี่ลดลง

6. โคมไฟถนน มีหน้าที่ควบคุมหรือบังคับแสงสว่างให้ส่องไปยังพื้นผิวถนนที่ต้องการ ในการใช้งานจึงต้องมีการออกแบบโคมไฟถนนให้มีการกระจายแสงที่เหมาะสมกับพื้นที่ใช้งานนั้น ๆ

7. ชนิดของต้นกำเนิดแสง ในระบบแสงสว่างไฟถนนของประเทศไทย นิยมใช้โคมไฟถนนที่มีแหล่งกำเนิดแสงแตกต่างกันตามแต่ละพื้นที่ใช้งาน อาทิเช่น โคมไฟถนนชนิดหลอดเมทัลฮาไลด์ โคมไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันไอสูง โคมไฟถนนชนิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ และโคมไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสง โดยองค์ประกอบสำคัญที่ใช้ในการเลือกคุณลักษณะของต้นกำเนิดแสงประกอบด้วยดังนี้

- ขนาดของหลอดไฟฟ้า (กำลังไฟฟ้าและฟลักซ์ส่องสว่าง)
- อายุการใช้งานของหลอดไฟฟ้า
- สีของแสงและการเห็นสี (Tc, Ra)
- ประสิทธิภาพของหลอดไฟฟ้าและโคมไฟถนน
- ขนาดทางกายภาพของหลอดไฟฟ้าและโคมไฟถนน
- การกระจายแสงของโคมไฟถนน
- ราคาหลอดไฟฟ้าและโคมไฟถนน

2.2 การพิจารณาออกแบบระบบแสงสว่างไฟถนน

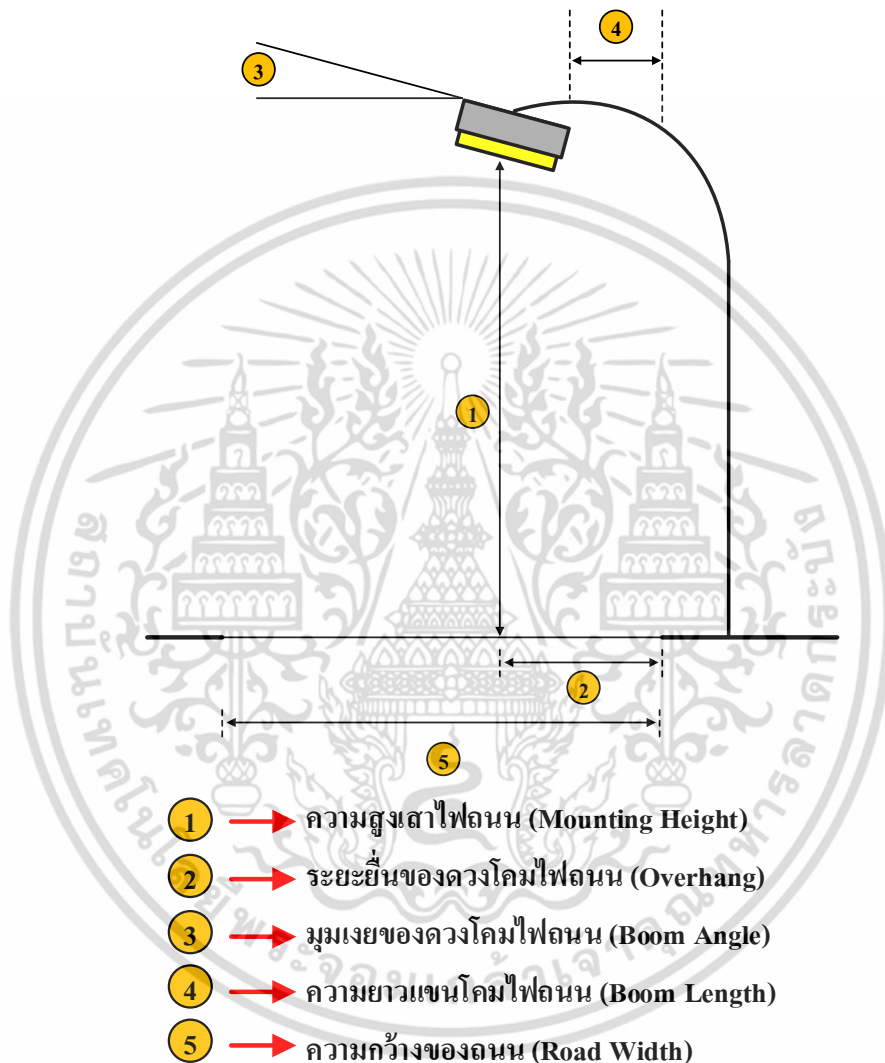
การออกแบบและติดตั้งระบบแสงสว่างไฟถนนให้มีความเหมาะสมกับการใช้งาน ในระบบแสงสว่างไฟถนนที่ดีต้องมีค่าแสงสว่างและความสม่ำเสมอแสงเพียงพอต่อการมองเห็นของผู้ขับขี่และไม่ก่อให้เกิดแสงจ้าไปรบกวนทัศนวิสัยของผู้ขับขี่ ในการออกแบบจำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1. ความสูงเสาไฟถนน (Mounting Height) หมายถึง ระยะห่างในแนวตั้งระหว่างศูนย์กลางของดวงโคมไฟถนนกับผิวถนน โดยค่าความสูงของการติดตั้งโคมไฟถนนไม่ควรสูงเกินกว่าความกว้างของถนน

2. ระยะยื่นดวงโคมไฟถนน (Overhang) หมายถึง ระยะทางในแนวราบที่ศูนย์กลางของโคมไฟถนนที่ยื่นเข้ามาในขอบผิวถนน

3. มุมเงยของดวงโคมไฟถนน (Boom Angle) หมายถึง มุมในแนวตั้งระหว่างศูนย์กลางของดวงโคมไฟถนนกับผิวถนน โดยทั่วไปมุมเงยมีค่าไม่เกิน 15 องศา เพราะต้องออกแบบให้มีแสงส่องสว่างไปที่ขอบทางด้านในและด้านนอกอย่างเพียงพอแต่ไม่มากเกินไป

4. ความยาวแขนโคมไฟถนน (Boom Length) หมายถึง ระยะทางในแนวราบระหว่างศูนย์กลางของโคมไฟถนนกับศูนย์กลางของเสาไฟถนน



รูปที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบของการติดตั้งเสาไฟถนน

5. ความกว้างของถนน (Road Width) หมายถึง ระยะห่างระหว่างขอบถนนฝั่งหนึ่งไปยังอีกฟากหนึ่งของถนน โดยค่าความกว้างของถนนมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับประเภทของถนนและความหนาแน่นของการจราจร

6. ชนิดของโคมไฟถนนส่องสว่าง (Luminaire Type) หมายถึง การเลือกชนิดของโคมไฟถนนตามประเภทของถนนที่ทำการติดตั้ง ให้ได้ค่าความส่องสว่างและค่าความสม่ำเสมอแสงตามที่มีมาตรฐานกำหนด (ในประเทศไทยอ้างอิงเกณฑ์มาตรฐานจากกรมทางหลวงชนบท)

7. ระยะห่างระหว่างโคมไฟถนน (Pole Spacing) หมายถึง ระยะห่างระหว่างโคมไฟถนนที่ติดตั้งวัดขนานตามแนวยาวของถนน ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันออกไปตามวัตถุประสงค์การใช้งาน

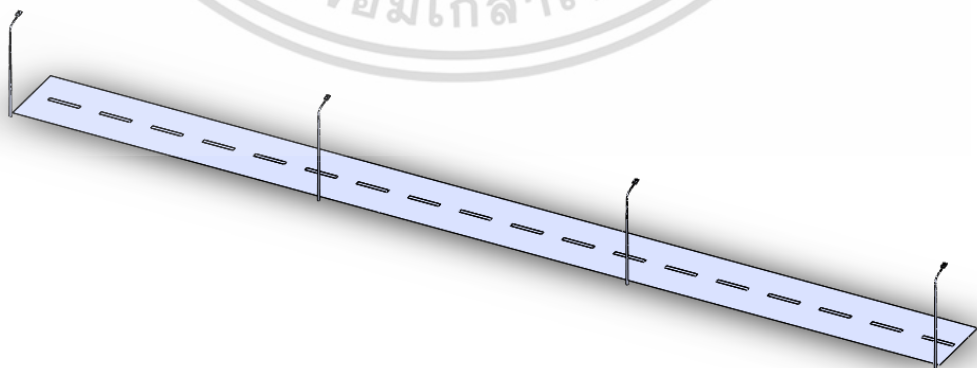
8. รูปแบบการติดตั้งเสาไฟถนน (Pole Arrangement) หมายถึง รูปแบบการจัดเรียงเสาไฟถนนโดยทั่วไปมีการจัดเรียงเสาไฟถนนแบบ ด้านเดียว ด้านตรงข้าม ด้านตรงข้ามสลับ ฯลฯ ซึ่งลักษณะของการติดตั้งเสาไฟถนนนี้จะมีผลต่อคุณภาพแสงสว่างและประสิทธิภาพทางพลังงาน

2.2.1 รูปแบบของการติดตั้งเสาไฟถนน

รูปแบบการติดตั้งเสาไฟถนนเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการออกแบบระบบแสงสว่างไฟถนนให้มีคุณภาพแสงสว่างที่ดี ในการติดตั้งระบบแสงสว่างไฟถนน นอกจากประสิทธิภาพตัวโคมไฟถนน ความสูงเสาไฟถนนและระยะห่างระหว่างเสาไฟถนนแล้ว การใช้รูปแบบการติดตั้งเสาไฟถนนที่เหมาะสมยังทำให้มีประสิทธิภาพของค่าความส่องสว่างและค่าความสม่ำเสมอแสงที่ดีขึ้น การติดตั้งตำแหน่งเสาของดวงโคมแบ่งออกเป็น 5 ประเภทดังนี้

1. การติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านเดียว (Single Arrangement)

การติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านเดียวคือการวางตำแหน่งดวงโคมไฟถนนอยู่ด้านเดียวกันกับฝั่งถนนโดยปกติติดตั้งโคมไฟถนนไว้บนเสา การติดตั้งในลักษณะนี้ให้แสงสว่างกับพื้นผิวถนนที่อยู่ติดกับเสาไฟถนนมีค่าสูงกว่าพื้นผิวถนนที่อยู่ไกลออกไป คุณภาพแสงสว่างจากสองช่องทางเดินรถจึงมีค่าแตกต่างกัน ดังนั้นการติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านเดียวต้องคำนึงถึงค่าความสว่างเฉลี่ยและค่าสม่ำเสมอแสงสว่างให้เพียงพอต่อการใช้งาน โดยความสูงเสาไฟถนนกับความกว้างถนนต้องถูกออกแบบให้มีระยะที่เหมาะสมกัน ทั่วไปนิยมใช้ติดตั้งกับถนนตามชนบทหรือถนนที่มีความกว้างของถนนรวมไหล่ทางไม่กว้างมาก ดังแสดงตามรูปที่ 2.2

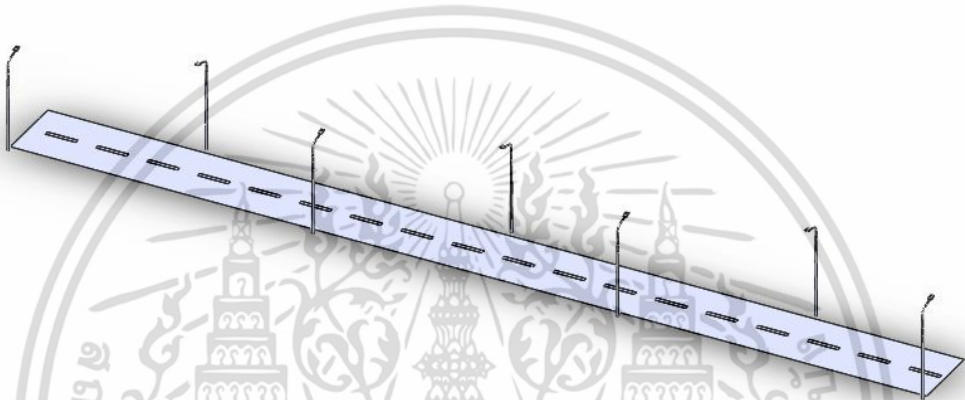


รูปที่ 2.2 การติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านตรงข้ามสลับ (Stagger Arrangement)

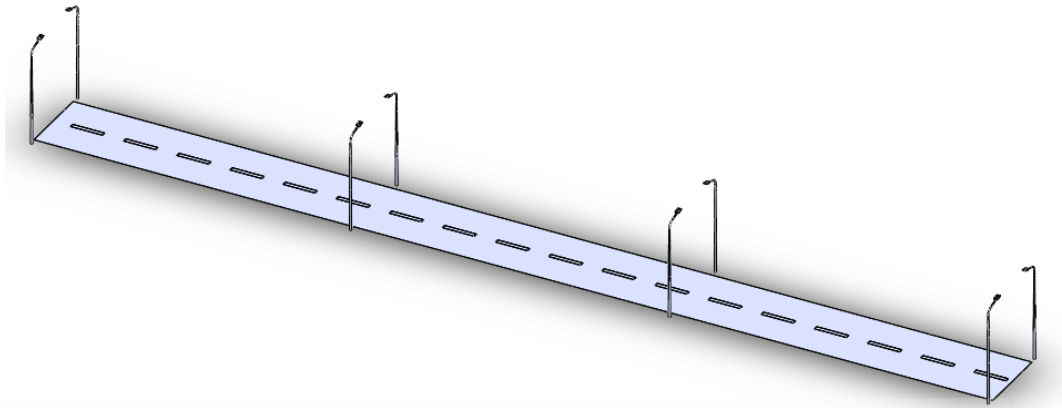
การติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านตรงข้ามสลับคือการวางตำแหน่งโคมไฟถนนสลับไปมาระหว่างสองฝั่งถนน เรียกรูปการติดตั้งแบบนี้ว่าตรงข้ามสลับหรือสลับฟันปลา การติดตั้งในลักษณะนี้ให้ค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างสูง เมื่อติดตั้งกับถนนที่มีค่าความกว้างน้อยกว่า 1.5 เท่าของความสูงเสาไฟถนน แต่มีค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างตามยาวต่ำ เนื่องจากการติดตั้งในรูปแบบนี้ทำให้เกิดแสงสว่างมาก-น้อยสลับกัน แต่เมื่อพิจารณาเพียงการติดตั้งแบบนี้ช่วยลดค่าความไม่สม่ำเสมอแสงบนพื้นผิวถนนที่เกิดจากการสะท้อนแสงของผิวถนนเปียก ทั่วไปนิยมใช้ติดตั้งในถนนตามถนนสายหลักและสายประธาน หรือถนนที่มีความกว้างของถนนรวมไหล่ทางไม่เกิน 15 เมตร ดังแสดงตามรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านตรงข้ามสลับ

3. การติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านตรงข้าม (Opposite Arrangement)

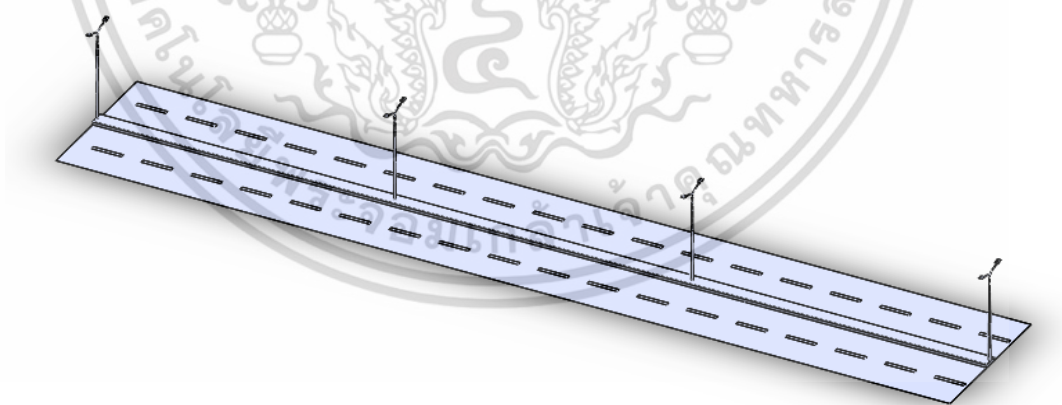
การติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านตรงข้ามคือการติดตั้งโคมไฟถนนตรงข้ามกันระหว่างสองฝั่งถนน โดยทั่วไปใช้ติดตั้งกับถนนที่มีค่าความกว้างถนนอยู่ในช่วง 2 – 5 เท่าของความสูงเสาไฟถนน เมื่อนำไปใช้กับถนนที่มีความกว้างมาก (ถนนมีเกาะกลางหรือถนนมีช่องทางเดินรถหลายช่องทาง) ต้องคำนึงถึงค่าความสว่าง ณ จุดที่อยู่ตรงกลางระหว่างโคมไฟถนนที่ตรงข้ามกัน จุดดังกล่าวอาจมีค่าความสว่างต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด โดยทั่วไปการติดตั้งตำแหน่งดวงโคมไฟถนนแบบด้านตรงข้ามสลับนิยมใช้ติดตั้งในถนนตามถนนสายหลักและสายประธาน หรือถนนที่มีความกว้างของถนนรวมไหล่ทางไม่เกิน 15 เมตร ดังแสดงตามรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านตรงข้าม

4. การติดตั้งเสาไฟถนนแบบเสาเดี่ยวกึ่งคูบนเกาะกลางถนน

การติดตั้งเสาไฟถนนแบบเสาเดี่ยวกึ่งคูบนเกาะกลางถนนคือการวางตำแหน่งโคมไฟถนนระหว่างเกาะกลางถนน โคมไฟถนนทั้ง 2 โคม ถูกติดตั้งบนเสาไฟถนน โดยมีแขนโคมไฟถนนทำหน้าที่ยื่นโคมไฟถนนเข้าสู่พื้นที่ใช้งาน การติดตั้งในลักษณะนี้ให้แสงสว่างกับพื้นผิวถนนที่อยู่ติดกับเสาไฟถนนมีค่าสูง (ปกติเป็นช่องทางเดินรถมีความเร็วสูง) ในขณะที่พื้นผิวถนนอยู่ไกลออกไปมีค่าความสว่างต่ำลง (ปกติเป็นช่องทางเดินรถมีความเร็วต่ำ) ทั่วไปนิยมติดตั้งในถนนตามถนนสายหลักและสายชนบทหรือถนนที่มีเกาะกลางเป็นหลัก โดยพิจารณาความกว้างของถนนรวมกับความกว้างของเกาะกลาง ดังแสดงตามรูปที่ 2.5

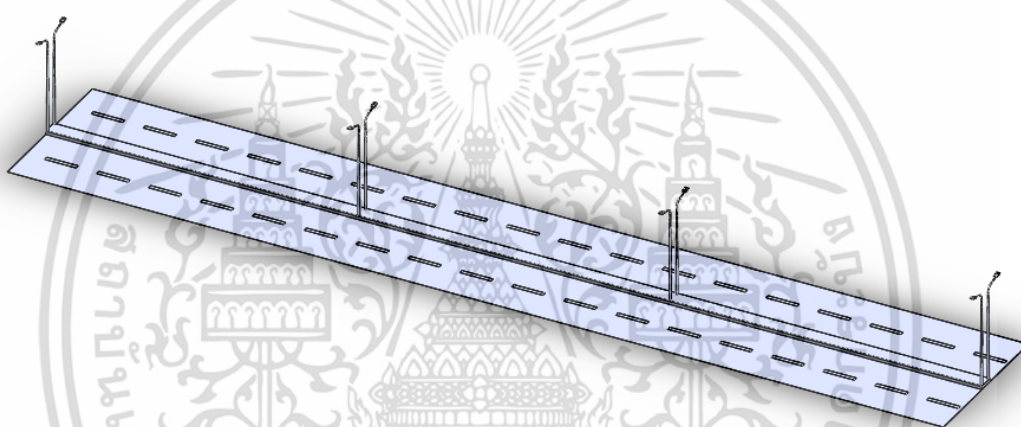


รูปที่ 2.5 การติดตั้งเสาไฟถนนแบบเสาเดี่ยวกึ่งคูบนเกาะกลางถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การติดตั้งเสาไฟถนนแบบเสาคู่กิ่งเดี่ยวบนเกาะกลางถนน

การติดตั้งเสาไฟถนนแบบเสาคู่กิ่งเดี่ยวบนเกาะกลางถนนมีวัตถุประสงค์เหมือนกันกับการติดตั้งเสาไฟถนนแบบเสาเดี่ยวกิ่งคู่บนเกาะกลางถนน แต่ข้อแตกต่างคือลักษณะเสาไฟถนน ในการติดตั้งรูปแบบนี้ประกอบด้วยเสาไฟถนน 2 ต้นกับโคมไฟถนน 2 โคม ติดตั้งอยู่บนเกาะกลางถนน เพื่อเพิ่มความแข็งแรงเนื่องจาก เมื่อนำโคมไฟถนนไปติดตั้งบนถนนที่มีความกว้างมาก ๆ ต้องใช้แขนโคมไฟถนนมีความยาวมากและเสาไฟถนนสูง จึงอาจทำให้รากฐานยึดติดกับพื้นถนนมีความไม่มั่นคงเกิดความเสียหายได้ การติดตั้งแบบนี้จึงนิยมให้กับถนนที่มีความกว้างมากกว่าการติดตั้งเสาไฟถนนแบบเสาเดี่ยวกิ่งคู่บนเกาะกลางถนน โดยทั่วไปการติดตั้งตำแหน่งดวงโคมไฟถนนแบบเสาคู่กิ่งเดี่ยวบนเกาะกลางถนน นิยมใช้ติดตั้งในถนนตามถนนสายหลักและสายประธานหรือถนนที่มีเกาะกลางเป็นหลัก ดังแสดงตามรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การติดตั้งเสาไฟถนนแบบเสาคู่กิ่งเดี่ยวบนเกาะกลางถนน

2.3 เกณฑ์การส่องสว่างในการออกแบบระบบไฟถนน

เกณฑ์สมรรถนะการส่องสว่างไฟถนน เป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบระบบแสงสว่างไฟถนนให้มีประสิทธิภาพแสงสว่างและประหยัดพลังงาน ในการออกแบบระบบแสงสว่างไฟถนน ผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงสมรรถนะของความส่องสว่าง ประกอบด้วยค่าความส่องสว่าง และค่าความสม่ำเสมอของความสว่าง เป็นเกณฑ์ในการออกแบบ แต่ต่อมาได้มีการปรับปรุงองค์ประกอบเกณฑ์การส่องสว่างไฟถนน โดยเพิ่มการพิจารณาค่าความสว่าง ค่าความสม่ำเสมอแสงตามยาว ตลอดจนปัจจัยที่ก่อให้เกิดความจ้าตา เป็นเกณฑ์ในการออกแบบ

2.3.1 ประเภทของถนนและทางเดิน (Roads and Walkway Classifications)

1. ทางด่วน ทางหลวงสายใหญ่หรือทางหลวงสายหลัก (Expressways, other Principal Arterial) หมายถึง ถนนที่มีการแยกส่วนสำหรับการจราจรให้มีการเคลื่อนตัวผ่านตลอดหรือมีการควบคุมทางเข้าเป็นบางส่วน ซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปเป็นทางแยกยกระดับจะมีถนนสายหลักตัดผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทางหลวงสายเล็กหรือทางหลวงสายรอง (Minor Arterial) หมายถึง ถนนเชื่อมระหว่างนครกับเมืองใหญ่ในพื้นที่ชนบท ถนนเชื่อมระหว่างชุมชนในพื้นที่เมืองแต่ไม่ตัดผ่านชุมชน

3. ถนนรองรับ (Collector) หมายถึง ถนนรองรับและจ่ายการจราจรระหว่างทางสายหลักและทางท้องถิ่น ถนนเหล่านี้ใช้สำหรับการถ่ายเทจราจรภายในพื้นที่อยู่อาศัย พื้นที่ธุรกิจและพื้นที่อุตสาหกรรม

4. ถนนท้องถิ่น (Local) หมายถึง ถนนในพื้นที่อยู่อาศัย พื้นที่ธุรกิจและพื้นที่อุตสาหกรรม แต่ไม่รวมถึงถนนที่จราจรผ่านตลอด ถ้าเป็นถนนท้องถิ่นที่มีความยาวมากถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน คือถนนรองรับและจ่ายการจราจรและถนนเข้าที่อยู่อาศัย

5. ทางแคบสาธารณะ (Alleys) หมายถึง ทางแคบสาธารณะสำหรับจราจรเข้าหรือออกด้านหลังถนนใหญ่

6. ทางเดินด้านข้าง (Sidewalks) หมายถึง ทางเดินด้านข้างสำหรับคนเดินเท้าอยู่ในเขตถนนสาธารณะที่มีการจราจรด้วยรถยนต์

7. ทางคนเดิน (Pedestrian Ways) หมายถึง ทางเดินสาธารณะด้านข้างสำหรับคนเดินเท้าทั่วไปที่ไม่อยู่ในเขตถนนที่มีการจราจรด้วยรถยนต์

8. ทางเดินลอยฟ้า (skywalks) และรวมถึงทางข้ามคนเดิน (pedestrian overpasses) อุโมงค์คนเดิน (pedestrian tunnels) ทางรถจักรยาน (bicycle Lanes)

2.3.2 การเลือกระดับชั้นการส่องสว่างสำหรับถนนในประเทศไทย

การออกแบบไฟถนนในยุคปัจจุบัน นอกจากต้องคำนึงถึงสมรรถนะด้านความส่องสว่างแล้ว ยังต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพทางพลังงานของระบบด้วย จากการศึกษาข้อกำหนดระดับชั้นการส่องสว่างของมาตรฐานอเมริกา (CIE) และมาตรฐานยุโรป (EN) พบว่ามีลักษณะที่สอดคล้องกันไปในทางเดียวกัน แต่ก็มีเพียงค่าตัวเลขของเกณฑ์บางส่วนที่ใช้ไม่เหมือนกัน ทั้งนี้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการออกแบบระบบแสงสว่างไฟถนนของประเทศไทย จึงหยิบยกเกณฑ์มาตรฐานอเมริกา (CIE) และมาตรฐานยุโรป (EN) มาประยุกต์ให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานในระบบแสงสว่างไฟถนนของประเทศไทย แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงระดับชั้นของการส่องสว่างสำหรับถนนประเภทต่าง ๆ ของประเทศไทย [61]

รายละเอียดของถนน	ระดับชั้นการส่องสว่าง
ถนนความเร็วสูงมีช่องทางเดินรถแยก ไม่มีทางแยกระดับเดียวกัน และมีการควบคุมทาง เข้า-ออกอย่างสมบูรณ์ เช่น ทางหลวงพิเศษทางด่วน ความหนาแน่นจราจรและความซับซ้อนของผังถนน	สูง M1 กลาง M2 ต่ำ M3
ถนนความเร็วสูง ถนนช่องทางเดินรถคู่ การควบคุมจราจร และการแยกของคนใช้ถนนแบบต่าง ๆ	ไม่ดี M1 ดี M2
เส้นทางจราจรสำคัญในเมือง ถนนรัศมี ถนนย่อยชุมชน การควบคุมจราจรและการแยกของคนใช้ถนนแบบต่าง ๆ	ไม่ดี M2 ดี M3
ถนนต่อเข้าด้วยกัน (Connection road) สำคัญน้อย ถนนย่อยท้องถิ่น การควบคุมจราจรและการแยกของคนใช้ถนนแบบต่าง ๆ	ไม่ดี M4 ดี M5
* M คือ การจราจรด้วยรถยนต์ (Motorized traffic)	

2.3.3 เกณฑ์มาตรฐานการส่องสว่างสำหรับระบบไฟถนนในประเทศไทย

การออกแบบและติดตั้งระบบไฟถนน ในปัจจุบันอ้างอิงมาตรฐานการติดตั้งระบบส่องสว่างไฟถนนตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง มาตรฐานการติดตั้งล่าสุดฉบับเดือน กันยายน 2554 ซึ่งการติดตั้งระบบส่องสว่างไฟถนนทั้งในกรณีถนนมีเกาะกลางและกรณีถนนไม่มีเกาะกลางต้องอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้รถใช้ถนนและผู้สัญจร ภายในข้อกำหนดเกณฑ์มาตรฐานการส่องสว่างของกรมทางหลวง มีการระบุค่าที่จำเป็นต่อการติดตั้งและออกแบบ แสดงดังตารางที่ 2.2 โดยพิจารณาเฉพาะค่าความส่องสว่างและค่าความสม่ำเสมอแสง

ตารางที่ 2.2 แสดงเกณฑ์การส่องสว่างไฟถนนของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบท [62]

ประเภทถนน	พื้นที่ในเมือง (Lux)	พื้นที่ชานเมือง (Lux)	พื้นที่นอกเมือง (Lux)
ทางหลวงพิเศษ	21.5	15	10.75
ทางแยก	21.5	21.5	15
ทางหลวงสายหลัก	21.5	13	9.7
ทางหลวงสายรอง	13	9.7	6.5
ถนนท้องถิ่น	9.7	6.5	2.1

ค่าความส่องสว่างต้องมีค่าอัตราส่วนความสม่ำเสมอ (Uniformity Ratio) ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วนความสม่ำเสมอ} &= \frac{\text{ค่าความส่องสว่างต่ำสุด}}{\text{ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย}} = \text{ไม่น้อยกว่า } 1:2.5 \\ &= \frac{\text{ค่าความส่องสว่างสูงสุด}}{\text{ค่าความส่องสว่างต่ำสุด}} = \text{ไม่เกิน } 6:1 \end{aligned}$$

เนื่องจากเกณฑ์มาตรฐานการส่องสว่างระบบไฟถนนของกรมทางหลวงพิจารณาเฉพาะประสิทธิภาพทางแสงสว่างเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดสำหรับการติดตั้งระบบแสงสว่างไฟถนน จำเป็นต้องพิจารณาทั้งประสิทธิภาพแสงสว่างและพลังงานควบคู่กัน จึงมีการนำเอามาตรฐานข้อกำหนดการส่องสว่างสำหรับการจราจรด้วยรถยนต์บนพื้นฐานความส่องสว่างของพื้นผิวถนนจาก CIE Publ. 115 มาประยุกต์ปรับใช้กับระบบแสงสว่างไฟถนนของประเทศไทยแสดงดังตารางที่ 2.3 โดยค่าเกณฑ์มาตรฐานการส่องสว่างพิจารณาครอบคลุมถึงค่าความสว่าง ค่าความสม่ำเสมอแสง ค่าความสม่ำเสมอแสงตามยาวและค่าแสงจ้าแยงตาด้วย

ตารางที่ 2.3 แสดงข้อกำหนดการส่องสว่างสำหรับการจราจรด้วยรถยนต์บนพื้นฐานทางความส่องสว่างของพื้นผิวถนนของ CIE Publ. 115 [63]

ระดับชั้น การส่องสว่าง		ขอบเขตการใช้งาน				
		L_{av} (cd/m^2)	U_0	TI (%)	U_L	SR
M1	ทางด่วน มอเตอร์เวย์ ถนนที่มีการสัญจรความเร็วสูง ถนนสายประธาน/ถนนสายหลัก มีรถมาก	2	0.4	10	0.7	0.5
M2	ถนนสายหลัก มีรถปานกลาง	1.5	0.4	10	0.7	0.5
M3	ถนนสายรอง/ทางสายรอง	1	0.4	10	0.5	0.5
M4	ถนนเชื่อมกับถนนใหญ่	0.75	0.4	15	ไม่ ต้องการ	ไม่ ต้องการ
M5	ถนนตามที่อยู่อาศัย	0.5	0.4	15	ไม่ ต้องการ	ไม่ ต้องการ

โดยที่ L_{av} คือ ความสว่างเฉลี่ยของพื้นผิวถนน มีหน่วยเป็น cd/m^2

U_0 คือ ค่าความสม่ำเสมอรวมของความส่องสว่างไฟถนน

U_L คือ ค่าความสม่ำเสมอตามยาวของความส่องสว่างพื้นผิวถนน

TI คือ ส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน

SR คือ อัตราส่วนบริเวณแวดล้อม

2.4 ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบอิสระ

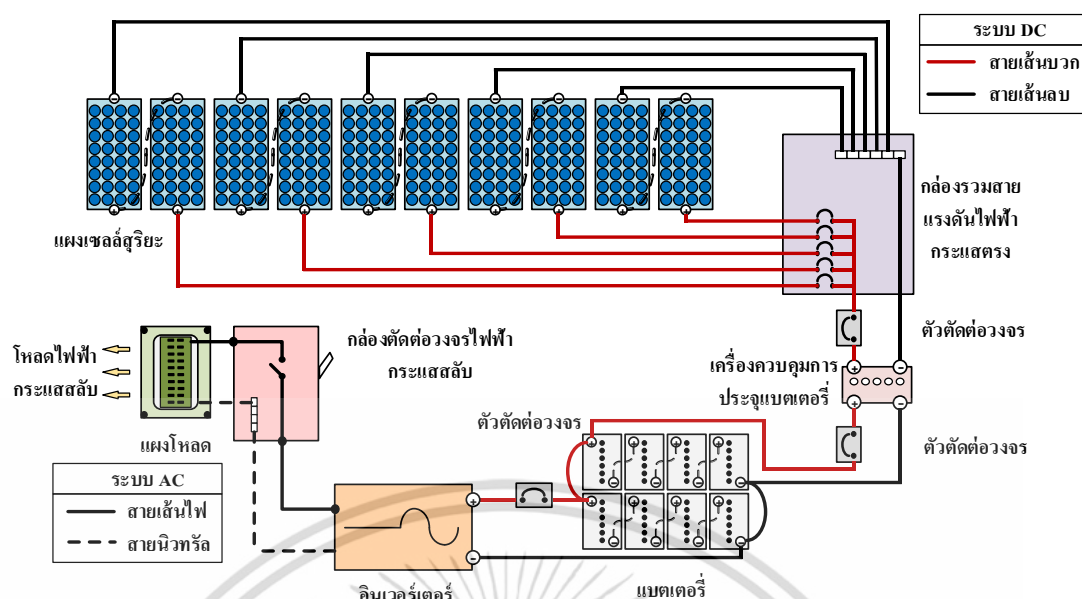
ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบอิสระ คือระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าที่สามารถนำมาทดแทนหรือประยุกต์ใช้งานกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบเก่า โดยส่วนใหญ่ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบอิสระเหมาะสมกับพื้นที่ชนบทหรือพื้นที่ห่างไกลไม่มีระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าเข้าถึง เนื่องจากระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้จากแผงเซลล์สุริยะจึงไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า โดยทั่วไประบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบอิสระถูกออกแบบให้มีระบบเก็บสะสมพลังงาน (แบตเตอรี่) ทำหน้าที่สำรองพลังงานไว้ใช้งานในเวลาจำเป็น การนำพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่มาใช้สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือกรณีจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 หรือ 24 โวลต์ ขึ้นกับการออกแบบ) เนื่องจากแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง จึงสามารถเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ เช่น หลอดไฟฟ้า เป็นต้น และกรณีจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์) เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จึงต้องใช้เครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (Inverter) เพื่อแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับ เช่น โทรทัศน์ คอมพิวเตอร์ เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น

การทำงานของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบอิสระขึ้นอยู่กับค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลา ในช่วงเวลาที่มีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ (ในเวลากลางวัน) แผงเซลล์สุริยะที่ติดตั้งในระบบจะผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยเปลี่ยนค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ถูกประจุเก็บสะสมในแบตเตอรี่ชนิดแบบจ่ายประจุสูง (Deep discharge battery) ถูกออกแบบให้สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ของค่าความจุไฟฟ้าและสามารถทำการประจุไฟฟ้าใหม่ได้หลายรอบ โดยมีเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าทำหน้าที่ป้องกันการประจุไฟฟ้ากระแสเกิน ป้องกันการคายประจุย้อนกลับ ป้องกันการคายประจุเกินและแสดงสถานะของแบตเตอรี่ เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่แปรเปลี่ยนตามสภาพภูมิอากาศ ระบบควบคุมการประจุแบตเตอรี่ต้องทำงานร่วมกับระบบติดตามจุดกำลังสูงสุด (Maximum Power Point Tracking, (MPPT)) เพื่อให้การประจุไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงสุดตามปริมาณการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแสงอาทิตย์ เมื่อมีความจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้า ระบบดึงพลังงานจากแบตเตอรี่มาใช้งาน โดยมีเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า

จากรูปที่ 2.7 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานการทำงานของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบอิสระ ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ 1. ส่วนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เริ่มตั้งแต่แผงเซลล์สุริยะ ซึ่งถูกนำมาต่อรวมกันเป็นแถวลำดับ (Array) ที่กล่องรวมสายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Combiner Box) เพื่อเพิ่มพิกัดแรงดันและกำลังไฟฟ้าให้มีค่าสูงขึ้น ในระบบมีเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ทำหน้าที่ควบคุมรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้มีค่าเหมาะสมต่อการประจุแบตเตอรี่ มีการติดตั้งตัวตัดต่อวงจร (Circuit Breaker) 3 ตำแหน่ง คือ ระหว่างกล่องรวมสายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงกับเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ ระหว่างเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่กับแบตเตอรี่และระหว่างแบตเตอรี่กับเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (Inverter) 2. ส่วนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ถูกแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้วยเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายให้กับโหลดทางไฟฟ้าผ่านกล่องตัดต่อวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Disconnect Box) ทำหน้าที่ตัดต่อวงจรและป้องกันความเสียหายจากการลัดวงจร



รูปที่ 2.7 องค์ประกอบพื้นฐานการทำงานของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบอิสระ

2.5 ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย

ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย คือ ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากความเข้มแสงอาทิตย์และนำพลังงานจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่าย ผ่านเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่ายทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงเซลล์สุริยะเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีลำดับเฟส ค่าความถี่ไฟฟ้าและขนาดแรงดันตรงกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า จึงสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกไปได้ ดังนั้นระบบมีการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายตลอดเวลา จึงไม่ต้องติดตั้งระบบเก็บสะสมพลังงาน โดยทั่วไปการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่ายแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ

1. ติดตั้งเพื่อขายพลังงานไฟฟ้า

ระบบดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อขายพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์สุริยะให้การไฟฟ้าโดยตรง ในการติดตั้งระบบต้องมีการแยกมิเตอร์ไฟฟ้าออกจากกัน เป็นมิเตอร์รับซื้อไฟฟ้าและมิเตอร์ขายไฟฟ้า เพราะในราคารับซื้อและราคาขายไฟฟ้ามีค่าไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับนโยบายสนับสนุนทางภาครัฐ (Feed in tariff)

2. ติดตั้งเพื่อลดค่าไฟฟ้า

ระบบดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบจำหน่าย โดยนำพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์สุริยะไปจ่ายให้กับโหลดก่อน ถ้าโหลดมีพิกิตพลังงานมากกว่าพลังงานที่ผลิตได้จึงดึงพลังงานจากระบบจำหน่ายมาช่วยจ่าย ทำให้สามารถลดการใช้พลังงานจากระบบจำหน่ายลงได้ แต่ถ้าระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเกินกว่าความต้องการของโหลด พลังงานส่วนนั้นจะไหลเข้าสู่ระบบ

จำหน่ายไปจ่ายให้กับโหลดในบริเวณใกล้เคียง ซึ่งถือว่าเป็นพลังงานไฟฟ้าจ่ายฟรีให้กับการไฟฟ้าไม่สามารถคิดเป็นค่าไฟได้

ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริเวณจำหน่าย มีข้อดีคือ การออกแบบระบบไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงขนาดของโหลดใช้งาน เนื่องจากโหลดสามารถรับพลังงานจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์หรือระบบจำหน่ายก็ได้ แต่ข้อสำคัญของการเชื่อมต่อบริเวณจ่ายของการไฟฟ้าคือต้องไม่ทำให้เกิดปัญหาคุณภาพไฟฟ้ากับระบบจำหน่ายตามมา

การทำงานของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริเวณจำหน่ายขึ้นอยู่กับค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลา สำหรับในช่วงเวลาที่มีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ (ในเวลากลางวัน) แผงเซลล์สุริยะที่ติดตั้งในระบบจะผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยเปลี่ยนค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่าย โดยมีเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบเชื่อมต่อบริเวณจำหน่ายทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงระบบเซลล์สุริยะเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับมีคุณสมบัติสามารถเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายได้ หากระบบจำหน่ายหยุดจ่ายแรงดันไฟฟ้า เครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับต้องตัดการทำงานออกจากระบบทันที ดังนั้นเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับชนิดนี้สามารถทำงานเมื่อมีการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าและความถี่ตามค่าที่ระบุไว้ในตัวของเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเท่านั้น (ของประเทศไทย 220-230 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์)

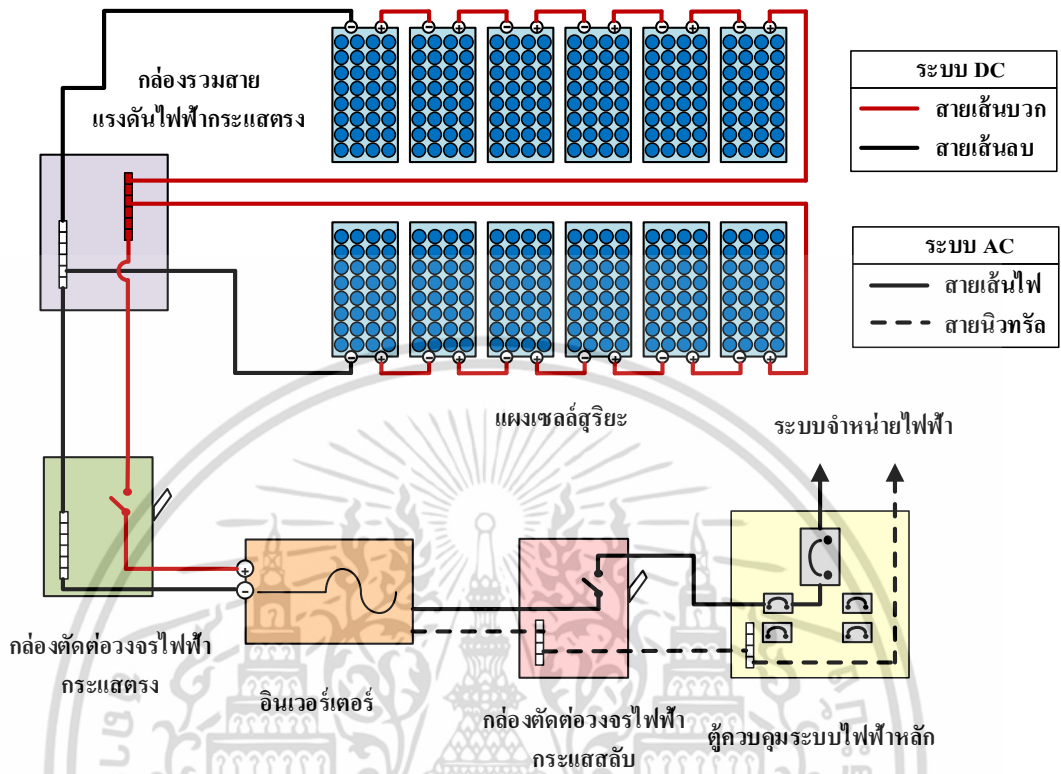
การเชื่อมต่อบริเวณจำหน่ายด้วยเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบเชื่อมต่อบริเวณจำหน่ายมีพื้นฐานดังนี้

1. พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบจำหน่ายต้องมีลำดับเฟส แรงดันและความถี่เหมาะสมตรงกับระบบจำหน่าย จึงสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกไปได้
2. เครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบเชื่อมต่อบริเวณจำหน่ายต้องมีระบบติดตามหาจุดกำลังสูงสุด (Maximum Power Point Tracker (MPPT)) เพื่อประสิทธิภาพและลดการสูญเสียพลังงานจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์
3. เครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบเชื่อมต่อบริเวณจำหน่ายต้องออกแบบให้มีระบบป้องกันทั้งในส่วนของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ถ้าหากระบบจำหน่ายมีความผิดปกติของลำดับเฟส แรงดันไฟฟ้าและความถี่ เครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับต้องตัดการจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกจากระบบทันที

จากรูปที่ 2.8 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานการทำงานของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริเวณจำหน่าย ประกอบด้วย แผงเซลล์สุริยะซึ่งถูกนำมาต่อรวมกันเป็นแถวลำดับ (Array) ที่กล่องรวมสายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Combiner Box) เพื่อเพิ่มพิกัดกำลังไฟฟ้าให้มีค่าสูงขึ้น โดยส่งกำลังไฟฟ้าผ่านเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจ่ายเข้าระบบจำหน่าย ในระบบมีการติดตั้งกล่องตัดต่อวงจรไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งด้านกระแสตรง (DC Disconnect Box) ด้านกระแสสลับ (AC Disconnect Box) เพื่อตัดต่อวงจร และป้องกันความเสียหายจากการลัดวงจรทางไฟฟ้า



รูปที่ 2.8 องค์ประกอบพื้นฐานการทำงานของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย

2.6 ข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า [64-65]

ข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า คือ เงื่อนไขแนวทางเทคนิคในการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมผลกระทบจากการทำงานของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้าของระบบจำหน่าย

2.6.1 การควบคุมคุณภาพไฟฟ้า

การเชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ อาจทำให้เกิดปัญหาคุณภาพไฟฟ้าตามมาเนื่องจากการทำงานของเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ไม่มีประสิทธิภาพ สำหรับประเทศไทย การไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าภูมิภาคมีการอ้างอิงข้อกำหนดการควบคุมคุณภาพไฟฟ้าจากมาตรฐานสากล IEC ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเชื่อมต่อระบบจำหน่ายของเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (Grid-connected Inverter) ดังนั้นข้อกำหนดการควบคุมคุณภาพไฟฟ้าจึงมีความคล้ายคลึงกัน แสดงรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับแรงดันไฟฟ้าและตัวประกอบกำลัง

มาตรฐานมีการกำหนดและควบคุมแรงดันสำหรับการเชื่อมต่อระบบจำหน่ายด้วยระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ซึ่งมีระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุด แสดงดังตารางที่ 2.4 หากระบบมีแรงดันไฟฟ้าออกนอกช่วงที่ระบุไว้ ระบบต้องปลดวงจรออกจากระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ตารางที่ 2.4 แสดงมาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของการเชื่อมต่อระบบจำหน่าย

ระดับแรงดัน	ภาวะปกติ		ภาวะฉุกเฉิน	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
115 กิโลโวลต์	120.7	109.2	126.5	103.5
69 กิโลโวลต์	72.4	65.5	75.9	62.1
33 กิโลโวลต์	34.7	31.3	36.3	29.7
22 กิโลโวลต์	23.1	20.9	24.2	19.8
380 โวลต์	418	342	418	342
220 โวลต์	240	200	240	200

การเชื่อมต่อระบบจำหน่ายต้องออกแบบระบบควบคุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ตามเกณฑ์กำหนดสำหรับการเชื่อมต่อระบบจำหน่ายสำหรับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบ่งเป็น 2 กรณี ดังนี้

1. สำหรับระบบที่มีเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ต้องมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0.9 นำหน้าถึง 0.9 ตามหลัง เมื่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตออกไม่เกินกว่าร้อยละ 10 ของขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ
2. สำหรับระบบที่ไม่มีเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ต้องมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0.9 นำหน้าถึง 0.9 ตามหลัง

ดังนั้นการเชื่อมต่อระบบจำหน่ายสำหรับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนให้กับระบบจำหน่ายได้ตามความต้องการ เพื่อเป็นการชดเชยค่าตัวประกอบกำลังในกรณีต่ำกว่า 0.9 ตามหลัง

ความถี่ไฟฟ้า

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยเป็นผู้ควบคุมความถี่ของระบบจำหน่าย ให้อยู่ในเกณฑ์ 49.5 – 50.5 เฮิรตซ์ การเชื่อมต่อระบบจำหน่ายต้องควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้ซึ่งโครโนซ์กับระบบจำหน่ายตลอดเวลา ในกรณีเกิดเหตุการณ์ผิดปกติ หากความถี่ของระบบจำหน่ายไม่อยู่ในช่วง 49 – 51 เฮิรตซ์ ต่อเนื่องเกิน 0.1 วินาที ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ต้องปลดวงจรออกจากระบบจำหน่ายภายในเวลาไม่เกิน 0.1 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันกระแสเพื่อ

ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เมื่อเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย ต้องไม่ทำให้เกิดแรงดันกระแสที่จุดต่อรวมเกินขีดจำกัดที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานดังนี้

1. มาตรฐาน IEC 61000-3-3 (2008) สำหรับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่ายที่มีกระแสพิกัดเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไม่เกิน 16 แอมป์
2. มาตรฐาน IEC 61000-3-11 (2000) สำหรับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่ายที่มีกระแสพิกัดเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับตั้งแต่ 16 แอมป์ ขึ้นไปแต่ไม่ถึง 75 แอมป์
3. มาตรฐาน IEC 61000-3-5 (2009) สำหรับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่ายที่มีกระแสพิกัดเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับตั้งแต่ 75 แอมป์ ขึ้นไป

ฮาร์มอนิก

ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เมื่อเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย ต้องไม่ทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดันและกระแสเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้า เกินขีดจำกัดที่ยอมรับได้ของระดับความผิดเพี้ยนของแรงดันที่เกิดจากฮาร์มอนิก (Harmonic Voltage Distortion) แสดงดังตารางที่ 2.5 และระดับความผิดเพี้ยนของกระแสที่เกิดจากฮาร์มอนิก (Harmonic Current Distortion) แสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.5 แสดงขีดจำกัดความผิดเพี้ยนของแรงดันที่เกิดจากฮาร์มอนิกสำหรับเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย

ระดับแรงดันไฟฟ้า (กิโลโวลต์)	ค่าความผิดเพี้ยนรวมของ แรงดันฮาร์มอนิก (%)	ค่าความผิดเพี้ยนของแรงดันฮาร์ มอนิกแต่ละอันดับ (%)	
		อันดับคี่	อันดับคู่
0.400	5	4	2
11, 12, 22 และ 24	4	3	1.75
33	3	2	1
69	2.45	1.63	0.82
≥ 115	1.5	1	0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 แสดงขีดจำกัดความผิดพลาดของกระแสที่เกิดจากฮาร์โมนิกสำหรับเชื่อมต่อระบบจำหน่าย

อันดับคี่	ค่าความผิดพลาดของกระแสฮาร์โมนิกแต่ละอันดับ (%)	อันดับคู่	ค่าความผิดพลาดของกระแสฮาร์โมนิกแต่ละอันดับ (%)
3 – 9	4	2 - 10	1
11 – 15	2	12 – 16	0.5
17 – 21	1.5	18 – 22	0.375
23 – 33	0.6	24 – 34	0.15
≥ 35	0.3	≥ 36	0.075
ค่าความผิดพลาดรวมของกระแสฮาร์โมนิก 5 %			

การจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

การเชื่อมต่อระบบจำหน่ายด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ต้องป้องกันการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเกินกว่าร้อยละ 0.5 ของกระแสพิกัดเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

การป้องกันสถานะแยกโดด (Anti-Islanding)

เมื่อเกิดสถานะแยกโดด ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ต้องตรวจพบและปลดวงจรออกจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าภายในเวลาไม่เกิน 2 วินาที

การเชื่อมต่อกลับคืนเข้าสู่ระบบจำหน่าย

ภายหลังจากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ปลดวงจรออกจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าเนื่องจากเกิดไฟฟ้าดับ ระดับแรงดันหรือความถี่ไม่อยู่ในช่วงที่กำหนด เมื่อระบบจำหน่ายกลับสู่สภาวะปกติ ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ต้องหน่วงเวลาการเชื่อมต่อกลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นเวลาอย่างน้อย 20 วินาทีถึง 5 นาที (การไฟฟ้าภูมิภาค), 2 นาที (การไฟฟ้านครหลวง)

2.7 ระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ คือ ระบบแสงสว่างไฟถนนที่รวมเอาข้อดีของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เข้ามาประยุกต์ใช้งานกับระบบแสงสว่างไฟถนน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางพลังงานให้กับระบบแสงสว่างไฟถนน โดยในการติดตั้งระบบแสงสว่างไฟถนนประเภทนี้ มีการติดตั้งแผงเซลล์สุริยะอยู่บนร่วมกับเสาไฟถนน ทำหน้าที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในช่วงเวลากลางวัน ระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 2 ระบบ

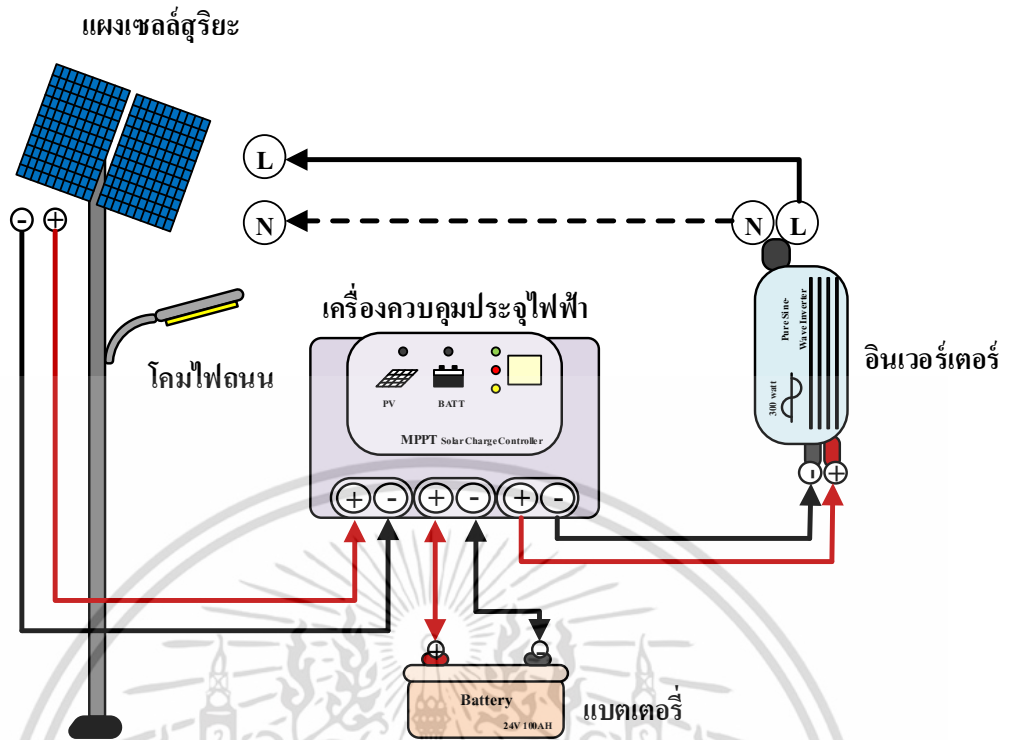
ด้วยกัน คือระบบแสงสว่างไฟถนนแบบอิสระและระบบแสงสว่างไฟถนนแบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.7.1 ระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ

ระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ คือ ระบบแสงสว่างไฟถนนที่บูรณาการเข้ากับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบอิสระแสดงดังรูปที่ 2.9 ระบบแสงสว่างไฟถนนชนิดนี้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายให้กับระบบแสงสว่างไฟถนน ดังนั้นระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระจึงไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย แต่ในระบบมีการติดตั้งชุดสะสมพลังงานเพื่อใช้เป็นพลังงานสำรองให้กับระบบไฟถนน ในระบบประกอบด้วยส่วน ต่าง ๆ ได้แก่

1. แผงเซลล์สุริยะ อุปกรณ์ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์
2. เครื่องควบคุมประจุไฟฟ้า อุปกรณ์ทำหน้าที่ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์สุริยะและทำการจ่ายพลังงานจากแบตเตอรี่ให้กับโคมไฟถนน
3. แบตเตอรี่ อุปกรณ์สำรองพลังงานไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้กับโคมไฟถนน
4. เครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ อุปกรณ์แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากแบตเตอรี่เพื่อจ่ายให้กับโคมไฟถนน
5. โคมไฟถนน อุปกรณ์ให้แสงสว่างสว่างในระบบไฟถนน

การทำงานของระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ อธิบายได้ว่าในช่วงเวลาที่แผงเซลล์สุริยะได้รับความเข้มจากแสงอาทิตย์ ตัวแผงเซลล์สุริยะทำการผลิตพลังงานไฟฟ้า เพื่อเก็บสำรองพลังงานไว้ในแบตเตอรี่ โดยมีเครื่องควบคุมประจุไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่และจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโคมไฟถนน ในช่วงเวลาที่มีการใช้งานระบบแสงสว่างไฟถนนเครื่องควบคุมประจุไฟฟ้าทำการดึงพลังงานจากแบตเตอรี่มาจ่ายให้กับโคมไฟถนน โดยผ่านอุปกรณ์เครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับโคมไฟถนน



รูปที่ 2.9 แสดงส่วนประกอบของระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ

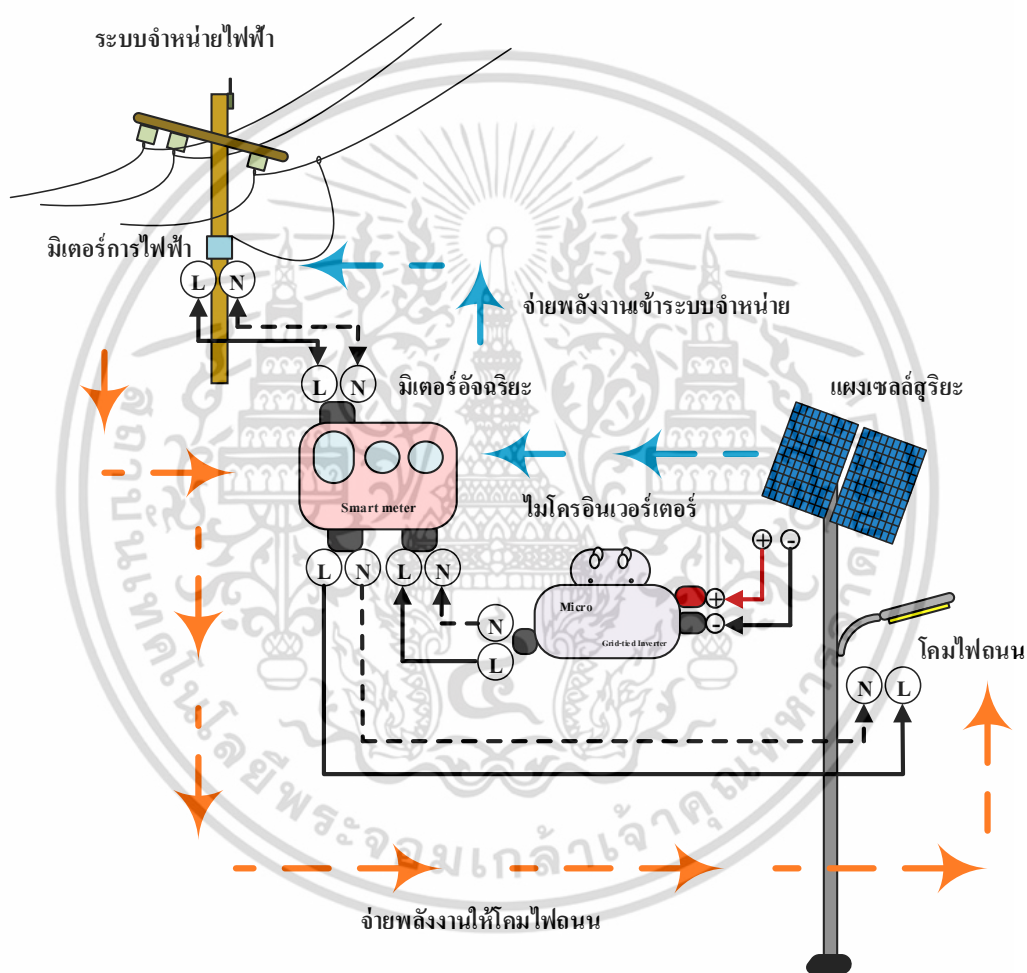
2.7.2 ระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย

ระบบแสงสว่างไฟพลังงานแสงอาทิตย์ถนนแบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย คือ ระบบแสงสว่างไฟถนนที่บูรณาการเข้ากับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่ายแสดงดังรูปที่ 2.10 ระบบแสงสว่างไฟถนนชนิดนี้ทำการจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์สุริยะให้กับระบบจำหน่ายโดยตรง จึงไม่มีการติดตั้งระบบสำรองพลังงาน เป็นการดึงพลังงานจากระบบจำหน่ายมาจ่ายให้กับระบบแสงสว่างไฟถนน ในระบบประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ได้แก่

1. ระบบจำหน่าย คือระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของการไฟฟ้า มีระดับแรงดัน 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์
2. แผงเซลล์สุริยะ อุปกรณ์ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์
3. มิเตอร์อัจฉริยะ อุปกรณ์ใช้ในการตรวจสอบพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้า
4. เครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย พิกัดเล็ก อุปกรณ์ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงเซลล์สุริยะเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายให้กับระบบจำหน่าย
5. โคมไฟถนน อุปกรณ์ให้แสงสว่างสว่างในระบบไฟถนน

การทำงานของระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย อธิบายได้ว่าในช่วงเวลาที่แผงเซลล์สุริยะได้รับความเข้มจากแสงอาทิตย์ ตัวแผงเซลล์สุริยะทำการผลิตพลังงานเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ เพื่อจ่ายให้กับระบบจำหน่าย โดยมีเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบเชื่อมต่อระบบจำหน่ายพิกัดเล็ก (Micro Inverter) ทำการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงเซลล์สุริยะเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีมูมเฟส ขนาดแรงดันและความถี่ตรงกับระบบจำหน่าย ในช่วงเวลาที่มีการใช้งานระบบแสงสว่างไฟถนน ระบบทำการดึงพลังงานไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายมาจ่ายให้กับโคมไฟถนน ทั้งนี้เพื่อให้เข้าใจถึงประสิทธิภาพของระบบ จึงมีการติดตั้งมิเตอร์อัจฉริยะทำหน้าที่ในการบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับในช่วงที่มีการจ่ายและดึงพลังงานไฟฟ้าจากระบบจำหน่าย



รูปที่ 2.10 แสดงส่วนประกอบของระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การศึกษาคุณภาพแสงสว่างของระบบแสงสว่างไฟถนน

ในบทนี้เป็นการนำเสนอการจำลองระบบแสงสว่างไฟถนน เพื่อเปรียบเทียบและศึกษาคุณภาพแสงสว่างระหว่างการใช้งานโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงกับโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงและทำการวิเคราะห์ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อคุณภาพแสงสว่างในระบบแสงสว่างไฟถนน

3.1 การจำลองระบบแสงสว่างไฟถนน

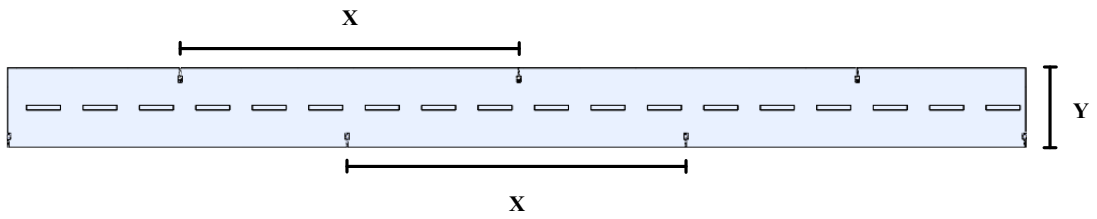
ในการศึกษา ทำการจำลองระบบแสงสว่างไฟถนนด้วยโปรแกรม DIALux เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพความสว่างในระบบแสงสว่างไฟถนนระหว่างการติดตั้งโคมไฟหลอดโซเดียมความดันไอสูง 250 วัตต์ (ที่มีการติดตั้งจริงในถนนสายหลักของประเทศไทย) เปรียบเทียบกับโคมไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงขนาด 120 วัตต์ ที่มีคุณสมบัติประหยัดพลังงานได้มากกว่า การศึกษาจะจำลองถนนในรูปแบบของถนนสายหลัก มีความหนาแน่นรถปานกลาง (M2) ซึ่งมีการติดตั้งใช้งานโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงอยู่เป็นส่วนใหญ่

3.1.1 ประเภทของถนน

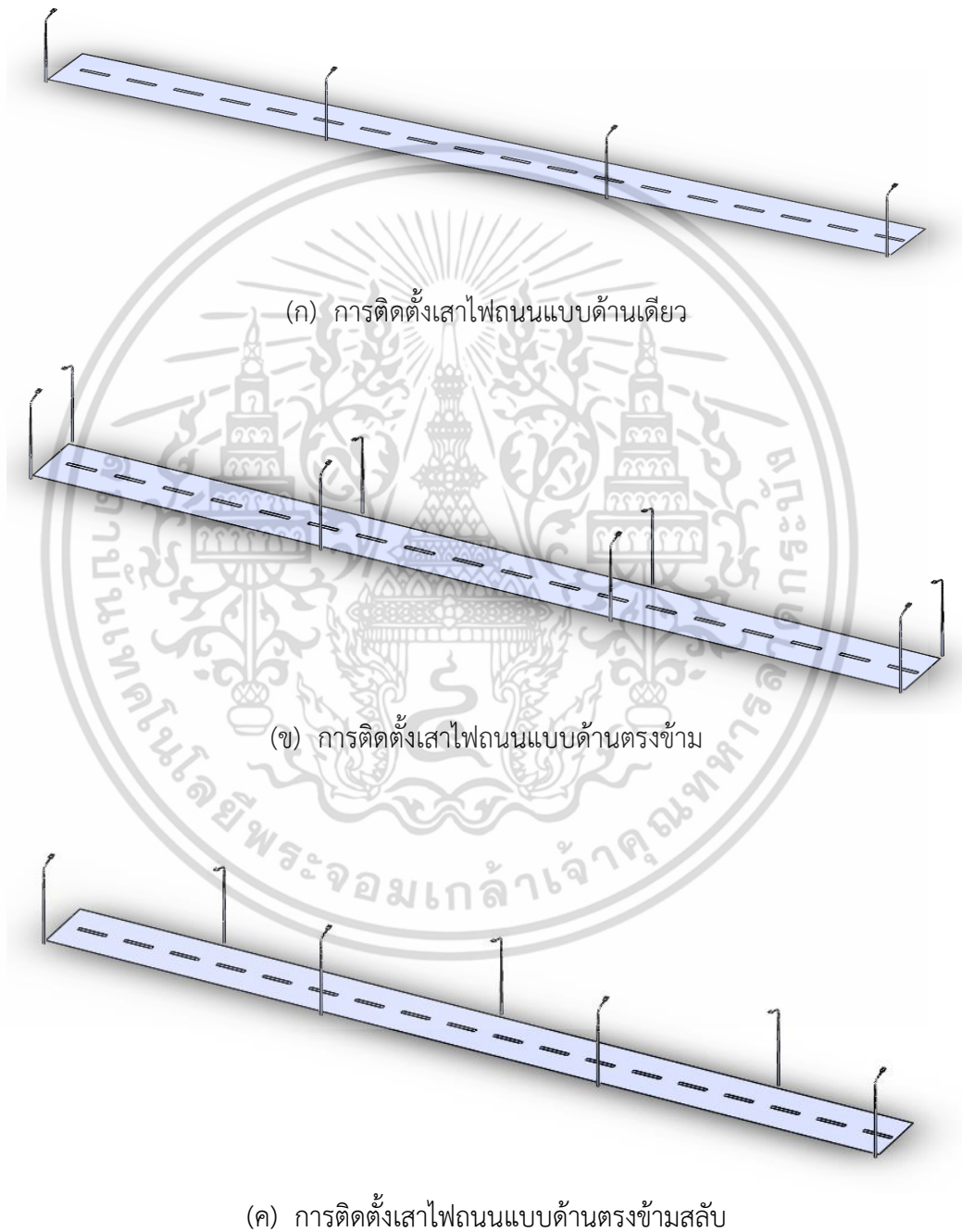
เนื่องจากความกว้างและประเภทของถนนมีผลกระทบต่อคุณภาพแสงสว่าง ในการจำลองระบบแสงสว่างจึงเลือกรูปแบบของถนนเป็นถนนชนิดสายหลัก มีค่าตัวประกอบบำรุงรักษา 0.67 เป็นพื้นผิวถนนลาดยางมะตอยที่ผสมหินบดสีทึบแสง มีความเงาต่ำ ($QO = 0.07$) ซึ่งเป็นลักษณะของระบบแสงสว่างถนนที่มีการใช้งานจริงในประเทศไทย การจำลองกำหนดลักษณะของถนนเป็นรูปแบบถนนไม่มีเกาะกลางและถนนมีเกาะกลาง เพื่อหาความเหมาะสมของการติดตั้งเสาไฟถนนให้ได้ประโยชน์ทั้งด้านคุณภาพแสงสว่างและทางพลังงานมากที่สุด เนื่องจากลักษณะการติดตั้งเสาไฟถนนเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อค่าความส่องสว่าง ค่าความสม่ำเสมอแสงและประสิทธิภาพทางพลังงาน

3.1.1.1 การติดตั้งเสาไฟถนนชนิดไม่มีเกาะกลาง

รูปแบบของถนนชนิดไม่มีเกาะกลางสำหรับในการจำลองเพื่อวิเคราะห์คุณภาพแสงสว่าง แสดงดังรูปที่ 3.1 กำหนดให้ตัวแปร Y แทนความกว้างของถนน ถนนชนิดนี้มีจำนวนช่องทางเดินรถทั้งหมด 2 ช่องทาง แต่ละช่องทางกว้าง 3.5 เมตร ตัวแปร X แทนระยะห่างระหว่างเสาไฟถนน การจำลองระบบแสงสว่างไฟถนนในกรณีถนนไม่มีเกาะกลาง สามารถแบ่งการติดตั้งเสาไฟถนนออกเป็น 3 ลักษณะ ดังนี้ การติดตั้งแบบด้านเดียว การติดตั้งแบบด้านตรงข้าม การติดตั้งแบบด้านตรงข้ามสลับ ดังแสดงในรูป 3.2



รูปที่ 3.1 รูปแบบถนนไม่มีเกาะกลาง



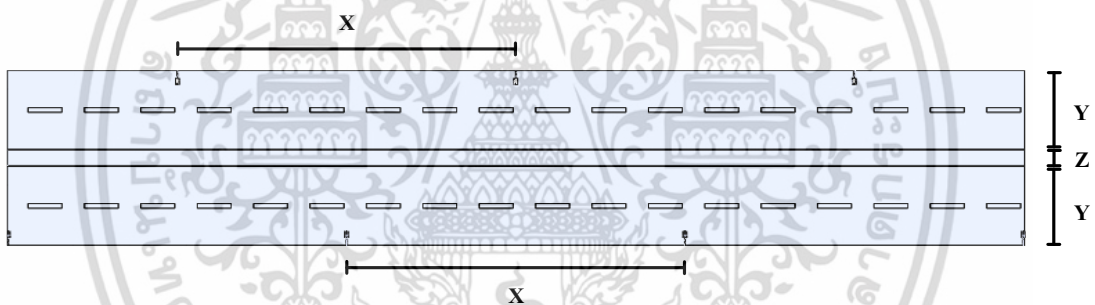
รูปที่ 3.2 แสดงรูปแบบของถนนชนิดไม่มีเกาะกลางและลักษณะการติดตั้งเสาไฟถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

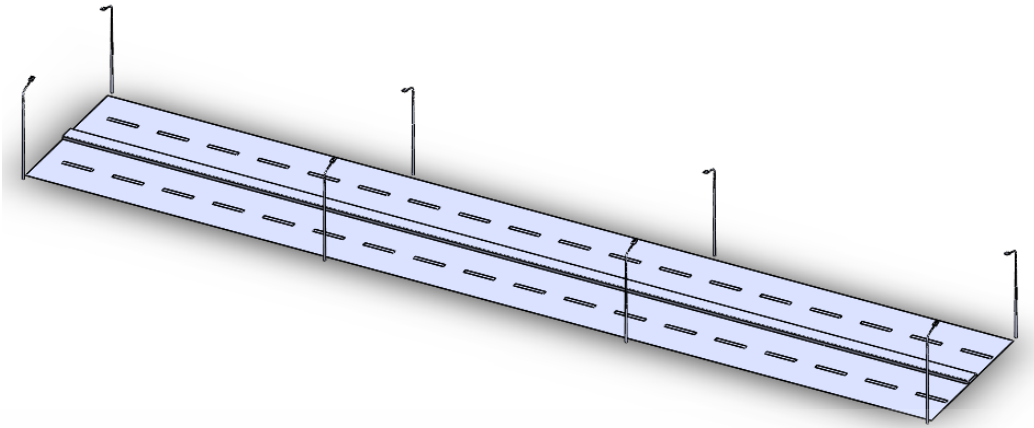
จากรูปที่ 3.2 แสดงรูปแบบการติดตั้งเสาไฟถนนที่ใช้ในการจำลองเพื่อศึกษาคุณภาพแสงสว่างสำหรับในกรณีถนนชนิดไม่มีเกาะกลาง โดยรูปที่ 3.2 (ก) แสดงรูปแบบการติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านเดียว มีการวางตำแหน่งดวงโคมไฟถนนอยู่ด้านเดียวกันกับฝั่งถนน สามารถให้ความสว่างกับพื้นผิวถนนที่อยู่ติดกับเสาไฟถนนได้สูงกว่าพื้นผิวถนนที่อยู่ไกลออกไป รูปที่ 3.2 (ข) แสดงการติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านตรงข้าม มีการติดตั้งโคมไฟถนนตรงข้ามกันระหว่างสองฝั่งถนน รูปที่ 3.2 (ค) แสดงการติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านตรงข้ามสลับ มีการวางตำแหน่งโคมไฟถนนสลับไปมาระหว่างสองฝั่งถนน

3.1.1.2 การติดตั้งเสาไฟถนนชนิดมีเกาะกลาง

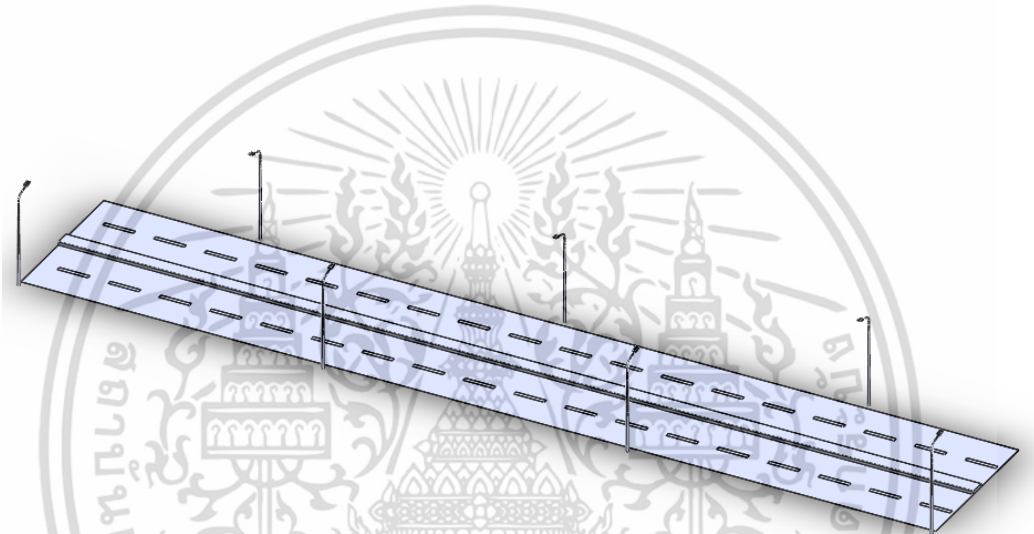
รูปแบบของถนนชนิดมีเกาะกลางสำหรับในการจำลองเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพแสงสว่างแสดงดังรูปที่ 3.3 กำหนดให้ตัวแปร Y แทนความกว้างของถนน ถนนชนิดนี้มีช่องทางเดินรถทั้งหมด 4 ช่องทาง แต่ละช่องทางกว้าง 3.5 เมตร ความกว้างของเกาะกลางถนนแทนด้วยตัวแปร Z และตัวแปร X แทนระยะห่างระหว่างเสาไฟถนน การจำลองระบบแสงสว่างไฟถนนในกรณีถนนมีเกาะกลางสามารถแบ่งการติดตั้งเสาไฟถนนออกเป็น 3 ลักษณะ ดังนี้ การติดตั้งแบบด้านตรงข้าม การติดตั้งแบบด้านตรงข้ามสลับ การติดตั้งแบบเสาปักคู่อยู่บนเกาะกลางถนน ดังแสดงในรูป 3.4



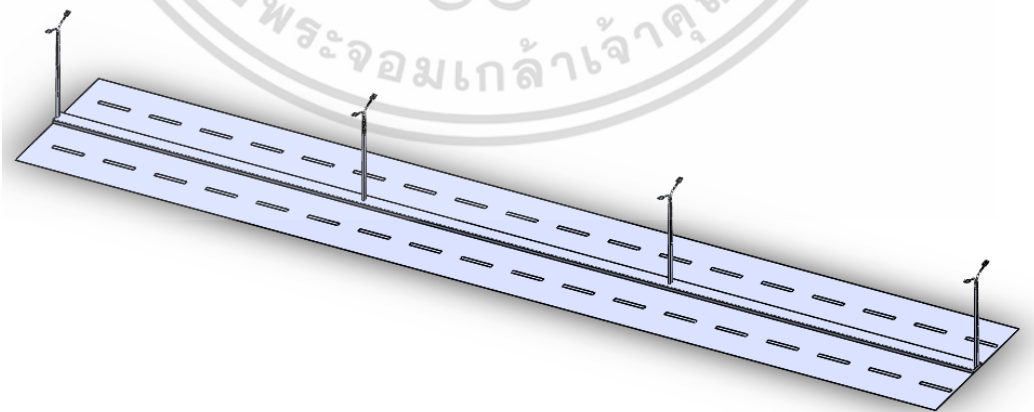
รูปที่ 3.3 รูปแบบถนนมีเกาะกลาง



(ก) การติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านตรงข้าม



(ข) การติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านตรงข้ามสลับ



(ค) การติดตั้งเสาไฟถนนแบบกิ่งคู่อยู่บนเกาะกลางถนน

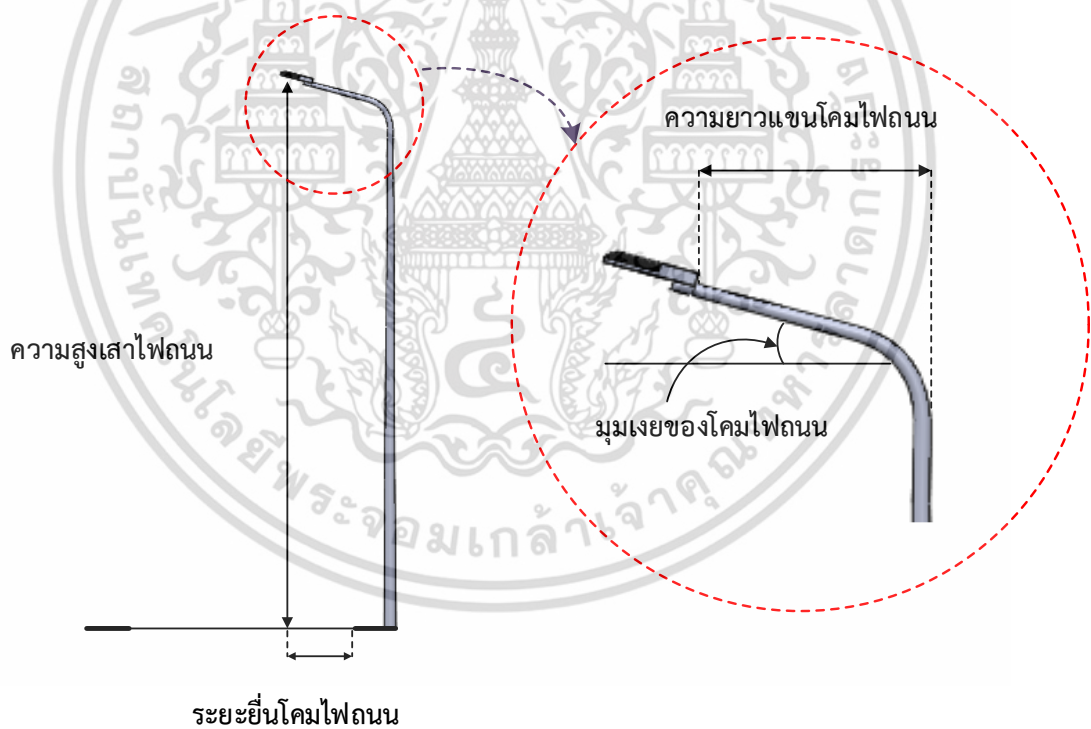
รูปที่ 3.4 แสดงรูปแบบของถนนชนิดมีเกาะกลางและลักษณะการติดตั้งเสาไฟถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.4 แสดงรูปแบบการติดตั้งเสาไฟถนนที่ใช้ในการจำลองเพื่อศึกษาคุณภาพแสงสว่าง สำหรับในกรณีถนนชนิดมีเกาะกลาง โดยรูปที่ 3.4 (ก) แสดงรูปแบบการติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านตรงข้าม มีการติดตั้งโคมไฟถนนตรงข้ามกันระหว่างสองฝั่งถนน รูปที่ 3.4 (ข) แสดงการติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านตรงข้ามสลับ มีการวางตำแหน่งโคมไฟถนนสลับไปมาระหว่างสองฝั่งถนน รูปที่ 3.4 (ค) แสดงการติดตั้งเสาไฟถนนแบบกิ่งคู่อยู่บนเกาะกลางถนน มีการวางตำแหน่งโคมไฟถนนระหว่างเกาะกลางถนน โคมไฟถนนทั้ง 2 โคม ถูกติดตั้งบนเสาไฟถนน โดยมีแขนโคมไฟถนนทำหน้าที่ยื่นโคมไฟถนนเข้าสู่พื้นที่ใช้งาน

3.1.2 ลักษณะของเสาไฟถนน

การจำลองระบบแสงสว่างไฟถนนเพื่อวิเคราะห์คุณภาพแสงสว่าง ลักษณะของโคมไฟถนนที่ใช้ในการติดตั้งแสดงดังรูปที่ 3.5 โดยปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพแสงสว่างไฟถนนคือ ความสูงเสาไฟถนน ระยะยื่นของดวงโคม มุมเงยของโคมไฟถนนกับแนวราบและความยาวของแขนโคมไฟถนน ในการจำลองระบบแสงสว่างจึงกำหนดให้เสาไฟถนนมีความสูง 9 เมตร มีระยะยื่นของดวงโคม 1.5 เมตร มีมุมเงยของโคมไฟถนน 15 องศา กับแนวราบและมีความยาวของแขนโคมไฟถนน 2.5 เมตร



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะองค์ประกอบของเสาไฟถนน

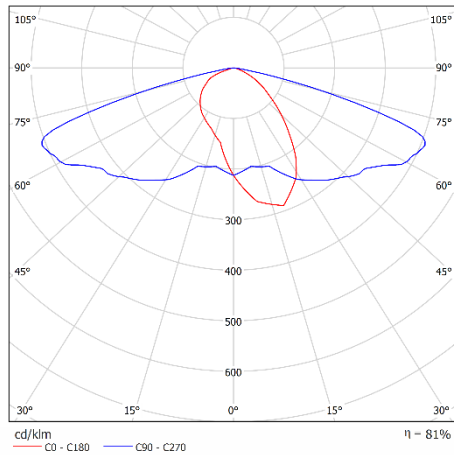
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โคมไฟถนน

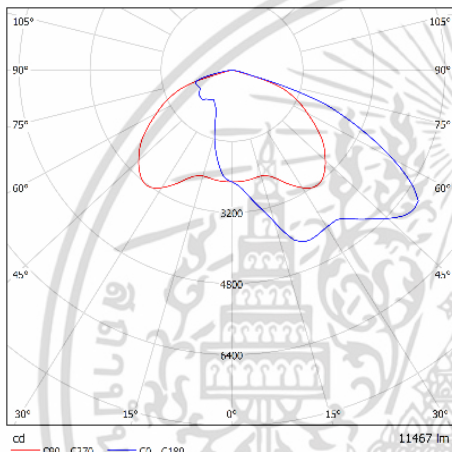
การจำลองระบบแสงสว่างไฟถนนเพื่อเปรียบเทียบและวิเคราะห์คุณภาพแสงสว่าง ระหว่างการใช้งานโคมไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันไอสูงขนาด 250 วัตต์ ที่มีการติดตั้งจริงในถนนสายหลักกับโคมไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงขนาด 120 วัตต์ ที่มีลักษณะการกระจายแสงแตกต่างกัน 4 รูปแบบ

โคมไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันไอสูงที่ใช้ในการจำลอง พิกัดกำลัง 250 วัตต์ (289 วัตต์ รวมกำลังสูญเสียจากแกนเหล็ก) มีฟลักซ์ส่องสว่างเท่ากับ 33,200 ลูเมนและประสิทธิภาพการส่องสว่างเท่ากับ 120 ลูเมนต่อวัตต์ แสดงลักษณะของการกระจายแสงดังรูปที่ 3.6 (ก) โคมไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ใช้ในการจำลอง มีประสิทธิภาพทางแสงสว่างสูง พิกัดกำลัง 120 วัตต์ (ไม่มีกำลังสูญเสียเนื่องจากใช้ตัวขับหลอดในการควบคุมแสงสว่าง) มีฟลักซ์ส่องสว่างเท่ากับ 12,119 ลูเมนและประสิทธิภาพการส่องสว่างเท่ากับ 101 ลูเมนต่อวัตต์ มีลักษณะของการกระจายแสงทั้งหมด 4 รูปแบบ ได้แก่

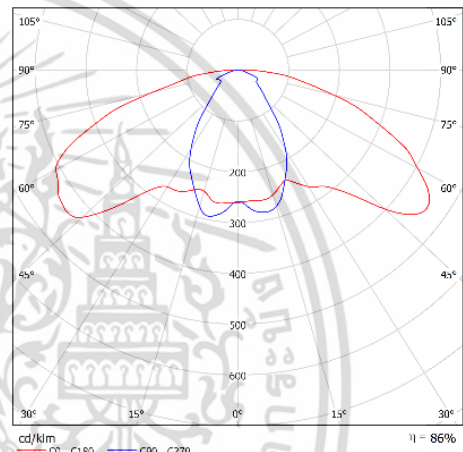
1. โคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ A แสดงดังรูปที่ 3.6 (ข)
2. โคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ B แสดงดังรูปที่ 3.6 (ค)
3. โคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ C แสดงดังรูปที่ 3.6 (ง)
4. โคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ D แสดงดังรูปที่ 3.6 (จ)



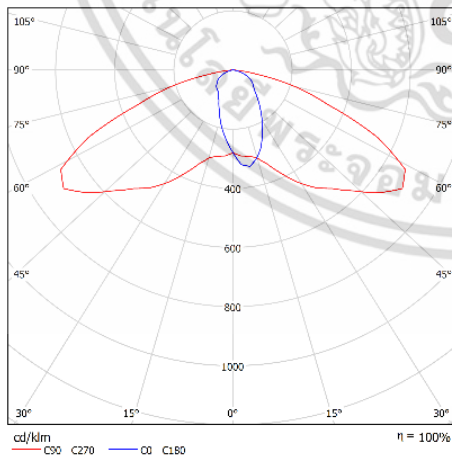
(ก) โคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง



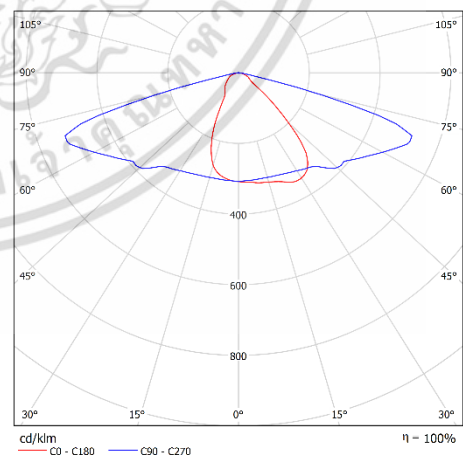
(ข) โคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ A



(ค) โคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ B



(ง) โคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ C



(จ) โคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ D

รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะการกระจายแสง (Polar curves) ของโคมไฟถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การจำลองเปรียบเทียบคุณภาพแสงสว่างไฟถนน

การจำลองระบบแสงสว่างไฟถนนเพื่อวิเคราะห์คุณภาพแสงสว่างระหว่างการใช้งานโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงกับโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง โดยพิจารณาคุณภาพแสงสว่างจากการจำลองระบบแสงสว่างไฟถนนกรณีถนนไม่มีเกาะกลางและถนนมีเกาะกลาง

3.2.1 ในกรณีถนนไม่มีเกาะกลาง

ในส่วนนี้เป็นการจำลองระบบแสงสว่างไฟถนนในกรณีถนนไม่มีเกาะกลาง เพื่อจำลองคุณภาพทางแสงสว่างไฟถนน ระหว่างการใช้งานโคมไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันไอสูง เปรียบเทียบกับการใช้งานโคมไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงที่มีลักษณะการกระจายแสงแตกต่างกัน 4 รูปแบบ ดังรูปที่ 3.6 ในการศึกษาคุณภาพแสงสว่างไฟถนน ทำการจำลองระบบแสงสว่างไฟถนนที่มีรูปแบบถนน การติดตั้งเสาไฟถนนและลักษณะเสาไฟถนนในรูปแบบเดียวกัน พร้อมทั้งการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์และปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพแสงสว่างให้อยู่ในระบบสภาพแวดล้อมเดียวกัน โดยมีตารางสรุปรูปแบบการจำลองระบบแสงสว่างไฟถนนแสดงดังตารางที่ 3.1

การศึกษาจำลองระบบแสงสว่างไฟถนนเพื่อศึกษาค่าความสว่าง สำหรับในประเทศไทยเป็นเกณฑ์การส่องสว่างของกรมทางหลวงที่กำหนดพิจารณาค่าความส่องสว่างและค่าความสม่ำเสมอแสงสำหรับประเภทถนนสายหลัก แต่สำหรับการศึกษาที่มีการกำหนดขอบเขตการพิจารณาถึงค่าพารามิเตอร์เพิ่มเติมตามพื้นฐานทางความส่องสว่างของพื้นผิวถนนของ CIE Publ. 115 ในระดับชั้นการส่องสว่างถนนสายหลัก (M2) ดังนี้

- ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (E_{av}) ≥ 21.5 ลักซ์
- ค่าความสม่ำเสมอส่องสว่าง (U_0) ≥ 0.4
- ค่าความสว่างเฉลี่ย (L_{av}) ≥ 1.5 cd/m²
- ค่าความสม่ำเสมอแสงสว่าง (U) ≥ 0.4
- ค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างตามยาว (U_l) ≥ 0.7
- ค่าแสงจ้าแยงตา (TI (%)) ≤ 10
- ค่าประสิทธิภาพทางพลังงาน (SL) ≤ 1 (W/cd.m⁻²/m²)

ตารางที่ 3.1 แสดงรูปแบบการจำลองระบบแสงสว่างไฟถนนในกรณีถนนไม่มีเกาะกลาง

รูปแบบถนน	ถนนไม่มีเกาะกลาง - ถนนกว้าง 7 เมตร ($Y=7$ เมตร) - ระยะห่างระหว่างเสาไฟถนน 36 เมตร ($X=36$ เมตร)
คุณสมบัติพื้นผิวถนน	พื้นผิวถนนแห้ง (R) - R3 ($Q_0=0.07$)
ลักษณะการติดตั้งเสาไฟถนน	ติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านเดียว
	ติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านตรงข้าม
	ติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านตรงข้ามสลับ
เสาไฟถนน	เสาไฟถนนสูง 9 เมตร
	ระยะยื่นโคมไฟถนน 1 เมตร
	มุมเงยโคมไฟถนน 15 องศา
	ความยาวแขนโคมไฟถนน 2.5 เมตร
โคมไฟถนน	หลอดโซเดียมความดันไอสูง 250 วัตต์
	หลอดไดโอดเปล่งแสง 120 วัตต์
	- มีการกระจายแสงแบบ A
	- มีการกระจายแสงแบบ B
	- มีการกระจายแสงแบบ C
	- มีการกระจายแสงแบบ D

ผลการจำลองค่าคุณภาพแสงสว่างของระบบแสงสว่างไฟถนนในกรณีถนนไม่มีเกาะกลางระหว่างการใช้โคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงและโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงที่มีลักษณะการกระจายแสงแตกต่างกัน 4 รูปแบบ แสดงดังตารางที่ 3.2 และแสดงการเปรียบเทียบคุณภาพแสงสว่างไฟถนนกับเกณฑ์มาตรฐานการส่องสว่าง แสดงดังตารางที่ 3.3 โดยกำหนดให้

- ✓ หมายถึงคุณภาพแสงสว่างมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
- ✗ หมายถึงคุณภาพแสงสว่างมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 3.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าคุณภาพแสงสว่างไฟถนนในกรณีถนนไม่มีเกาะกลาง

ข้อมูล		E_{av} (lux)	E_{min} (lux)	E_{max} (lux)	U_0	L_{av} (cd/m ²)	U	U_l	TI (%)	SL (W/cd.m ⁻² /m ²)	
มาตรฐาน		≥ 21.5	-	-	≥ 0.4	≥ 1.5	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 10	≤ 1	
โคมไฟถนน หลอดโซเดียม ความดันไอสูง	ด้านเดียว	30	12	51	0.396	2.12	0.59	0.60	13	0.54	
	ด้านตรงข้าม	61	32	98	0.535	4.40	0.66	0.72	15	0.52	
	ด้านตรงข้ามสลับ	61	50	70	0.823	4.40	0.66	0.72	9	0.52	
โคมไฟถนนหลอดดัดโอดเปล่งแสง	แบบ A	ด้านเดียว	8.81	1.89	18	0.214	0.45	0.47	0.39	4	1.06
		ด้านตรงข้าม	18	5.26	33	0.298	0.92	0.52	0.48	4	1.04
		ด้านตรงข้ามสลับ	11	5.27	21	0.465	0.65	0.69	0.57	3	1.46
	แบบ B	ด้านเดียว	9.6	4.6	20	0.479	0.68	0.44	0.58	13	0.70
		ด้านตรงข้าม	19	9.63	35	0.487	1.40	0.58	0.62	15	0.68
		ด้านตรงข้ามสลับ	19	15	25	0.796	1.40	0.66	0.79	13	0.68
	แบบ C	ด้านเดียว	12	4.57	20	0.378	0.81	0.49	0.48	7	0.59
		ด้านตรงข้าม	24	12	38	0.492	1.68	0.53	0.53	8	0.57
		ด้านตรงข้ามสลับ	24	19	29	0.777	1.68	0.60	0.71	6	0.57
	แบบ D	ด้านเดียว	15	6.4	28	0.432	1	0.63	0.67	12	0.48
		ด้านตรงข้าม	30	15	54	0.503	2.08	0.67	0.79	13	0.46
		ด้านตรงข้ามสลับ	30	24	37	0.795	2.08	0.68	0.79	7	0.46

ตารางที่ 3.3 แสดงการเปรียบเทียบคุณภาพแสงสว่างไฟถนนกับมาตรฐานการส่องสว่างในกรณีถนนไม่มีเกาะกลาง

ข้อมูล		E_{av} (lux)	U_0	L_{av} (cd/m ²)	U	U_l	TI (%)	SL (W/cd.m ² /m ²)	
มาตรฐาน		≥ 21.5	≥ 0.4	≥ 1.5	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 10	≤ 1	
โคมไฟถนน หลอดโซเดียม ความดันไอสูง	ด้านเดียว	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✓	
	ด้านตรงข้าม	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	
	ด้านตรงข้ามสลับ	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
โคมไฟถนนหลอดดัดโอดแปลงแสง	แบบ A	ด้านเดียว	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗
		ด้านตรงข้าม	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗
		ด้านตรงข้ามสลับ	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✗
	แบบ B	ด้านเดียว	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✓
		ด้านตรงข้าม	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✓
		ด้านตรงข้ามสลับ	✗	✓	✗	✓	✓	✗	✓
	แบบ C	ด้านเดียว	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓
		ด้านตรงข้าม	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓
		ด้านตรงข้ามสลับ	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	แบบ D	ด้านเดียว	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✓
		ด้านตรงข้าม	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓
		ด้านตรงข้ามสลับ	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

จากการศึกษาคุณภาพแสงสว่างไฟถนนระหว่างการใช้งานโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงกับโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงที่มีลักษณะการกระจายแสงแตกต่างกัน 4 รูปแบบ ในกรณีถนนไม่มีเกาะกลาง สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

ค่าความส่องสว่าง (E) ในระบบแสงสว่างไฟถนนเกิดจากฟลักซ์ส่องสว่างของโคมไฟถนนกระทำต่อพื้นผิวบริเวณใช้งาน เมื่อพิจารณาค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (E_{av}) จากตารางที่ 3.2 แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านตรงข้ามและด้านตรงข้ามสลับมีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยมากกว่าการติดตั้งแบบด้านเดียว เนื่องจากการติดตั้งในกรณีดังกล่าวมีการเพิ่มจำนวนโคมไฟถนนเป็น 2 เท่า ของการติดตั้งแบบด้านเดียว จึงมีค่าฟลักซ์ส่องสว่างตกกระทบพื้นผิวถนนมากกว่า เหมือนกับกรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงที่มีค่าฟลักซ์ส่องสว่างสูงกว่า จึงมีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยมากกว่ากรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง ต่อมาเมื่อพิจารณาจากลักษณะการกระจายแสงของโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง พบว่ากรณีแบบ A มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยต่ำสุดเนื่องจากโคมไฟถนนถูกออกแบบให้มีลักษณะการกระจายแสงแคบ ฟลักซ์ส่องสว่างจากโคมไฟถนนส่วนใหญ่ถูกบีบให้ส่องไปทางด้านหน้าโคมไฟถนน ค่าความส่องสว่างระหว่างเสาไฟถนนจึงมีค่าต่ำ จากการติดตั้งเสาไฟถนนทั้ง 3 รูปแบบ พบว่าเมื่อนำโคมไฟถนนในกรณีดังกล่าวมาติดตั้งในแบบด้านตรงข้ามสลับ ทำให้มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยน้อยกว่าการติดตั้งแบบด้านตรงข้าม เพราะว่าการติดตั้งแบบด้านตรงข้ามมีค่าฟลักซ์ส่องสว่างจากโคมไฟถนนที่อยู่ตำแหน่งตรงข้ามซ้อนทับกัน จึงมีค่าความส่องสว่างสูงสุด (E_{max}) มากกว่าการติดตั้งแบบด้านตรงข้ามสลับ ในขณะที่การติดตั้งทั้ง 2 รูปแบบนี้มีค่าความส่องสว่างต่ำสุด (E_{min}) ใกล้เคียงกัน

สำหรับในกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ B กรณีแบบ C และกรณีแบบ D พบว่ามีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยนเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยพิจารณากรณีแบบ B พบว่ามีลักษณะการกระจายแสงกว้าง ถูกออกแบบให้กระจาย ฟลักซ์ส่องสว่างออกด้านหน้าและด้านข้างมากขึ้น แต่มีค่าความเข้มฟลักซ์ส่องสว่างต่ำ จึงทำให้ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยบนพื้นผิวถนนมีค่าต่ำ ต่อมาในกรณีแบบ C พบว่ามีลักษณะการกระจายแสงกว้างใกล้เคียงกับกรณีแบบ B แต่ตัวโคมไฟถนนถูกออกแบบให้มีค่าฟลักซ์ส่องสว่างตรงกลางน้อยลง ทำให้มีค่าความเข้มฟลักซ์ส่องสว่างทางด้านข้างมากขึ้น จึงมีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยบนพื้นผิวถนนมากขึ้น สุดท้ายในกรณีแบบ D พบว่ามีลักษณะการกระจายแสงกว้างที่สุด ตัวโคมไฟถนนถูกออกแบบให้สามารถกระจายฟลักซ์ส่องสว่างได้อย่างเหมาะสม จึงไม่ทำให้เกิดค่าความเข้มส่องสว่างด้านข้างและด้านหน้าของโคมไฟถนนมีค่ามากหรือน้อยเกินไป โดยรวมการกระจายแสงแบบนี้ให้ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยดีที่สุด เมื่อพิจารณาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยเทียบกับมาตรฐานการส่องสว่างจากตารางที่ 3.3 แสดงให้เห็นว่าโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้ง 3 รูปแบบการติดตั้ง เนื่องจากตัวหลอดไฟถนนสามารถให้ค่าฟลักซ์ส่องสว่างสูง แต่สำหรับโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพบว่ามีเพียงการติดตั้งแบบด้านตรงข้ามและด้านตรงข้ามสลับสำหรับการกระจายแสงแบบ C และแบบ D เท่านั้น ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เนื่องจากลักษณะการกระจายแสงดังกล่าวสามารถควบคุมค่าฟลักซ์ส่องสว่างจากโคมไฟถนนให้ครอบคลุมพื้นผิวถนนได้ดีกว่าแบบอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาค่าความสม่ำเสมอส่องสว่าง (U_0) จากตารางที่ 3.2 พบว่าค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างคือ อัตราส่วนระหว่างค่าความส่องสว่างเฉลี่ยต่ำสุด (E_{\min}) กับค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (E_{av}) จึงส่งผลให้ในภาพรวม การติดตั้งแบบด้านตรงข้ามสลับมีค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างมากกว่าการติดตั้งแบบด้านตรงข้ามและด้านเดียวเรียงตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างระหว่าง โคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงกับโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพบว่าโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงมีค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างโดยรวมดี เนื่องจากโคมไฟถนนมีค่าความส่องสว่างสูง ส่วนกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพบว่าค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างขึ้นอยู่กับรูปแบบการกระจายแสงของโคมไฟถนนในแต่ละรูปแบบ สรุปได้ว่า กรณีแบบ A เป็นรูปแบบที่ให้ค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างต่ำสุด เนื่องจากโคมไฟถนนมีลักษณะการกระจายแสงแคบ จึงมีค่าความส่องสว่างระหว่างเสาไฟถนนต่ำ ทำให้มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยต่ำตามไปด้วย สำหรับกรณีแบบ B กรณีแบบ C และกรณีแบบ D พบว่ามีค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างดีขึ้น เนื่องจากตัวโคมไฟถนนมีลักษณะการกระจายแสงกว้าง ทำให้มีความส่องสว่างบนพื้นผิวถนนมีค่าใกล้เคียงกัน โดยรวมโคมไฟถนนทั้ง 3 รูปแบบนี้จึงให้ค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างสูง จากการพิจารณาค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างเทียบกับมาตรฐานแสดงดังตารางที่ 3.3 พบว่ากรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงให้ค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างผ่านเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการติดตั้งแบบด้านตรงข้ามและด้านตรงข้ามสลับ สำหรับกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพบว่าการกระจายแสงแบบ A ยังมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานกำหนดอยู่ แต่สำหรับการกระจายแสงอีก 3 แบบ แสดงให้เห็นว่ามีค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

ค่าความสว่าง (L) เกิดจากค่าความส่องสว่างคูณกับค่าคุณสมบัติการสะท้อนผิวถนน จากการจำลองพบว่าใช้พื้นผิวถนนคุณลักษณะแบบเดียวกัน ดังนั้นค่าความสว่างจากการจำลองจึงมีค่าแปรผันตรงตามค่าความส่องสว่าง เมื่อพิจารณาค่าความสว่างเฉลี่ย (L_{av}) จากตารางที่ 3.2 พบว่าการติดตั้งแบบด้านตรงข้ามและด้านตรงข้ามสลับมีค่าความสว่างเฉลี่ยมากกว่าการติดตั้งแบบด้านเดียว เนื่องจากการติดตั้งทั้ง 2 รูปแบบนี้ให้ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยสูง จึงทำให้มีค่าความสว่างมากขึ้นตาม เช่นเดียวกับกรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงที่มีค่าความสว่างเฉลี่ยมากกว่ากรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง และในทำนองเดียวกับกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ A ที่มีค่าความสว่างเฉลี่ยต่ำ ซึ่งเกิดจากการกระจายแสงในรูปแบบดังกล่าวมีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยต่ำ สำหรับโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ B กรณีแบบ C และกรณีแบบ D พบว่ามีค่าความสว่างเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเรียงตามลำดับ ตามค่าความส่องสว่างเฉลี่ย เมื่อนำค่าความสว่างเฉลี่ยมาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน แสดงดังตารางที่ 3.3 พบว่ากรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงให้ค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนดทั้ง 3 รูปแบบการติดตั้งเสาไฟถนน แต่สำหรับกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงมีเพียงการติดตั้งแบบด้านตรงข้ามสลับและการติดตั้งแบบด้านตรงข้าม ของรูปแบบการกระจายแสงแบบ C และแบบ D เท่านั้นที่มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

สำหรับค่าความสม่ำเสมอแสงสว่าง (U) จากตารางที่ 3.2 พบว่าค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างคือ อัตราส่วนระหว่างค่าความสว่างต่ำสุดต่อค่าความสว่างเฉลี่ย แต่เนื่องจากค่าความสว่างแปรผันตรงตามค่าความส่องสว่าง ดังนั้นโคมไฟถนนที่มีอัตราส่วนระหว่างค่าความส่องสว่างต่ำสุดต่อค่าความส่องสว่างเฉลี่ยสูงจึงมีค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างสูงตามไปด้วย จากการติดตั้งเสาไฟถนนทั้ง 3 รูปแบบ แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งแบบด้านตรงข้ามสลับ มีการวางตำแหน่งโคมไฟถนนสลับไปมาทั้ง 2 ฝั่งถนน ทำให้พื้นผิวถนนมีความส่องสว่างใกล้เคียงกัน การติดตั้งในแบบดังกล่าวจึงให้ค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างมากกว่าการติดตั้งแบบด้านตรงข้ามและด้านเดียว เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างระหว่างโคมไฟถนนทั้ง 2 ชนิด พบว่าโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงให้คุณภาพแสงสว่างค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างดี แต่สำหรับกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพบว่าความสม่ำเสมอแสงสว่างมีค่าขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายแสง พิจารณาจากกรณีแบบ A ซึ่งเป็นลักษณะการกระจายแสงแคบ ทำให้เกิดค่าความส่องสว่างที่ตำแหน่งระหว่างโคมไฟถนนต่ำ ส่งผลให้มีค่าความส่องสว่างในบริเวณนั้นต่ำตามไปด้วย โคมไฟถนนในแบบดังกล่าวจึงให้ค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างต่ำที่สุดสำหรับโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงที่มีลักษณะการกระจายแสงกว้าง กรณีแบบ B กรณีแบบ C และกรณีแบบ D พบว่า ค่าความส่องสว่างบนพื้นผิวโดยรวมมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ทำให้มีค่าความส่องสว่างใกล้เคียงกัน การกระจายแสงในรูปแบบดังกล่าวจึงมีค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างดีกว่าการกระจายแสงแบบแคบ เมื่อนำค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างมาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน แสดงดังตารางที่ 3.3 พบว่าโคมไฟถนนทั้ง 2 ชนิดให้ค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกรูปแบบการติดตั้ง

ค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างตามยาว (U_1) คืออัตราส่วนค่าความสว่างต่ำสุดต่อค่าความสว่างสูงสุดตามแนวเส้นขนานถนน แต่เนื่องจากค่าความสว่างแปรผันตรงตามค่าความส่องสว่าง เมื่อพิจารณาค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างตามยาวจากตารางที่ 3.2 พบว่าการติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านตรงข้ามสลับมีค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างตามยาวสูงกว่าการติดตั้งแบบด้านตรงข้ามและแบบด้านเดียวเรียงตามลำดับ เนื่องจากการติดตั้งแบบด้านตรงข้ามสลับมีค่าความส่องสว่างต่ำสุดมากกว่าการติดตั้งอีก 2 รูปแบบ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างตามยาวระหว่างโคมไฟถนนทั้ง 2 ชนิด พบว่ากรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงมีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยสูง ทำให้มีค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างตามยาวดี แต่สำหรับกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพบว่าไม่มีค่าไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายแสง โดยพิจารณาจากกรณีแบบ A พบว่ามีค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างตามยาวต่ำที่สุด เนื่องจากตัวโคมไฟถนนมีลักษณะแคบ ทำให้มีค่าความส่องสว่างในบริเวณพื้นผิวระหว่างโคมไฟถนนต่ำเมื่อเทียบกับค่าความสว่างสูงสุดตามยาว แต่เมื่อพิจารณาจากกรณีแบบ B กรณีแบบ C และกรณีแบบ D พบว่ามีลักษณะการกระจายแสงกว้าง สามารถกระจายค่าความส่องสว่างครอบคลุมพื้นผิวถนนได้ทั่วถึง ส่งผลให้ค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างตามยาวมีค่าสูงขึ้น เมื่อนำค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างตามยาวเทียบกับมาตรฐาน แสดงดังตารางที่ 3.3 พบว่าการติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านเดียว

ยังให้ค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างตามยาวต่ำกว่ามาตรฐานกำหนดในทุกกรณี เนื่องจากการติดตั้งเสาไฟถนนนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟถนนแบบด้านเดียวมีค่าความสว่างต่ำเมื่อเทียบกับค่าความสว่างสูงสุดตามยาว สำหรับกรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงติดตั้งแบบด้านตรงข้ามและด้านตรงข้ามสลับสามารถเพิ่มค่าความสว่างเฉลี่ยให้กับระบบแสงสว่างไฟถนนได้ จึงทำให้มีค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างตามยาวผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เช่นเดียวกับกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ D แต่ในกรณีแบบ B และกรณีแบบ C พบว่ามีเพียงการติดตั้งแบบด้านตรงข้ามสลับเท่านั้นที่มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ค่าแสงจ้าแยงตา (TI) พิจารณาจากค่าความสว่าง ณ จุดสังเกตเทียบกับค่าความสว่างเฉลี่ย เมื่อพิจารณาค่าแสงจ้าแยงตาจากตารางที่ 3.2 พบว่าการติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านตรงข้ามสลับมีการกระจายความสว่างครอบคลุมพื้นที่ได้มากกว่าการติดตั้งแบบด้านเดียวและด้านตรงข้ามตามลำดับ ส่งผลให้มีค่าแสงจ้าแยงตาน้อยกว่าการติดตั้งแบบด้านเดียวและด้านตรงข้าม เมื่อพิจารณากรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพบว่าตัวโคมไฟถนนมีค่าความส่องสว่างสูง ทำให้เกิดค่าแสงจ้าแยงตามาก ในกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพบว่า กรณีแบบ A มีค่าแสงจ้าแยงตาต่ำสุด เนื่องจากมีการกระจายแสงแคบ ทำให้มีค่าความสว่างโดยรอบต่ำ ในกรณีแบบ B พบว่ามีค่าแสงจ้าแยงตาสูงสุดเนื่องจากตัวโคมไฟถนนมีลักษณะการกระจายแสงกว้าง แต่ไม่สามารถควบคุมทิศทางแสงสว่างได้ดี ทำให้เกิดค่าความสว่าง ณ จุดสังเกตมากกว่าค่าความสว่างเฉลี่ย ในกรณีแบบ C และกรณีแบบ D พบว่ามีกรอกแบบให้ควบคุมแสงสว่างจากโคมไฟถนนได้ดีขึ้น สามารถกระจายแสงสว่างให้ครอบคลุมพื้นที่มากขึ้น จึงสามารถลดค่าความสว่าง ณ จุดสังเกตลงได้ เมื่อพิจารณาค่าแสงจ้าแยงตาเทียบกับมาตรฐานการส่องสว่าง จากตารางที่ 3.3 พบว่าการติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านเดียวและด้านตรงข้ามทำให้เกิดค่าแสงจ้าแยงตาสูงกว่ามาตรฐานกำหนด เนื่องจากการติดตั้งในกรณีดังกล่าวทำให้เกิดค่าความสว่าง ณ จุดสังเกตสูงกว่าค่าความสว่างเฉลี่ย โดยเฉพาะโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ B ที่มีค่าแสงจ้าแยงตาสูงกว่ามาตรฐานกำหนดมาก

ค่าประสิทธิภาพทางพลังงาน (SL) พิจารณาจากค่ากำลังวัตต์ใช้งานเทียบกับค่าความสว่างเฉลี่ยต่อพื้นที่ จากตารางที่ 3.2 พบว่าการติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านตรงข้ามและด้านตรงข้ามสลับมีค่าประสิทธิภาพทางพลังงานเท่ากันและมีค่าน้อยกว่าการติดตั้งแบบด้านเดียว เนื่องจากการติดตั้งดังกล่าวมีค่าความสว่างเฉลี่ยมากกว่าเมื่อเทียบกับกำลังวัตต์ใช้งาน จากการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพทางพลังงานระหว่างโคมไฟถนนทั้ง 2 ชนิด พบว่ากรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงมีค่าประสิทธิภาพทางพลังงานดีกว่ากรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง ยกเว้นกรณีแบบ D เนื่องจากโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงทั้ง 4 รูปแบบมีกำลังวัตต์เท่ากัน การกระจายแสงที่สามารถให้ค่าความสว่างได้มากที่สุดจึงมีค่าประสิทธิภาพทางพลังงานสูงสุด จากการพิจารณาค่าประสิทธิภาพทางพลังงานกับมาตรฐานการส่องสว่าง จากตารางที่ 3.3 พบว่ากรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ A เป็นกรณีเดียวที่มีค่าประสิทธิภาพทางพลังงานสูงกว่ามาตรฐานกำหนด เนื่องจากโคมไฟถนนในกรณีดังกล่าวให้ค่าความสว่างต่ำเกินไป เมื่อเทียบกับกำลังวัตต์ที่ใช้งาน จึงทำให้การติดตั้งโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงในกรณีดังกล่าวไม่คุ้มค่าทางพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในภาพรวมจากการติดตั้งโคมไฟถนนทั้ง 3 รูปแบบแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งแบบด้านตรงข้ามสลับสามารถให้คุณภาพแสงสว่างได้ดีที่สุด เนื่องจากการติดตั้งในแบบนี้มีค่าฟลักซ์ส่องสว่างจากโคมไฟถนนเท่ากับการติดตั้งแบบด้านตรงข้าม จึงมีค่าความส่องสว่างเฉลี่ย ค่าความสว่างเฉลี่ยและค่าประสิทธิภาพทางพลังงานเท่ากัน แต่การติดตั้งแบบด้านตรงข้ามสลับมีค่าความสม่ำเสมอส่องสว่าง ค่าความสม่ำเสมอแสงสว่าง ค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างตามยาวและค่าแสงจ้าแยงตาดีกว่า เนื่องจากการเรียงโคมไฟถนนแบบสลับไปมาระหว่างสองฝั่งถนน สามารถช่วยกระจายความเข้มฟลักซ์ส่องสว่างให้ครอบคลุมพื้นผิวถนนได้มากกว่า

จากการใช้งานโคมไฟถนนทั้ง 2 ชนิด พบว่าโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงมีค่า ฟลักซ์ส่องสว่างมากกว่าโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง จึงทำให้มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยและค่าความสว่างเฉลี่ยมากกว่า แต่สำหรับค่าความสม่ำเสมอส่องสว่าง ค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างและค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างตามยาว พบว่ากรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงที่มีลักษณะการกระจายแสงกว้างและควบคุมค่าความส่องสว่างให้ครอบคลุมพื้นผิวถนนได้อย่างเหมาะสม (กรณีแบบ D) สามารถให้คุณภาพแสงสว่างดังกล่าวได้ดีกว่า สำหรับค่าแสงจ้าแยงตาพบว่ากรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงมีค่าแสงจ้าแยงตาสูงเนื่องจากโคมไฟถนนมีค่าฟลักซ์ส่องสว่างสูงจึงทำให้มีค่าความสว่าง ณ จุดสังเกตมีค่าสูงตาม แต่สำหรับกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพบว่ารูปแบบการกระจายแสงที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าแสงจ้าแยงตา อย่างเช่นในกรณีรูปแบบ B มีการกระจายแสงกว้าง แต่ไม่สามารถควบคุมทิศทางแสงสว่างได้ดี จึงทำให้มีค่าแสงจ้าแยงตาสูง ต่างจากกรณีแบบ C และแบบ D ที่มีการกระจายแสงกว้างเช่นกัน แต่สามารถควบคุมค่าความสว่างบนพื้นผิวถนนให้มีค่าใกล้เคียงกัน จึงมีค่าแสงจ้าแยงตาที่ต่ำกว่า เป็นต้น

ผลจากการจำลองระบบแสงสว่างไฟถนนในกรณีถนนไม่มีเกาะกลางแสดงให้เห็นว่าโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ D เมื่อนำมาติดตั้งแบบด้านตรงข้ามสลับสามารถให้คุณภาพแสงสว่างผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด โดยมีค่าความสม่ำเสมอโดยรวม ค่าแสงจ้าแยงตาและค่าประสิทธิภาพทางพลังงานดีกว่ากรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง แต่อย่างไรก็ตามการใช้โคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงก็ยังให้ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยและค่าแสงสว่างเฉลี่ยต่ำกว่าโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง เนื่องจากมีค่าฟลักซ์ส่องสว่างน้อยกว่า

3.2.2 ในกรณีถนนมีเกาะกลาง

ในส่วนนี้เป็นการจำลองระบบแสงสว่างไฟถนนในกรณีถนนมีเกาะกลาง เพื่อจำลองคุณภาพทางแสงสว่างไฟถนน ระหว่างการใช้งานโคมไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันไอสูง เปรียบเทียบกับการใช้งานโคมไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงที่มีลักษณะการกระจายแสงแตกต่างกัน 4 รูปแบบ ดังรูปที่ 3.6 ในการศึกษาคุณภาพแสงสว่างไฟถนน ทำการจำลองระบบแสงสว่างไฟถนนที่มีรูปแบบถนน การติดตั้งเสาไฟถนนและลักษณะเสาไฟถนนในรูปแบบเดียวกัน พร้อมทั้งการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ และปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพแสงสว่างให้อยู่ในระบบสภาพแวดล้อมเดียวกัน โดยมีตารางสรุปรูปแบบการจำลองระบบแสงสว่างไฟถนนแสดงดังตารางที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 แสดงรูปแบบการจำลองเพื่อศึกษาคุณภาพแสงสว่างของโคมไฟถนนหลอด
ไดโอดเปล่งแสงในกรณีถนนมีเกาะกลาง

รูปแบบถนน	ถนนมีเกาะกลาง - ถนนกว้าง 7 เมตร ($Y=7$ เมตร) - เกาะกลางถนนกว้าง 1.5 เมตร ($Z=1.5$ เมตร) - ระยะห่างระหว่างเสาไฟถนน 36 เมตร ($X=36$ เมตร)
คุณสมบัติพื้นผิวถนน	พื้นผิวถนนแห้ง (R) - R3 ($Q_0=0.07$)
ลักษณะการติดตั้งเสาไฟถนน	ติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านตรงข้าม
	ติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านตรงข้ามสลับ
	ติดตั้งเสาไฟถนนแบบกึ่งคูอยู่บนเกาะกลางถนน
เสาไฟถนน	เสาไฟถนนสูง 9 เมตร
	ระยะยื่นโคมไฟถนน 1 เมตร
	มุมเงยโคมไฟถนน 15 องศา
	ความยาวแขนโคมไฟถนน 2.5 เมตร
โคมไฟถนน	หลอดไดโอดเปล่งแสง 120 วัตต์ 4 รูปแบบ
	- มีการกระจายแสงแบบ A - มีการกระจายแสงแบบ B - มีการกระจายแสงแบบ C - มีการกระจายแสงแบบ D

ผลการจำลองระบบแสงสว่างไฟถนนในกรณีถนนมีเกาะกลางระหว่างการใช้โคมไฟถนนหลอด
โซเดียมความดันไอสูง แสดงดังตารางที่ 3.5 และโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงที่มีลักษณะการ
กระจายแสงแตกต่างกัน 4 รูปแบบ ดังตารางที่ 3.6 เพื่อนำผลจากการจำลองมาเปรียบเทียบคุณภาพ
แสงสว่างระหว่างการใช้งานโคมไฟถนนทั้ง 2 ชนิด

- ✓ หมายถึงคุณภาพแสงสว่างมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
- ✗ หมายถึงคุณภาพแสงสว่างมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 3.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าคุณภาพแสงสว่างไฟถนนในกรณีถนนมีเกาะกลาง

ข้อมูล		E_{av} (lux)	E_{min} (lux)	E_{max} (lux)	U_0	L_{av} (cd/m ²)	U	U_l	TI (%)	SL (W/cd.m ⁻² /m ²)	
มาตรฐาน		≥ 21.5	-	-	≥ 0.4	≥ 1.5	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 10	≤ 1	
โคมไฟถนน หลอดโซเดียม ความดันไอสูง	ด้านตรงข้าม	43	16	78	0.381	2.82	0.58	0.67	14	0.37	
	ด้านตรงข้ามสลับ	43	20	65	0.465	2.82	0.56	0.62	12	0.37	
	กึ่งคูบนเกาะกลาง	37	17	59	0.448	2.47	0.70	0.73	12	0.42	
โคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง	แบบ A	ด้านตรงข้าม	15	4.63	32	0.310	0.70	0.64	0.51	5	0.61
		ด้านตรงข้ามสลับ	15	3.14	28	0.342	0.70	0.66	0.53	4	0.61
		กึ่งคูบนเกาะกลาง	12	3.45	22	0.292	0.57	0.41	0.37	3	0.75
	แบบ B	ด้านตรงข้าม	13	5.73	22	0.453	0.87	0.62	0.61	16	0.49
		ด้านตรงข้ามสลับ	13	6.07	22	0.480	0.87	0.66	0.65	15	0.49
		กึ่งคูบนเกาะกลาง	12	5.42	24	0.461	0.84	0.42	0.62	16	0.51
	แบบ C	ด้านตรงข้าม	16	6.18	24	0.389	1.02	0.48	0.51	9	0.42
		ด้านตรงข้ามสลับ	16	6.41	23	0.404	1.02	0.51	0.53	7	0.42
		กึ่งคูบนเกาะกลาง	14	5.17	22	0.382	0.90	0.59	0.56	7	0.48
	แบบ D	ด้านตรงข้าม	23	12	37	0.499	1.45	0.65	0.70	13	0.30
		ด้านตรงข้ามสลับ	23	12	35	0.503	1.45	0.67	0.76	10	0.30
		กึ่งคูบนเกาะกลาง	16	5.8	31	0.369	1.04	0.56	0.73	11	0.41

ตารางที่ 3.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าคุณภาพแสงสว่างไฟถนนกับมาตรฐานการส่องสว่างในกรณีถนนมีเกาะกลาง

ข้อมูล		E_{av} (lux)	U_0	L_{av} (cd/m ²)	U	U_l	TI (%)	SL (W/cd.m ⁻² /m ²)	
มาตรฐาน		≥ 21.5	≥ 0.4	≥ 1.5	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 10	≤ 1	
โคมไฟถนน หลอดโซเดียม ความดันไอสูง	ด้านตรงข้าม	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✓	
	ด้านตรงข้ามสลับ	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	
	กึ่งคูบนเกาะกลาง	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	
โคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง	แบบ A	ด้านตรงข้าม	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓
		ด้านตรงข้ามสลับ	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓
		กึ่งคูบนเกาะกลาง	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓
	แบบ B	ด้านตรงข้าม	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✓
		ด้านตรงข้ามสลับ	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✓
		กึ่งคูบนเกาะกลาง	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✓
	แบบ C	ด้านตรงข้าม	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓
		ด้านตรงข้ามสลับ	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✓
		กึ่งคูบนเกาะกลาง	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓
	แบบ D	ด้านตรงข้าม	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓
		ด้านตรงข้ามสลับ	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓
		กึ่งคูบนเกาะกลาง	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓

จากการศึกษาคุณภาพแสงสว่างไฟถนนระหว่างการใช้งานโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงกับโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงที่มีลักษณะการกระจายแสงแตกต่างกัน 4 รูปแบบ ในกรณีถนนมีเกาะกลาง สรุปได้ดังต่อไปนี้

ค่าความส่องสว่างในระบบแสงสว่างไฟถนน (E) เกิดจากฟลักซ์ส่องสว่างของโคมไฟถนนกระทำต่อพื้นผิวบริเวณใช้งาน เมื่อพิจารณาค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (E_{av}) จากตาราง 3.5 แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งแบบด้านตรงข้ามและด้านตรงข้ามสลับมีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยมากกว่าการติดตั้งแบบกึ่งคูบนเกาะกลาง เนื่องจากการติดตั้งแบบกึ่งคูบนเกาะกลางถนนทำให้เกิดค่าความส่องสว่างระหว่างเสาไฟถนนมีค่าต่ำ โดยรวมจึงทำให้มีค่าความส่องสว่างครอบคลุมพื้นผิวถนนน้อยกว่าการติดตั้งอีก 2 รูปแบบ สำหรับค่าความส่องสว่างเฉลี่ยระหว่างโคมไฟถนนทั้ง 2 ชนิด พบว่ามีแนวโน้มเหมือนกับกรณีถนนไม่มีเกาะกลาง แต่ระบบแสงสว่างไฟถนนมีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยลดลงเนื่องจากถนนมีความกว้างขึ้น เมื่อพิจารณาจากลักษณะการกระจายแสงของโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง พบว่ากรณีแบบ A พบว่ามีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยต่ำสุด เนื่องจากโคมไฟถนนมีลักษณะการกระจายแสงแคบ ทำให้ฟลักซ์ส่องสว่างจากโคมไฟถนนไม่สามารถครอบคลุมพื้นผิวถนนได้หมด สำหรับกรณีแบบ B พบว่ามีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยต่ำเหมือนกับกรณีแบบ A เนื่องจากตัวโคมไฟถนนถูกออกแบบให้มีลักษณะการกระจายแสงกว้าง แต่มีค่าความเข้มฟลักซ์ส่องสว่างต่ำ เมื่อนำไปใช้กับถนนที่มีความกว้างมาก ๆ จึงทำให้มีความส่องสว่างบนพื้นผิวถนนต่ำ ต่อมาสำหรับกรณีแบบ C พบว่าสามารถให้ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยเพิ่มขึ้น เนื่องจากโคมไฟถนนมีลักษณะการกระจายแสงกว้าง แต่มีค่าความเข้มฟลักซ์ส่องสว่างสูง จึงทำให้ค่าความส่องสว่างโดยรวมบนพื้นผิวถนนมีค่ามากขึ้น สุดท้ายกรณีแบบ D พบว่าสามารถให้ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยมากที่สุด เนื่องจากตัวโคมไฟถนนมีลักษณะการกระจายแสงกว้าง ถูกออกแบบให้มีการกระจายความเข้มฟลักซ์ส่องสว่างครอบคลุมพื้นผิวถนนได้อย่างเหมาะสม เมื่อพิจารณาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยเทียบกับมาตรฐานการส่องสว่างจากตารางที่ 3.6 แสดงให้เห็นว่าโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้ง 3 รูปแบบการติดตั้ง แต่สำหรับโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพบว่ามีเพียงการติดตั้งแบบด้านตรงข้ามและด้านตรงข้ามสลับสำหรับการกระจายแสงแบบ D เท่านั้น ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

พิจารณาค่าความสม่ำเสมอส่องสว่าง (U_0) จากตารางที่ 3.5 พบว่าค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าความส่องสว่างเฉลี่ยต่ำสุด (E_{min}) กับค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (E_{av}) จึงส่งผลให้การติดตั้งแบบด้านตรงข้ามสลับมีแนวโน้มค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างมากกว่าการติดตั้งแบบด้านตรงข้ามและแบบกึ่งคูบนเกาะกลางถนนเรียงตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างระหว่างโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงกับโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพบว่าโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงมีค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างโดยรวมดี เนื่องจากโคมไฟถนนมีค่าความส่องสว่างสูง ส่วนกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพบว่ามีค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างขึ้นอยู่กับรูปแบบการกระจายแสงของโคมไฟถนนในแต่ละรูปแบบ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า กรณีแบบ A เป็นกรณีที่ทำให้ค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างต่ำสุด เนื่องจากโคมไฟถนนมีลักษณะการกระจายแสงแคบ มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความส่องสว่างระหว่างเสาไฟถนนมีค่าต่ำ ทำให้ค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างมีค่าต่ำลงไปด้วย สำหรับกรณีแบบ B กรณีแบบ C และกรณีแบบ D พบว่ามีค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างดีขึ้น เนื่องจากตัวโคมไฟถนนมีลักษณะการกระจายแสงกว้าง ทำให้มีการกระจายค่าความส่องสว่างบนพื้นผิวถนนใกล้เคียงกัน แต่โดยรวมพบว่าค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างในกรณีถนนมีเกาะกลางมีค่าต่ำกว่ากรณีถนนไม่มีเกาะกลาง เนื่องจากถนนมีความกว้างขึ้น ค่าความส่องสว่างบนพื้นผิวถนนที่อยู่ไกลจากตัวโคมไฟถนนจึงมีค่าต่ำลง จากการพิจารณาค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างเทียบกับมาตรฐานแสดงดังตารางที่ 3.6 พบว่ากรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงให้ค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างผ่านเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการติดตั้งแบบด้านตรงข้ามสลับและแบบกึ่งคู่บนเกาะกลาง สำหรับกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพบว่าการกระจายแสงแบบ A ยังมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด เนื่องจากทำให้เกิดค่าความส่องสว่างต่ำสุดมากเกินไป แต่สำหรับการกระจายแสงอีก 3 แบบ แสดงให้เห็นว่ามีค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

สำหรับค่าความสม่ำเสมอส่องสว่าง (U) จากตารางที่ 3.5 พบว่าค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างคืออัตราส่วนระหว่างค่าความสว่างต่ำสุดต่อค่าความสว่างเฉลี่ย แต่เนื่องจากค่าความสว่างแปรผันตรงตามค่าความส่องสว่าง ดังนั้นโคมไฟถนนที่มีอัตราส่วนระหว่างค่าความส่องสว่างต่ำสุดต่อค่าความส่องสว่างเฉลี่ยสูงจึงมีค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างสูงตามไปด้วย จากการติดตั้งเสาไฟถนนทั้ง 3 รูปแบบพบว่า สามารถให้ค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของลักษณะการกระจายแสงของโคมไฟถนนด้วย ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงเมื่อติดตั้งแบบกึ่งคู่บนเกาะกลางมีค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างสูงสุด แต่กรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ B กลับให้ค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างสูงสุดเมื่อติดตั้งแบบด้านตรงข้ามสลับ ในขณะที่กรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ D มีค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างใกล้เคียงกัน สำหรับการติดตั้งทั้ง 3 รูปแบบ เป็นต้น ดังนั้นจึงไม่สามารถสรุปได้ว่ารูปแบบการติดตั้งหรือโคมไฟถนนชนิดใดมีค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างสูงกว่ากัน ต้องคิดเทียบเป็นกรณีศึกษาไป เมื่อพิจารณากรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพบว่ามีความสม่ำเสมอส่องสว่างสูงเนื่องจากตัวโคมไฟถนนสามารถให้ค่าความส่องสว่างสูง สำหรับกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ A มีลักษณะการกระจายแสงแคบแต่สามารถให้ค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างได้ดี เนื่องจากถนนมีลักษณะกว้าง ค่าความส่องสว่างโดยรวมบนพื้นผิวถนนจึงมีค่าต่ำ ทำให้อัตราส่วนระหว่างค่าความสว่างต่ำสุดต่อค่าความสว่างเฉลี่ยมีค่าสูง จึงมีค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างสูงไปด้วย เช่นเดียวกับกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ B ที่ให้การกระจายแสงกว้างแต่มีค่าความส่องสว่างต่ำ จึงให้ผลลัพธ์เหมือนกับกรณีแบบ A สำหรับกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ C และกรณีแบบ D พบว่าโคมไฟถนนทั้ง 2 รูปแบบมีลักษณะการกระจายแสงกว้างและมีค่าความส่องสว่างโดยรวมสูง จึงมีค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เมื่อนำค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างมาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน แสดงดังตารางที่ 3.6 พบว่าโคมไฟถนนทั้ง 2 ชนิด ให้ค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

เนื่องจากถนนมีลักษณะกว้างจึงทำให้ค่าความส่องสว่างจากโคมไฟถนนมีค่าใกล้เคียงกันที่พื้นผิวถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างตามยาว (U) คืออัตราส่วนค่าความสว่างต่ำสุดต่อค่าความสว่างสูงสุดตามแนวเส้นขนานถนน เมื่อพิจารณาค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างตามยาวจากตารางที่ 3.5 พบว่าการติดตั้งเสาไฟถนนทั้ง 3 รูปแบบ ไม่สามารถให้ข้อสรุปได้ว่าการติดตั้งแบบไหนมีค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างตามยาวสูงกว่ากัน เนื่องจากลักษณะการกระจายแสงของโคมไฟถนนเป็นส่วนสำคัญที่ส่งผลให้ความสม่ำเสมอแสงสว่างตามยาวมีค่ามากขึ้นหรือน้อยลง จากการพิจารณาค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างตามยาวของกรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพบว่า โคมไฟถนนมีค่าความส่องสว่างสูงประกอบกับมีลักษณะการกระจายแสงกว้างจึงทำให้มีค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างตามยาวสูงสำหรับกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ A พบว่า ตัวโคมไฟถนนมีลักษณะการกระจายแสงแคบ เมื่อนำมาใช้กับถนนที่มีความกว้างมากจึงทำให้มีค่าความสว่างโดยรวมต่ำ ส่งผลให้มีค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างตามยาวต่ำไปด้วย สำหรับกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ B มีลักษณะการกระจายแสงกว้าง ให้ค่าความส่องสว่างต่ำแต่สามารถกระจายแสงสว่างครอบคลุมพื้นได้มาก จึงมีค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างตามยาวสูง สำหรับกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ C มีลักษณะการกระจายแสงกว้างแต่ให้ค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างตามยาวต่ำ เนื่องจากโคมไฟถนนชนิดนี้ให้ค่าความสว่างตามยาวสูงเมื่อเทียบกับค่าความสว่างต่ำสุด จึงมีค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างตามยาวต่ำ สุดท้ายสำหรับกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ D พบว่ามีค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างตามยาวดีสุด เนื่องจากโคมไฟถนนมีลักษณะการกระจายแสงที่เหมาะสม จึงมีการกระจายความส่องสว่างครอบคลุมพื้นผิวถนนได้ดี เมื่อนำค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างตามยาวเทียบกับมาตรฐาน แสดงดังตารางที่ 3.6 แสดงให้เห็นว่าส่วนใหญ่มีค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างตามยาวต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด เนื่องจากมีค่าความสว่างต่ำเมื่อเทียบกับค่าความสว่างสูงสุดตามยาวมากเกินไป แต่สำหรับกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ D พบว่ามีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกกรณีติดตั้งเนื่องจากการออกแบบกระจายแสงที่เหมาะสม

ค่าแสงจ้าแยงตา (TI) หมายถึงค่าความสว่าง ณ จุดสังเกตเทียบกับค่าความสว่างเฉลี่ย เมื่อพิจารณาค่าแสงจ้าแยงตาจากตารางที่ 3.5 แสดงให้เห็นว่าเมื่อถนนมีความกว้างมาก ชนิดของโคมไฟถนนและลักษณะการกระจายแสงล้วนเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดค่าแสงจ้าแยงตาที่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณากรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง พบว่ามีค่าแสงจ้าแยงตาสูงเนื่องจากโคมไฟถนนดังกล่าวมีค่าความส่องสว่างสูง จึงทำให้มีค่าความสว่าง ณ จุดสังเกตสูงเมื่อเทียบกับค่าความสว่างเฉลี่ย สำหรับกรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงแบบ A มีลักษณะการกระจายแสงแคบ จึงทำให้เกิดค่าความสว่างโดยรวมต่ำ ส่งผลให้มีค่าแสงจ้าแยงตาน้อยที่สุด สำหรับกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ B พบว่ามีค่าแสงจ้าแยงตาสูงที่สุด เนื่องจากโคมไฟถนนมีลักษณะการกระจายแสงกว้าง แต่ไม่สามารถควบคุมทิศทางแสงสว่างได้ดี ทำให้เกิดค่าความสว่าง ณ จุดสังเกตมากกว่าค่าความสว่างเฉลี่ย ต่อมาสำหรับกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ C พบว่า โคมไฟถนนมีลักษณะการกระจายแสงกว้าง ให้ค่าความสว่างเฉลี่ยสูงและมีค่าความสว่าง ณ จุดสังเกตต่ำ จึงทำให้การกระจายแสงแบบนี้มีค่าแสงจ้าแยงตาต่ำ สุดท้ายสำหรับกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D แสดงให้เห็นว่ามีค่าแสงจ้าแยงตาค่อนข้างสูง เนื่องจากการกระจายแสงดังกล่าวสามารถให้ค่าความสว่างได้มาก ทำให้มีค่าความสว่าง ณ จุดสังเกตสูงเมื่อเทียบกับค่าความสว่างเฉลี่ย จากการพิจารณาค่าแสงจ้าแยงตาเทียบกับมาตรฐานการส่องสว่าง จากตารางที่ 3.6 พบว่ากรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงยังมีค่าแสงจ้าแยงตาสูงกว่ามาตรฐานทั้ง 3 รูปแบบการติดตั้งเนื่องจากตัวโคมให้แสงสว่างมากเกินไป สำหรับกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ B และแบบ D พบว่ายังมีค่าแสงจ้าแยงตาสูงกว่ามาตรฐาน เนื่องจากลักษณะการกระจายแสงดังกล่าวทำให้เกิดค่าความสว่าง ณ จุดสังเกตมากเกินไปเมื่อเทียบกับค่าความสว่างเฉลี่ย

ค่าประสิทธิภาพทางพลังงาน (SL) พิจารณาจากค่ากำลังวัตต์ใช้งานเทียบกับค่าความสว่างเฉลี่ยต่อพื้นที่ จากตารางที่ 3.5 พบว่าการติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านตรงข้ามและด้านตรงข้ามสลับมีค่าประสิทธิภาพทางพลังงานมากกว่าการติดตั้งแบบกึ่งคูบนเกาะกลางถนน เนื่องจากการติดตั้งในรูปแบบดังกล่าวมีกำลังวัตต์ใช้งานเท่ากัน แต่การติดตั้งแบบด้านตรงข้ามและด้านตรงข้ามสลับให้ค่าความส่องสว่างมากกว่า จึงมีค่าประสิทธิภาพทางพลังงานต่ำกว่า จากการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพทางพลังงานระหว่างโคมไฟถนนทั้ง 2 ชนิด พบว่ากรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงมีค่าประสิทธิภาพทางพลังงานดีกว่ากรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง ยกเว้นกรณีแบบ D เนื่องจากโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ D มีกำลังวัตต์ต่ำ แต่มีค่าความส่องสว่างสูง จึงมีค่าประสิทธิภาพทางพลังงานมากกว่า เมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพทางพลังงานกับมาตรฐานการส่องสว่าง จากตารางที่ 3.6 พบว่าโดยรวมมีค่าประสิทธิภาพทางพลังงานผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด เนื่องจากในกรณีดังกล่าวเป็นกรณีถนนมีเกาะกลาง ถนนมีความกว้างมากขึ้น จึงทำให้มีประสิทธิภาพกำลังวัตต์ใช้งานมากขึ้น

จากการติดตั้งเสาไฟถนนทั้ง 3 รูปแบบแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งเสาไฟถนนทั้ง 3 รูปแบบมีค่าฟลักซ์ส่องสว่างเท่ากันแต่การติดตั้งแบบด้านตรงข้ามและด้านตรงข้ามสลับสามารถกระจาย ฟลักซ์ส่องสว่างให้ครอบคลุมพื้นผิวถนนได้มากกว่า จึงทำให้มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ย ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย และค่าประสิทธิภาพทางพลังงานมากกว่า สำหรับค่าความสม่ำเสมอส่องสว่างพบว่าการติดตั้งแบบด้านตรงข้ามสลับสามารถให้ค่าที่ดีกว่าการติดตั้งอีก 2 รูปแบบ ส่วนค่าความสม่ำเสมอแสงสว่าง ค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างตามยาวและค่าแสงจ้าแยงตา พบว่าปัจจัยรูปแบบการติดตั้งเสาไฟถนนเพียงอย่างเดียวไม่สามารถสรุปได้ เนื่องจากถนนมีความกว้างมากขึ้น ปัจจัยจากลักษณะการกระจายแสงและชนิดของโคมไฟถนนจึงเข้ามามีบทบาทในการวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าเหล่านี้

สำหรับการใช้งานโคมไฟถนนทั้ง 2 ชนิด พบว่าโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงมีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยและค่าความส่องสว่างเฉลี่ยมากกว่าโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง เนื่องจากมีค่าฟลักซ์ส่องสว่างสูงกว่า สำหรับโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบ A พบว่ายังให้คุณภาพแสงสว่างต่ำอยู่เนื่องจากตัวโคมไฟถนนมีลักษณะการกระจายแสงแคบ ฟลักซ์ส่องสว่างจากโคมไฟถนนจึงไม่สามารถครอบคลุมพื้นผิวถนนได้หมด ในกรณีแบบ B พบว่ามีคุณภาพแสงสว่างต่ำเช่นกัน เนื่องจากลักษณะการกระจายแสงดังกล่าวให้ค่าความเข้มฟลักซ์ส่องสว่างต่ำ สำหรับกรณีแบบ C พบว่ามีค่าความส่องสว่างเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สว่างเฉลี่ยและค่าความสว่างเฉลี่ยเพิ่มขึ้น แต่ก็ยังมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานอยู่ดี สุดท้ายในกรณีแบบ D พบว่าสามารถให้คุณภาพแสงสว่างผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้เกือบทุกกรณี ยกเว้นค่าความสว่างเฉลี่ยเท่านั้นที่ยังต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด

ผลการจำลองระบบแสงสว่างไฟถนนในกรณีถนนมีเกาะกลาง พบว่ามีค่าคุณภาพแสงสว่างต่ำกว่ากรณีถนนไม่มีเกาะกลาง เนื่องจากระบบแสงสว่างดังกล่าวให้ค่าฟลักซ์ส่องสว่างเท่ากัน แต่ในกรณีถนนมีเกาะกลางมีพื้นผิวถนนมากกว่า ทำให้ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยมีค่าต่ำ ส่งผลให้คุณภาพแสงสว่างตัวอื่น ๆ มีค่าต่ำลงด้วย สำหรับกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพบว่า กรณีแบบ D เมื่อติดตั้งแบบด้านตรงข้ามสลับสามารถให้ค่าคุณภาพแสงสว่างผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้นค่าความสว่างเฉลี่ยที่ยังมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานอยู่

สำหรับในบทนี้เป็นการศึกษาคุณภาพแสงสว่างของระบบไฟถนนระหว่างโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงกับโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง ทั้งในกรณีถนนไม่มีเกาะกลางและถนนมีเกาะกลาง จากการจำลองแสดงให้เห็นว่าโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงที่มีการออกแบบลักษณะการกระจายแสงสว่างที่เหมาะสมสามารถนำมาใช้แทนโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงได้ สำหรับในบทถัดไปเป็นการนำเสนอการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าของระบบแสงสว่างไฟถนนระหว่างการใช้งานโคมไฟถนนทั้ง 2 ชนิด ร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

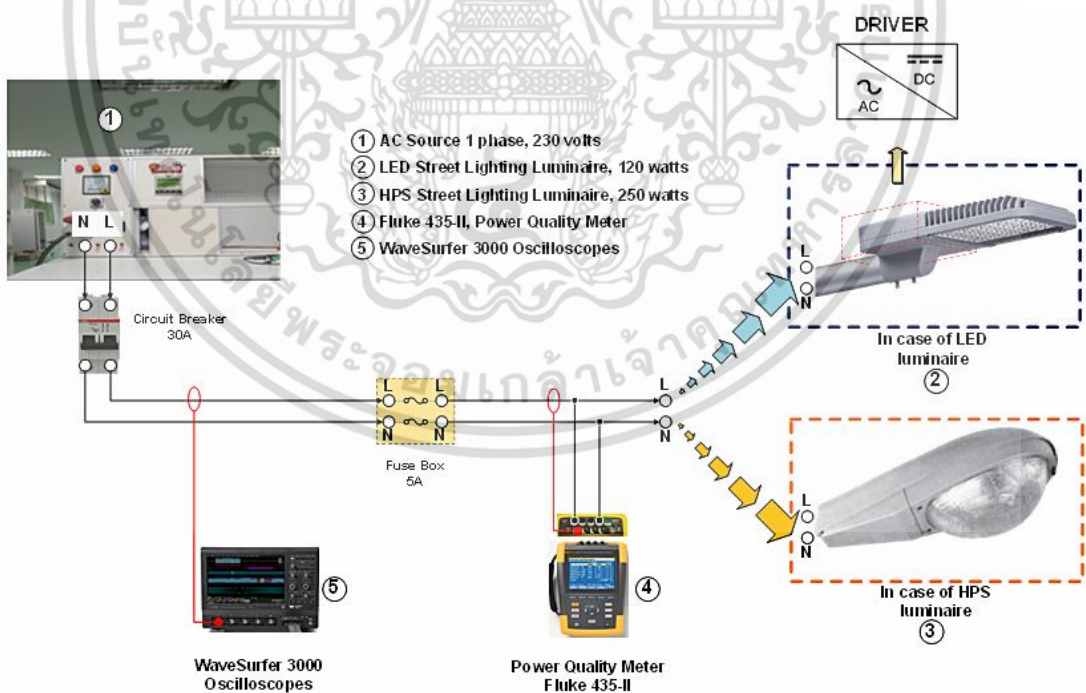
ระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์

ในบทนี้นำเสนอการออกแบบชุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนร่วมระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะ (Solar cell) เพื่อศึกษาคุณภาพไฟฟ้า จากนั้นเป็นการพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์สำหรับระบบแสงสว่างไฟถนนในกรณีศึกษาต่าง ๆ ทั้งหมด 3 กรณี ได้แก่

1. ชุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนน
2. ชุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ
3. ชุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย

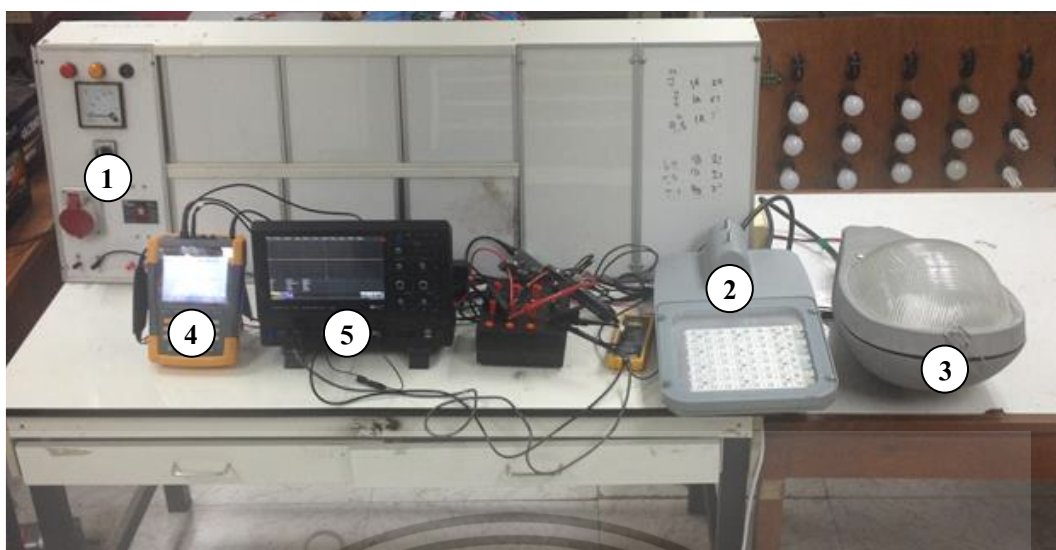
4.1 ชุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนน

ชุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนน ทำการออกแบบเพื่อศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าของโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงและหลอดไดโอดเปล่งแสงในระบบแสงสว่างไฟถนน โดยแสดงแผนผังการทำงานและชุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนดังรูปที่ 4.1 (ก) และรูปที่ 4.1 (ข) ตามลำดับ



(ก) แสดงแผนผังการทำงานของระบบแสงสว่างไฟถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) แสดงชุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนน
รูปที่ 4.1 ระบบแสงสว่างไฟถนน

ชุดทดลองรับพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส แรงดัน 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ จากห้องทดลอง (หมายเลข 1 ในรูป) เพื่อจ่ายให้กับโคมไฟถนนทั้ง 2 ชนิด โคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงขนาด 250 วัตต์ (หมายเลข 3 ในรูป) มีคุณสมบัติ ตัวโคมทำด้วยอะลูมิเนียมคุณภาพสูง มีการกระจายแสงกว้างแบบควบคุมแนวส่องของลำแสงกึ่งสมบูรณ์ (Semi-Cut off) ใช้ตัวสะท้อนแสงแบบอย่างดี เหมาะสำหรับภายนอกอาคาร IP65 มีฟลักซ์ส่องสว่าง 27,000 ลูเมนต์ และโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงขนาด 120 วัตต์ (หมายเลข 2 ในรูป) มีคุณสมบัติ สามารถควบคุมแสงสว่างให้ตกลงบริเวณพื้นผิวถนนได้สูงกว่าโคมไฟถนนทั่วไป มีการกระจายแสงแบบมุมปานกลาง อายุการใช้งาน 50,000 ชั่วโมง

ปริมาณทางไฟฟ้าถูกตรวจวัดและบันทึกผลจากเครื่องตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้า (หมายเลข 4 ในรูป) เพื่อเก็บบันทึกผลข้อมูล (Data logger) ของกระแส แรงดัน กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าปรากฏ กำลังไฟฟ้าเสมือน ค่าตัวประกอบกำลัง ความถี่ ฮาร์มอนิก ฯลฯ ในลักษณะเวลาจริงทุก ๆ 1 วินาที และใช้เครื่องออสซิลโลสโคป (หมายเลข 5 ในรูป) แสดงรูปสัญญาณกระแสไฟฟ้าเพื่อตรวจสอบความผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณ จากนั้นจึงนำข้อมูลมาศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า

4.1.1 ผลทดลองการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าจากชุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนน

การตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าจากการใช้งานโคมไฟถนนในระบบแสงสว่างไฟถนนแบ่งเป็น 2 กรณีศึกษา ได้แก่ 1. กรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง 2. กรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง ทำการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้า จากค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ ค่าตัวประกอบกำลัง ค่าความถี่ ค่ากระแสฮาร์มอนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(THD_i) และแรงดันฮาร์โมนิก (THD_v) เพื่อนำมาศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า จากนั้น นำเสนอการวิเคราะห์ผลของฮาร์โมนิกที่เกิดจากคอมไฟถนน ที่เป็นปัจจัยส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้ามากที่สุด โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าฮาร์โมนิกจากการทดลองกับมาตรฐาน IEC 61000-3-2 (2009) Class C ที่กำหนดใช้กับอุปกรณ์แสงสว่างมีกระแส ≤ 16 แอมป์

4.1.1.1 ผลการทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง

ทำการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าจากการใช้งานคอมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง ได้แก่ ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ ค่าตัวประกอบกำลัง ค่าความถี่ ค่ากระแสฮาร์โมนิก (THD_i) และค่าแรงดันฮาร์โมนิก (THD_v) เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า แสดงดังตารางที่ 4.1 และนำเสนอการตรวจสอบกระแสฮาร์โมนิกเปรียบเทียบกับมาตรฐาน IEC 61000-3-2 Class C แสดงดังตารางที่ 4.2

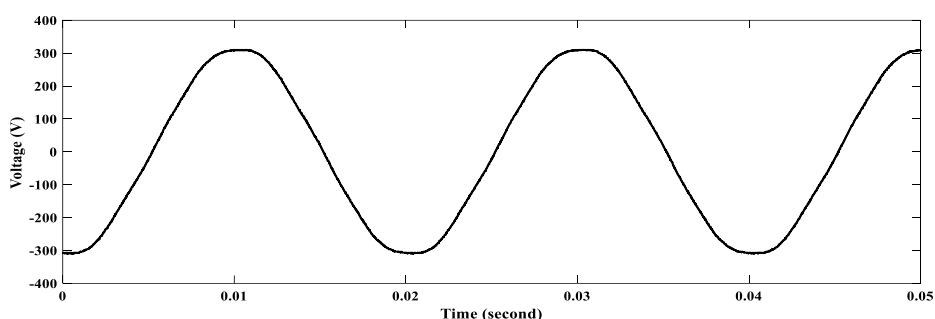
ตารางที่ 4.1 แสดงคุณภาพไฟฟ้าจากการใช้งานคอมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง 250 วัตต์

คอมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง									
ข้อมูล	I (A)	V (V)	P (W)	Q (Var)	S (VA)	PF	f (Hz)	% THD _i	% THD _v
HPS	1.6	225.4	289	209	362	0.8	50	16.4	1

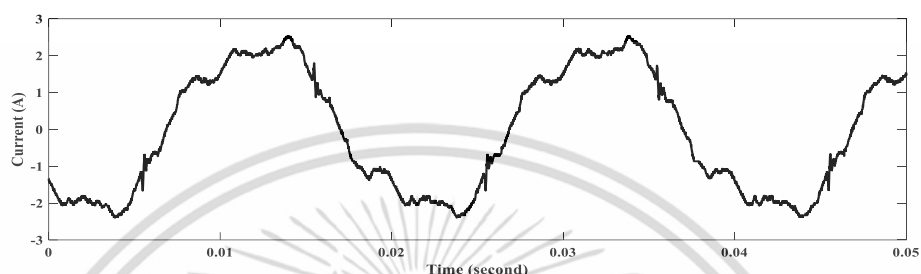
ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์โมนิกของคอมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงกับมาตรฐาน IEC 61000-3-2 Class C

การตรวจสอบกระแสฮาร์โมนิก											
ลำดับที่	2nd	3rd	5th	7th	9th	11th	13th	15th	17th	19th	21st
มาตรฐาน (%)	2	24	10	7	5	3	3	3	3	3	3
กระแสฮาร์โมนิก (%)	0.40	14.39	2.42	5.24	1.44	2.39	1.03	1.48	0.49	0.79	0.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) แรงดันไฟฟ้า



(ข) กระแสไฟฟ้า

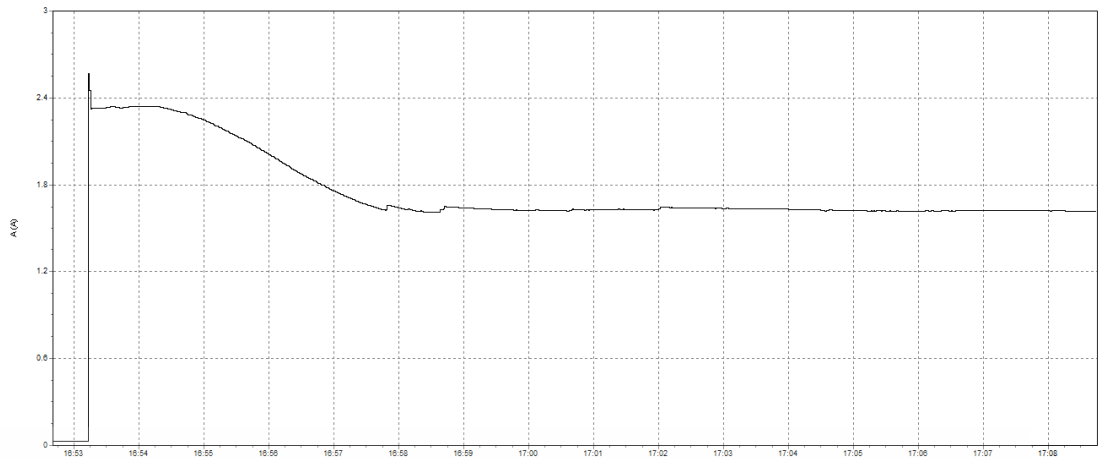
รูปที่ 4.2 แสดงรูปคลื่นไซน์ของโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง

จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงขนาดขนาด 250 วัตต์ แต่เมื่อใช้งานจริงพบว่ามีค่ากำลังไฟฟ้า 289 วัตต์ ซึ่งเกิดจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก (ประมาณ 39 วัตต์) เป็นส่วนใช้ควบคุมแรงดันและกระแสที่จ่ายให้กับหลอดไฟถนน รวมทั้งค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในรูปกำลังไฟฟ้าเสมือน 209 วัตต์ พบว่าในขณะที่ใช้งานระบบมีค่าตัวประกอบกำลังเท่ากับ 0.8 และเกิดค่ากระแสฮาร์มอนิกรวมเท่ากับ 16.4%

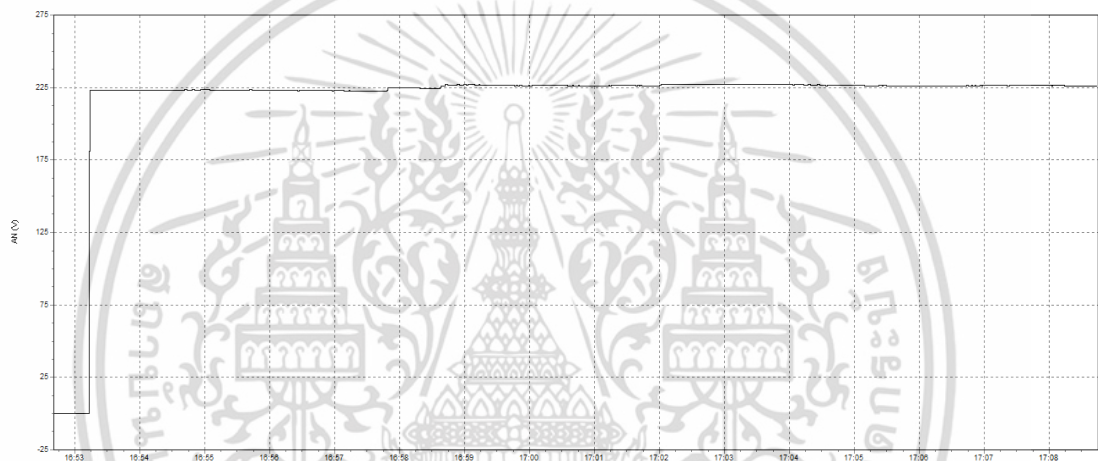
เมื่อนำค่ากระแสฮาร์มอนิกเฉลี่ยในแต่ละอันดับตลอดการตรวจวัดคุณภาพของโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงมาพิจารณากับมาตรฐาน IEC 61000-3-2 Class C แสดงให้เห็นว่า โคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงมีค่ากระแสฮาร์มอนิกสูงสุดในลำดับที่ 3rd แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับมาตรฐานพบว่ากระแสฮาร์มอนิกมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานในทุกลำดับที่ แสดงดังตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณาจากรูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.2 (ก) และรูปคลื่นไซน์ของกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.2 (ข) พบว่ารูปคลื่นไซน์ของแรงดันไม่มีความผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ปกติ แต่รูปคลื่นไซน์ของกระแสแสดงให้เห็นถึงความผิดเพี้ยนที่เกิดจากกระแสฮาร์มอนิกในการใช้งานโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง แต่อย่างไรก็ตาม ค่ากระแสฮาร์มอนิกในแต่ละลำดับยังต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด

ในลำดับต่อมาเป็นการอธิบายถึงพฤติกรรมของคุณภาพไฟฟ้าจากการใช้งานโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง ได้แก่พฤติกรรมของค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าเสมือน กำลังไฟฟ้าปรากฏ ตัวประกอบกำลัง ความถี่ กระแสฮาร์มอนิกและแรงดันฮาร์มอนิก แสดงดังรูปที่ 4.3 (ก) ถึง รูปที่ 4.3 (ง)

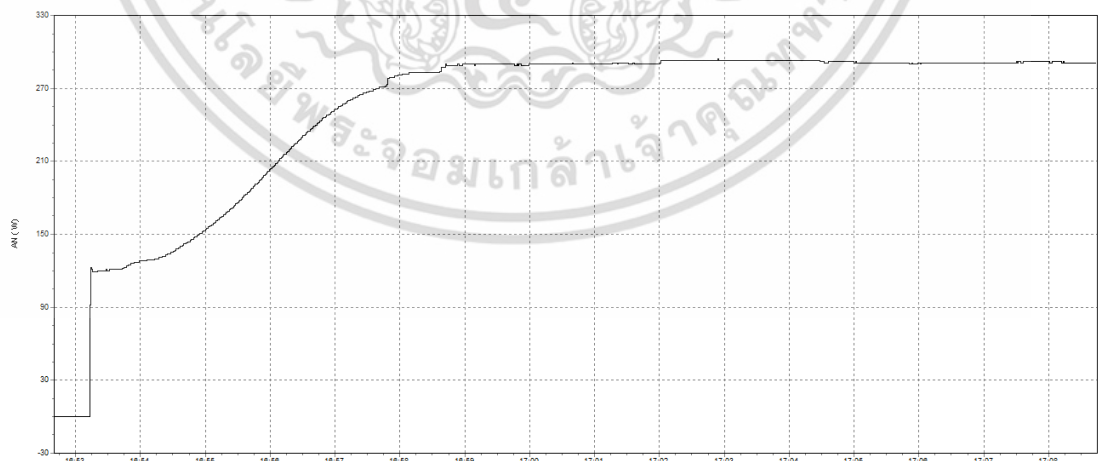
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) กระแสไฟฟ้า

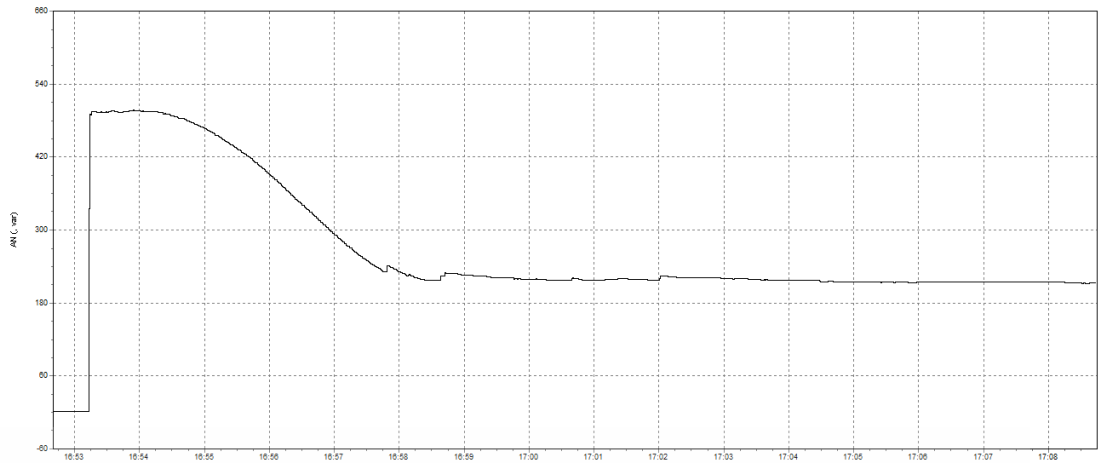


(ข) แรงดันไฟฟ้า

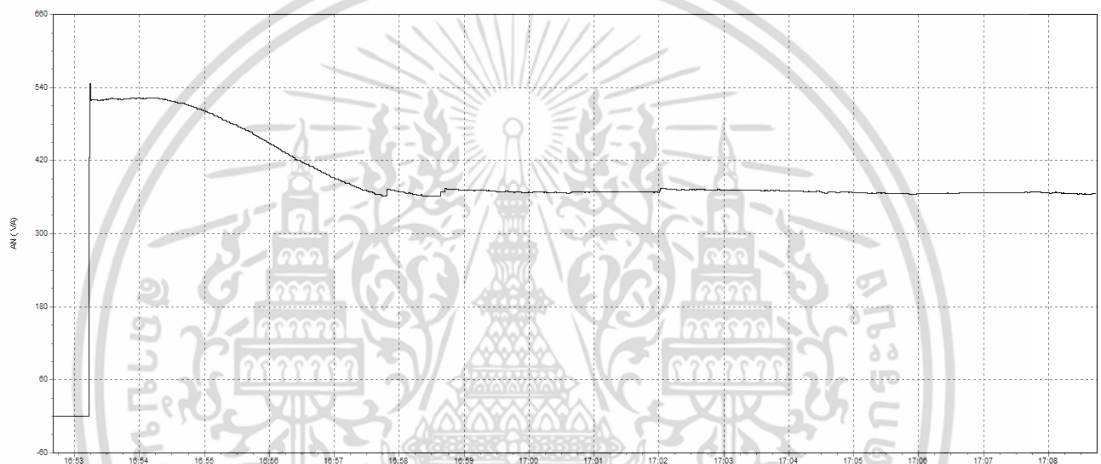


(ค) กำลังไฟฟ้า

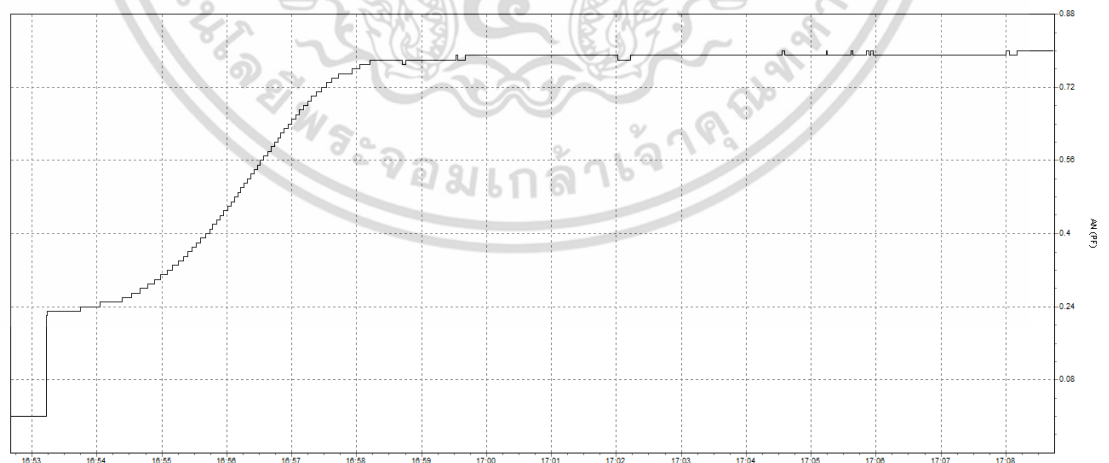
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง) กำลังไฟฟ้าเสมือน

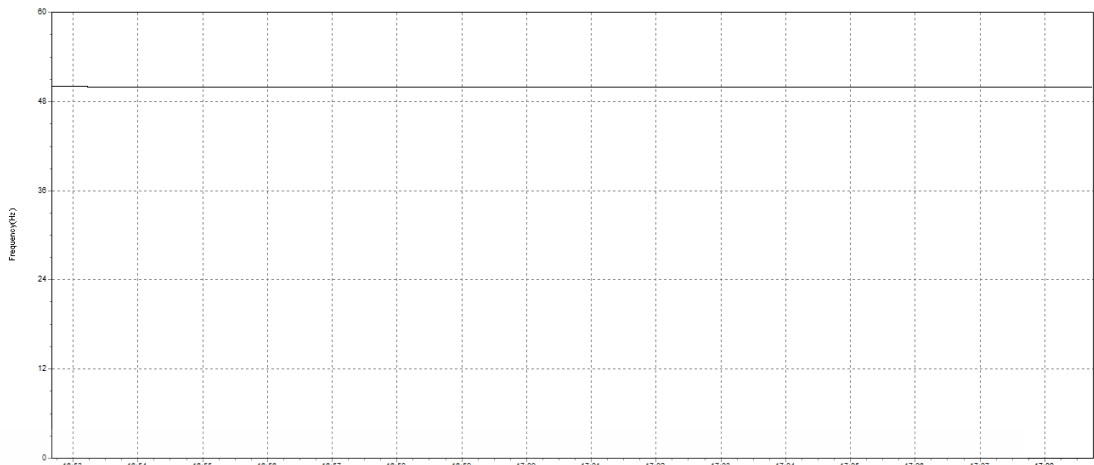


(จ) กำลังไฟฟ้าปรากฏ

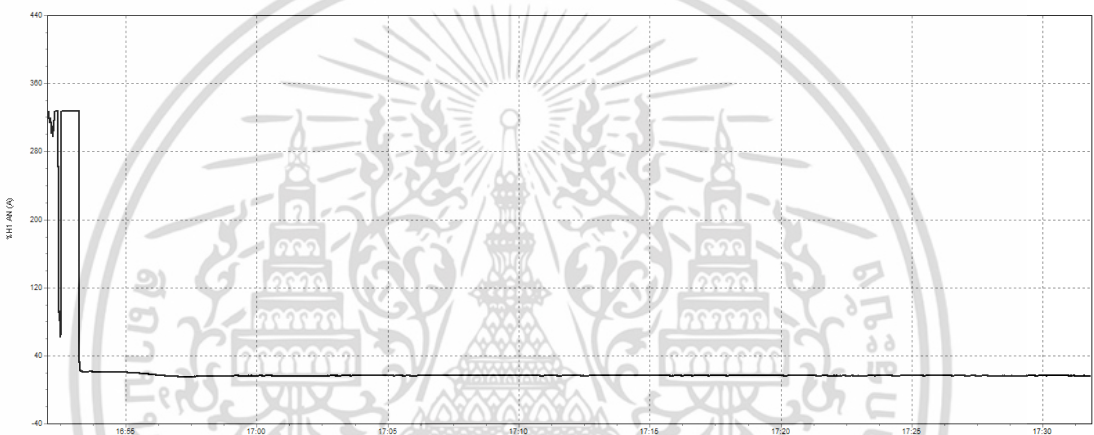
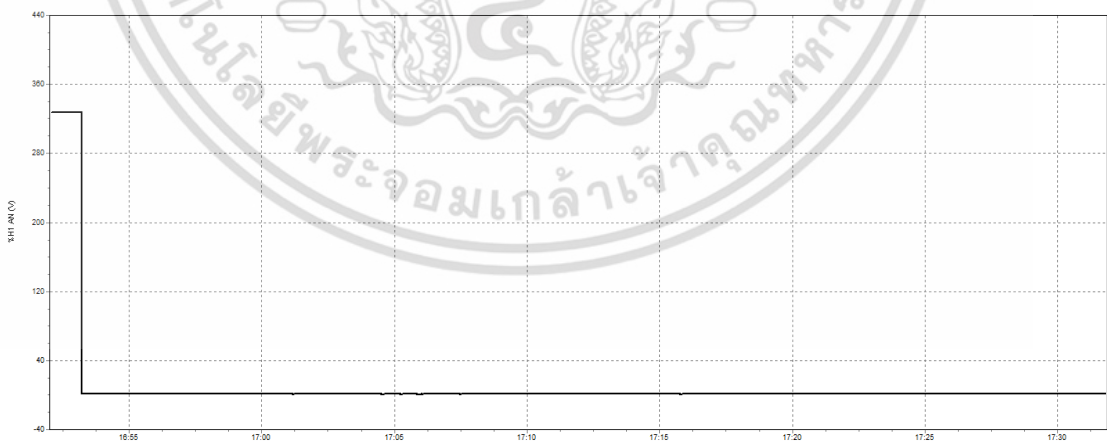


(ฉ) ค่าตัวประกอบกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ความถี่

(ค) กระจายฮาร์มอนิก (%THD_i)(ง) แรงดันฮาร์มอนิก (%THD_v)

รูปที่ 4.3 แสดงพฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าจากการใช้งานคอมพิวเตอร์ตลอดโซเดียมความดันไอสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการใช้งานโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง เมื่อพิจารณาพฤติกรรมของค่ากระแสไฟฟ้าจากรูปที่ 4.3 (ก) แสดงให้เห็นว่าในช่วงเริ่มต้นการใช้งาน (อยู่ในสภาวะอุ่นหลอด) โคมไฟถนนชนิดนี้มีค่ากระแสไฟฟ้าเริ่มต้นสูงถึง 2.3 แอมป์ จากนั้นค่ากระแสไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลง จนเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ค่ากระแสไฟฟ้า 1.6 แอมป์ ต่อมาจากรูปที่ 4.3 (ข) แสดงพฤติกรรมของค่าแรงดันไฟฟ้าพบว่าแรงดันไฟฟ้าของโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงมีค่าคงที่ตลอดการใช้งานประมาณ 225.4 โวลต์

จากพฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าของค่ากำลังไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏและค่าตัวประกอบกำลัง พิจารณาจากรูปที่ 4.3 (ค) รูปที่ 4.3 (ง) รูปที่ 4.3 (จ) และ รูปที่ 4.3 (ฉ) ตามลำดับ พบว่าในช่วงเริ่มต้นของการใช้งาน โคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงให้ค่ากำลังไฟฟ้าและค่าตัวประกอบกำลังต่ำ ในขณะที่ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนและกำลังไฟฟ้าปรากฏมีค่าสูง จากนั้นเมื่อเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัว พบว่าแนวโน้มของค่ากำลังไฟฟ้าและค่าตัวประกอบกำลังมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนและค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากที่สภาวะคงตัวระบบมีค่าตัวประกอบกำลังสูงขึ้น มุมของกำลังไฟฟ้ามียกค่าเล็กน้อย ค่ากำลังไฟฟ้าจึงมีค่าใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าปรากฏ

สำหรับพฤติกรรมของค่าความถี่จากการใช้งานโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงแสดงดังรูปที่ 4.3 (ซ) พบว่าตลอดการใช้งานระบบมีค่าความถี่คงที่ 50 เฮิร์ตซ์ ต่อมาสำหรับพฤติกรรมของค่ากระแสฮาร์มอนิกและค่าแรงดันฮาร์มอนิก แสดงดังรูปที่ 4.3 (ซ) และรูปที่ 4.3 (ฅ) ตามลำดับ พบว่าในช่วงเริ่มต้นการใช้งาน โคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงมีค่ากระแสฮาร์มอนิกสูงถึง 21% จากนั้นเมื่อเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัว พบว่าค่ากระแสฮาร์มอนิกมีแนวโน้มลดลงเหลือ 16.4% ส่วนค่าแรงดันฮาร์มอนิกพบว่ามีค่าคงที่ตลอดการใช้งาน 1%

จากการใช้งานโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงแสดงให้เห็นว่า ในช่วงเริ่มต้นการใช้งาน (5 นาที) โคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงให้ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าพลังงานไฟฟ้าเสมือนและพลังงานไฟฟ้าปรากฏสูง ทำให้ระบบมีค่าตัวประกอบกำลังและค่ากำลังไฟฟ้าต่ำ ในช่วงนี้แสดงให้เห็นว่าโคมไฟถนนยังไม่สามารถให้แสงสว่างได้เต็มที่ เนื่องจากต้องใช้เวลาอุ่นตัวหลอดไฟ ทำให้เกิดกำลังสูญเสียในรูปของกำลังไฟฟ้าเสมือนและมีค่ากระแสฮาร์มอนิกสูงกว่าในสภาวะคงตัว แต่เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวพบว่าโคมไฟถนนทำงานที่ค่ากำลังไฟฟ้า 289 วัตต์ ค่ากระแส 1.6 แอมป์ มีค่าตัวประกอบกำลังสูงขึ้นเท่ากับ 0.8 ส่งผลให้ค่าสูญเสียจากกำลังไฟฟ้าเสมือนมีค่าลดลง

4.1.1.2 ผลการทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง

ทำการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าจากการใช้งานโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง ได้แก่ ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ ค่าตัวประกอบกำลัง ค่าความถี่ ค่ากระแสฮาร์มอนิก (THD) และค่าแรงดันฮาร์มอนิก (THD_v) เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า แสดงดังตารางที่ 4.3 และนำเสนอการตรวจสอบกระแสฮาร์มอนิกเปรียบเทียบกับมาตรฐาน IEC 61000-3-2 Class C แสดงดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงคุณภาพไฟฟ้าจากการใช้งานโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง 120 วัตต์

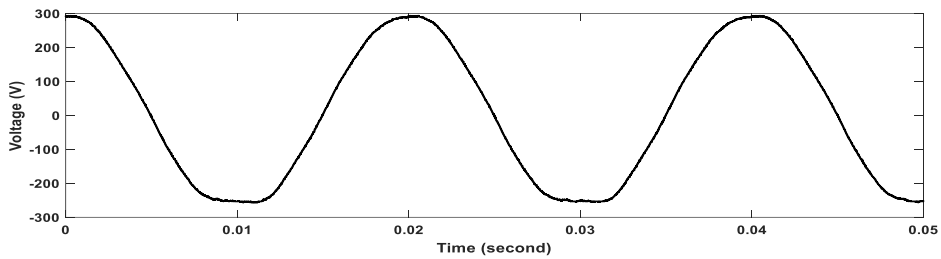
โคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง									
ข้อมูล	I (A)	V (V)	P (W)	Q (Var)	S (VA)	PF	f (Hz)	% THD _i	% THD _v
LED	0.56	224.7	121	-21	124	0.97	50	13.7	1

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์มอนิกของโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงกับมาตรฐาน IEC 61000-3-2 Class C

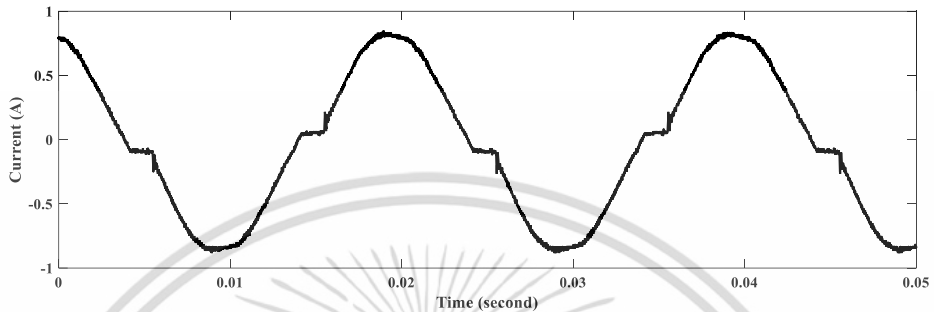
การตรวจสอบกระแสฮาร์มอนิก											
ลำดับที่	2nd	3rd	5th	7th	9th	11th	13th	15th	17th	19th	21st
มาตรฐาน	2	29.1	10	7	5	3	3	3	3	3	3
กระแสฮาร์มอนิก (%)	0.06	12	5.59	2.41	2.02	0.89	0.83	0.39	0.10	0.29	0.22

จากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงมีค่ากำลังสูญเสียให้กับชุดขับหลอดน้อยมาก เนื่องจากโคมไฟถนนดังกล่าวใช้ตัวขับหลอดในควบคุมแรงดันและกระแสแทนแกนเหล็ก จึงลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียและค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนที่เกิดจากแกนเหล็กลงได้ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงในตารางที่ 4.1 พบว่าในขณะที่ใช้งานโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงให้ค่าตัวประกอบกำลังสูงกว่าถึง 0.97 มีค่ากำลังไฟฟ้าต่ำกว่าและมีค่ากระแสฮาร์มอนิกรวมเพียง 13.7%

เมื่อนำค่ากระแสฮาร์มอนิกเฉลี่ยในแต่ละอันดับตลอดการตรวจวัดคุณภาพของโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงมาพิจารณากับมาตรฐาน IEC 61000-3-2 Class C แสดงให้เห็นว่า โคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานในทุกลำดับที่ แสดงดังตารางที่ 4.4 และเมื่อพิจารณาเทียบกับโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงแสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่าโดยรวมโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงมีค่ากระแสฮาร์มอนิกเฉลี่ยในแต่ละลำดับต่ำกว่าโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง ยกเว้นค่ากระแสฮาร์มอนิกเฉลี่ยในลำดับที่ 7th เท่านั้นที่มีค่าสูงกว่า จากรูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าและรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 4.4 (ก) และรูปที่ 4.4 (ข) ตามลำดับ พบว่ารูปคลื่นของแรงดันไม่มีความผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ปกติ เช่นเดียวกับรูปคลื่นของกระแสที่มีความใกล้เคียงกับรูปคลื่นไซน์ปกติมากกว่ากรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง



(ก) แรงดันไฟฟ้า

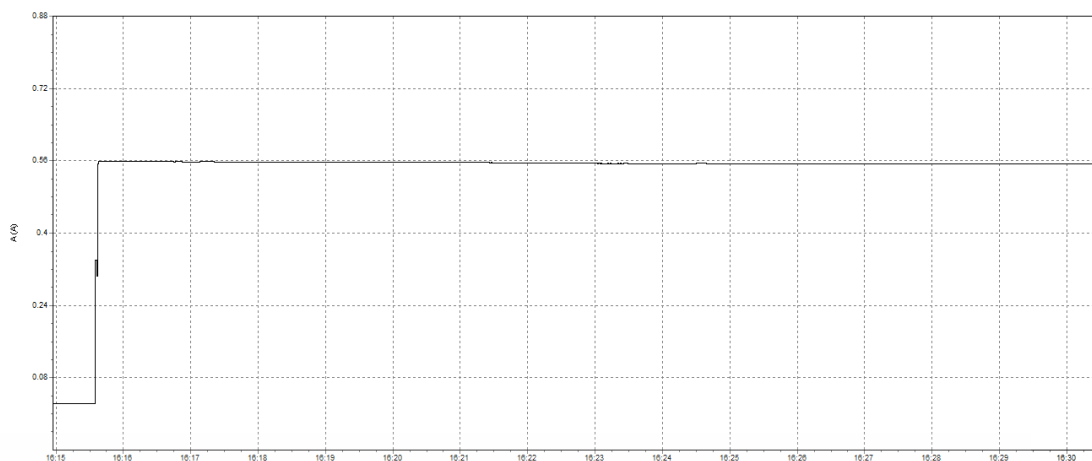


(ข) กระแสไฟฟ้า

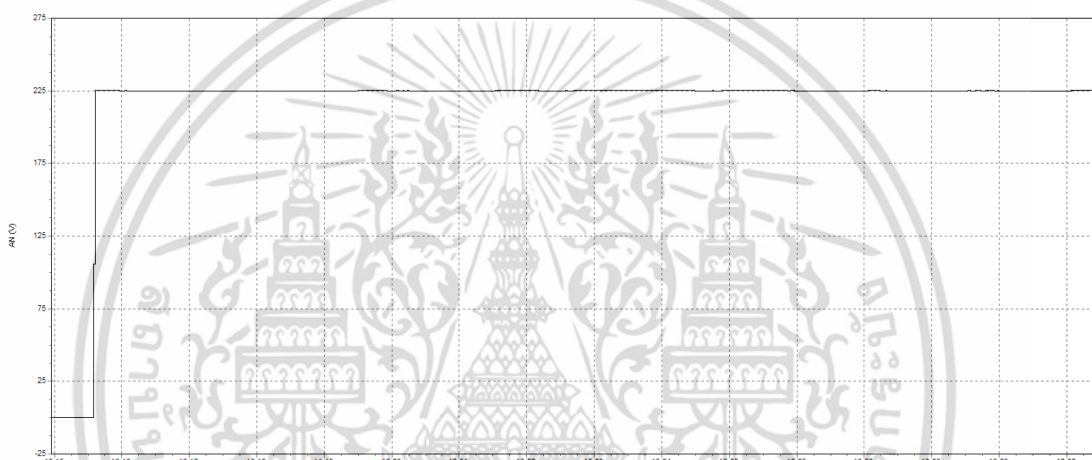
รูปที่ 4.4 แสดงรูปคลื่นไซน์ของโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าของโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง ดังรูปที่ 4.2 (ก) กับรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าของโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงดังรูปที่ 4.4 (ก) พบว่ารูปคลื่นของแรงดันทั้ง 2 กรณีมีลักษณะเหมือนกันเนื่องจากโคมไฟถนนทั้ง 2 ชนิดมีค่าแรงดันฮาร์มอนิกรวมต่ำ แต่เมื่อพิจารณารูปคลื่นของกระแสดังรูปที่ 4.2 (ข) และ รูปที่ 4.4 (ข) พบว่ากรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงมีความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสน้อยกว่า เนื่องจากโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงมีค่ากระแสฮาร์มอนิกรวมน้อยกว่า

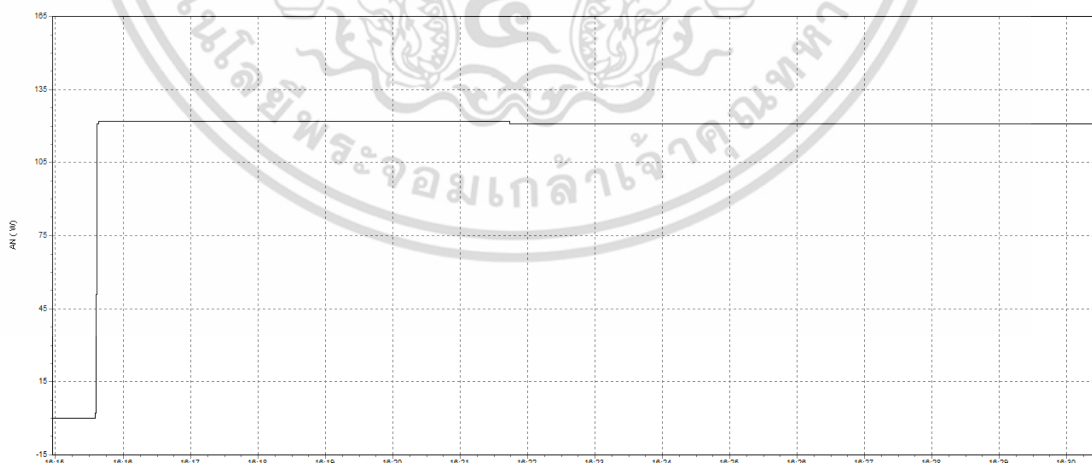
ในลำดับต่อมาเป็นการอธิบายถึงพฤติกรรมของคุณภาพไฟฟ้าจากการใช้งานโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง ได้แก่พฤติกรรมของค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าเสมือน กำลังไฟฟ้าปรากฏ ตัวประกอบกำลัง ความถี่ กระแสฮาร์มอนิกและแรงดันฮาร์มอนิก แสดงดังรูปที่ 4.5 (ก) ถึง รูปที่ 4.5 (ฉ)



(ก) กระแสไฟฟ้า

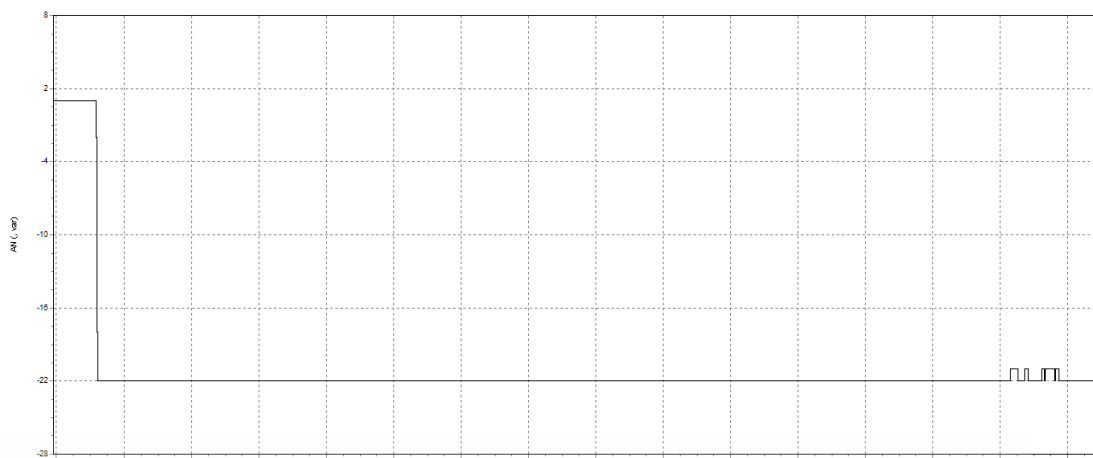


(ข) แรงดันไฟฟ้า

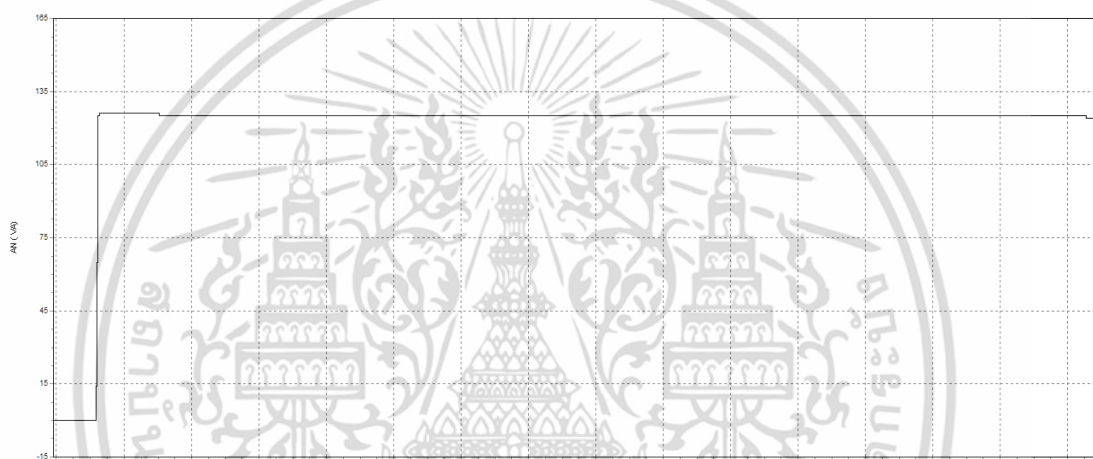


(ค) กำลังไฟฟ้า

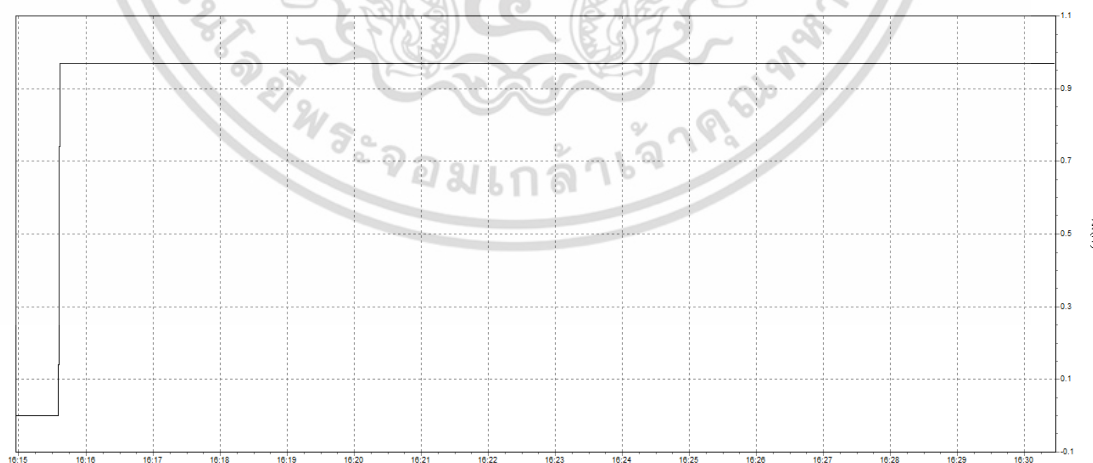
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง) กำลังไฟฟ้าเสมือน

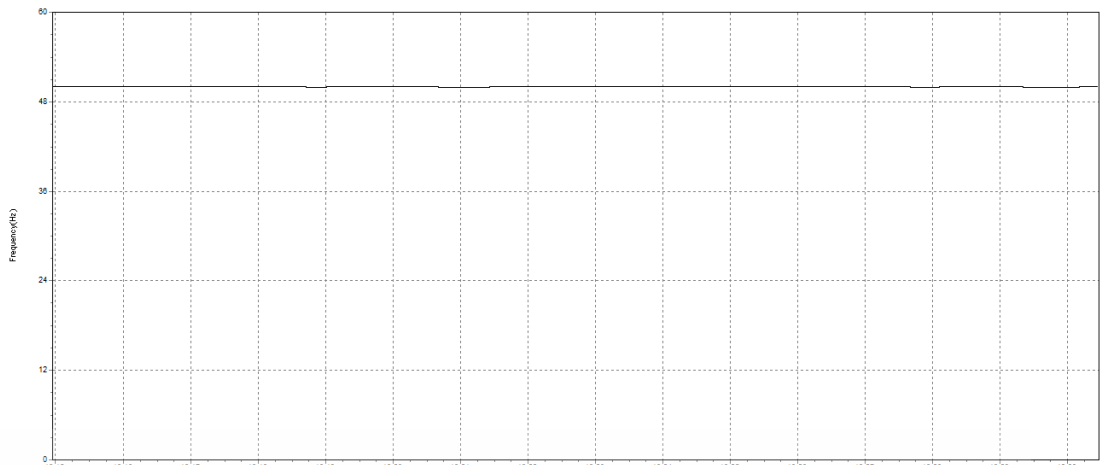


(จ) กำลังไฟฟ้าปรากฏ

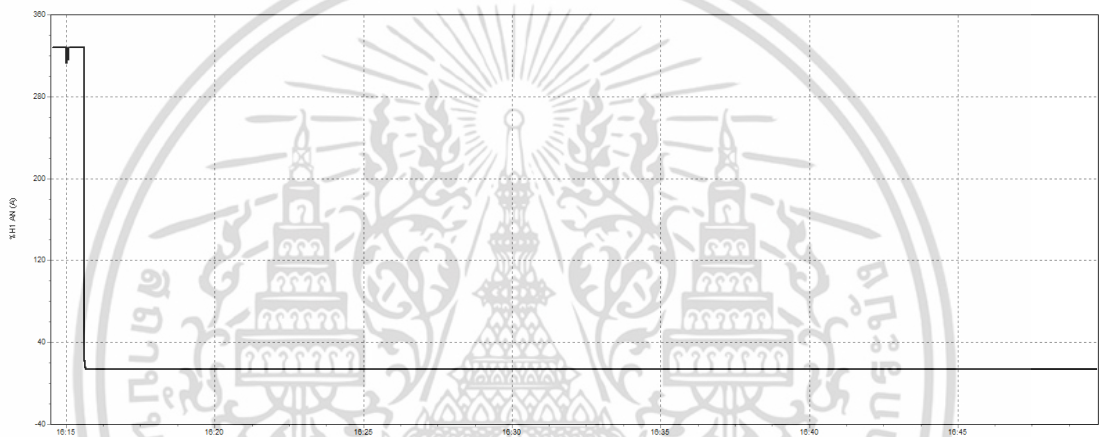
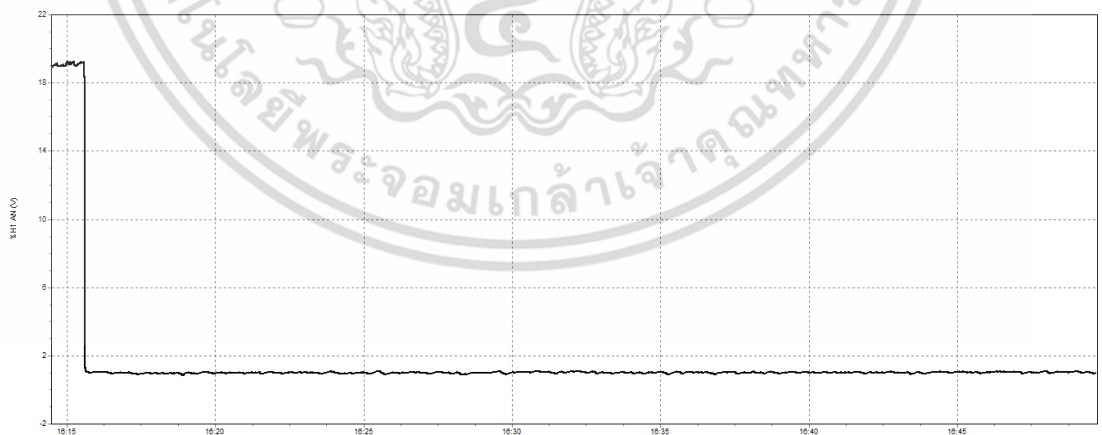


(ฉ) ค่าตัวประกอบกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ช) ความถี่

(ข) กระจายฮาร์มอนิก (%THD_i)(ฅ) แรงแต้นฮาร์มอนิก (%THD_v)

รูปที่ 4.5 แสดงพฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าจากการใช้งานคอมพิวเตอร์หลอดไดโอดเปล่งแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 (ก) แสดงพฤติกรรมของค่ากระแสไฟฟ้า พบว่าโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงให้ค่ากระแสไฟฟ้าคงที่ตลอดการใช้งาน มีค่าประมาณ 0.56 แอมป์ ซึ่งมีค่ากระแสไฟฟ้าน้อยกว่าโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง (1.6 แอมป์) ในขณะที่ค่าพฤติกรรมของแรงดันไฟฟ้ามีค่าคงที่ตลอดการใช้งานเช่นเดียวกับโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง แสดงดังรูปที่ 4.5 (ข)

โคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงมีพฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าของค่ากำลังไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏและค่าตัวประกอบกำลังคงที่ตลอดการใช้งาน โดยพิจารณาจากรูปที่ 4.5 (ค) รูปที่ 4.5 (ง) รูปที่ 4.5 (จ) และ รูปที่ 4.5 (ฉ) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพบว่ามีความคุณภาพไฟฟ้าจากค่ากำลังไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนและค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏน้อยกว่าโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง ดังนั้นการใช้โคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงจึงสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้ามากกว่า รวมถึงโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงยังมีค่าตัวประกอบกำลังที่สูงกว่าด้วย

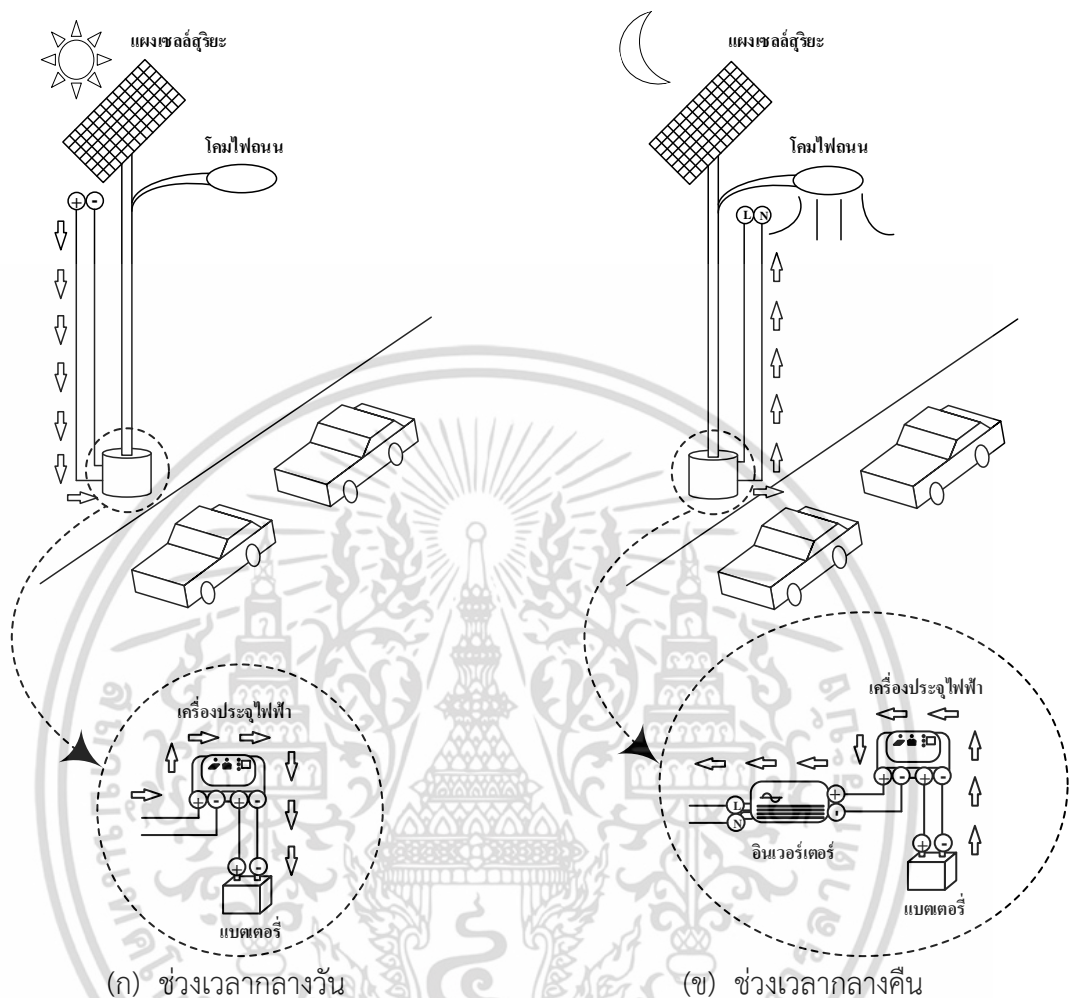
จากรูปที่ 4.5 (ข) แสดงพฤติกรรมของค่าความถี่จากการใช้งานโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง พบว่ามีค่าคงที่ตลอดการใช้งานที่ 50 เฮิร์ตซ์ เหมือนกับกรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง ต่อมาสำหรับพฤติกรรมของค่ากระแสฮาร์มอนิกและค่าแรงดันฮาร์มอนิก แสดงดังรูปที่ 4.5 (ซ) และ รูปที่ 4.5 (ฅ) ตามลำดับ พบว่าตลอดช่วงการใช้งานโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงให้ค่ากระแสฮาร์มอนิกรวมและค่าแรงดันฮาร์มอนิกรวมคงที่ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพบว่ามีความกระแสฮาร์มอนิกรวมต่ำกว่า

จากการใช้งานโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแสดงให้เห็นว่า มีพฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าโดยรวมคงที่ตลอดการใช้งาน สังเกตได้ว่าเมื่อทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับโคมไฟถนน ระบบก็มีค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าเท่ากับค่าพิกัดทำงาน ทำให้โคมไฟถนนสามารถจุดติดให้แสงสว่างได้ทันที ต่างจากกรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงที่ต้องใช้ช่วงเวลาอุ่นหลอด ไม่สามารถจุดติดให้แสงสว่างได้ทันที ในช่วงเวลาดังกล่าวระบบมีค่ากระแสไฟฟ้าสูงแต่ให้กำลังไฟฟ้าต่ำ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าส่วนใหญ่สูญเสียให้กับแกนเหล็ก

4.2 ขุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ

การทำงานของระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ ในช่วงเวลากลางวัน แสดงดังรูปที่ 4.6 (ก) เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ ระบบทำการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์สุริยะที่ติดตั้งไว้กับระบบแสงสว่างไฟถนน และเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ไว้ในแบตเตอรี่ โดยมีเครื่องควบคุมประจุไฟฟ้าทำหน้าที่ควบคุมกระแสและแรงดันในการประจุไฟฟ้า สำหรับในช่วงเวลากลางคืนแสดงดังรูปที่ 4.6 (ข) เมื่อระบบต้องการใช้งานระบบแสงสว่างไฟถนน ระบบทำการดึงพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ผ่านเครื่องควบคุมประจุไฟฟ้าและเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายให้กับโคมไฟถนน สังเกตได้ว่าระบบแสง

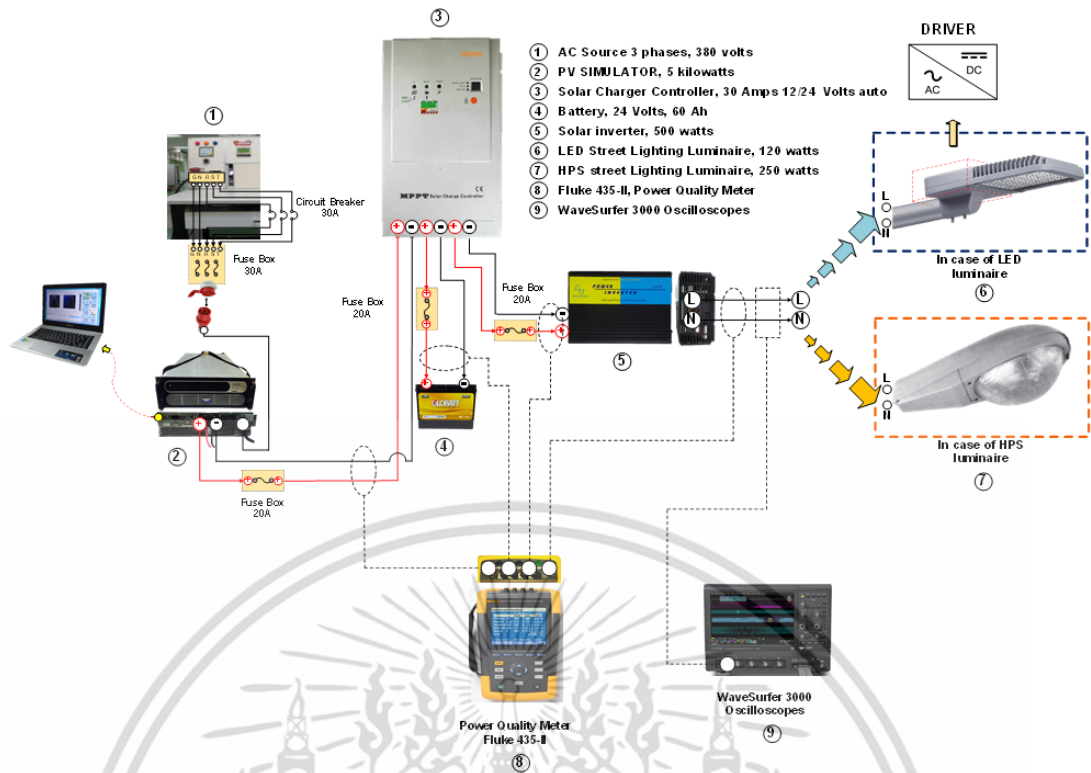
สว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระถูกออกแบบให้สามารถพึ่งพาพลังงานไฟฟ้าภายในระบบ จึงไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายในการรับพลังงานไฟฟ้า



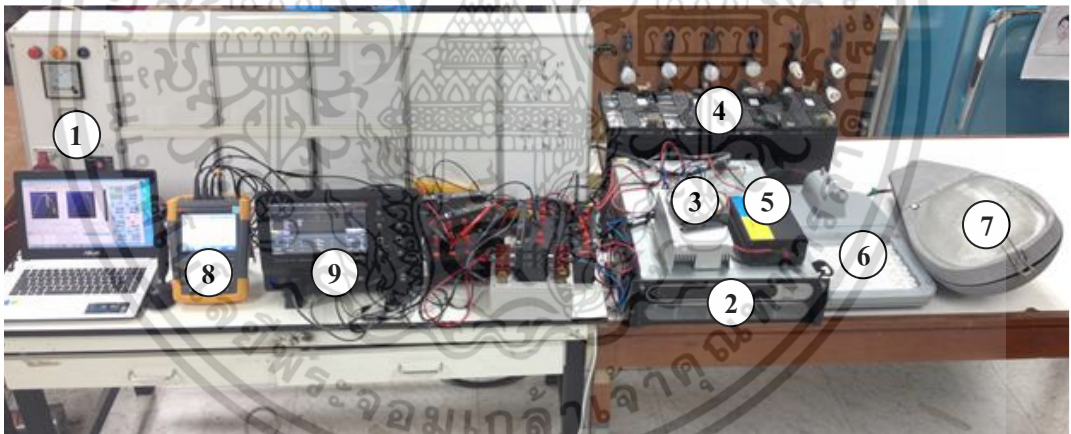
รูปที่ 4.6 การทำงานของระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ

ดังนั้นในชุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนแบบอิสระจึงออกแบบเพื่อศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าของการใช้งานโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงและโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงร่วมกับระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ โดยการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าแบ่งออกเป็นการศึกษาจากการทำงาน 2 กรณี ได้แก่ ตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ (แผงเซลล์สุริยะ) และการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์และตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าจากการใช้งานโคมไฟถนนทั้ง 2 ชนิด แสดงแผนผังการทำงานและชุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระดังรูปที่ 4.7 (ก) และ รูปที่ 4.7 (ข) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) แสดงแผนผังการทำงานของระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ



(ข) แสดงชุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ
 รูปที่ 4.7 ระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ

การทำงานของชุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ ชุดทดลองรับพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แรงดัน 380/220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ (หมายเลข 1 ในรูป) จากห้องทดลองจ่ายให้กับเครื่องจำลองพฤติกรรมพลังงานแสงอาทิตย์ (PV simulator) ขนาด 600 โวลต์ 8.3 แอมป์ (หมายเลข 2 ในรูป) เป็นอุปกรณ์สร้างคุณลักษณะพฤติกรรมของแผงเซลล์สุริยะ สามารถกำหนดชนิดของแผงเซลล์สุริยะ ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิ ซึ่งให้ผลลัพธ์มีความแม่นยำและเชื่อถือได้ใกล้เคียงกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งจริง (แสดงรายละเอียดในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค) ชุดทดลองนี้เลือกจำลองคุณลักษณะพฤติกรรมทางไฟฟ้าของแผงเซลล์สุริยะขนาด 250 วัตต์ แบ่งการทำงานของระบบออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. กรณีแรกทำการประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดแบบจ่ายประจุสูง (Deep discharge battery) ขนาด 120 แอมป์-ชั่วโมง แรงดัน 24 โวลต์ (หมายเลข 4 ในรูป) ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ส่วนนี้แบตเตอรี่ถูกประจุไฟฟ้าด้วยพลังงานที่ผลิตได้จากเครื่องจำลองพฤติกรรมพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องควบคุมประจุไฟฟ้าขนาดพิกัด 30 แอมป์ แรงดัน 24 โวลต์ (หมายเลข 3 ในรูป) ทำหน้าที่รักษา ระดับแรงดันและกระแสในการประจุแบตเตอรี่ด้วยตัวควบคุมกำลังสูงสุด (Maximum Power Point Tracker; MPPT) เพื่อดึงพลังงานไฟฟ้าสูงสุดจากแผงเซลล์สุริยะประจุ จึงสามารถลดกำลังสูญเสียและ ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพทางพลังงานมากขึ้น

2. กรณีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโคมไฟถนน ส่วนนี้ทำการจ่ายพลังงานจากแบตเตอรี่ให้กับ โคมไฟถนน (หมายเลข 6 และ 7 ในรูป สำหรับโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงขนาด 120 วัตต์และ โคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงขนาด 250 วัตต์ ตามลำดับ) เครื่องควบคุมประจุไฟฟ้าทำหน้าที่ดึงพลังงานจากแบตเตอรี่ผ่านเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ขนาด 500 วัตต์ ชนิดรูปคลื่นไซน์บริสุทธิ์ (Pure sine wave) (หมายเลข 5 ในรูป) เพื่อแปลง แรงดันไฟฟ้าตรงจากแบตเตอรี่เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับมาจ่ายให้กับโคมไฟถนน

การตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าจากชุดทดลอง โดยตรวจวัดปริมาณไฟฟ้าและบันทึกผลจากเครื่อง ตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้า (หมายเลข 8 ในรูป) เพื่อเก็บข้อมูล กระแส แรงดัน กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้า ปรากฏ กำลังไฟฟ้าเสมือน ค่าตัวประกอบกำลัง ความถี่ ฮาร์มอนิก ฯลฯ ในลักษณะเวลาจริงทุก ๆ 1 วินาที และใช้เครื่องออสซิลอโคป (หมายเลข 9 ในรูป) แสดงรูปสัญญาณกระแสไฟฟ้าจากการใช้ งานโคมไฟถนนเพื่อตรวจสอบความผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณ จากนั้นจึงนำข้อมูลมาศึกษาและ วิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า

4.2.1 ผลทดลองการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าจากชุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงาน แสงอาทิตย์แบบอิสระ

การตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าจากชุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ แบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ การศึกษาการประจุไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้า จากค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้า จากแผงเซลล์สุริยะและแบตเตอรี่ และ การศึกษาคุณภาพไฟฟ้าโคมไฟถนนทั้ง 2 ชนิด ทำการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าจากค่ากระแสไฟฟ้า ค่า แรงดันไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ ค่าตัวประกอบกำลัง ค่าความถี่ ค่ากระแสฮาร์มอนิก (THD_i) และแรงดันฮาร์มอนิก (THD_v) จากนั้น นำเสนอการวิเคราะห์ ผลของฮาร์มอนิกที่เกิดจากการทำงานของโคมไฟถนนร่วมกับระบบแสงอาทิตย์แบบอิสระ โดย ทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าฮาร์มอนิกที่เกิดจากชุดทดลองกับมาตรฐาน IEC 61000-3-2 (2009) Class C กำหนดใช้กับอุปกรณ์แสงสว่างมีกระแส ≤ 16 แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.1 ผลการทดลองประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์

การตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าในส่วนนี้ ทำการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้ากระแสตรง ได้แก่ ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้า ระหว่างการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์สุริยะ และการประจุแบตเตอรี่ ซึ่งกล่าวถึงการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้ข้อมูลค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ยกตัวอย่างนำเสนอเฉพาะในเดือนเมษายน แสดงคุณภาพไฟฟ้างดงตารางที่ 4.5 โดยแสดงพฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าจากแผงเซลล์สุริยะดงรูปที่ 4.8 และพฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ดงรูปที่ 4.9 (ข้อมูลคุณภาพไฟฟ้าอีก 11 เดือนถูกนำเสนอในภาคผนวก ง)

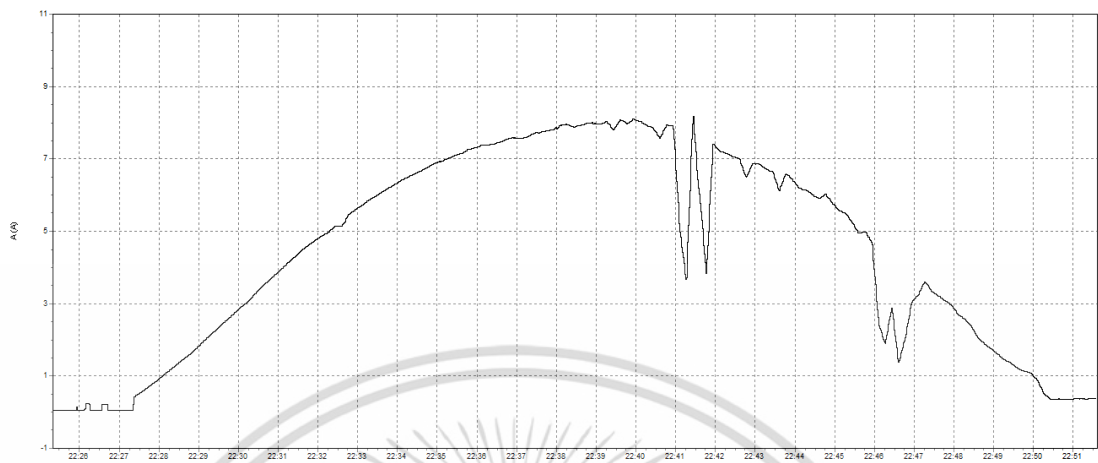
ตารางที่ 4.5 แสดงคุณภาพไฟฟ้างการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในเดือนเมษายน

ผลการศึกษาทดลองเดือนเมษายน								
เวลา (นาฬิกา)	ความเข้มรังสี แสงอาทิตย์ (W/m ²)	แผงเซลล์สุริยะ			แบตเตอรี่			กำลัง สูญเสีย (%)
		I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)	P (W)	
6.00	0.2	0.1	37.0	2	0.5	24.9	0	100
7.00	139	1.8	28.9	52	1.4	25.1	35	32
8.00	377	3.9	30.0	116	3.7	25.6	95	18
9.00	613	5.6	31.8	179	5.9	26.1	154	14
10.00	808	6.9	33.7	232	7.7	26.6	204	12
11.00	935	7.6	35.0	265	8.7	27.0	234	12
12.00	1001	8.0	35.4	282	9.2	27.3	250	11
13.00	998	7.0	34.8	243	7.9	27.2	213	12
14.00	914	6.9	35.6	244	7.9	27.1	215	12
15.00	774	5.7	35.4	204	6.5	26.9	176	14
16.00	351	3.1	33.4	105	3.1	26.2	83	21
17.00	272	1.7	31.8	54	1.4	26.0	35	35
18.00	33	0.4	31.0	11	0.3	25.7	0	100

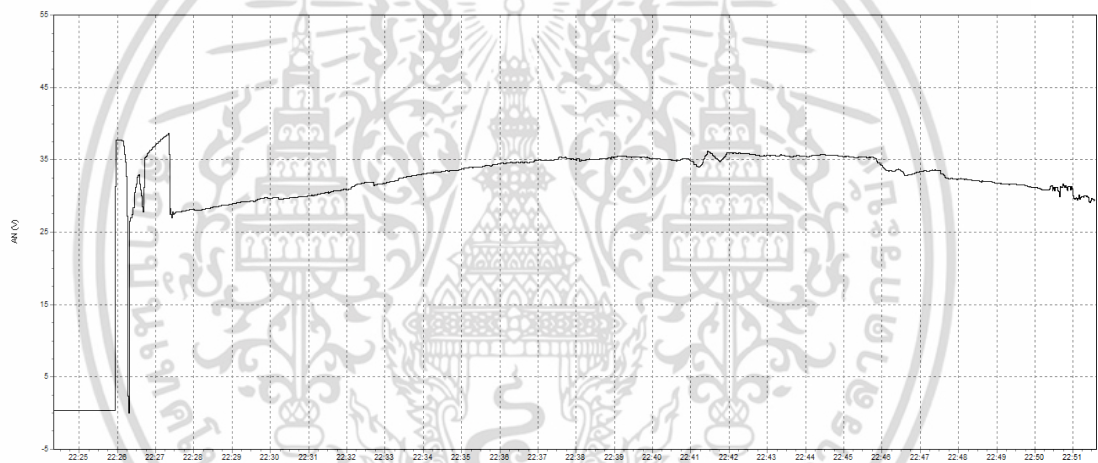
จากตารางที่ 4.5 แสดงคุณภาพไฟฟ้างการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ จากค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนเมษายน ตั้งแต่ช่วงเวลา 6.00 นาฬิกา ถึง 18.00 นาฬิกา โดยมีการนำเสนอคุณภาพไฟฟ้าจากแผงเซลล์สุริยะ (ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้า) และคุณภาพไฟฟ้าจากการประจุแบตเตอรี่ (ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้า) ต่อมาเพื่อศึกษาแนวโน้มของพฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าจากการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ จึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

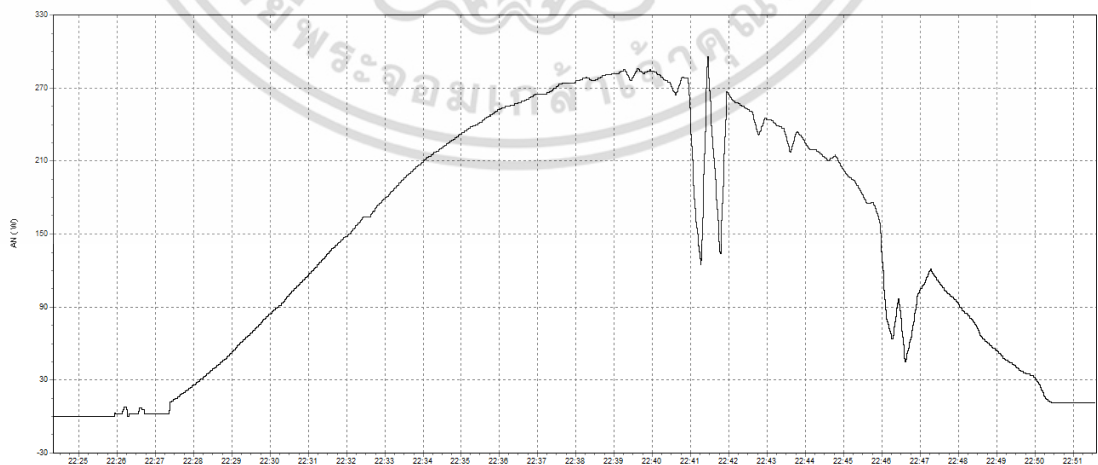
นำเสนอกราฟแสดงพฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าจากแผงเซลล์สุริยะแสดงดังรูปที่ 4.8 และกราฟพฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าจากการประจุแบตเตอรี่ดังรูปที่ 4.9



(ก) กระแสไฟฟ้า



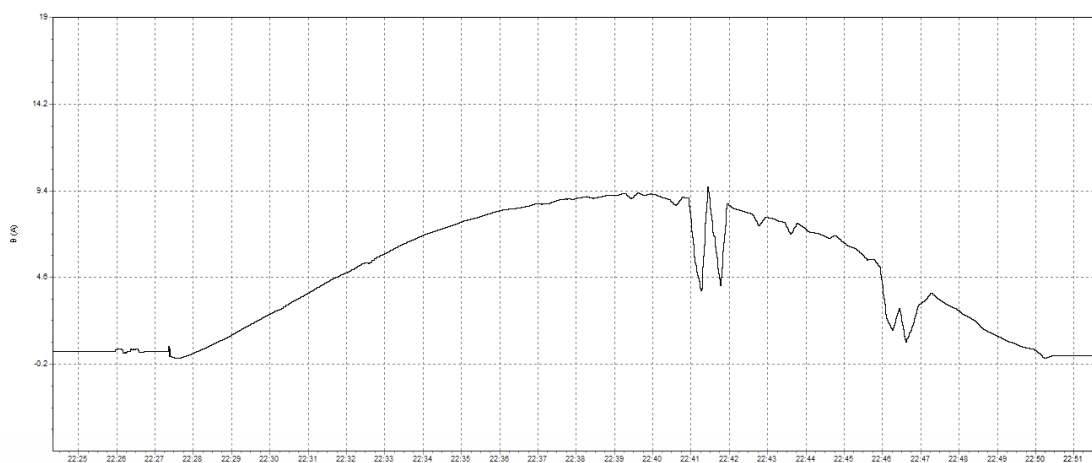
(ข) แรงดันไฟฟ้า



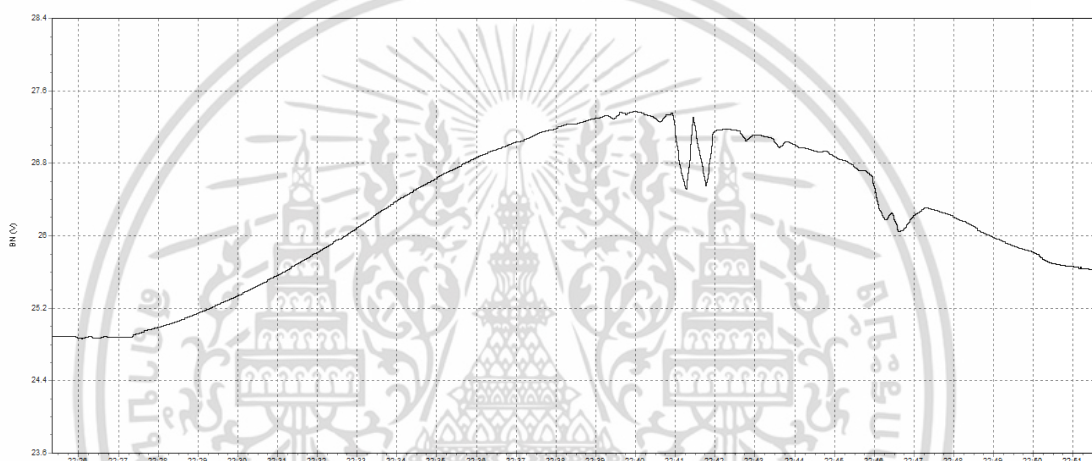
(ค) กำลังไฟฟ้า

รูปที่ 4.8 แสดงพฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าจากแผงเซลล์สุริยะ

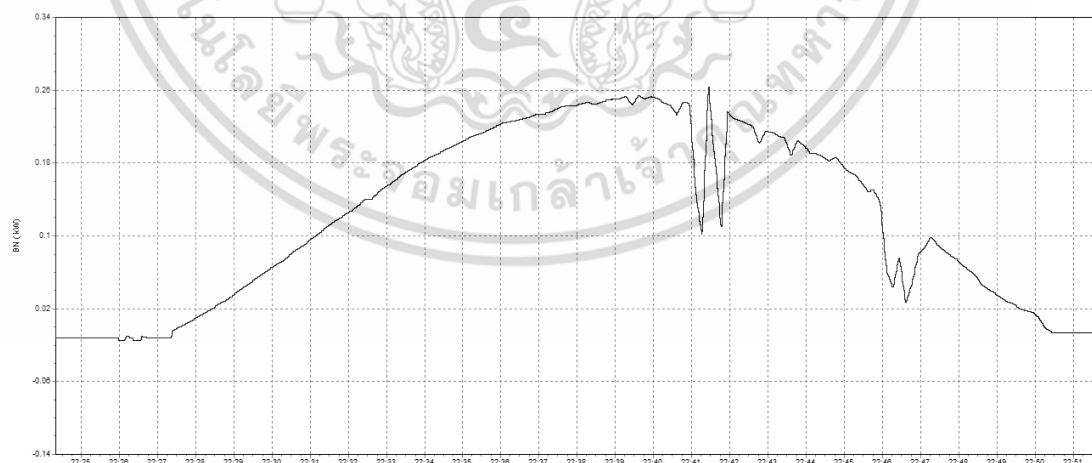
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) กระแสไฟฟ้า



(ข) แรงดันไฟฟ้า



(ค) กำลังไฟฟ้า

รูปที่ 4.9 แสดงพฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าจากแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาคุณภาพไฟฟ้าจากแผงเซลล์สุริยะ เมื่อค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้น (สังเกตจากค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ตั้งแต่เวลา 6.00 นาฬิกา ถึง 12.00 นาฬิกา) พบว่าค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์สุริยะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ เมื่อค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่าลดลง (สังเกตจากค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ตั้งแต่เวลา 12.00 นาฬิกา ถึง 18.00 นาฬิกา) พบว่าค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงเซลล์สุริยะมีแนวโน้มลดลงตามค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ โดยสังเกตจากแนวโน้มพฤติกรรมของค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์สุริยะ แสดงดังรูปที่ 4.8 (ก) รูปที่ 4.8 (ข) และ รูปที่ 4.8 (ค) ตามลำดับ

พิจารณาคุณภาพไฟฟ้าจากการประจุแบตเตอรี่ พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงตามค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เหมือนกับคุณภาพไฟฟ้าจากแผงเซลล์สุริยะ แต่พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าจากการประจุแบตเตอรี่ในแต่ละช่วงเวลามีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากการเป็นการทำงานของเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้า ซึ่งมีตัวควบคุมถึงกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT) ดังนั้นเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าจึงนำกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากแผงเซลล์สุริยะมาประจุแบตเตอรี่ แต่การประจุแบตเตอรี่จำเป็นต้องรักษาระดับแรงดันที่เหมาะสมประมาณ 25-27 โวลต์ (สำหรับแบตเตอรี่ 24 โวลต์) เมื่อกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์สุริยะมีค่าเพิ่มขึ้น เครื่องควบคุมประจุไฟฟ้าต้องทำการรักษาระดับแรงดันและเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าเพื่อให้มีกำลังไฟฟ้าสูงสุดในการประจุแบตเตอรี่ โดยสังเกตแนวโน้มพฤติกรรมของค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้าจากการประจุแบตเตอรี่ แสดงดังรูปที่ 4.9 (ก) รูปที่ 4.9 (ข) และ รูปที่ 4.9 (ค) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่ากำลังไฟฟ้ามียุทธศาสตร์เพิ่มขึ้น เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าทำการจ่ายกระแสไฟฟ้ามาประจุแบตเตอรี่สูงขึ้น ในขณะที่แรงดันถูกรักษาระดับให้มีค่าเหมาะสมกับแรงดันแบตเตอรี่

จากการศึกษาคุณภาพไฟฟ้าของการประจุไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ แสดงให้เห็นว่ากำลังไฟฟ้าจากการประจุแบตเตอรี่มีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามการประจุไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ยังมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจากประสิทธิภาพของระบบสามารถสรุปได้ว่าในช่วงเวลาที่มีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์น้อย แผงเซลล์สุริยะมีกำลังไฟฟ้าได้ต่ำทำให้มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบมาก แต่ในทางกลับกันเมื่อมีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มาก แผงเซลล์สุริยะสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากทำให้ค่าความสูญเสียลดลง ยกตัวอย่างเช่น ในช่วงที่มีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงสุด (12.00 นาฬิกา) แผงเซลล์สุริยะสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ถึง 282 วัตต์ ระบบสามารถนำกำลังไฟฟ้าไปประจุแบตเตอรี่ได้ 250 วัตต์ เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบ 11% แต่ในช่วงเวลา 17.00 นาฬิกา มีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ 272 วัตต์ต่อตารางเมตร แผงเซลล์สุริยะสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 54 วัตต์ ระบบสามารถนำกำลังไฟฟ้าไปประจุแบตเตอรี่ได้ 35 วัตต์ พบว่ามีกำลังสูญเสียถึง 35%

4.2.1.2 ผลการทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบอิสระ

ทำการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าจากการใช้งานโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงร่วมกับระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ ได้แก่ ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ ค่าตัวประกอบกำลัง ค่าความถี่ ค่ากระแสฮาร์โมนิก (THD_i) และค่าแรงดันฮาร์โมนิก (THD_v) เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า แสดงดังตารางที่ 4.6 และนำเสนอการตรวจสอบกระแสฮาร์โมนิกเปรียบเทียบกับมาตรฐาน IEC 61000-3-2 Class C แสดงดังตารางที่ 4.7

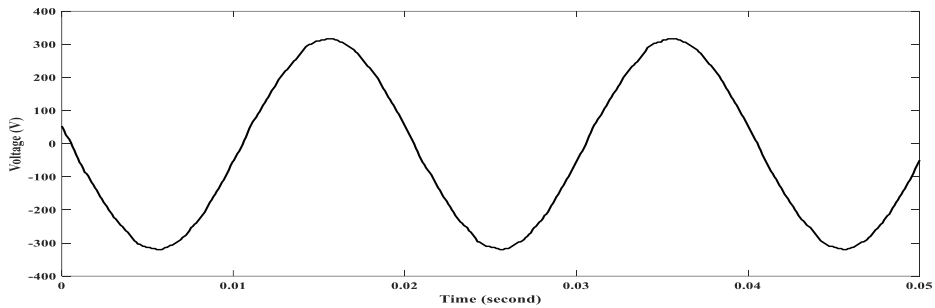
ตารางที่ 4.6 แสดงคุณภาพไฟฟ้าจากการใช้งานโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงร่วมกับระบบแสงอาทิตย์แบบอิสระ

โคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง 250 วัตต์									
ข้อมูล	I (A)	V (V)	P (W)	Q (Var)	S (VA)	PF	f (Hz)	% THD _i	% THD _v
HPS	1.6	224.9	289	209	366	0.79	50	21.4	1.17

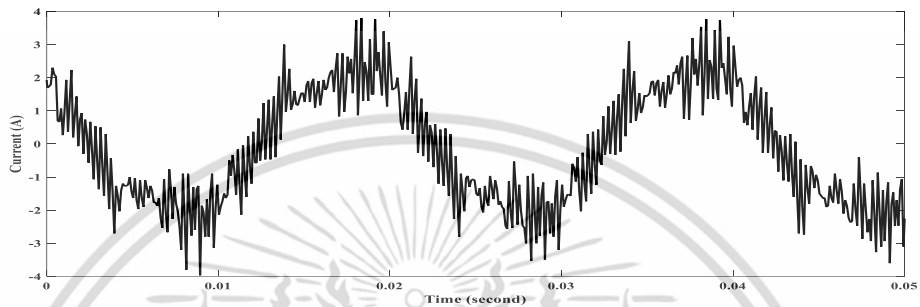
ตารางที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์โมนิกของโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันสูงในระบบแสงอาทิตย์แบบอิสระกับมาตรฐาน IEC 61000-3-2 Class C

การตรวจสอบกระแสฮาร์โมนิก											
ลำดับที่	2nd	3rd	5th	7th	9th	11th	13th	15th	17th	19th	21st
มาตรฐาน	2	23.7	10	7	5	3	3	3	3	3	3
กระแสฮาร์โมนิก (%)	0.34	14.76	5.71	5.40	0.94	4.78	5.44	5.40	6.81	3.79	2.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) แรงดันไฟฟ้า



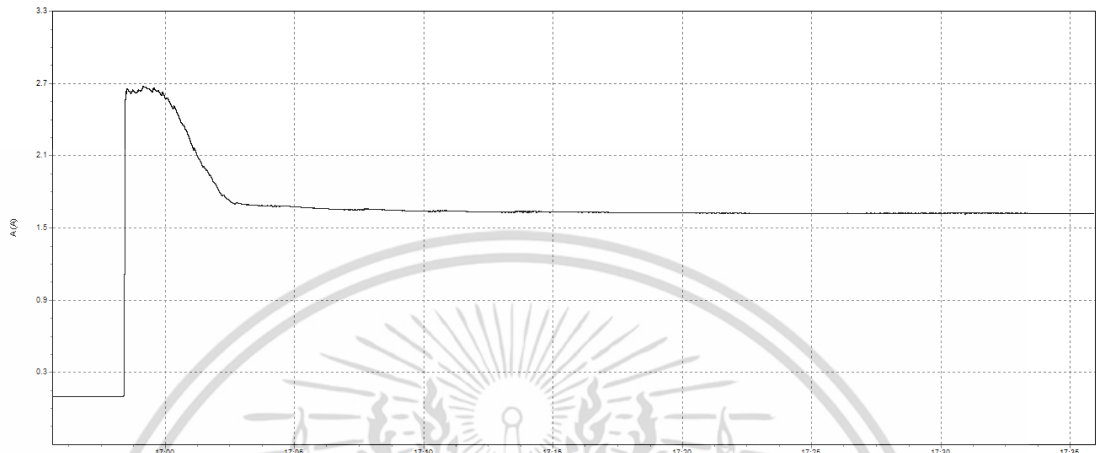
(ข) กระแสไฟฟ้า

รูปที่ 4.10 แสดงรูปคลื่นไซน์ของโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงร่วมกับระบบแสงอาทิตย์แบบอิสระ

จากตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าเมื่อนำโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงมาใช้ร่วมกับระบบแสงอาทิตย์แบบอิสระ ระบบมีคุณภาพไฟฟ้าโดยรวมใกล้เคียงกับกรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง ยกเว้นค่ากระแสฮาร์มอนิกที่มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 16.4% เป็น 21.4% เนื่องจากในระบบมีการใช้งานเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายให้กับโคมไฟถนน ระบบจึงมีค่ากระแสฮาร์มอนิกในส่วนนี้เพิ่มเข้ามาด้วย

จากตารางที่ 4.7 แสดงค่ากระแสฮาร์มอนิกเฉลี่ยในแต่ละอันดับตลอดการตรวจวัดคุณภาพโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงร่วมกับระบบแสงอาทิตย์แบบอิสระเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน IEC 61000-3-2 Class C พบว่าค่ากระแสฮาร์มอนิกในลำดับที่ 11th, 13th, 15th, 17th และ 19th ยังมีค่าสูงกว่ามาตรฐานกำหนด ซึ่งเกิดจากการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ สร้างกระแสฮาร์มอนิกเข้าระบบรวมกับค่ากระแสฮาร์มอนิกเดิมจากโคมไฟถนน ในการใช้งานอาจทำให้เกิดปัญหาที่มีคุณภาพไฟฟ้าต่ำ เมื่อพิจารณารูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.10 (ก) และกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.10 (ข) จากการใช้งานโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง พบว่ารูปคลื่นของแรงดันไม่มีความผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ปกติ ในทางตรงกันข้ามพบว่ารูปคลื่นของกระแสกับความผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์เนื่องจากเกิดกระแสฮาร์มอนิกในลำดับที่ 11th, 13th, 15th, 17th และ 19th

ในลำดับต่อมาเป็นการอธิบายถึงพฤติกรรมของคุณภาพไฟฟ้าจากการใช้งานคอมพิวเตอร์ โขเทียมความดันไอสูงร่วมกับระบบแสงอาทิตย์แบบอิสระ ได้แก่พฤติกรรมของค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าเสมือน กำลังไฟฟ้าปรากฏ ตัวประกอบกำลัง ความถี่ กระแสฮาร์มอนิกและแรงดันฮาร์มอนิก แสดงดังรูปที่ 4.11 (ก) ถึง รูปที่ 4.11 (ฉ)

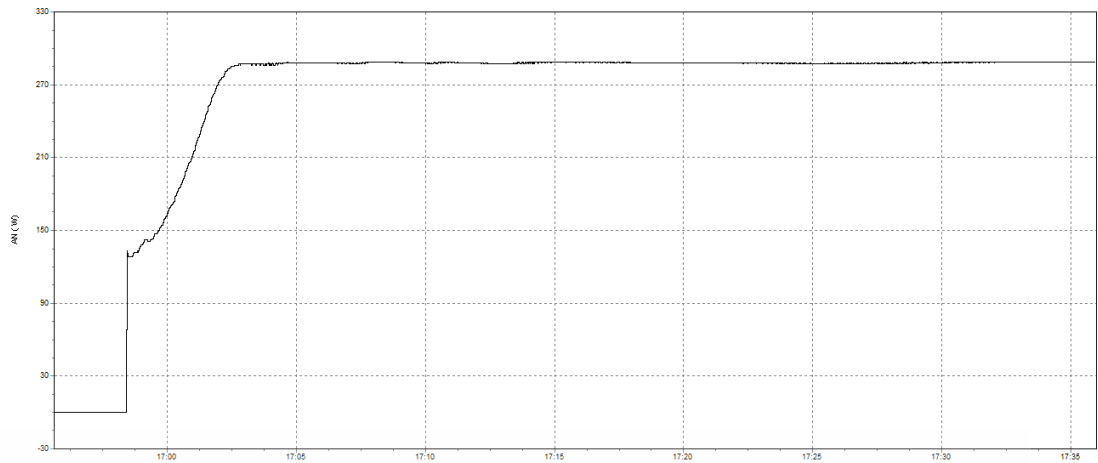


(ก) กระแสไฟฟ้า

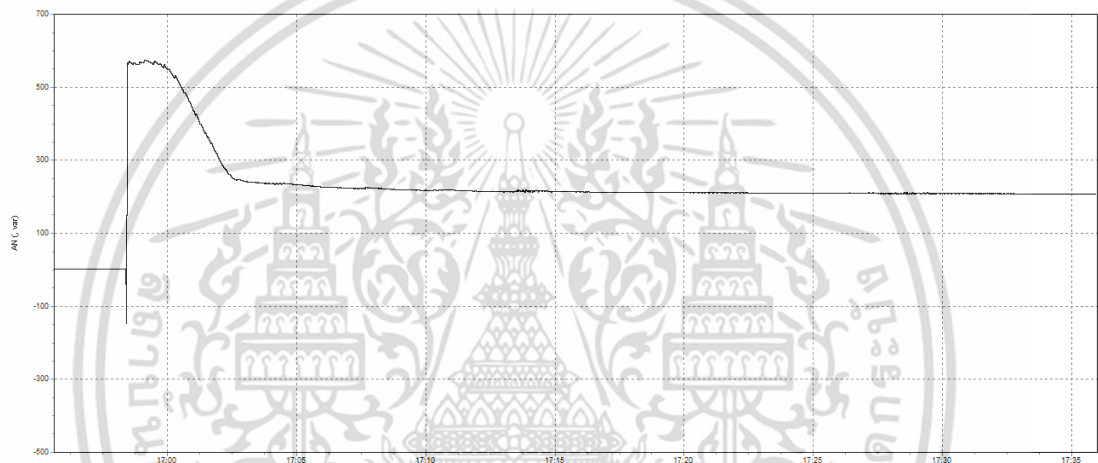


(ข) แรงดันไฟฟ้า

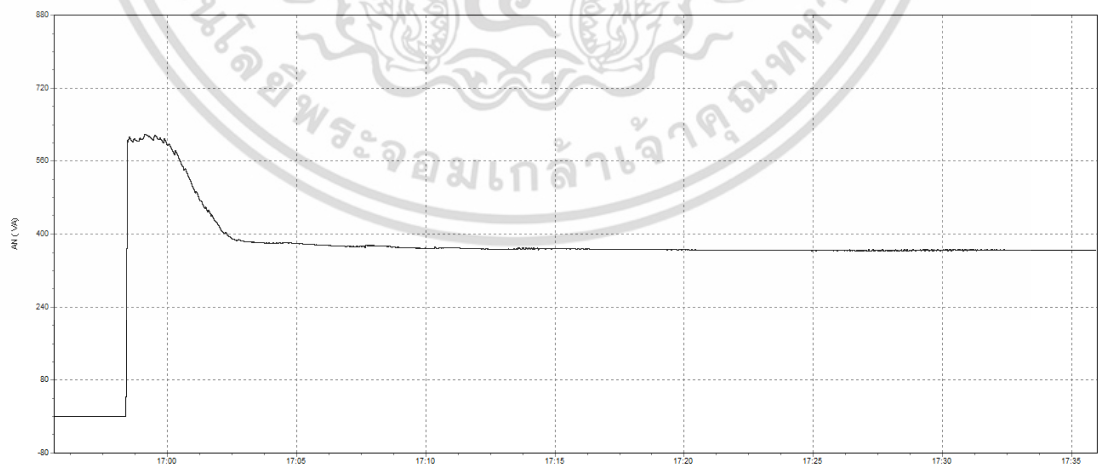
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) กำลังไฟฟ้า

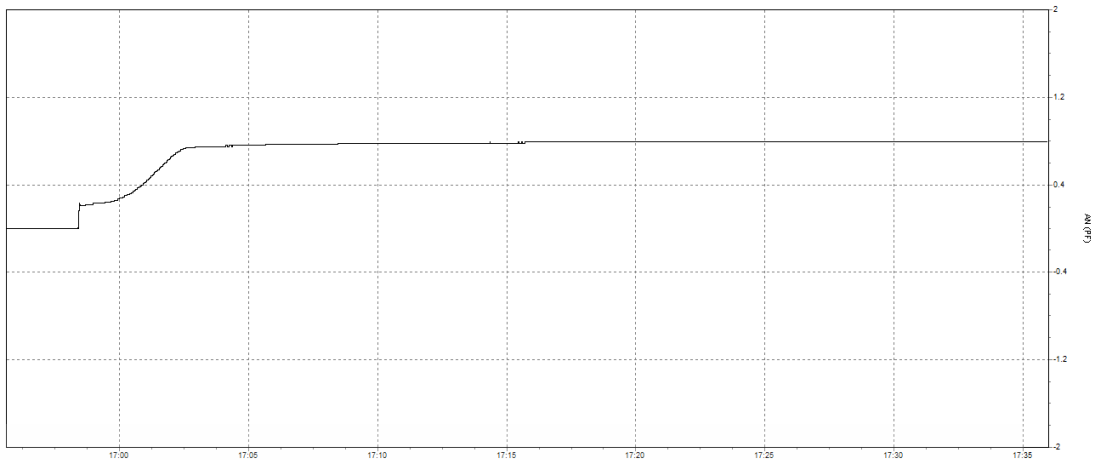


(ง) กำลังไฟฟ้าเสมือน

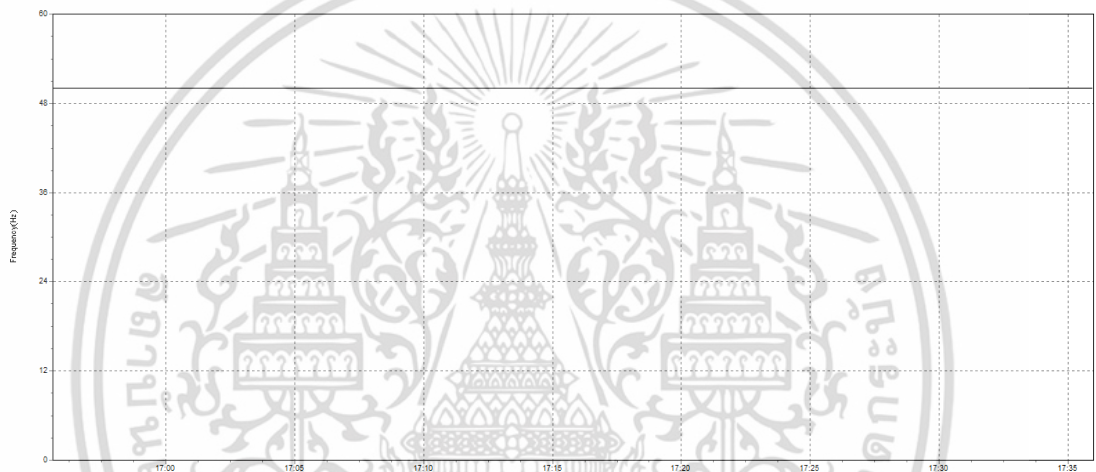


(จ) กำลังไฟฟ้าปรากฏ

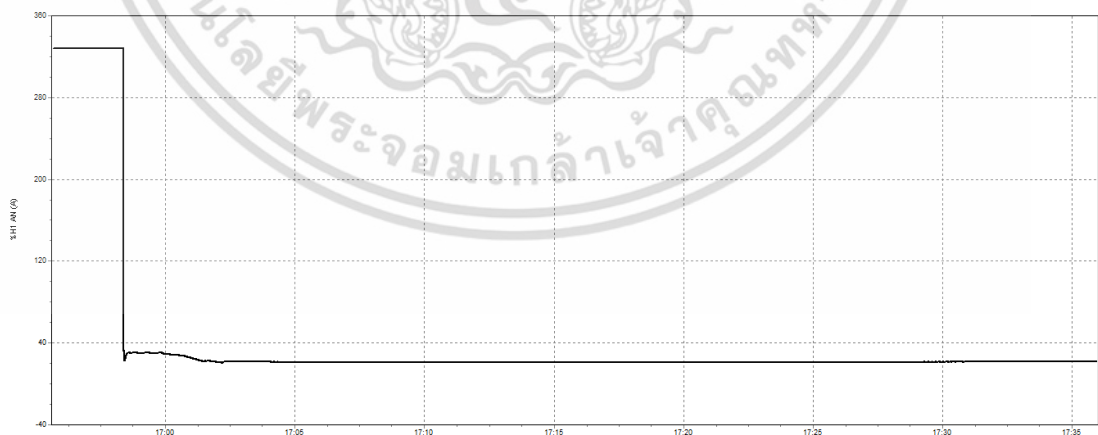
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



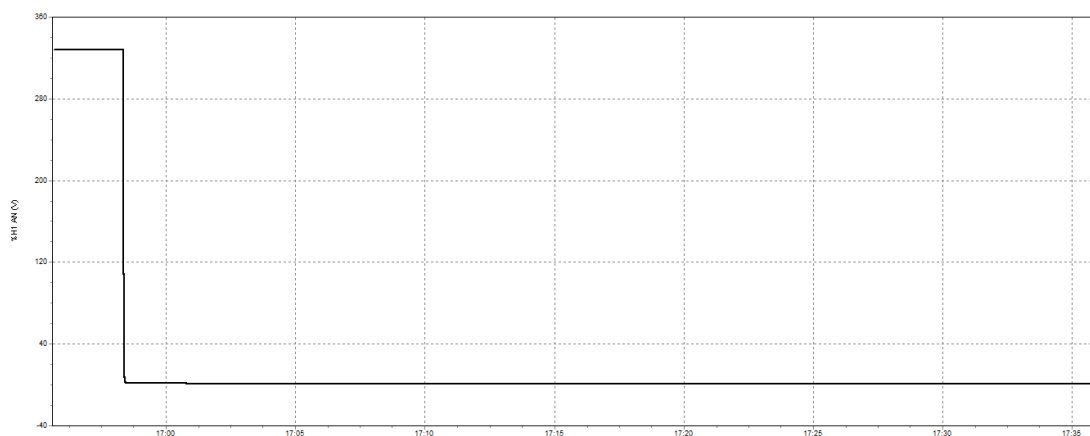
(ฉ) ค่าตัวประกอบกำลัง



(ช) ความถี่

(ซ) กระแสฮาร์มอนิก (%THD_i)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ณ) แรงดันฮาร์มอนิก (%THD_v)

รูปที่ 4.11 แสดงพฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าจากโคมไพถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงร่วมกับระบบ
แสงอาทิตย์แบบอิสระ

เมื่อพิจารณาจากพฤติกรรมของค่ากระแสไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 4.11 (ก) พบว่าในช่วงเริ่มต้นของ
การใช้งาน (อยู่ในสถานะอุณหภูมิเย็น) โคมไพถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงระบบแสงอาทิตย์แบบ
อิสระมีค่ากระแสไฟฟ้าเริ่มต้นสูงถึง 2.6 แอมป์ สูงกว่าค่ากระแสไฟฟ้าในกรณีโคมไพถนนหลอด
โซเดียมความดันไอสูง (2.3 แอมป์) จากนั้นกระแสไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลง จนเข้าสู่สภาวะคงตัวมีค่า
กระแสไฟฟ้า 1.6 แอมป์ เท่ากับกรณีโคมไพถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง ต่อมาสำหรับพฤติกรรม
ของค่าแรงดันไฟฟ้าแสดงรูปที่ 4.11 (ข) พบว่ามีค่าคงที่ตลอดการใช้งาน 224.9 โวลต์ และใกล้เคียง
กับกรณีโคมไพถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง

เมื่อพิจารณาพฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าของค่ากำลังไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน ค่ากำลังไฟฟ้า
ปรากฏและค่าตัวประกอบกำลัง จากรูปที่ 4.11 (ค) รูปที่ 4.11 (ง) รูปที่ 4.11 (จ) และ รูปที่ 4.11 (ฉ)
ตามลำดับ พบว่ามีพฤติกรรมจากค่าคุณภาพไฟฟ้างกล่าวเหมือนกับกรณีโคมไพถนนหลอดโซเดียม
ความดันไอสูง เพียงแต่ในกรณีโคมไพถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงร่วมกับระบบแสงอาทิตย์แบบ
อิสระมีค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏมากกว่าเล็กน้อย เนื่องจากเป็นกำลังสูญเสียที่เกิดจากเครื่องแปลง
แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ทำให้ในระบบดังกล่าวมีค่าตัวประกอบกำลัง
ลดลง

จากรูปที่ 4.11 (ข) แสดงพฤติกรรมของค่าความถี่จากการใช้งานโคมไพถนนหลอดโซเดียมความ
ดันไอสูงร่วมกับระบบแสงอาทิตย์แบบอิสระ พบว่ามีค่าคงที่ตลอดการใช้งานที่ 50 เฮิรตซ์ เหมือนกับ
กรณีโคมไพถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง สำหรับพฤติกรรมของค่ากระแสฮาร์มอนิก พิจารณาจาก
รูปที่ 4.11 (ณ) แสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มเหมือนกับกรณีโคมไพถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง แต่
แตกต่างกันที่ค่ากระแสฮาร์มอนิกรวม สังเกตได้ว่าในช่วงเริ่มใช้งานกรณีโคมไพถนนหลอดโซเดียม
ความดันไอสูงร่วมกับระบบแสงอาทิตย์แบบอิสระมีค่ากระแสฮาร์มอนิกสูงถึง 30% ในขณะที่กรณีโคม
ไพถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงมีค่ากระแสฮาร์มอนิก 21% เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวพบว่าค่ากระแส
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฮาร์มอนิกรวมมีค่าลดลงเหลือ 21.4% และ 16.4% สำหรับกรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระและแบบปกติ ตามลำดับ ส่วนพฤติกรรมของค่าแรงดันฮาร์มอนิกพิจารณาจากรูปที่ 4.11 (ฉ) แสดงให้เห็นว่าค่าแรงดันฮาร์มอนิกมีแนวโน้มคงที่ตลอดการใช้งานเหมือนกับกรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง

จากการใช้งานโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบอิสระ แสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลาอ่อนหลอดไฟประมาณ 5 นาทีแรก โคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงที่ติดตั้งอยู่กับระบบแสงอาทิตย์แบบอิสระมีค่ากระแสเริ่มต้นสูงกว่ากรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง แต่เมื่อในสภาวะคงตัวโคมไฟถนนในกรณีดังกล่าวมีค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าเท่ากัน แต่กรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระมีค่ากระแสฮาร์มอนิกสูงกว่า เนื่องจากในระบบมีการใช้เครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่มาจ่ายเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้กับโคมไฟถนน ทำให้มีคุณภาพไฟฟ้าด้อยลง

4.2.1.3 ผลการทดลองระบบแสงสว่างโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบอิสระ

ทำการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าจากการใช้งานโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงร่วมกับระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ ได้แก่ ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ ค่าตัวประกอบกำลัง ค่าความถี่ ค่ากระแสฮาร์มอนิก (THD_i) และค่าแรงดันฮาร์มอนิก (THD_v) เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า แสดงดังตารางที่ 4.8 และนำเสนอการตรวจสอบกระแสฮาร์มอนิกเปรียบเทียบกับมาตรฐาน IEC 61000-3-2 Class C แสดงดังตารางที่ 4.9

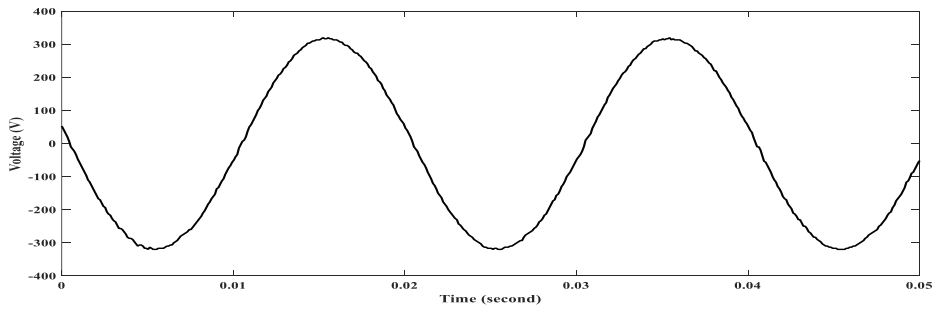
ตารางที่ 4.8 แสดงคุณภาพไฟฟ้าจากการใช้งานโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง 120 วัตต์ ร่วมกับระบบแสงอาทิตย์แบบอิสระ

โคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง									
ข้อมูล	I (A)	V (V)	P (W)	Q (Var)	S (VA)	PF	f (Hz)	% THD _i	% THD _v
LED	0.55	228.2	121	-22	126	0.96	50	17.5	1.31

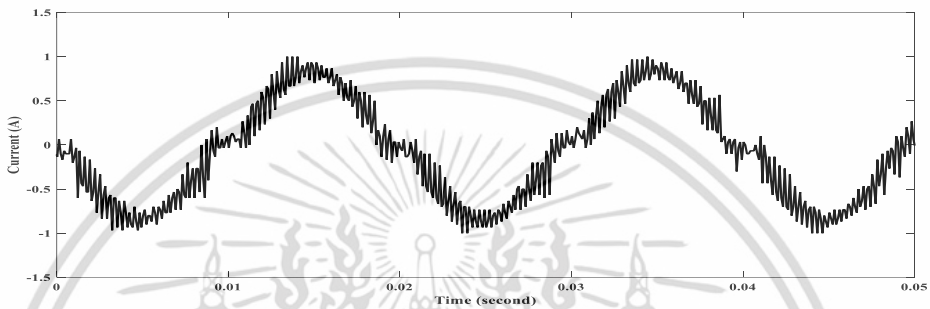
ตารางที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์มอนิกของโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงในระบบแสงอาทิตย์แบบอิสระกับมาตรฐาน IEC 61000-3-2 Class C

การตรวจสอบกระแสฮาร์มอนิก											
ลำดับที่	2nd	3rd	5th	7th	9th	11th	13th	15th	17th	19th	21st
มาตรฐาน	2	28.8	10	7	5	3	3	3	3	3	3
กระแสฮาร์มอนิก (%)	1.02	11.95	5.56	4.13	2.79	1.94	1.31	1.08	1.17	1.24	1.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) แรงดันไฟฟ้า



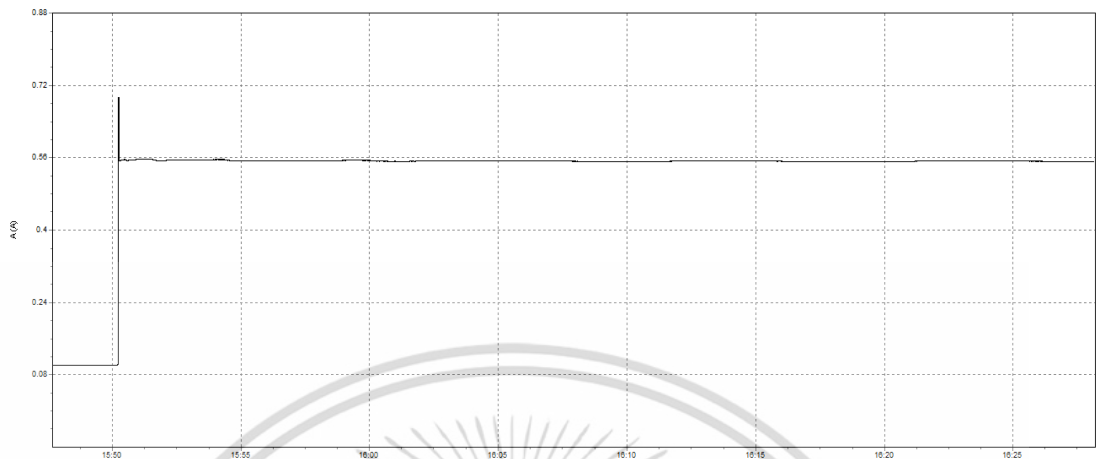
(ข) กระแสไฟฟ้า

รูปที่ 4.12 แสดงรูปคลื่นไซน์ของโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงร่วมกับระบบแสงอาทิตย์แบบ
อิสระ

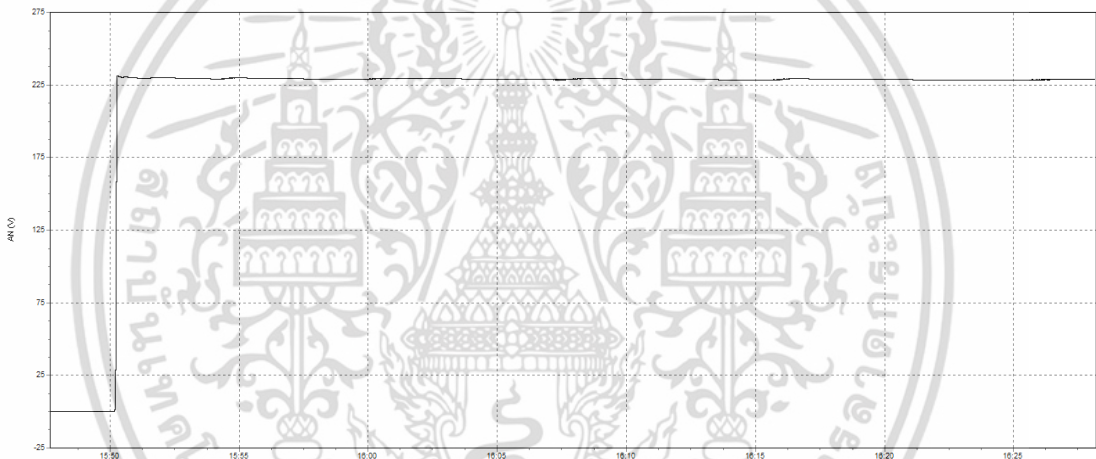
จากตารางที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าเมื่อนำโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงมาใช้ร่วมกับระบบแสงอาทิตย์แบบอิสระ ระบบมีค่าคุณภาพไฟฟ้าใกล้เคียงกับกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง ยกเว้นค่ากระแสฮาร์มอนิกที่เพิ่มขึ้นจาก 13.7% เป็น 17.5% เนื่องจากค่ากระแสฮาร์มอนิกรวมที่เพิ่มขึ้นเกิดจากเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายให้กับโคมไฟถนน

จากตารางที่ 4.9 แสดงค่ากระแสฮาร์มอนิกเฉลี่ยในแต่ละอันดับตลอดการตรวจวัดคุณภาพโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงร่วมกับระบบแสงอาทิตย์แบบอิสระ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน IEC 61000-3-2 Class C พบว่ามีค่ากระแสฮาร์มอนิกผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนดในทุกอันดับที่ แต่เมื่อเทียบค่ากระแสฮาร์มอนิกรวมในแต่ละลำดับกับกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพบว่าในระบบที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระต่อรวมอยู่มีค่ากระแสฮาร์มอนิกรวมในแต่ละลำดับเพิ่มขึ้นเนื่องจากผลการแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายให้กับโคมไฟถนน ต่างจากกรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระที่ให้กระแสฮาร์มอนิกรวมในบางลำดับที่สูงกว่ามาตรฐาน เมื่อพิจารณารูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.12 (ก) และกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.12 (ข) จากการใช้งานโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง พบว่ารูปคลื่นของแรงดันไม่มีความผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นปกติ สำหรับรูปคลื่นของกระแสพบว่าไม่มีฮาร์มอนิกเป็นฮาร์มอนิกที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

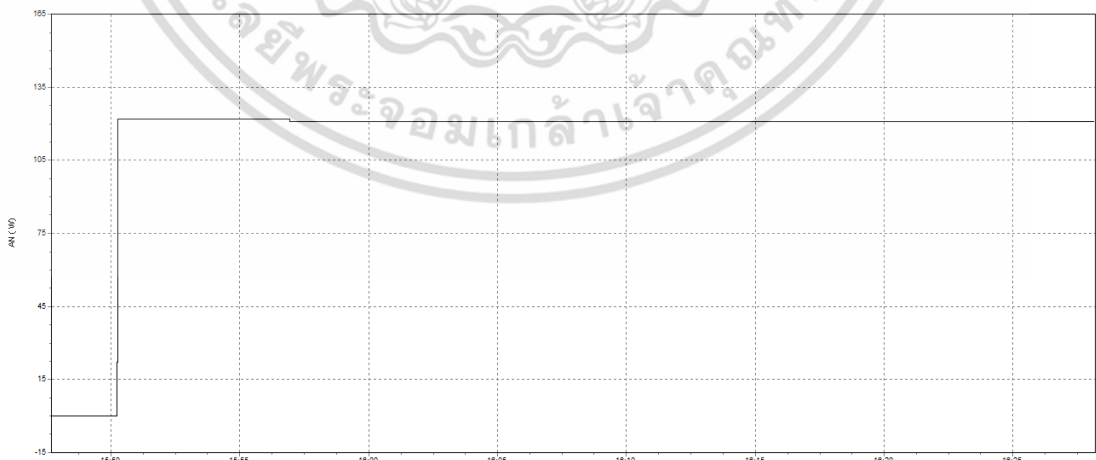
ความผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์เล็กน้อย แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้าเนื่องจากมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน IEC 61000-3-2 Class C



(ก) กระแสไฟฟ้า

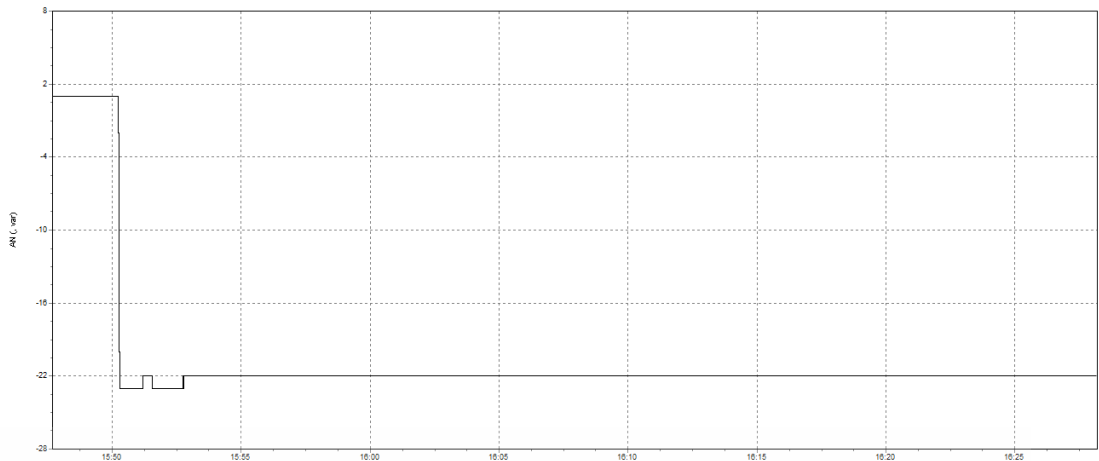


(ข) แรงดันไฟฟ้า

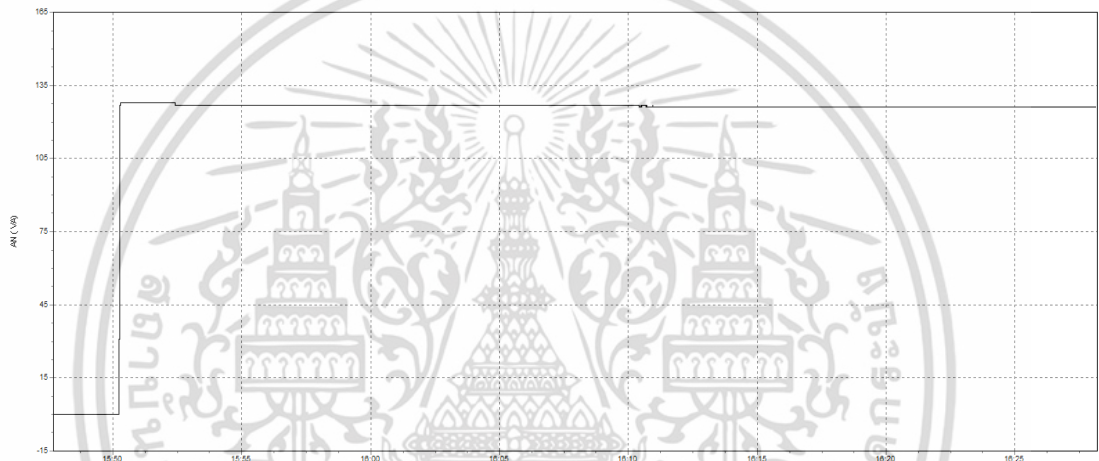


(ค) กำลังไฟฟ้า

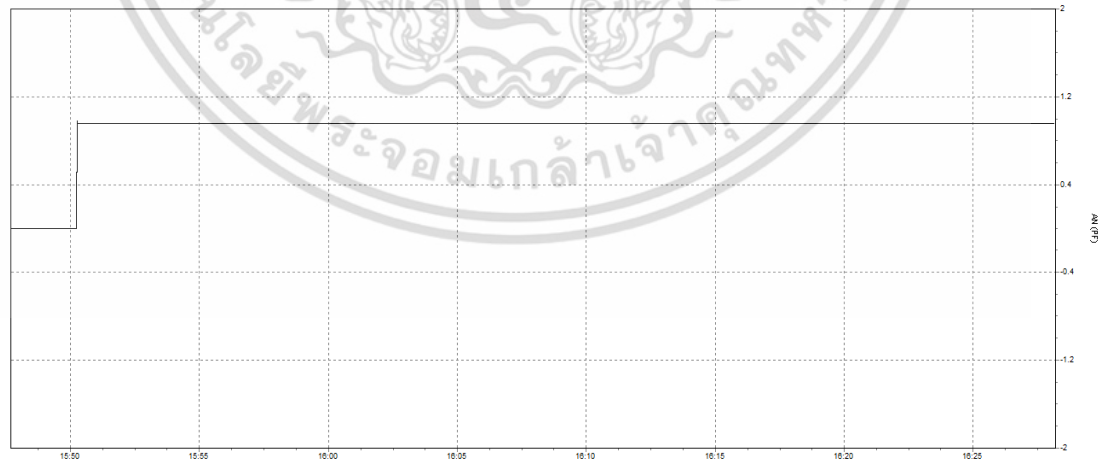
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง) กำลังไฟฟ้าเสมือน

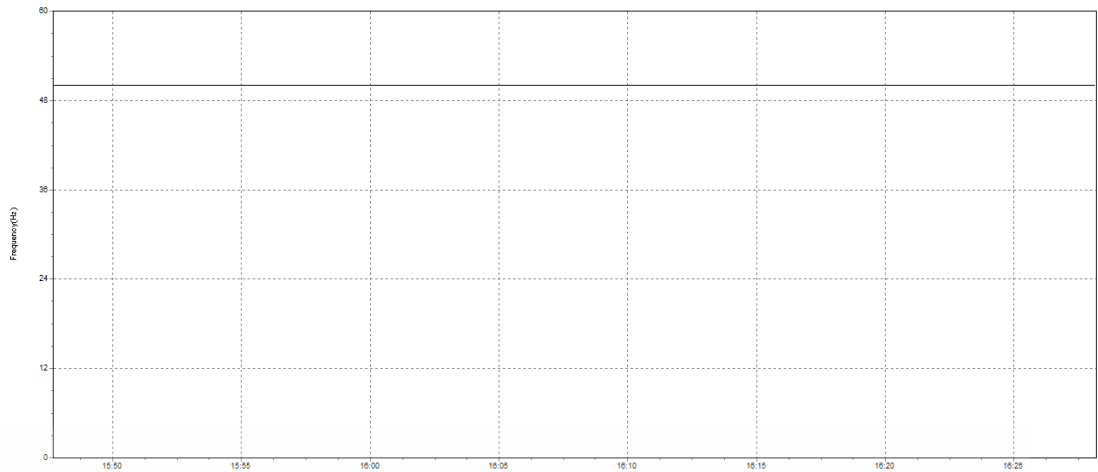


(จ) กำลังไฟฟ้าปรากฏ

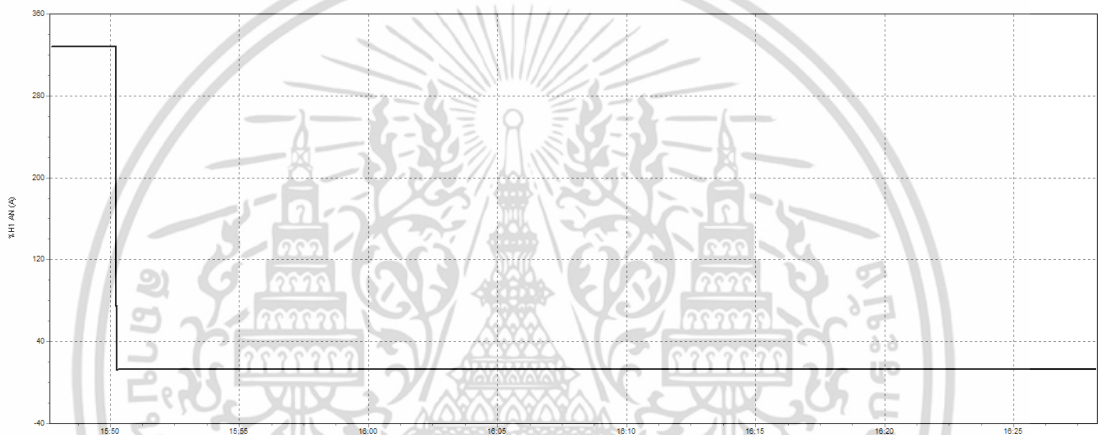


(ฉ) ค่าตัวประกอบกำลัง

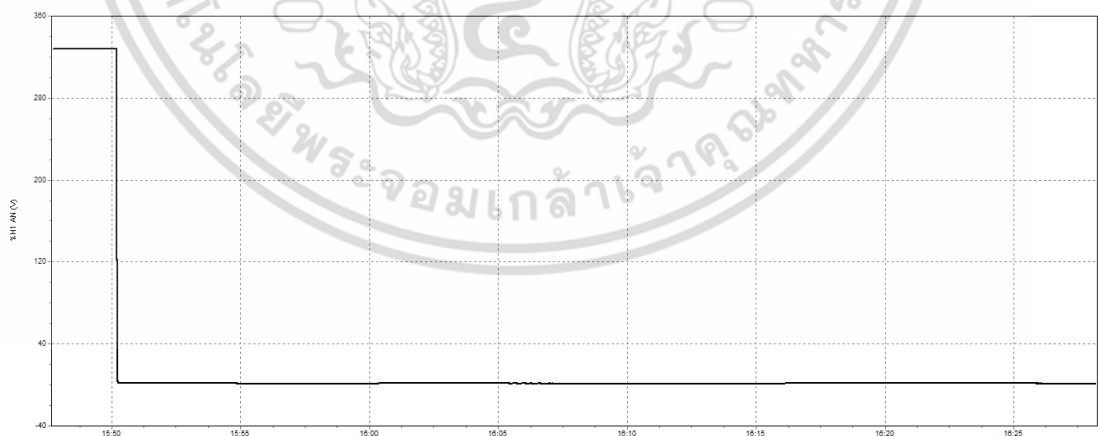
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ช) ความถี่



(ซ) กระแสฮาร์มอนิก (%THD_i)



(ณ) แรงดันฮาร์มอนิก (%THD_v)

รูปที่ 4.13 แสดงพฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าจากคอมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงร่วมกับระบบ
แสงอาทิตย์แบบอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.13 (ก) แสดงพฤติกรรมของค่ากระแสไฟฟ้าจากการใช้งานโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบอิสระ พบว่ามีค่ากระแสไฟฟ้าคงที่ตลอดการใช้งานเหมือนกับกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง เมื่อเทียบกับกรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระพบว่าระบบดังกล่าวมีค่ากระแสไฟฟ้าต่ำกว่าและมีพฤติกรรมกระแสไฟฟ้าแตกต่างกัน ต่อมา จากพฤติกรรมของค่าแรงดันไฟฟ้า พิจารณาจากรูปที่ 4.13 (ข) พบว่ามีค่าคงที่ตลอดการใช้งานเหมือนกับกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงและกรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ

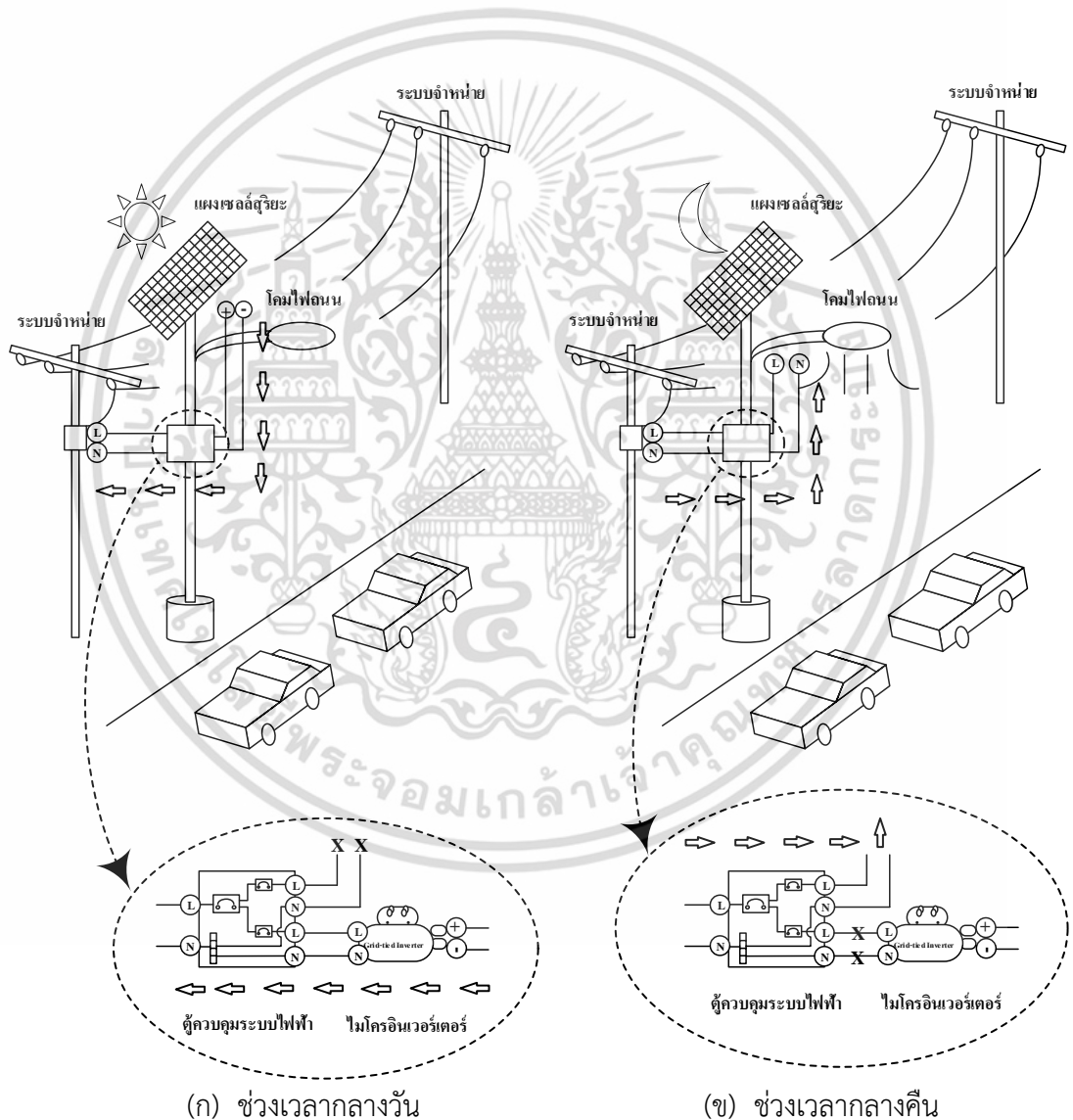
เมื่อพิจารณาพฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าของค่ากำลังไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏและค่าตัวประกอบกำลัง แสดงดังรูปที่ 4.13 (ค) รูปที่ 4.13 (ง) รูปที่ 4.13 (จ) และรูปที่ 4.13 (ฉ) ตามลำดับ จากการใช้งานโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระพบว่ามีแนวโน้มค่าคุณภาพไฟฟ้าเหมือนกับกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับกรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระพบว่าระบบดังกล่าวมีค่ากำลังไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนและค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏน้อยกว่า รวมไปถึงมีค่าตัวประกอบกำลังสูงกว่าด้วย

จากพฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าของค่าความถี่พบว่าค่าที่ตลอดการใช้งานที่ 50 เฮิร์ตซ์ เหมือนกับกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงและกรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ ต่อมาเมื่อพิจารณาถึงพฤติกรรมของค่ากระแสฮาร์มอนิกรวมแสดงดังรูปที่ 4.13 (ซ) พบว่าตลอดช่วงการใช้งานโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระให้ค่ากระแสฮาร์มอนิกรวมคงที่ 17.5% สังเกตได้ว่ามีค่าเพิ่มขึ้นจากกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง (13.7%) เนื่องจากระบบดังกล่าวมีการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่มาจ่ายให้กับโคมไฟถนนจึงทำให้มีคุณภาพไฟฟ้าต่ำกว่าเดิม แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับกรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระพบว่าในระบบดังกล่าวมีค่ากระแสฮาร์มอนิกรวมต่ำกว่า เนื่องจากโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงมีค่ากระแสฮาร์มอนิกต่ำกว่าโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง เมื่อนำมารวมกับระบบแสงอาทิตย์แบบอิสระจึงทำให้ระบบมีค่ากระแสฮาร์มอนิกรวมต่ำตามไปด้วย สำหรับค่าแรงดันฮาร์มอนิกจากรูปที่ 4.13 (ณ) พบว่ามีค่าคงที่ใกล้เคียงกับกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งและกรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ

จากการใช้งานโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงร่วมกับระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระแสดงให้เห็นว่า มีคุณภาพไฟฟ้าโดยรวมใกล้เคียงกับกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง ยกเว้นค่ากระแสฮาร์มอนิกรวมที่มีค่าสูงกว่า แต่ต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด ในขณะที่กรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพลังงานแสงอาทิตย์แบบต้องจ่ายกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสูงกว่าการใช้โคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง รวมถึงมีค่ากระแสฮาร์มอนิกที่สูงกว่ามาตรฐานด้วย

4.3 ระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย

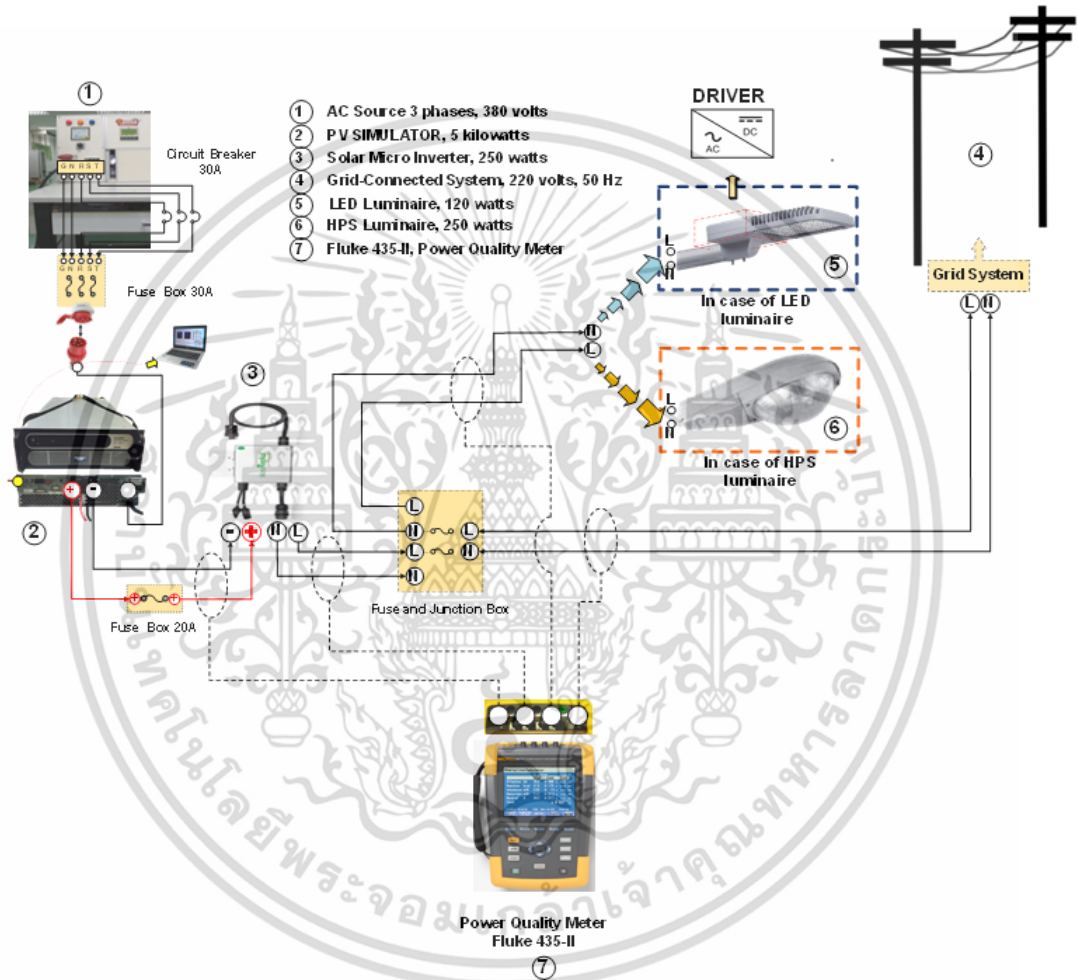
การทำงานของระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย คือในช่วงเวลากลางวันแสดงดังรูปที่ 4.14 (ก) เมื่อแผงเซลล์สุริยะได้รับความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ ระบบจะผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์สุริยะที่ติดตั้งไว้กับระบบแสงสว่างไฟถนน จ่ายให้กับบริษัทจำหน่ายของการไฟฟ้า โดยผ่านเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาดพิกัดเล็ก (ไมโครอินเวอร์เตอร์) สำหรับการทำงานของระบบในช่วงเวลากลางคืนแสดงดังรูปที่ 4.14 (ข) เมื่อต้องการใช้งานระบบแสงสว่างไฟถนน ระบบจะดึงพลังงานไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายจ่ายให้กับระบบแสงสว่างไฟถนน (เป็นช่วงที่มีค่าไฟฟ้าถูกกว่า) เพราะฉะนั้นการออกแบบระบบแสงสว่างไฟถนนแบบนี้ยังมีความจำเป็นในการเชื่อมต่อกับบริษัทจำหน่าย



รูปที่ 4.14 การทำงานของระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

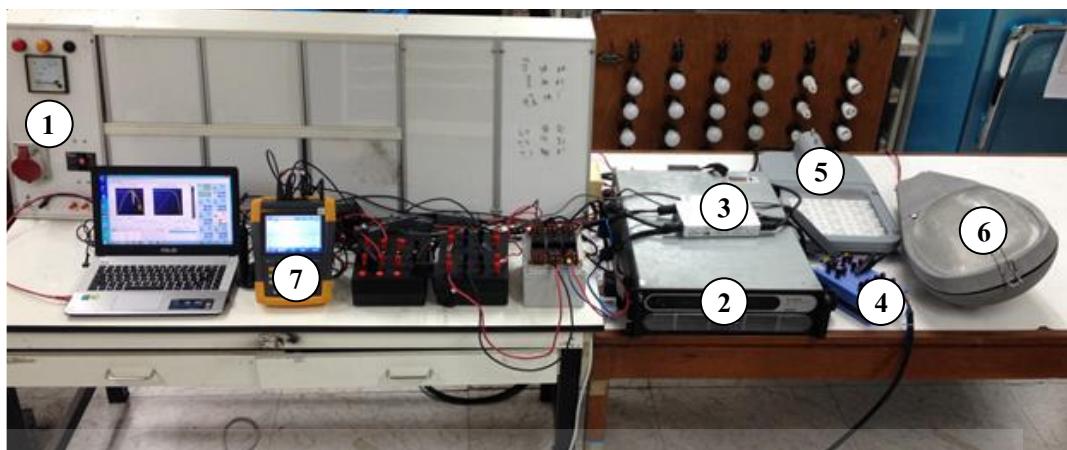
ดังนั้นในชุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนแบบเชื่อมต่อบรรยากาศจึงถูกออกแบบมาเพื่อศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพทางไฟฟ้าของการทำงานของระบบแสงสว่างไฟถนนร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบรรยากาศ โดยตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ (แผงเซลล์สุริยะ) และตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าในขณะที่มีการเชื่อมต่อบรรยากาศไฟฟ้า แสดงแผนผังการทำงานและชุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบรรยากาศดังรูปที่ 4.15 (ก) และรูปที่ 4.15 (ข) ตามลำดับ



(ก) แสดงแผนผังการทำงานของระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบรรยากาศ

จำหน่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) แสดงชุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบรรยากาศ
รูปที่ 4.15 ระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบรรยากาศ

การทำงานของชุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบรรยากาศ ชุดทดลองรับพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แรงดัน 380/220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ (หมายเลข 1 ในรูป) จากห้องทดลองจ่ายให้กับเครื่องจำลองพฤติกรรมพลังงานแสงอาทิตย์ (PV simulator) ขนาด 600 โวลต์ 8.3 แอมป์ (หมายเลข 2 ในรูป) เป็นอุปกรณ์สร้างคุณลักษณะพฤติกรรมของแผงเซลล์สุริยะ สามารถกำหนดชนิดของแผงเซลล์สุริยะ ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิ ซึ่งให้ผลลัพธ์มีความแม่นยำและเชื่อถือได้ใกล้เคียงกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งจริง (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ค) ในชุดทดลองนี้เลือกจำลองคุณลักษณะพฤติกรรมทางไฟฟ้าของแผงเซลล์สุริยะขนาด 250 วัตต์ เพื่อจ่ายให้กับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า มีพิกัดแรงดัน 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ (หมายเลข 4 ในรูป) โดยพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องจำลองพฤติกรรมพลังงานแสงอาทิตย์ ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับและจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายด้วยเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาดพิกัดเล็กขนาด 250 วัตต์ (หมายเลข 3 ในรูป) เป็นอุปกรณ์ใช้แปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงเซลล์สุริยะ เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายให้กับระบบจำหน่าย โดยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ออกจากเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาดพิกัดเล็กต้องมีมุมเฟส ขนาดแรงดันและความถี่ตรงกับค่าของระบบจำหน่าย (220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์) จึงสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกไปได้ สำหรับเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาดพิกัดเล็กในชุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบรรยากาศ มีระบบติดตามหาจุดกำลังสูงสุด (Maximum Power Point Tracker; MPPT) เพื่อประสิทธิภาพทางพลังงานจากการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์ สำหรับการใช้งานระบบแสงสว่างไฟถนน (หมายเลข 5 และ 6 ในรูป สำหรับโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงขนาด 120 วัตต์และโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงขนาด 250 วัตต์ ตามลำดับ) โคมไฟถนนรับพลังงานไฟฟ้าจากระบบจำหน่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าจากชุดทดลอง โดยตรวจวัดปริมาณไฟฟ้าและบันทึกผลจากเครื่องตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้า (หมายเลข 7 ในรูป) เพื่อเก็บข้อมูล กระแส แรงดัน กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าปรากฏ กำลังไฟฟ้าเสมือน ค่าตัวประกอบกำลัง ความถี่ ฮาร์มอนิก ฯลฯ ในลักษณะเวลาจริงทุก ๆ 1 วินาที จากนั้นจึงนำข้อมูลมาศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า

4.3.1 ผลทดลองการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าจากชุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบรรณจําหนาย

การตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าจากชุดทดลองระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบรรณจําหนายแบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่

1. การศึกษาคุณภาพไฟฟ้าจากการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เข้าสู่ระบบจําหนาย โดยตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าจากแผงเซลล์สุริยะ (ค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า) และตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าจากระบบจําหนาย (ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ ค่าตัวประกอบกำลัง ค่าความถี่ ค่ากระแสฮาร์มอนิก (THD) และแรงดันฮาร์มอนิก (THD_v) เพื่อนำผลมาศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า โดยมีการนำเสนอการวิเคราะห์ผลของฮาร์มอนิกที่เกิดจากชุดทดลองเปรียบเทียบกับมาตรฐานการจำกัดค่าฮาร์มอนิกเมื่อเชื่อมต่อกับระบบจําหนาย อ้างอิงจากมาตรฐานการเชื่อมต่อโครงข่ายของการไฟฟ้า

2. การศึกษาคุณภาพไฟฟ้าจากโคมไฟถนน โดยตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าจากการใช้งานโคมไฟถนนในระบบแสงสว่างไฟถนนแบ่งเป็น 2 กรณีศึกษา ได้แก่ กรณีโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงและกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง ทำการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้า จากค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ ค่าตัวประกอบกำลัง ค่าความถี่ ค่ากระแสฮาร์มอนิก (THD) และแรงดันฮาร์มอนิก (THD_v) เพื่อนำมาศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า จากนั้น นำเสนอการวิเคราะห์ผลของฮาร์มอนิกที่เกิดจากโคมไฟถนน ที่เป็นปัจจัยส่งผลต่ออุปกรณ์ไฟฟ้ามากที่สุด โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าฮาร์มอนิกจากการทดลองกับมาตรฐาน IEC 61000-3-2 (2009) Class C ที่กำหนดใช้กับอุปกรณ์แสงสว่างมีกระแส ≤ 16 แอมป์

ในส่วนนี้นำเสนอเฉพาะผลการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าจากการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เข้าสู่ระบบจําหนายเพียงกรณีเดียวเท่านั้น เนื่องจากคุณภาพไฟฟ้าจากโคมไฟถนนได้ถูกกล่าวอยู่ในหัวข้อที่ 4.1 แล้ว โดยการทดลองใช้ข้อมูลค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ยกตัวอย่างนำเสนอเฉพาะในเดือนเมษายน โดยแสดงผลการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าดังตารางที่ 4.10 โดยแสดงพฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าจากแผงเซลล์สุริยะดังรูปที่ 4.16 และพฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าจากระบบจําหนายดังรูปที่ 4.17 (ข้อมูลคุณภาพไฟฟ้าอีก 11 เดือนถูกนำเสนอในภาคผนวก จ)

จากตารางที่ 4.10 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจําหนาย โดยใช้ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนเมษายน ตั้งแต่ช่วงเวลา 6.00 นาฬิกา ถึง 18.00 นาฬิกา แบ่งเป็นการนำเสนอคุณภาพไฟฟ้าจากแผงเซลล์สุริยะ (ค่ากระแส ค่าแรงดันและค่ากำลังไฟฟ้า) และคุณภาพไฟฟ้าจากการจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจําหนาย (ค่ากระแสไฟฟ้า ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

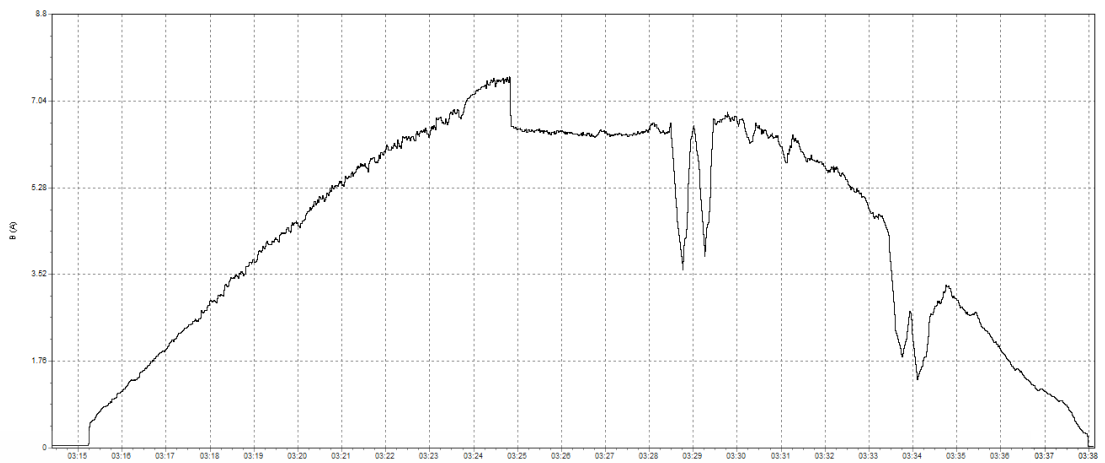
แรงดันไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ ค่าตัวประกอบกำลัง ค่าความถี่ ค่ากระแสฮาร์มอนิก (%THD_i) และค่าแรงดันฮาร์มอนิก (%THD_v) โดยมีการนำเสนอข้อมูล พฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์และการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่าย แสดงดังรูปที่ 4.16 และ รูปที่ 4.17 ตามลำดับ



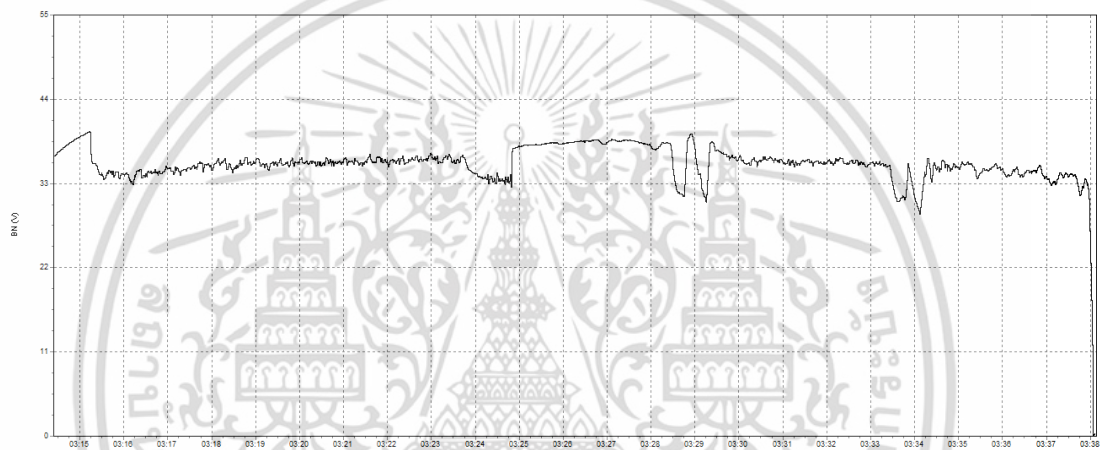
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายในเดือนเมษายน

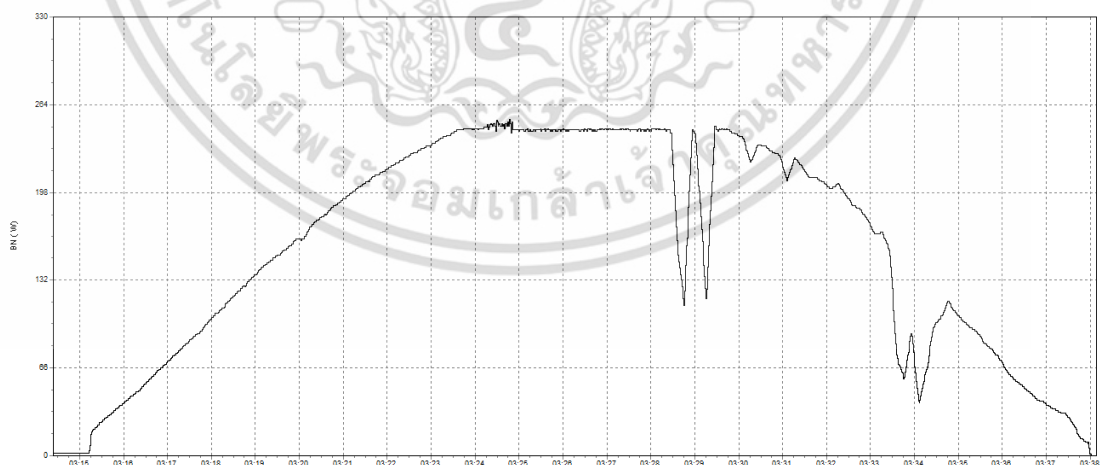
ผลการศึกษาดทดลองเดือนเมษายน														
เวลา (นาฬิกา)	ความเข้มรังสี แสงอาทิตย์ (W/m ²)	แผงเซลล์สุริยะ			ระบบจำหน่าย									กำลัง สูญเสีย (%)
		I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)	P (W)	Q (Var)	S (VA)	PF	f (Hz)	% THDi	% THDv	
6.00	0.2	0.1	31.8	2	0.2	232.3	0	23	49	0.00	50	8.8	1.6	100
7.00	139	1.2	34.2	39	0.2	232.8	28	9	57	0.49	50	28.1	1.6	28
8.00	377	3.0	34.7	103	0.5	232.7	91	6	109	0.83	50	8.1	1.5	12
9.00	613	4.6	35.8	163	0.7	233.0	148	2	164	0.90	50	6.9	1.6	9
10.00	808	6.0	35.7	216	0.9	233.7	199	8	214	0.93	50	4.5	1.6	8
11.00	935	7.2	34.3	245	1.0	233.0	227	20	243	0.94	50	3.0	1.6	7
12.00	1001	6.4	38.2	245	1.0	233.7	227	18	244	0.93	50	3.2	1.5	7
13.00	998	6.5	37.9	245	1.0	233.7	227	19	244	0.93	50	3.2	1.6	7
14.00	914	6.6	36.4	241	1.0	233.9	223	19	239	0.93	50	3.1	1.5	7
15.00	774	5.7	35.6	204	0.9	233.4	188	11	203	0.92	50	4.2	1.6	8
16.00	351	2.3	31.5	73	0.4	233.2	63	6	83	0.76	50	12.1	1.5	14
17.00	272	2.0	34.9	70	0.3	233.5	59	6	80	0.74	50	14.6	1.6	16
18.00	33	0.0	26.8	1	0.2	230.3	0	24	48	0.00	50	23.5	1.5	100



(ก) กระแสไฟฟ้า



(ข) แรงดันไฟฟ้า



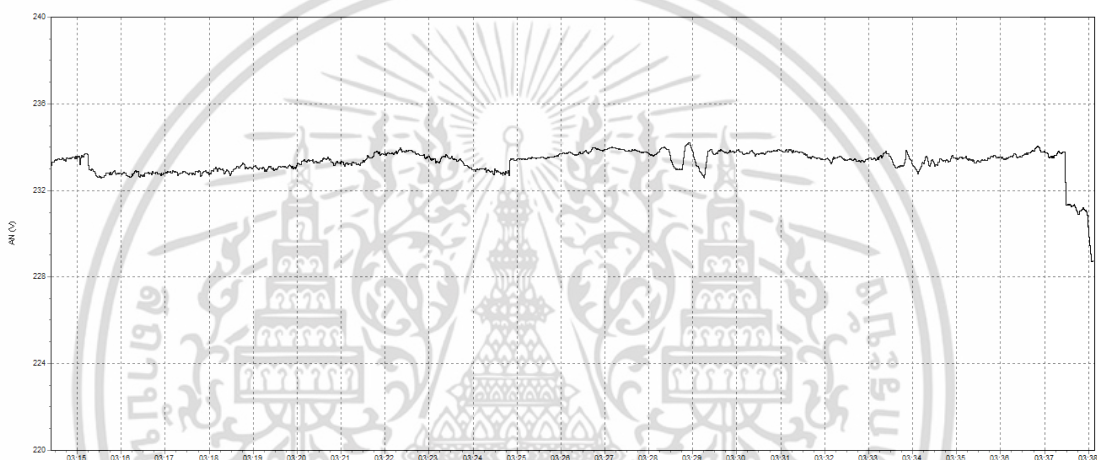
(ค) กำลังไฟฟ้า

รูปที่ 4.16 แสดงพฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าจากแผงเซลล์สุริยะในเดือนเมษายน

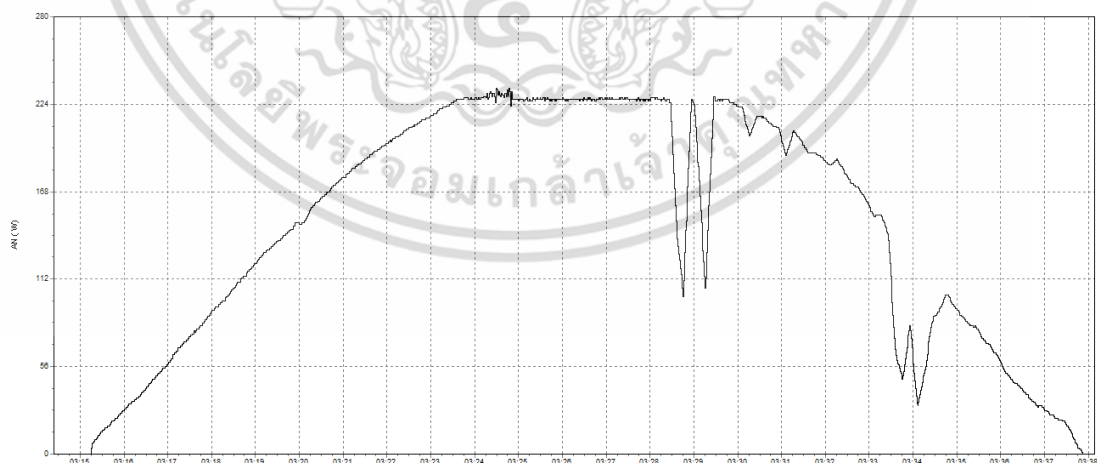
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) กระแสไฟฟ้า

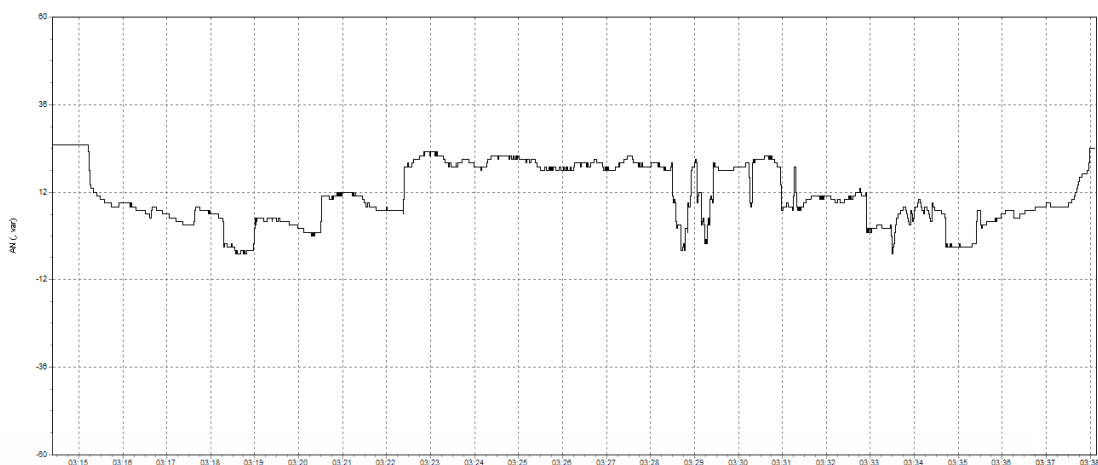


(ข) แรงดันไฟฟ้า

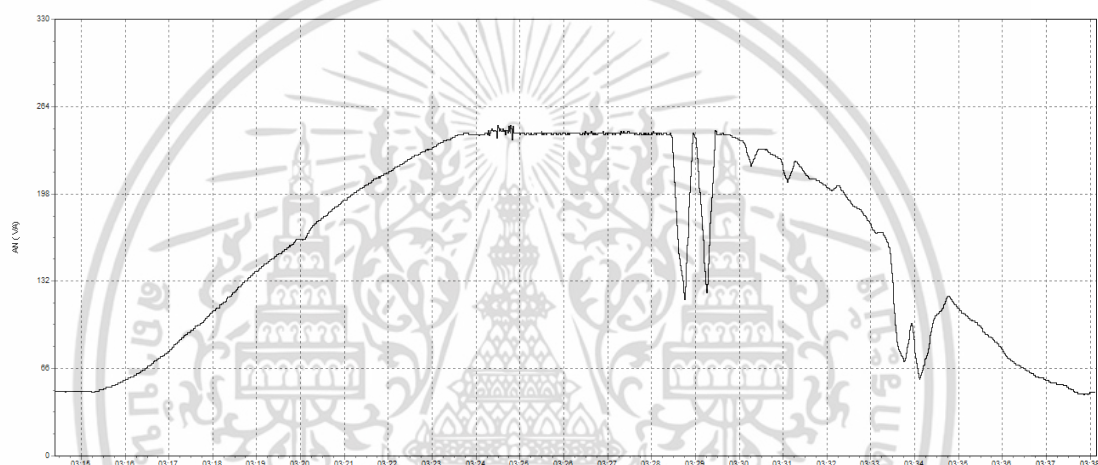


(ค) กำลังไฟฟ้า

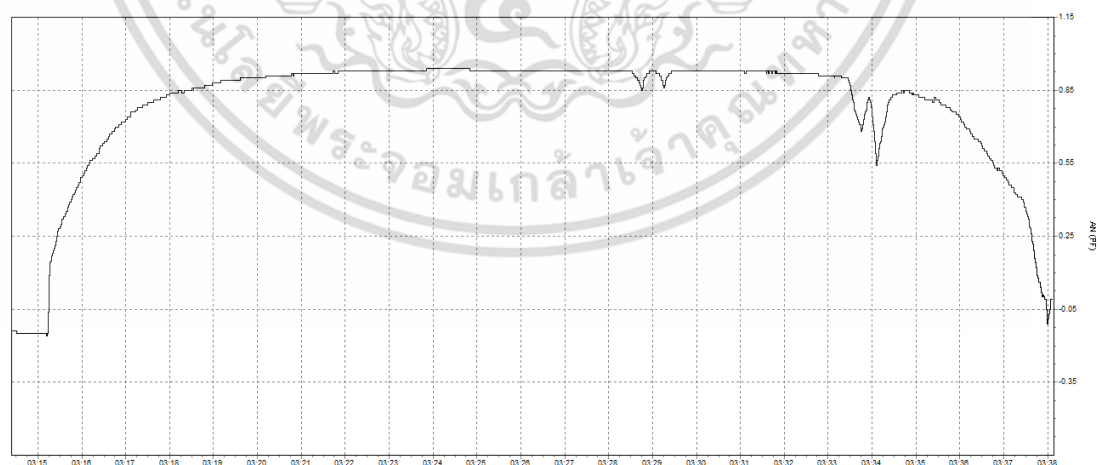
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ) กำลังไฟฟ้าเสมือน

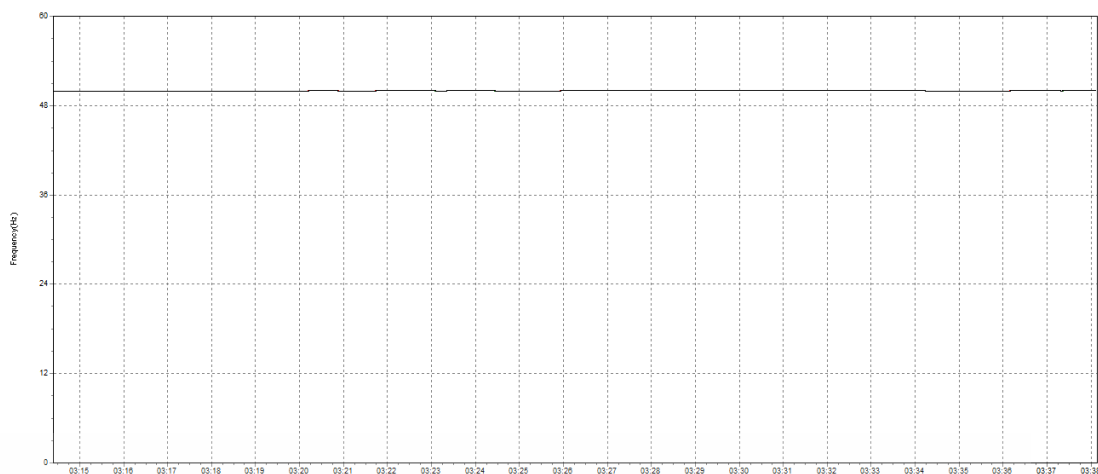


(ฉ) กำลังไฟฟ้าปรากฏ

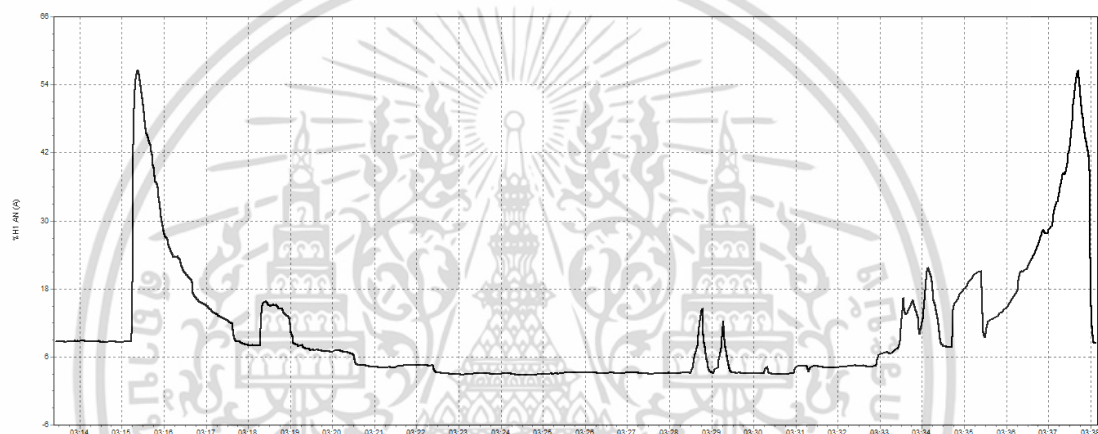
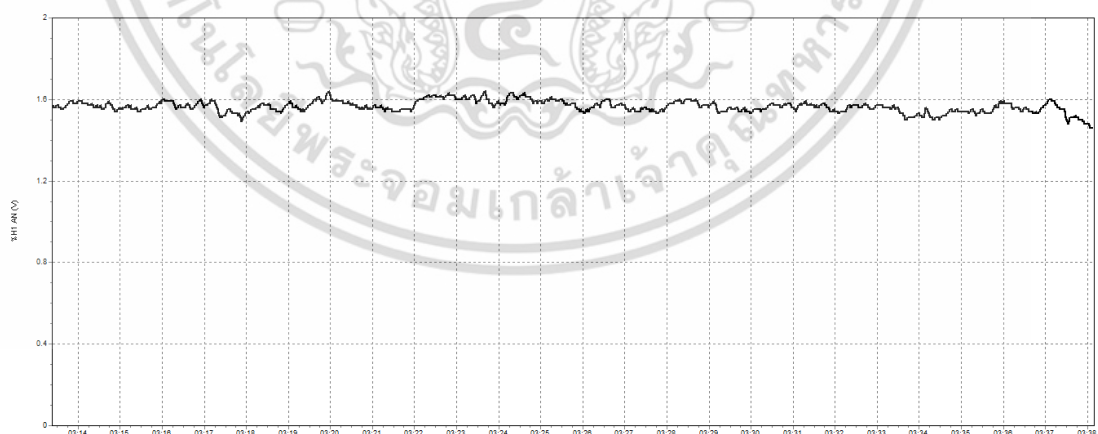


(ค) ค่าตัวประกอบกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ความถี่

(ค) กระจายฮาร์มอนิก (%THD_v)(ง) แรงดันฮาร์มอนิก (%THD_v)

รูปที่ 4.17 แสดงพฤติกรรมคุณภาพไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายในเดือนเมษายน

พิจารณาคุณภาพไฟฟ้าจากแผงเซลล์สุริยะ พบว่าเมื่อค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้น (สังเกตคุณภาพไฟฟ้าจากค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ตั้งแต่เวลา 6.00 นาฬิกา ถึง 12.00 นาฬิกา) ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้ามักเพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ แต่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่าลดลง (สังเกตคุณภาพไฟฟ้าจากค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ตั้งแต่เวลา 12.00 นาฬิกา ถึง 18.00 นาฬิกา) พบว่าค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าแผงเซลล์สุริยะมีแนวโน้มลดลงตามค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ โดยสังเกตแนวโน้มพฤติกรรมของกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์สุริยะ แสดงดังรูปที่ 4.16 (ก) รูปที่ 4.16 (ข) และ รูปที่ 4.16 (ค) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้ามีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงตามค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์

คุณภาพไฟฟ้าจากการจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่าย หมายถึงคุณภาพไฟฟ้าที่จ่ายออกจากเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาดพิกัดเล็ก พบว่าในระบบมีค่าแรงดันไฟฟ้าประมาณ 233 โวลต์ และค่าความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ คงที่ตลอดการทำงาน ซึ่งเป็นแรงดันและความถี่ค่าเดียวกับระบบจำหน่าย ต่อมา เมื่อค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้น (สังเกตคุณภาพไฟฟ้าจากค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ตั้งแต่เวลา 6.00 นาฬิกา ถึง 12.00 นาฬิกา) พบว่าค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏและค่าตัวประกอบกำลัง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ แต่ค่าพลังงานไฟฟ้าเสมือนกับมีค่าไม่คงที่ เมื่อพิจารณาค่ากระแสฮาร์มอนิกพบว่าแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่าแรงดันฮาร์มอนิกมีแนวโน้มคงที่

เมื่อค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่าลดลง (สังเกตคุณภาพไฟฟ้าจากค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ตั้งแต่เวลา 12.00 นาฬิกา ถึง 18.00 นาฬิกา) ค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ และค่าตัวประกอบกำลัง มีแนวโน้มลดลงตามค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ แต่ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนกับมีค่าไม่คงที่ เมื่อพิจารณาค่ากระแสฮาร์มอนิกพบว่าแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าแรงดันฮาร์มอนิกมีแนวโน้มคงที่

จากรูปที่ 4.17 (ข) และ รูปที่ 4.17 (ค) แสดงพฤติกรรมของค่าแรงดันไฟฟ้าและค่าความถี่ในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่าย แสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มค่าคงที่ตลอดการทำงาน ไม่ขึ้นอยู่กับค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ แต่สำหรับพฤติกรรมของค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏและค่าตัวประกอบกำลัง พิจารณาจากรูปที่ 4.17 (ก) รูปที่ 4.17 (ค) รูปที่ 4.17 (จ) และ รูปที่ 4.17 (ฉ) เรียงตามลำดับ พบว่าค่าเหล่านี้มีค่าเปลี่ยนแปลงตามค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ในช่วงเวลาที่มีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูง เครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาดพิกัดเล็กสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่ายได้เต็มพิกัดกำลัง ทำให้มีค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏและค่าตัวประกอบกำลังมีค่าสูงตามมา พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่าย แต่ในช่วงเวลาที่มีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ต่ำ เครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาดพิกัดเล็กไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่ายได้เต็มพิกัดกำลัง ทำให้มีค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏและค่าตัวประกอบกำลังมีค่าต่ำ พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่ายลดลง สำหรับพฤติกรรมของกำลังไฟฟ้าเสมือน แสดงดังรูปที่ 4.17 (ง) พบว่ามีค่าไม่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาพฤติกรรมของค่าฮาร์มอนิก จากรูปที่ 4.17 (ซ) แสดงพฤติกรรมของค่ากระแสฮาร์มอนิก สังเกตได้ว่าในช่วงเวลาที่มีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ต่ำ ทำให้มีค่ากระแสฮาร์มอนิกสูง เนื่องจากเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาดพิกัดเล็กทำงานต่ำกว่าพิกัด แต่เมื่อความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่าสูงขึ้น (ในช่วงเวลา 9.00 นาฬิกา ถึง 15.00 นาฬิกา) ค่ากระแสฮาร์มอนิกมีลดลง เพราะเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาดพิกัดเล็กทำงานที่พิกัด สำหรับพฤติกรรมของค่าแรงดันฮาร์มอนิก แสดงดังรูปที่ 4.17 (ฉ) พบว่ามีค่าคงที่ตลอดการทำงาน

จากการวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่าย พบว่าเมื่อความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่าต่ำ (0 – 400 วัตต์ต่อตารางเมตร) ทำให้แผงเซลล์สุริยะผลิตกำลังไฟฟ้าได้น้อย เครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาดพิกัดเล็กต้องทำงานต่ำกว่าพิกัดกำลัง ส่งผลให้คุณภาพไฟฟ้าที่จ่ายออกสู่ระบบจำหน่ายมีค่าตัวประกอบกำลังต่ำ (0.48) เกิดค่ากระแสฮาร์มอนิกสูง (28.1%) และมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบสูงถึง 28% แต่เมื่อมีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงขึ้น (400 – 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร) ทำให้แผงเซลล์สุริยะผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้น เครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาดพิกัดเล็กสามารถทำงานในช่วงพิกัดกำลัง ส่งผลให้คุณภาพไฟฟ้าที่จ่ายออกสู่ระบบจำหน่ายมีค่าดีขึ้น โดยมีค่าตัวประกอบกำลัง (0.94) ค่ากระแสฮาร์มอนิก (3%) และมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบลดลงเหลือ 7%

การวิเคราะห์ผลกระทบของฮาร์มอนิกจากการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่าย

การวิเคราะห์ผลกระทบของฮาร์มอนิกจากการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่าย โดยแสดงค่ากระแสฮาร์มอนิกและแรงดันฮาร์มอนิกเปรียบเทียบกับมาตรฐานการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการการไฟฟ้า แต่เนื่องจากค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ส่งผลต่อค่ากระแสฮาร์มอนิกและแรงดันฮาร์มอนิก จึงทำการแบ่งช่วงเวลาที่มีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ใกล้เคียงกัน ออกเป็น 3 กรณีศึกษาได้แก่

1. วิเคราะห์ผลกระทบของฮาร์มอนิกในช่วงเวลา 6.00 นาฬิกา ถึง 9.00 นาฬิกา มีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ 0 – 400 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยแสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์มอนิกและแรงดันฮาร์มอนิกกับมาตรฐานการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายการไฟฟ้า ดังตารางที่ 4.11 และตารางที่ 4.12 ตามลำดับ

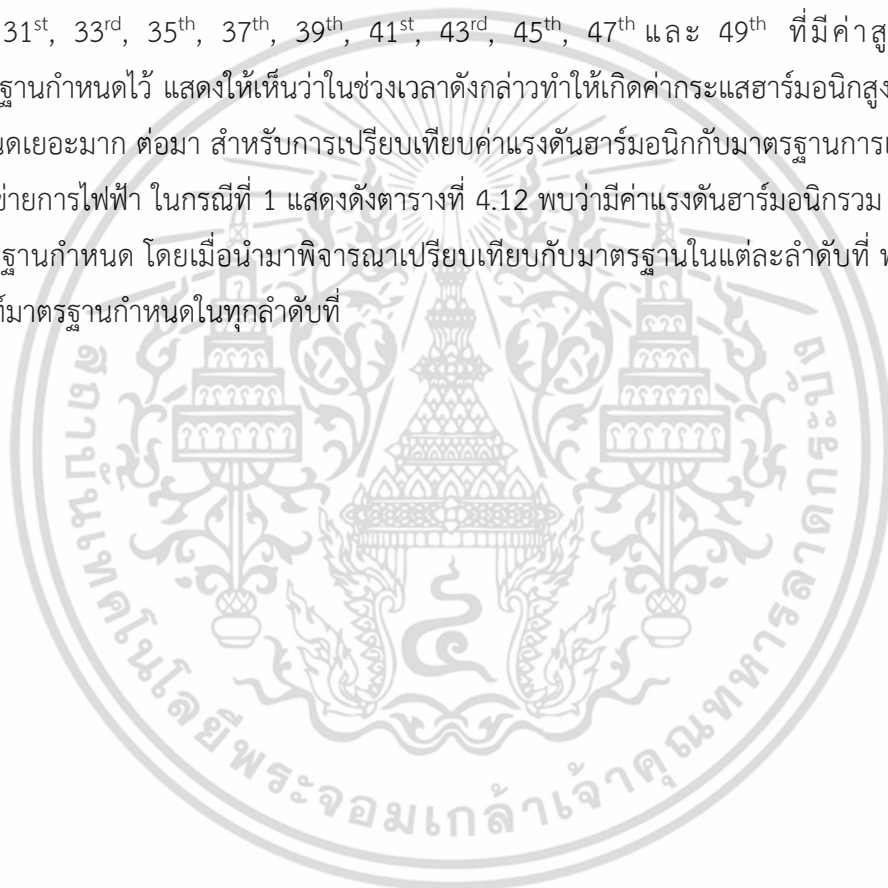
2. วิเคราะห์ผลกระทบของฮาร์มอนิกในช่วงเวลา 9.00 นาฬิกา ถึง 15.00 นาฬิกา มีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ 400 – 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยแสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์มอนิกและแรงดันฮาร์มอนิกกับมาตรฐานการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายการไฟฟ้า ดังตารางที่ 4.13 และตารางที่ 4.14 ตามลำดับ

3. วิเคราะห์ผลกระทบของฮาร์มอนิกในช่วงเวลา 15.00 นาฬิกา ถึง 18.00 นาฬิกา มีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ 400 – 0 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยแสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์มอนิกและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันฮาร์มอนิกกับมาตรฐานการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายการไฟฟ้า ดังตารางที่ 4.15 และ ตารางที่ 4.16 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์มอนิกกับมาตรฐานการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายการไฟฟ้า ในกรณีที่ 1 แสดงให้เห็นว่า การจ่ายกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลา 6.00 นาฬิกา ถึง 9.00 นาฬิกา เป็นช่วงที่มีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ 0 – 400 วัตต์ต่อตารางเมตร มีค่ากระแสฮาร์มอนิกรวม 16.356% ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานที่การไฟฟ้ากำหนดสำหรับการเชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้า โดยเมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับมาตรฐานในแต่ละลำดับที่ พบว่า ในลำดับคู่ มีลำดับที่ 18th, 20th, 22nd, 24th, 26th, 28th, 30th, 32nd, 34th, 36th, 38th, 40th, 42nd, 44th, 46th, 48th และ 50th มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ ในลำดับคี่ มีลำดับที่ 3rd, 5th, 7th, 11th, 13th, 17th, 19th, 25th, 27th, 29th, 31st, 33rd, 35th, 37th, 39th, 41st, 43rd, 45th, 47th และ 49th ที่มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ แสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลาดังกล่าวทำให้เกิดค่ากระแสฮาร์มอนิกสูงกว่ามาตรฐานกำหนดเยอะมาก ต่อมา สำหรับการเปรียบเทียบค่าแรงดันฮาร์มอนิกกับมาตรฐานการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายการไฟฟ้า ในกรณีที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4.12 พบว่ามีค่าแรงดันฮาร์มอนิกรวม 1.563 ต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด โดยเมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับมาตรฐานในแต่ละลำดับที่ พบว่ามีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนดในทุกลำดับที่



ตารางที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์มอนิกกับมาตรฐานการเชื่อมต่อระบบโครงข่าย
การไฟฟ้า ในกรณีที่ 1

การตรวจสอบฮาร์มอนิก					
ลำดับที่	กระแสฮาร์มอนิก (%)	มาตรฐาน	ลำดับที่	กระแสฮาร์มอนิก (%)	มาตรฐาน
2nd	0.95	≤ 1 %	27th	0.860	≤ 0.6 %
3rd	10.143	≤ 4 %	28th	0.495	≤ 0.15 %
4th	0.609	≤ 1 %	29th	0.790	≤ 0.6 %
5th	7.442	≤ 4 %	30th	0.469	≤ 0.15 %
6th	0.555	≤ 1 %	31st	0.936	≤ 0.6 %
7th	5.015	≤ 4 %	32nd	0.475	≤ 0.15 %
8th	0.561	≤ 1 %	33rd	0.813	≤ 0.6 %
9th	3.932	≤ 4 %	34th	0.475	≤ 0.15 %
10th	0.513	≤ 1 %	35th	0.886	≤ 0.3 %
11th	3.188	≤ 2 %	36th	0.490	≤ 0.075 %
12th	0.500	≤ 0.5 %	37th	0.772	≤ 0.3 %
13th	2.027	≤ 2 %	38th	0.485	≤ 0.075 %
14th	0.479	≤ 0.5 %	39th	0.678	≤ 0.3 %
15th	1.790	≤ 2 %	40th	0.493	≤ 0.075 %
16th	0.476	≤ 0.5 %	41st	0.999	≤ 0.3 %
17th	2.065	≤ 1.5 %	42nd	0.522	≤ 0.075 %
18th	0.461	≤ 0.375 %	43rd	0.694	≤ 0.3 %
19th	1.654	≤ 1.5 %	44th	0.519	≤ 0.075 %
20th	0.470	≤ 0.375 %	45th	0.526	≤ 0.3 %
21st	1.274	≤ 1.5 %	46th	0.532	≤ 0.075 %
22nd	0.453	≤ 0.375 %	47th	0.514	≤ 0.3 %
23rd	1.490	≤ 0.6 %	48th	0.558	≤ 0.075 %
24th	0.475	≤ 0.15 %	49th	0.502	≤ 0.3 %
25th	1.379	≤ 0.6 %	50th	0.533	≤ 0.075 %
26th	0.48	≤ 0.15 %	THD _i	16.356	≤ 5 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดันฮาร์มอนิกกับมาตรฐานการเชื่อมต่อระบบโครงข่าย
การไฟฟ้า ในกรณีที่ 1

การตรวจสอบฮาร์มอนิก					
ลำดับที่	แรงดันฮาร์มอนิก (%)	มาตรฐาน	ลำดับที่	แรงดันฮาร์มอนิก (%)	มาตรฐาน
2nd	0.134	≤ 2 %	27th	0.010	≤ 4 %
3rd	0.251	≤ 4 %	28th	0.018	≤ 2 %
4th	0.017	≤ 2 %	29th	0.011	≤ 4 %
5th	1.480	≤ 4 %	30th	0.001	≤ 2 %
6th	0.029	≤ 2 %	31st	0.010	≤ 4 %
7th	0.130	≤ 4 %	32nd	0	≤ 2 %
8th	0.032	≤ 2 %	33rd	0.006	≤ 4 %
9th	0.138	≤ 4 %	34th	0	≤ 2 %
10th	0.012	≤ 2 %	35th	0.010	≤ 4 %
11th	0.333	≤ 4 %	36th	0	≤ 2 %
12th	0.006	≤ 2 %	37th	0.011	≤ 4 %
13th	0.093	≤ 4 %	38th	0	≤ 2 %
14th	0.004	≤ 2 %	39th	0.010	≤ 4 %
15th	0.020	≤ 4 %	40th	0	≤ 2 %
16th	0.002	≤ 2 %	41st	0.020	≤ 4 %
17th	0.069	≤ 4 %	42nd	0	≤ 2 %
18th	0.002	≤ 2 %	43rd	0.007	≤ 4 %
19th	0.034	≤ 4 %	44th	0	≤ 2 %
20th	0.001	≤ 2 %	45th	0.012	≤ 4 %
21st	0.014	≤ 4 %	46th	0	≤ 2 %
22nd	0.008	≤ 2 %	47th	0.010	≤ 4 %
23rd	0.025	≤ 4 %	48th	0	≤ 2 %
24th	0.016	≤ 2 %	49th	0.010	≤ 4 %
25th	0.030	≤ 4 %	50th	0	≤ 2 %
26th	0.008	≤ 2 %	THD _v	1.563	≤ 5 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์มอนิกกับมาตรฐานการเชื่อมต่อระบบโครงข่าย
การไฟฟ้า ในกรณีที่ 2

การตรวจสอบฮาร์มอนิก					
ลำดับที่	กระแสฮาร์มอนิก (%)	มาตรฐาน	ลำดับที่	กระแสฮาร์มอนิก (%)	มาตรฐาน
2nd	0.652	≤ 1 %	27th	0.545	≤ 0.6 %
3rd	1.819	≤ 4 %	28th	0.191	≤ 0.15 %
4th	0.251	≤ 1 %	29th	0.531	≤ 0.6 %
5th	1.650	≤ 4 %	30th	0.190	≤ 0.15 %
6th	0.210	≤ 1 %	31st	0.529	≤ 0.6 %
7th	0.959	≤ 4 %	32nd	0.196	≤ 0.15 %
8th	0.215	≤ 1 %	33rd	0.472	≤ 0.6 %
9th	0.726	≤ 4 %	34th	0.193	≤ 0.15 %
10th	0.202	≤ 1 %	35th	0.450	≤ 0.3 %
11th	0.882	≤ 2 %	36th	0.204	≤ 0.075 %
12th	0.198	≤ 0.5 %	37th	0.373	≤ 0.3 %
13th	0.427	≤ 2 %	38th	0.206	≤ 0.075 %
14th	0.187	≤ 0.5 %	39th	0.301	≤ 0.3 %
15th	0.518	≤ 2 %	40th	0.206	≤ 0.075 %
16th	0.191	≤ 0.5 %	41st	0.370	≤ 0.3 %
17th	0.695	≤ 1.5 %	42nd	0.214	≤ 0.075 %
18th	0.185	≤ 0.375 %	43rd	0.288	≤ 0.3 %
19th	0.570	≤ 1.5 %	44th	0.211	≤ 0.075 %
20th	0.190	≤ 0.375 %	45th	0.219	≤ 0.3 %
21st	0.570	≤ 1.5 %	46th	0.216	≤ 0.075 %
22nd	0.187	≤ 0.375 %	47th	0.201	≤ 0.3 %
23rd	0.641	≤ 0.6 %	48th	0.220	≤ 0.075 %
24th	0.185	≤ 0.15 %	49th	0.219	≤ 0.3 %
25th	0.589	≤ 0.6 %	50th	0.207	≤ 0.075 %
26th	0.190	≤ 0.15 %	THD _i	3.724	≤ 5 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดันฮาร์มอนิกกับมาตรฐานการเชื่อมต่อระบบโครงข่าย
การไฟฟ้า ในกรณีที่ 2

การตรวจสอบฮาร์มอนิก					
ลำดับที่	แรงดันฮาร์มอนิก (%)	มาตรฐาน	ลำดับที่	แรงดันฮาร์มอนิก (%)	มาตรฐาน
2nd	0.344	≤ 2 %	27th	0.015	≤ 4 %
3rd	0.256	≤ 4 %	28th	0.015	≤ 2 %
4th	0.018	≤ 2 %	29th	0.012	≤ 4 %
5th	1.456	≤ 4 %	30th	0.001	≤ 2 %
6th	0.027	≤ 2 %	31st	0.009	≤ 4 %
7th	0.111	≤ 4 %	32nd	0	≤ 2 %
8th	0.031	≤ 2 %	33rd	0.009	≤ 4 %
9th	0.137	≤ 4 %	34th	0	≤ 2 %
10th	0.012	≤ 2 %	35th	0.011	≤ 4 %
11th	0.349	≤ 4 %	36th	0	≤ 2 %
12th	0.008	≤ 2 %	37th	0.011	≤ 4 %
13th	0.090	≤ 4 %	38th	0	≤ 2 %
14th	0.006	≤ 2 %	39th	0.011	≤ 4 %
15th	0.017	≤ 4 %	40th	0	≤ 2 %
16th	0.004	≤ 2 %	41st	0.019	≤ 4 %
17th	0.061	≤ 4 %	42nd	0	≤ 2 %
18th	0.003	≤ 2 %	43rd	0.008	≤ 4 %
19th	0.032	≤ 4 %	44th	0	≤ 2 %
20th	0.002	≤ 2 %	45th	0.010	≤ 4 %
21st	0.015	≤ 4 %	46th	0	≤ 2 %
22nd	0.007	≤ 2 %	47th	0.011	≤ 4 %
23rd	0.022	≤ 4 %	48th	0	≤ 2 %
24th	0.013	≤ 2 %	49th	0.010	≤ 4 %
25th	0.028	≤ 4 %	50th	0	≤ 2 %
26th	0.008	≤ 2 %	THD _v	1.574	≤ 5 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์มอนิกกับมาตรฐานการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายการไฟฟ้า ในกรณีที่ 2 แสดงให้เห็นว่า การจ่ายกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลา 9.00 นาฬิกา ถึง 15.00 นาฬิกา มีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ 400 – 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร มีค่ากระแสฮาร์มอนิกรวม 3.724% ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานที่การไฟฟ้ากำหนดสำหรับการเชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้า แต่เมื่อพิจารณาในแต่ละลำดับที่พบว่า ในลำดับคู่ มีลำดับที่ 24th, 26th, 28th, 30th, 32nd, 34th, 36th, 38th, 40th, 42nd, 44th, 46th, 48th และ 50th ที่ยังมีค่าสูงกว่ามาตรฐานกำหนด ในลำดับคี่ มีเพียงลำดับที่ 35th, 37th, 39th และ 41st เท่านั้นที่ให้ค่าสูงกว่ามาตรฐานกำหนด แต่เมื่อพิจารณาที่ค่ากระแสฮาร์มอนิกในแต่ละลำดับพบว่า มีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับค่ากระแสพิกัด เนื่องจากในลำดับฮาร์มอนิกที่เกิดค่ากระแสฮาร์มอนิกเกินกว่ามาตรฐานกำหนดเป็นกระแสฮาร์มอนิกลำดับสูงจึงไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้ามากนัก ต่อมาสำหรับการเปรียบเทียบค่าแรงดันฮาร์มอนิกกับมาตรฐานการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายการไฟฟ้า ในกรณีที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.14 พบว่ามีค่าแรงดันฮาร์มอนิกรวม 1.574 ต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด โดยเมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับมาตรฐานในแต่ละลำดับที่พบว่า มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนดในทุกลำดับที่

จากตารางที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์มอนิกกับมาตรฐานการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายการไฟฟ้า ในกรณีที่ 3 แสดงให้เห็นว่า การจ่ายกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลา 15.00 นาฬิกา ถึง 18.00 นาฬิกา เป็นช่วงที่มีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ 400 – 0 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีแนวโน้มเหมือนกันกับกรณีที่ 1 แสดงรายละเอียดดังนี้ มีค่ากระแสฮาร์มอนิกรวม 14.494% ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานที่การไฟฟ้ากำหนดสำหรับการเชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้า โดยเมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับมาตรฐานในแต่ละลำดับที่ พบว่า ในลำดับคู่ มีลำดับที่ 18th, 20th, 22nd, 24th, 26th, 28th, 30th, 32nd, 34th, 36th, 38th, 40th, 42nd, 44th, 46th, 48th และ 50th มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ ในลำดับคี่ มีลำดับที่ 3rd, 5th, 7th, 11th, 13th, 15th, 17th, 23rd, 25th, 27th, 29th, 31st, 33rd, 35th, 37th, 39th, 41st, 43rd, 45th, 47th และ 49th ที่มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ แสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลาดังกล่าวทำให้เกิดค่ากระแสฮาร์มอนิกสูงกว่ามาตรฐานกำหนด ต่อมาสำหรับการเปรียบเทียบค่าแรงดันฮาร์มอนิกกับมาตรฐานการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายการไฟฟ้า ในกรณีที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4.16 พบว่ามีค่าแรงดันฮาร์มอนิกรวม 1.546 ต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด โดยเมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับมาตรฐานในแต่ละลำดับที่ พบว่ามีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนดในทุกลำดับที่

ตารางที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์มอนิกกับมาตรฐานการเชื่อมต่อระบบโครงข่าย
การไฟฟ้า ในกรณีที่ 3

การตรวจสอบฮาร์มอนิก					
ลำดับที่	กระแสฮาร์มอนิก (%)	มาตรฐาน	ลำดับที่	กระแสฮาร์มอนิก (%)	มาตรฐาน
2nd	0.851	≤ 1 %	27th	0.933	≤ 0.6 %
3rd	8.853	≤ 4 %	28th	0.469	≤ 0.15 %
4th	0.556	≤ 1 %	29th	0.832	≤ 0.6 %
5th	6.540	≤ 4 %	30th	0.467	≤ 0.15 %
6th	0.495	≤ 1 %	31st	0.881	≤ 0.6 %
7th	5.352	≤ 4 %	32nd	0.453	≤ 0.15 %
8th	0.528	≤ 1 %	33rd	0.793	≤ 0.6 %
9th	3.304	≤ 4 %	34th	0.456	≤ 0.15 %
10th	0.501	≤ 1 %	35th	0.776	≤ 0.3 %
11th	2.894	≤ 2 %	36th	0.474	≤ 0.075 %
12th	0.487	≤ 0.5 %	37th	0.727	≤ 0.3 %
13th	2.099	≤ 2 %	38th	0.460	≤ 0.075 %
14th	0.464	≤ 0.5 %	39th	0.609	≤ 0.3 %
15th	2.020	≤ 2 %	40th	0.469	≤ 0.075 %
16th	0.472	≤ 0.5 %	41st	0.827	≤ 0.3 %
17th	1.852	≤ 1.5 %	42nd	0.488	≤ 0.075 %
18th	0.462	≤ 0.375 %	43rd	0.647	≤ 0.3 %
19th	1.474	≤ 1.5 %	44th	0.481	≤ 0.075 %
20th	0.455	≤ 0.375 %	45th	0.502	≤ 0.3 %
21st	1.421	≤ 1.5 %	46th	0.499	≤ 0.075 %
22nd	0.452	≤ 0.375 %	47th	0.423	≤ 0.3 %
23rd	1.413	≤ 0.6 %	48th	0.511	≤ 0.075 %
24th	0.458	≤ 0.15 %	49th	0.440	≤ 0.3 %
25th	1.246	≤ 0.6 %	50th	0.496	≤ 0.075 %
26th	0.451	≤ 0.15 %	THD _i	14.494	≤ 5 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดันฮาร์มอนิกกับมาตรฐานการเชื่อมต่อระบบโครงข่าย
การไฟฟ้า ในกรณีที่ 3

การตรวจสอบฮาร์มอนิก					
ลำดับที่	แรงดันฮาร์มอนิก (%)	มาตรฐาน	ลำดับที่	แรงดันฮาร์มอนิก (%)	มาตรฐาน
2nd	0.168	≤ 2 %	27th	0.015	≤ 4 %
3rd	0.259	≤ 4 %	28th	0.015	≤ 2 %
4th	0.023	≤ 2 %	29th	0.010	≤ 4 %
5th	1.456	≤ 4 %	30th	0.002	≤ 2 %
6th	0.025	≤ 2 %	31st	0.010	≤ 4 %
7th	0.124	≤ 4 %	32nd	0.001	≤ 2 %
8th	0.031	≤ 2 %	33rd	0.004	≤ 4 %
9th	0.138	≤ 4 %	34th	0.001	≤ 2 %
10th	0.013	≤ 2 %	35th	0.011	≤ 4 %
11th	0.340	≤ 4 %	36th	0.001	≤ 2 %
12th	0.011	≤ 2 %	37th	0.011	≤ 4 %
13th	0.093	≤ 4 %	38th	0.001	≤ 2 %
14th	0.006	≤ 2 %	39th	0.014	≤ 4 %
15th	0.019	≤ 4 %	40th	0.001	≤ 2 %
16th	0.003	≤ 2 %	41st	0.019	≤ 4 %
17th	0.060	≤ 4 %	42nd	0.001	≤ 2 %
18th	0.003	≤ 2 %	43rd	0.008	≤ 4 %
19th	0.030	≤ 4 %	44th	0.001	≤ 2 %
20th	0.002	≤ 2 %	45th	0.011	≤ 4 %
21st	0.020	≤ 4 %	46th	0.001	≤ 2 %
22nd	0.005	≤ 2 %	47th	0.011	≤ 4 %
23rd	0.021	≤ 4 %	48th	0.001	≤ 2 %
24th	0.014	≤ 2 %	49th	0.008	≤ 4 %
25th	0.026	≤ 4 %	50th	0	≤ 2 %
26th	0.005	≤ 2 %	THD _v	1.546	≤ 5 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพรวมของการวิเคราะห์ผลกระทบของฮาร์มอนิกจากการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่าย พบว่าค่ากระแสฮาร์มอนิกในช่วงที่มีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ต่ำตั้งแต่ 0 – 400 วัตต์ต่อตารางเมตร (ในช่วงเวลา 6.00 นาฬิกา ถึง 9.00 นาฬิกา ในกรณีที่ 1 และช่วงเวลา 15.00 นาฬิกา ถึง 18.00 นาฬิกา ในกรณีที่ 3) ทำให้เกิดค่ากระแสฮาร์มอนิกรวมสูงกว่ามาตรฐานกำหนด เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวส่งผลให้การทำงานของเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาดพิกัดเล็กไม่เต็มพิกัด อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้าของระบบจำหน่าย แต่เมื่อค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่าสูงขึ้นตั้งแต่ 400 – 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร (ในช่วงเวลา 9.00 นาฬิกา ถึง 15.00 นาฬิกา ในกรณีที่ 2) พบว่ามีค่ากระแสฮาร์มอนิกรวมต่ำกว่ามาตรฐานกำหนดไม่ก่อให้เกิดปัญหาคุณภาพไฟฟ้าตามมา สำหรับค่าแรงดันฮาร์มอนิกพบว่ามีค่าแรงดันฮาร์มอนิกรวมและแรงดันฮาร์มอนิกในแต่ละลำดับต่ำกว่ามาตรฐานในทุกกรณีศึกษา

4.4 การพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์ในระบบแสงสว่างไฟถนน

ในประเทศไทยมีศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ได้ประมาณ 1,000 วัตต์ ต่อตารางเมตร เป็นเวลาเฉลี่ย 5 ชั่วโมงต่อวัน ด้วยข้อมูลดังกล่าว จึงนำมาตั้งเป็นขอบเขตเพื่อทำการศึกษาพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์สำหรับระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ ในกรณีศึกษา เป็นการศึกษาเปรียบเทียบจากระบบแสงสว่างไฟถนนที่ติดตั้งในระยะทาง 1 กิโลเมตร รูปแบบถนนมีเกาะกลางถนน มีการติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านตรงข้ามสลับ ทั้งหมด 6 กรณีศึกษา ได้แก่

1. ระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง (HPS Case)
2. ระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง (LEDs Case)
3. ระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (HPS Stand-alone)
4. ระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (LEDs Stand-alone)
5. ระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย (HPS Grid-tie)
6. ระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย (LEDs Grid-tie)

โดยแสดงรายละเอียดต้นทุนการติดตั้งระบบแสงสว่างไฟถนนร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ดังตารางที่ 4.17 แบ่งเป็นต้นทุนระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ดังตารางที่ 4.18 และต้นทุนระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ดังตารางที่ 4.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการศึกษเกี่ยวกับความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้เลือกใช้การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ โดยตัวชี้วัดระยะคืนทุนคิดลด (Discounted Payback Period, DPP) [68] แสดงในสมการที่ 4.1 กับค่าผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์เพื่อหาแนวโน้มความเป็นไปได้ในการลงทุนระบบแสงสว่างไฟถนน โดยกำหนดให้โครงการมีระยะเวลาดำเนินงาน 25 ปี มีอัตราเงินเฟ้อเฉลี่ย 2% เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน

$$DPP = \frac{\ln\left(\frac{1}{1 - \frac{O_1 \times r}{CF}}\right)}{\ln(1+r)} \quad (4.1)$$

กำหนดให้

- DDP : ระยะเวลาคืนทุนคิดลด (ปี)
- O_1 : ต้นทุนเริ่มต้นสำหรับการลงทุน (บาท)
- CF : ประหยัดค่าใช้จ่ายต่อปี (บาท)
- r : อัตราเงินเฟ้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 แสดงรายละเอียดต้นทุนการติดตั้งระบบแสงสว่างไฟถนนกับระบบเซลล์สุริยะ [69]

ราคาอุปกรณ์	ราคาต่อหน่วย
ค่าติดตั้งเสาไฟถนนพร้อมอุปกรณ์	
โคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง 120 วัตต์	12,000 บาท/ดวงโคม
โคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง 250 วัตต์	4,500 บาท/ดวงโคม
เสาไฟถนนสูง 9 เมตร	10,300 บาท/ต้น
สายไฟฟ้าหุ้มด้วยฉนวน เปลือกในและเปลือก (NYY) 3x10 mm ² (สายไฟฟ้าเดินระหว่างเสาไฟถนน HPS)	205 บาท/เมตร
สายไฟฟ้าหุ้มด้วยฉนวน เปลือกในและเปลือก (NYY) 3x4 mm ² (สายไฟฟ้าเดินระหว่างเสาไฟถนน LED)	97 บาท/เมตร
สายไฟฟ้าแกนเดี่ยว กลม หุ้มฉนวน (THW) 1x2.5 mm ² (สายไฟฟ้าเดินในเสาถึงดวงโคม)	11 บาท/เมตร
อุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกัน (ทิวส์ รีเลย์ ฯลฯ)	4,000 บาท/ดวงโคม
ค่าติดตั้งระบบเซลล์สุริยะ	
แผงเซลล์สุริยะขนาด 250 วัตต์	4,500 บาท/แผง
แผงเซลล์สุริยะขนาด 300 วัตต์	6,600 บาท/แผง
แบตเตอรี่ 12 โวลต์ 100 แอมป์-ชั่วโมง	3,900 บาท/ลูก
เครื่องควบคุมประจุไฟฟ้า 30 แอมป์ 24 โวลต์	6,200 บาท/เครื่อง
เครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 300 วัตต์	850 บาท/เครื่อง
เครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย 250 วัตต์	7,500 บาท/เครื่อง

จากตารางที่ 4.17 แสดงรายละเอียดต้นทุนการติดตั้งระบบแสงสว่างไฟถนนกับระบบเซลล์สุริยะ แสดงให้เห็นว่าราคาโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงมีราคาสูงเมื่อเทียบกับโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง แต่เนื่องจากโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่า มีค่ากระแสไฟฟ้าสูงต้องใช้สายไฟฟ้าขนาดใหญ่ (ราคาแพง) เพื่อเชื่อมต่อระหว่างเสาไฟถนน สำหรับต้นทุนของระบบเซลล์สุริยะพบว่าอุปกรณ์ เช่น แผงเซลล์สุริยะ แบตเตอรี่ เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าและเครื่องแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับแบบเชื่อมต่อระบบจำหน่ายมีราคาแพง ดังนั้นการติดตั้งระบบเซลล์สุริยะร่วมกับระบบแสงสว่าง ไฟถนนจึงทำให้ระบบมีต้นทุนสูงขึ้น

ตารางที่ 4.18 แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์และต้นทุนในการติดตั้งระบบแสงสว่างไฟถนนหลอด
โซเดียมความดันไอสูงร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

ถนนมีเกาะกลางถนนติดตั้งแบบด้านตรงข้ามสลับ ระยะทาง 1 กิโลเมตร						
อุปกรณ์ (หน่วย)	HPS Case		HPS Stand-alone		HPS Grid-tie	
	จำนวน	ราคาสุทธิ (บาท)	จำนวน	ราคาสุทธิ (บาท)	จำนวน	ราคาสุทธิ (บาท)
โคมไฟถนน (ดวงโคม)	56	252,000	56	252,000	56	252,000
เสาไฟถนน (ต้น)	56	576,800	56	576,800	56	576,800
สายไฟฟ้าหุ้มด้วยฉนวน เปลือกไน และเปลือก (NYY) (เมตร)	2,100	430,500			2,100	430,500
สายไฟฟ้าแกนเดี่ยว กลม หุ้ม ฉนวน (THW) (เมตร)	1,120	12,320	1120	12,320	1,120	12,320
อุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกัน (ฟิวส์ รีเลย์ ฯลฯ) (ดวงโคม)	56	224,000	56	224,000	56	224,000
แผงเซลล์สุริยะขนาด 250 วัตต์ (แผง)	-	-	-	-	56	252,000
แผงเซลล์สุริยะขนาด 300 วัตต์ (แผง)	-	-	112	739,200	-	-
แบตเตอรี่ 12 โวลต์ 100 แอมป์-ชั่วโมง (ลูก)	-	-	224	873,600	-	-
เครื่องควบคุมประจุไฟฟ้า 30 แอมป์ 24 โวลต์ (เครื่อง)	-	-	56	347,200	-	-
เครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้า กระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับ 300 วัตต์ (เครื่อง)	-	-	56	47,600	-	-
เครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้า กระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับแบบเชื่อมต่อบน จำหน่าย 250 วัตต์ (เครื่อง)	-	-	-	-	56	420,000
รวมราคาติดตั้ง	-	1,495,620	-	3,072,720	-	2,167,620

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นทุนการติดตั้งระบบแสงสว่างไฟถนนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ อย่างด้วยกัน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อระยะเวลาในการคืนทุนและค่าผลตอบแทนภายในของระบบแสงสว่างไฟถนนจากตารางที่ 4.18 แสดงให้เห็นถึงรายละเอียดต้นทุนการติดตั้งระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงใน ระยะทาง 1 กิโลเมตร ติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านตรงข้ามสลับ มีระบบแสงสว่างไฟถนนทั้งหมด 56 ชุด

ระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง (HPS Case) มีราคาติดตั้งประมาณ 1,500,000 บาท เป็นระบบที่ใช้ต้นทุนติดตั้งต่ำสุด ต้นทุนหลักของระบบอยู่ที่ค่าเสาไฟถนนและสายไฟฟ้าระหว่างเสาไฟถนน ในการศึกษาพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์ ระบบแสงสว่างไฟถนนชนิดนี้ ถูกนำมาเป็นกรณีศึกษาเปรียบเทียบกับเพื่อหาระยะเวลาคืนทุนแบบคิดลดและค่าผลตอบแทนภายใน

ระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (HPS Stand-alone) มีราคาติดตั้งประมาณ 3,100,000 บาท เป็นระบบที่มีต้นทุนการติดตั้งสูงสุด เนื่องจากเสาไฟถนน แผงเซลล์สุริยะ แบตเตอรี่และเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้า เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ระบบมีต้นทุนสูง ในทางตรงกันข้ามโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันสูงกับมีกำลังไฟฟ้าสูง การออกแบบระบบเซลล์สุริยะต้องเพิ่มขนาดของแผงเซลล์สุริยะและขนาดแบตเตอรี่ให้เพียงพอต่อการใช้พลังงานของโคมไฟถนน จึงทำให้ต้นทุนติดตั้งของระบบแสงสว่างไฟถนนดังกล่าวมีราคาสูง

ระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย (HPS Grid-tie) มีราคาติดตั้งประมาณ 2,200,000 บาท ในระบบแสงสว่างแบบนี้ถูกออกแบบให้มีการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย จึงลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในระบบสะสมพลังงาน ต้นทุนหลัก ๆ ของระบบอยู่ที่ เสาไฟถนน สายไฟฟ้าระหว่างเสาไฟถนนและเครื่องแปลงพลังงานไฟฟ้า กระแสตรงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับแบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย

เมื่อพิจารณาระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง (HPS Case) มีราคาติดตั้งถูกสุด เนื่องจากต้นทุนหลักของระบบอยู่ที่ราคาเสาไฟถนนและราคาสายไฟฟ้าระหว่างเสาไฟถนน สำหรับระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (HPS Stand-alone) พบว่ามีต้นทุนติดตั้งสูงกว่าแบบเดิมประมาณ 2 เท่า เนื่องจากต้นทุนหลักเป็นใน ส่วนของระบบเซลล์สุริยะและระบบเก็บสะสมพลังงาน สุดท้ายระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย (HPS Grid-tie) เป็นระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีต้นทุนถูกกว่าระบบแบบอิสระ เพราะจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เข้าระบบจำหน่ายโดยตรง จึงไม่ต้องมีระบบสะสมพลังงาน

ตารางที่ 4.19 แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์และต้นทุนในการติดตั้งระบบแสงสว่างไฟถนนหลอด
ไดโอดเปล่งแสงร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

ถนนมีเกาะกลางถนนติดตั้งแบบด้านตรงข้ามสลับ ระยะทาง 1 กิโลเมตร						
อุปกรณ์ (หน่วย)	LEDs Case		LEDs Stand-alone		LEDs Grid-tie	
	จำนวน	ราคาสุทธิ (บาท)	จำนวน	ราคาสุทธิ (บาท)	จำนวน	ราคาสุทธิ (บาท)
โคมไฟถนน (ดวงโคม)	56	672,000	56	672,000	56	672,000
เสาไฟถนน (ต้น)	56	576,800	56	576,800	56	576,800
สายไฟฟ้าหุ้มด้วยฉนวน เปลือกไน และเปลือก (NYY) (เมตร)	2,100	203,700	-	-	2,100	203,700
สายไฟฟ้าแกนเดี่ยว กลม หุ้ม ฉนวน (THW) (เมตร)	1,120	12,320	1,120	12,320	1,120	12,320
อุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกัน (ฟิวส์ รีเลย์ ฯลฯ) (ดวงโคม)	56	224,000	56	224,000	56	224,000
แผงเซลล์สุริยะขนาด 250 วัตต์ (แผง)	-	-	-	-	56	252,000
แผงเซลล์สุริยะขนาด 300 วัตต์ (แผง)	-	-	56	369,600	-	-
แบตเตอรี่ 12 โวลต์ 100 แอมป์-ชั่วโมง (ลูก)	-	-	112	436,800	-	-
เครื่องควบคุมประจุไฟฟ้า 30 แอมป์ 24 โวลต์ (เครื่อง)	-	-	56	347,200	-	-
เครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้า กระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับ 300 วัตต์ (เครื่อง)	-	-	56	47,600	-	-
เครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้า กระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับแบบเชื่อมต่อบริเวณ จำหน่าย 250 วัตต์ (เครื่อง)	-	-	-	-	56	420,000
รวมราคาติดตั้ง	-	1,688,820	-	2,686,320	-	2,360,820

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.19 แสดงให้เห็นถึงรายละเอียดต้นทุนการติดตั้งระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงในระยะทาง 1 กิโลเมตร ติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านตรงข้ามสลับ มีระบบแสงสว่างไฟถนนทั้งหมด 56 ชุด

ระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง (LEDs cased) มีราคาติดตั้งประมาณ 1,700,000 บาท ระบบมีต้นทุนสูงขึ้นเนื่องจากราคาโคมไฟถนน แต่โคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงมีประสิทธิภาพประหยัดพลังงาน สามารถใช้สายไฟระหว่างเสาไฟถนนที่มีขนาดเล็กลงได้ ทำให้ต้นทุนของระบบแสงสว่างไฟถนนแบบนี้มีราคาติดตั้งไม่ต่างจากระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงมากนัก

ระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (LEDs Stand-alone) มีราคาติดตั้งประมาณ 2,700,000 บาท ในระบบนี้ พบว่ามีราคาต้นทุนต่ำกว่าระบบที่ใช้โคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง เนื่องจากโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงมีประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน ในการออกแบบจึงสามารถลดขนาดของแผงเซลล์สุริยะและขนาดแบตเตอรี่ให้มีขนาดเล็กลง ดังนั้นต้นทุนหลัก ๆ ในระบบจึงเป็นของโคมไฟถนน

ระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย (LEDs Grid-tied) มีราคาติดตั้งประมาณ 2,400,000 บาท ในระบบนี้ถูกออกแบบเหมือนกับกรณีระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย (HPS Grid-tie) แต่เพิ่มประสิทธิภาพทางพลังงานให้กับระบบมากขึ้นโดยใช้โคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแทนโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง

เมื่อพิจารณาระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง (LEDs cased) มีราคาติดตั้งต่ำกว่าระบบแสงสว่างไฟถนนอีก 2 กรณี ต้นทุนหลักในระบบคือโคมไฟถนนและเสาไฟถนน ต่อมาระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงร่วมกับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 2 กรณี พบว่ากรณีระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (LEDs Stand-alone) มีราคาต้นทุนสูงกว่ากรณีระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย (LEDs Grid-tied) เนื่องจากต้นทุนของระบบสะสมพลังงาน

สังเกตได้ว่าระบบแสงสว่างไฟถนนที่ใช้โคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงมีต้นทุนการติดตั้งต่ำสุด เนื่องจากต้นทุนหลัก ๆ ของระบบเป็นของเสาไฟถนนและสายไฟที่ใช้เดินระหว่างเสาไฟถนน ต่อมาเมื่อมีการใช้โคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงแทนโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง พบว่าต้นทุนการติดตั้งมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากราคาของโคมไฟถนนมีราคาสูง แต่การใช้โคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงสามารถลดขนาดของสายไฟที่ใช้เดินระหว่างเสาไฟถนนลงได้ ทำให้ประหยัดต้นทุนในส่วนนี้ สำหรับระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 2 ระบบ มีต้นทุนการติดตั้งสูงกว่าระบบแบบปกติอย่างเห็นได้ชัด พบว่าระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระมีต้นทุนการติดตั้งสูงกว่าระบบแบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย ในภาพรวมแสดงให้เห็นว่าราคาต้นทุนหลักที่เพิ่มเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาอยู่ในส่วนของระบบเซลล์สุริยะ ได้แก่ แผงเซลล์สุริยะ แบตเตอรี่และเครื่องควบคุมประจุไฟฟ้า ด้วยเหตุนี้ ทำให้ระบบแสงสว่างไฟถนนที่ติดตั้งโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงร่วมกับระบบเซลล์สุริยะ ต้องใช้ขนาดแผงเซลล์สุริยะและขนาดแบตเตอรี่เพิ่มมากขึ้น ต้นทุนการติดตั้งจึงมีราคาสูงกว่าระบบที่ติดตั้งโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง แต่ในระบบดังกล่าวนี้มีข้อดี คือไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายให้กับสายไฟที่ใช้เดินระหว่างเสาไฟถนน ต่อมาในระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย พบว่ามีต้นทุนต่ำกว่าระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ เนื่องจากสามารถออกแบบติดตั้งขนาดของแผงเซลล์สุริยะให้มีขนาดเท่าไรก็ได้ ไม่ขึ้นอยู่กับการใช้งานโคมไฟถนน และไม่ต้องเสียต้นทุนให้กับระบบสะสมพลังงานอีกด้วย ทำให้ระบบแบบนี้มีราคาต้นทุนต่ำกว่า

การพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์การลงทุนติดตั้งระบบแสงสว่างไฟถนนมีปัจจัยหลัก ๆ ที่ถูกนำมาศึกษาวิเคราะห์ คือ ต้นทุนการติดตั้งระบบ ส่วนต่างของระบบค่าใช้จ่ายประจำปี (ค่าบำรุงรักษาและค่าไฟฟ้า) ประสิทธิภาพของระบบแสงสว่างไฟถนน โดยทำการศึกษาจากระบบแสงสว่างไฟถนนระยะทาง 1 กิโลเมตร กำหนดให้กรณีของระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง (HPS case) เป็นกรณีเปรียบเทียบเพื่อหาระยะเวลาคืนทุนแบบคิดลด (DDP) และค่าผลตอบแทนภายใน (IRR) มีการคิดค่าไฟฟ้าจากอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU) ในย่านพักแรงแรงคืนต่ำ ช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง (9.00 – 22.00 น.) มีอัตราค่าไฟฟ้า 5.8 บาทต่อหน่วย ช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำ (22.00 – 9.00 น.) มีอัตราค่าไฟฟ้า 2.6 บาทต่อหน่วย [70]

จากตารางที่ 4.20 และ ตารางที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงและระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงตามลำดับ แสดงข้อมูลต้นทุนการติดตั้งระบบ ส่วนต่างของระบบ ค่าใช้จ่ายประจำปี (พิจารณาจากค่าบำรุงรักษาและค่าพลังงานที่จ่ายให้กับระบบแสงสว่าง (ค่าไฟฟ้า)) และประสิทธิภาพของระบบ (ประกอบด้วยปัจจัย 3 อย่าง คือ 1. การประหยัดค่าบำรุงรักษา 2. การประหยัดค่าไฟฟ้า 3. การจ่ายพลังงานไฟฟ้าคืนระบบจำหน่าย) เพื่อนำมาวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนแบบคิดลด (DDP) และค่าผลตอบแทนภายใน (IRR)

ตารางที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงร่วมกับระบบแสงอาทิตย์ในระยะทาง 1 กิโลเมตร

รายการ		HPS case	HPS Stand-alone	HPS Grid-tied
ต้นทุนการติดตั้งระบบ (บาท)		1,500,000	3,070,000	2,160,000
ส่วนต่างของระบบ (บาท)		Base	1,570,000	660,000
ค่าใช้จ่ายประจำปี (บาท)	ค่าบำรุงรักษา [66]	50,400	81,100	72,000
	ค่าไฟฟ้า [67]	169,000	-	169,000
ประสิทธิภาพของระบบ (บาท)	ประหยัดค่าบำรุงรักษา	Base	(-30,700)	(-21,600)
	ประหยัดค่าไฟฟ้า	Base	169,000	-
	จ่ายพลังงานไฟฟ้าคืนระบบจำหน่าย	Base	-	87,000
ประหยัดค่าใช้จ่ายต่อปี (บาท)		Base	138,300	65,400
ระยะคืนทุนคิดลด (DDP, ปี)		Base	13	11.4
ค่าผลตอบแทนภายใน (IRR)		Base	7 %	9 %

จากตารางที่ 4.20 แสดงให้เห็นว่าระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (HPS Stand-alone) มีค่าบำรุงรักษาสูงกว่าระบบแสงสว่างไฟถนนอีก 2 กรณี เนื่องจากประสิทธิภาพตัวโคมไฟถนนและอุปกรณ์ในระบบเซลล์สุริยะ แต่ข้อดีของระบบแบบนี้คือสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้มากที่สุด เพราะระบบออกแบบให้ผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายให้กับโคมไฟถนน จึงไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบจำหน่าย ในขณะที่ระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย (HPS Grid-tie) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบโดยการจ่ายพลังงานไฟฟ้าคืนระบบจำหน่ายได้

พิจารณาทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าในระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (HPS Stand-alone) มีต้นทุนการติดตั้งและค่าบำรุงรักษาต่อปีสูง จึงทำให้มีระยะเวลาคืนทุนนาน 13 ปี และผลตอบแทนภายในต่ำ 7 % ซึ่งต่ำกว่าระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย (HPS Grid-tie) ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุน 11.4 ปี และผลตอบแทนภายใน 9 %

ตารางที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบแสงสว่างไฟถนนหลอด
ไดโอดเปล่งแสงร่วมกับระบบแสงอาทิตย์ในระยะทาง 1 กิโลเมตร

รายการ		LEDs cased	LEDs Stand- alone	LEDs Grid-tied
ต้นทุนการติดตั้งระบบ (บาท)		1,688,000	2,680,000	2,360,000
ส่วนต่างของระบบ (บาท)		188,000	1,180,000	860,000
ค่าใช้จ่ายประจำปี (บาท)	ค่าบำรุงรักษา [66]	16,800	43,600	40,400
	ค่าไฟฟ้า [67]	72,800	-	72,800
ประสิทธิภาพของ ระบบ (บาท)	ประหยัดค่าบำรุงรักษา	33,600	6,800	10,000
	ประหยัดค่าไฟฟ้า	96,200	169,000	96,200
	จ่ายพลังงานไฟฟ้าคืนระบบจำหน่าย	-	-	87,000
ประหยัดค่าใช้จ่ายต่อปี (บาท)		129,800	175,800	193,200
ระยะคืนทุนคิดลด (DDP, ปี)		1.5	7.3	4.7
ค่าผลตอบแทนภายใน (IRR)		69 %	14 %	22 %

จากตารางที่ 4.21 แสดงให้เห็นว่าระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง (LEDs Case) สามารถประหยัดค่าบำรุงรักษาต่อปีได้มากกว่าระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย (LEDs Grid-tie) และระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (LEDs Stand-alone) ตามลำดับ แต่พบว่าระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (LEDs Stand-alone) สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้มากที่สุด ในขณะที่ระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย (LEDs Grid-tie) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบโดยการจ่ายพลังงานไฟฟ้าคืนระบบจำหน่าย

พิจารณาทางเศรษฐศาสตร์ ในกรณีระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง (LEDs Case) แสดงให้เห็นว่าโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพทางพลังงาน (ประหยัดค่าไฟฟ้า) และอายุการใช้งาน (ประหยัดค่าบำรุงรักษา) บวกกับระบบมีต้นทุนการติดตั้งต่ำ จึงทำให้ระบบนี้มีระยะคืนทุนแบบคิดลดเพียง 1.5 ปี มีอัตราผลตอบแทนภายในสูงถึง 69% เมื่อเทียบกับกรณีระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง (HPS Case) ต่อมา ระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (LEDs Stand-alone) เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพทางพลังงานสูง (ไม่เสียค่าไฟฟ้า) แต่ระบบยังมีต้นทุนการติดตั้งสูง จึงมีระยะคืนทุนแบบคิดลด 7.3 ปี มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราผลตอบแทนภายใน 17% สู้ค่าขายระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบระบบจำหน่าย (LEDs Grid-tie) ระบบมีต้นทุนการติดตั้งถูกลงเนื่องจากไม่มีระบบเก็บสะสมพลังงาน ทำให้ระบบมีระยะคืนทุนแบบคิดลด 4.7 ปี และผลตอบแทนภายใน 22 %

สังเกตได้ว่าเมื่อนำโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงมาใช้งานแทนโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพทางพลังงานสูงขึ้น เมื่อพิจารณาจากระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงกรณี (HPS Case) เทียบกับระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง (LEDs Case) พบว่าระบบที่ใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงมีต้นทุนการติดตั้งสูงกว่าเนื่องจากราคาโคมไฟถนน แต่ระบบสามารถประหยัดค่าสายไฟฟ้าระหว่างเสาไฟถนน จึงทำให้ระบบดังกล่าวมีต้นทุนแตกต่างกันไม่มากนัก แต่สำหรับระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระแสดงให้เห็นว่าระบบที่ใช้โคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงมีต้นทุนการติดตั้งที่ต่ำกว่า เนื่องจากโคมไฟถนนมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำ ระบบจึงมีขนาดแบตเตอรี่และขนาดแผงเซลล์สุริยะเล็กลง ส่งผลให้ต้นทุนการติดตั้งต่ำกว่าระบบที่ใช้โคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง ถึงอย่างไรก็ตามระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระยังมีต้นทุนการติดตั้งสูงเมื่อเทียบกับระบบอื่น สำหรับระบบแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบระบบจำหน่ายพบว่าระบบสามารถกำหนดขนาดของแผงเซลล์สุริยะได้อิสระไม่ขึ้นกับระบบแสงสว่างไฟถนน ทำให้ระบบมีต้นทุนแตกต่างกันที่ราคาของโคมไฟถนนและราคาสายไฟฟ้าระหว่างเสาไฟถนนเป็นหลัก ดังนั้นระบบที่ใช้โคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงจึงมีต้นทุนที่ถูกกว่า

จากภาพรวมเมื่อนำปัจจัยหลาย ๆ ด้านมาพิจารณา แสดงให้เห็นว่าระบบแสงสว่างไฟถนนแบบเก่าที่ใช้โคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงกรณี (HPS Case) มีต้นทุนการติดตั้งต่ำสุด แต่เป็นระบบที่ไม่มีประสิทธิภาพทางพลังงาน ต้องเสียค่าไฟฟ้าและค่าบำรุงรักษาต่อปีในจำนวนมาก สำหรับระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง (LEDs Case) ในระบบนี้เป็นการนำเอาเทคโนโลยีประหยัดพลังงานของหลอดไดโอดเปล่งแสงมาใช้งานทำให้ระบบแสงสว่างไฟถนนแบบนี้มีต้นทุนการติดตั้งที่เพิ่มขึ้น แต่สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าและค่าบำรุงรักษาต่อปีได้มากกว่าระบบแสงสว่างแบบเก่าจึงทำให้มีระยะเวลาคืนทุนเร็วและมีผลตอบแทนภายในสูงมากกว่าระบบอื่น ๆ สำหรับระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (HPS Stand-alone) และระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (LEDs Stand-alone) เป็นระบบที่มีต้นทุนการติดตั้งสูงจึงทำให้ระยะเวลาคืนทุนนานและมีอัตราผลตอบแทนต่ำ แต่ระบบมีประสิทธิภาพทางพลังงาน สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายให้กับระบบแสงสว่างไฟถนน ไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่อบระบบจำหน่าย สำหรับระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบระบบจำหน่าย (HPS Grid-tie) และ ระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบระบบจำหน่าย (LEDs Grid-tie) โดยรวมถือว่าระบบมีความคุ้มค่าระหว่างประสิทธิภาพทางพลังงานและเศรษฐศาสตร์การลงทุน เนื่องจากระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจ่ายเข้าระบบจำหน่ายได้มากกว่าพลังงานที่ดึงกลับมาใช้ในระยะเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลางคืน แต่จุดหนึ่งที่ทำให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ก็คืออัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU) ซึ่งส่งผลต่อการพิจารณาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 บทสรุป

จากการศึกษาคุณภาพแสงสว่างไฟถนนระหว่างโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงและโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง ตลอดจนการศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าของระบบ แสงสว่างไฟถนนร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ รวมถึงการพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์ สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1 การจำลองระบบแสงสว่างไฟถนน

ผลจากการจำลองระบบแสงสว่างไฟถนนแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งเสาไฟถนนแบบด้านตรงข้ามสลับสามารถให้คุณภาพแสงสว่างได้ดีกว่าการติดตั้งอีก 2 รูปแบบ เนื่องจากการเรียงโคมไฟถนนแบบด้านตรงข้ามสลับสามารถกระจายแสงสว่างได้ครอบคลุมพื้นผิวถนน ช่วยเพิ่มค่าความสม่ำเสมอแสงสว่างและลดค่าแสงจ้าแยงตาลงได้

ผลการจำลองเปรียบเทียบคุณภาพแสงสว่างโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง 250 วัตต์ กับโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง 120 วัตต์ แสดงให้เห็นว่าโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงมีค่าความส่องสว่างและค่าความสว่างสูงกว่า เนื่องจากหลอดโซเดียมความดันไอสูงมีกำลังวัตต์สูงจึงมีค่าฟลักซ์ส่องสว่างจากโคมไฟถนนมากกว่า แต่เมื่อพิจารณาที่ลักษณะการกระจายแสงพบว่าโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงสามารถควบคุมการกระจายแสงสว่างได้ดีกว่า สังเกตจากค่าความสม่ำเสมอแสงสว่าง ค่าแสงจ้าแยงตาและค่าประสิทธิภาพทางพลังงานที่มีค่าสูงกว่า

ถึงแม้ว่าโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงจะมีค่าความส่องสว่างและค่าความสว่างต่ำกว่าโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง แต่เมื่อพิจารณากับมาตรฐานการส่องสว่างพบว่าโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงที่มีรูปแบบการกระจายแสงเหมาะสมสามารถให้คุณภาพแสงสว่างผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนดได้ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการนำโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงมาเปลี่ยนแทนโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง

5.2 การศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า

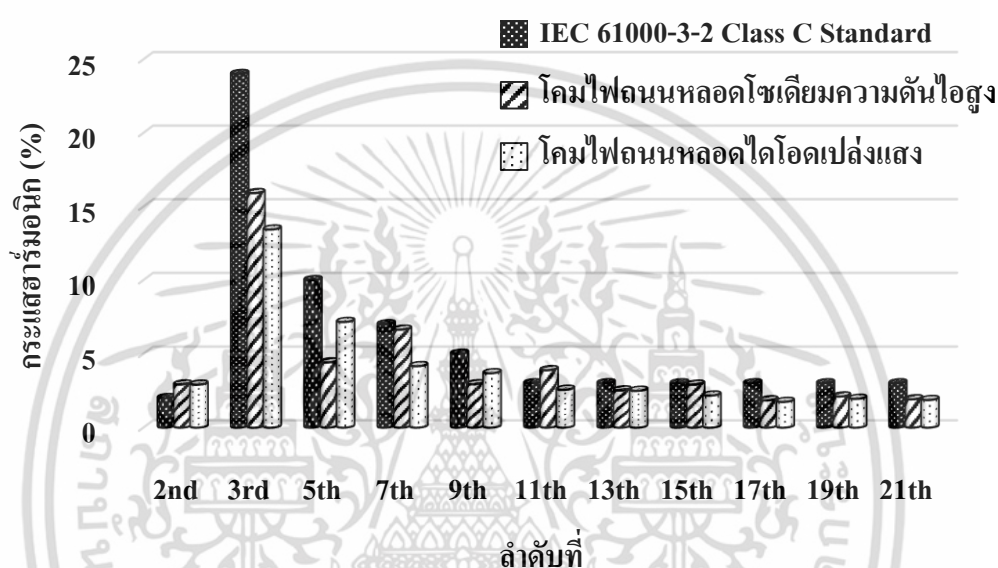
5.2.1 ระบบแสงสว่างไฟถนน

ผลการใช้งานโคมไฟถนนแสดงให้เห็นว่าในช่วงเริ่มต้นของการใช้งาน โคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงต้องใช้เวลาในการอุ่นหลอด เป็นช่วงที่มีกระแสเริ่มต้นสูงแต่กลับมีค่ากำลังไฟฟ้าต่ำ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าส่วนใหญ่เป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียในรูปกำลังไฟฟ้าเสมือน ในช่วงนี้ระบบจึงมีค่าตัวประกอบกำลังต่ำและค่ากระแสฮาร์มอนิกรวมสูง ต่างกับในกรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถให้แสงสว่างได้ทันที เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวพบว่าโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงมีค่ากำลังไฟฟ้า 121 วัตต์ สูญเสียกำลังไฟฟ้าให้กับชุดขับหลอดน้อยมาก ในขณะที่โคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงมีค่ากำลังไฟฟ้า 289 วัตต์ ต้องสูญเสียกำลังไฟฟ้าให้กับแกนเหล็กประมาณ 39 วัตต์

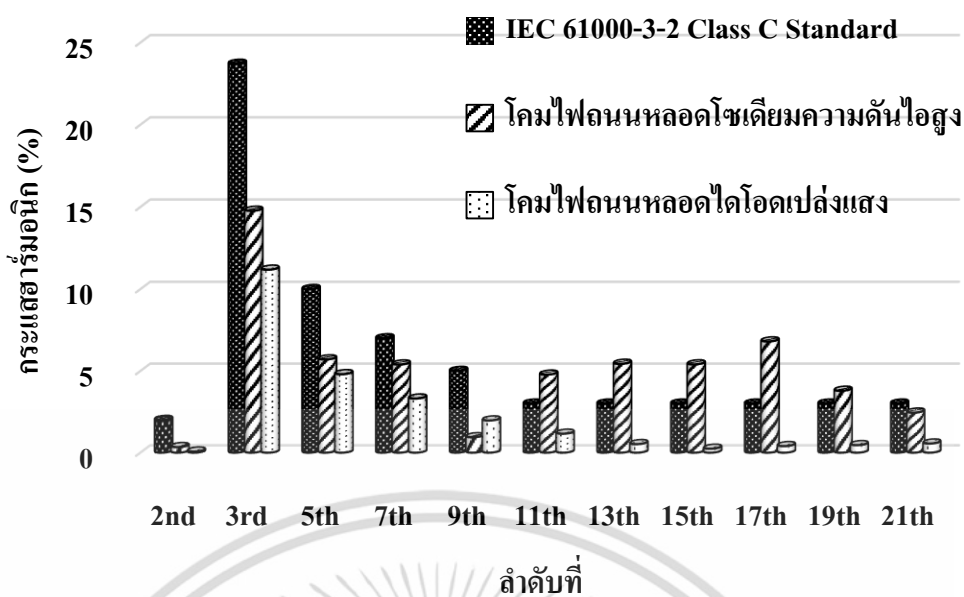
เมื่อพิจารณาคุณภาพไฟฟ้าค่ากระแสฮาร์มอนิกพบว่าโคมไฟถนนทั้ง 2 ชนิดมีค่ากระแสฮาร์มอนิกในแต่ละลำดับผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนดแสดงรายละเอียดดังรูปที่ 5.1 อย่างไรก็ตามพบว่าโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงมีค่ากระแสฮาร์มอนิกต่ำกว่าโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง



รูปที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบกระแสฮาร์มอนิกจากระบบแสงสว่างไฟถนนกับมาตรฐาน IEC 61000-3-2 Class C

5.2.2 ระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ

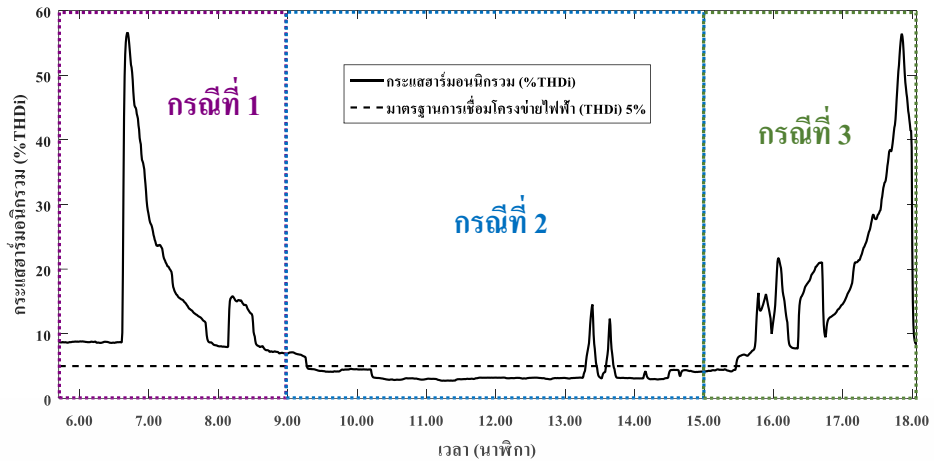
ผลจากการใช้งานระบบแสงสว่างไฟถนนร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบอิสระแสดงให้เห็นว่าโคมไฟถนนทั้ง 2 ชนิด มีค่าคุณภาพไฟฟ้าใกล้เคียงกับระบบแสงสว่างไฟถนนแบบปกติยกเว้นค่ากระแสฮาร์มอนิกรวม เนื่องจากระบบต้องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่มาจ่ายให้กับโคมไฟถนน จึงส่งผลให้ระบบมีค่ากระแสฮาร์มอนิกสูงกว่าเดิม เมื่อนำค่ากระแสฮาร์มอนิกในแต่ละลำดับมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานพบว่ากรณีโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระมีค่ากระแสฮาร์มอนิกผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด แต่สำหรับโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระพบว่าค่ากระแสฮาร์มอนิกบางลำดับสูงกว่ามาตรฐานแสดงในรูปที่ 5.2



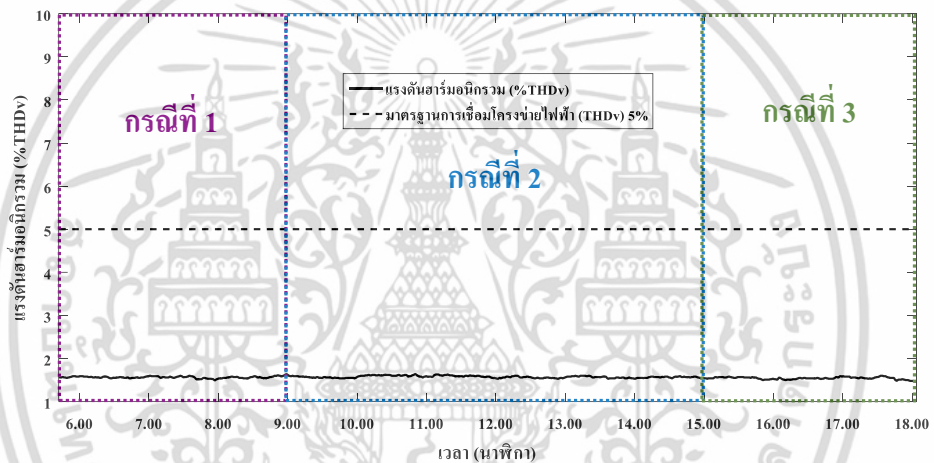
รูปที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบกระแสฮาร์โมนิกจากระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระกับมาตรฐาน IEC 61000-3-2 Class C

5.2.3 ระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย

ผลการวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่าย สรุปได้ว่าเมื่อความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่าต่ำ (ประมาณ 0 – 400 วัตต์ต่อตารางเมตร) แผงเซลล์สุริยะผลิตกำลังไฟฟ้าได้น้อย เครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่ายชนิดพิกัดเล็กต้องทำงานต่ำกว่าพิกัดกำลัง ส่งผลให้คุณภาพไฟฟ้าที่จ่ายออกสู่ระบบจำหน่ายมีค่าตัวประกอบกำลังต่ำ (ประมาณ 0.48) เกิดค่ากระแสฮาร์โมนิกสูง (ประมาณ 28.1%) และมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบสูงถึง 28% แต่เมื่อมีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงขึ้น (ประมาณ 400 – 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร) แผงเซลล์สุริยะผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้น ไมโครอินเวอร์เตอร์สามารถทำงานในช่วงพิกัดกำลัง ส่งผลให้คุณภาพไฟฟ้าที่จ่ายออกสู่ระบบจำหน่ายมีค่าดีขึ้น โดยมีค่าตัวประกอบกำลัง (ประมาณ 0.94) ค่ากระแสฮาร์โมนิก (ประมาณ 3%) และมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบลดลงเหลือ 7%



(ก) ค่ากระแสฮาร์มอนิก



(ข) ค่าแรงดันฮาร์มอนิก

รูปที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบฮาร์มอนิกรวมในแต่ละช่วงเวลาเทียบกับมาตรฐานการเชื่อมโครงข่ายไฟฟ้า ในเดือนเมษายน

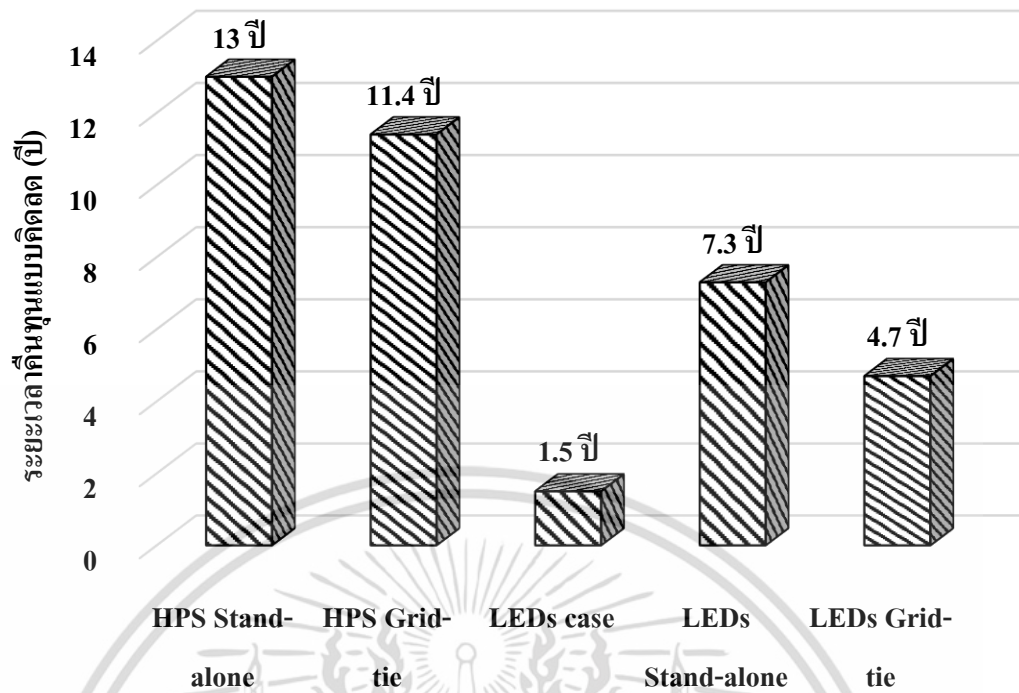
จากรูปที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบฮาร์มอนิกรวมของกระแสและแรงดันในแต่ละช่วงเวลาเทียบกับมาตรฐานการเชื่อมโครงข่ายไฟฟ้า ในเดือนเมษายน พบว่าค่ากระแสฮาร์มอนิกรวมในช่วงที่มีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ต่ำตั้งแต่ 0 – 400 วัตต์ต่อตารางเมตร (ในช่วงเวลา 6.00 นาฬิกา ถึง 9.00 นาฬิกา ในกรณีที่ 1 และช่วงเวลา 15.00 นาฬิกา ถึง 18.00 นาฬิกา ในกรณีที่ 3) ทำให้เกิดค่ากระแสฮาร์มอนิกรวมสูงกว่ามาตรฐานกำหนด เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวส่งผลให้การทำงานของเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบเชื่อมต่อบนระบบจำหน่ายชนิดพิกัดเล็กต่ำกว่าพิกัด อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้าของระบบจำหน่ายตามมา แต่เมื่อค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่าสูงขึ้นตั้งแต่ 400 – 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร (ในช่วงเวลา 9.00 นาฬิกา ถึง 15.00 นาฬิกา ในกรณีที่ 2) พบว่าในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่ากระแสฮาร์มอนิกรวมต่ำกว่ามาตรฐาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนด ยกเว้นช่วงเวลา 13.00 นาฬิกา ถึง 14.00 นาฬิกา เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ต่ำ (เกิดจากการบดบังของเมฆ) ส่งผลให้เครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบเชื่อมต่อบนหน่วยชนิดพิกัดเล็กทำงานต่ำกว่าพิกัด เกิดค่ากระแสฮาร์มอนิกรวมสูงกว่ามาตรฐานกำหนด สำหรับค่าแรงดันฮาร์มอนิกรวมพบว่าตลอดการจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่าย ระบบมีค่าแรงดันฮาร์มอนิกรวมต่ำกว่ามาตรฐานในทุกกรณีศึกษา

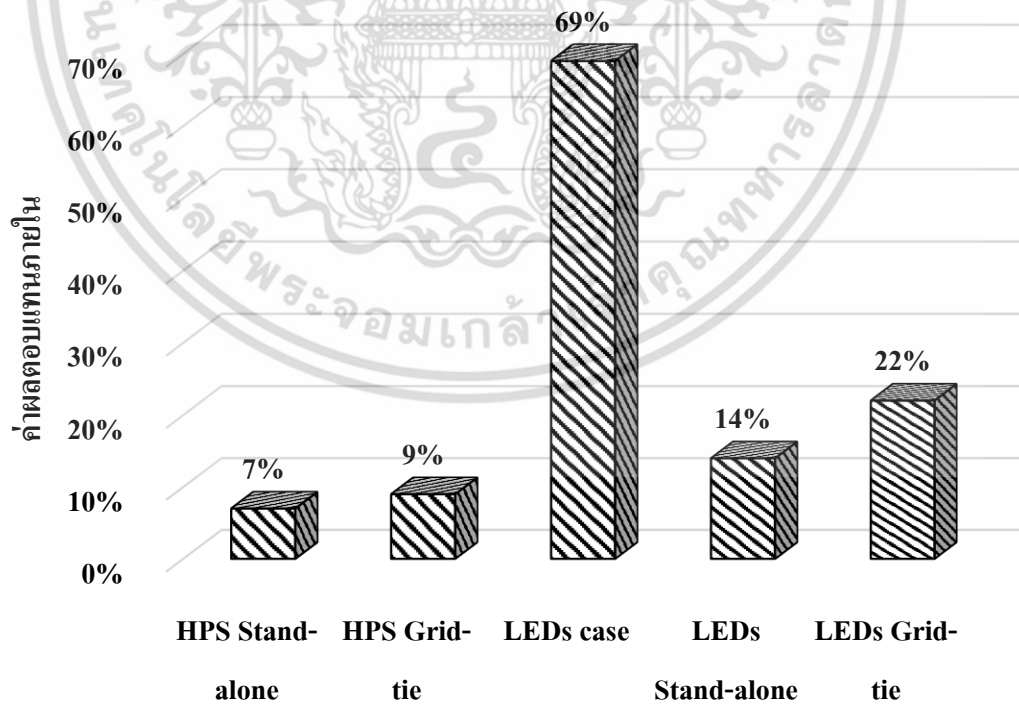
5.3 การพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์

ผลการเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบแสงสว่างไฟถนนในกรณีต่าง ๆ จากตัวชี้วัดระยะคืนทุนคิดลด (Discounted Payback Period, DPP) กับค่าผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) แสดงดังรูปที่ 5.4 และรูปที่ 5.5 ตามลำดับ โดยมีกรณีระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง (HPS Case) เป็นกรณีศึกษาเทียบเคียง

จากการศึกษาพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าระบบแสงสว่างไฟถนนโคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง (HPS Case) มีต้นทุนการติดตั้งต่ำสุด แต่เป็นระบบที่ไม่มีประสิทธิภาพทางพลังงาน ทำให้เสียค่าไฟฟ้าและค่าบำรุงรักษาต่อปีในจำนวนมาก สำหรับระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง (LEDs Case) ในระบบนี้มีการนำเทคโนโลยีประหยัดพลังงานจากหลอดไดโอดเปล่งแสงมาใช้แทนหลอดโซเดียมความดันไอสูง ทำให้ระบบมีต้นทุนการติดตั้งเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามระบบสามารถประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าและมีค่าบำรุงรักษาต่อปีลดลง จึงทำให้มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่ 1.5 ปี และมีผลตอบแทนภายในสูง 69% ต่อมาสำหรับระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (HPS Stand-alone) และระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (LEDs Stand-alone) พบว่าระบบดังกล่าวมีต้นทุนการติดตั้งสูง เนื่องจากมีต้นทุนของระบบเซลล์สุริยะและระบบสะสมพลังงานเพิ่มเข้ามา ทำให้ระบบมีระยะเวลาคืนทุนนานและผลตอบแทนภายในต่ำ สำหรับระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูงพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบนหน่วย (HPS Grid-tie) และระบบแสงสว่างไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบนหน่วย (LEDs Grid-tie) โดยรวมถือว่าระบบมีต้นทุนต่ำกว่าระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ เนื่องจากระบบทำการผลิตพลังงานไฟฟ้าและจ่ายเข้าระบบจำหน่ายโดยตรง แต่จุดหนึ่งที่ทำให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ก็คืออัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU) ที่ส่งผลต่อการพิจารณาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์



รูปที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนแบบคิดลดของระบบแสงสว่างไฟถนนในกรณีต่าง ๆ



รูปที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าผลตอบแทนภายในของระบบแสงสว่างไฟถนนในกรณีต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า มีผลลัพธ์ลู่ทางตามเป้าหมายและวัตถุประสงค์ อยู่ในขอบเขตของการศึกษาที่วางแผนไว้ตั้งแต่เริ่มดำเนินการ ในเล่มวิทยานิพนธ์มีการนำเสนอและสรุปการเปรียบเทียบคุณภาพแสงสว่างไฟถนนระหว่างการใช้โคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันสูงกับโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสง ตลอดจนการศึกษาคุณภาพไฟฟ้าของระบบแสงสว่างไฟถนนร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ซึ่งในที่สุดท้ายของวิทยานิพนธ์เป็นการสรุปผลลัพธ์การพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบผลตอบแทนระหว่างระบบแสงสว่างไฟถนนกรณีต่าง ๆ

5.4 สิ่งที่ต้องพัฒนาต่อไป

- สร้างอัลกอริทึมเพื่อใช้วิเคราะห์คุณภาพแสงสว่างไฟถนนจากการปรับความสูงเสาไฟถนน ระยะห่างระหว่างเสาไฟถนน มุมเงยและระยะยื่นโคมไฟถนน เพื่อหาคุณภาพแสงสว่างที่ดีที่สุดให้มีค่าเหมาะสมกับรูปแบบถนนที่ใช้งาน
- พิจารณาการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ โดยคำนึงถึงปัจจัยค่าอุณหภูมิของแผงเซลล์สุริยะจากการใช้งานจริง
- ปรับปรุงระบบแสงสว่างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น
- ศึกษาพัฒนาระบบสะสมพลังงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถจ่ายประจุไฟฟ้าได้มากขึ้น มีขนาดเล็กลงรวมถึงต้นทุนต่ำลงด้วย
- พิจารณาขอบเขตการเชื่อมต่อระบบจำหน่ายเพิ่มเติม โดยเพิ่มการตรวจสอบแรงดันกระเพื่อม การจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง การตอบสนองต่อระบบไฟฟ้า การป้องกันสภาวะแยกโดดและการเชื่อมต่อหลังไฟฟ้ากลับคืน เพื่อให้ครอบคลุมกับมาตรฐานเชื่อมระบบโครงข่ายไฟฟ้ามากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. **ข่าวพลังงานเด่น สบพ. เผย สถานการณ์การใช้พลังงาน 8 เดือนแรก ปี 2558.** วันที่ 24 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558. เข้าถึงได้จากเว็บไซต์ : <http://energyservicecenter.go.th/?p=2940>
- [2] **50 ปีต่อจากนี้เชื่อนภูมิพล เร่งเพิ่มปาหังน้ำผลิตไฟฟ้า.** Energy Saving. วันที่ 9 มกราคม 2558. เข้าถึงได้จากเว็บไซต์: <http://www.energysavingmedia.com>
- [3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลังงาน. **แผนที่พลังงาน แสงอาทิตย์.** เข้าถึงได้จากเว็บไซต์ : <http://www4.dede.go.th/dede/>
- [4] Asia Pacific Energy Research Centre (APEREC). **Renewable Electricity in APEC Region: Internalizing Externalities in the Cost of Power Generation.** 2005.
- [5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. **โครงการศึกษาวิจัยด้าน พลังงานแสงอาทิตย์ของ พพ. ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน (ปี 2554).** เข้าถึงได้จากเว็บไซต์ : <http://www.dede.go.th/dede/index.php?option=com>
- [6] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. **รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย ปี 2558**
- [7] Elvik R, Vaa T, Høy A, Erke A, Sørensen M. 2009. **The handbook of road safety measures.** 2nd revised edn. Elsevier. Amsterdam
- [8] Elvik RA. 1995. **Meta-analysis of evaluations of public lighting as accident counter measure.** Transp Res Rec 1485:112-123
- [9] Wanvik PO. 2009. **Effects of road lighting: analysis based on Dutch accident statistics 1987-2006.** Accid Anal Prev 41:123-128
- [10] การไฟฟ้านครหลวง. **รายงานประจำปี 2557.** เข้าถึงได้จากเว็บไซต์ <http://www.mea.or.th/>
- [11] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. **รายงานประจำปี 2557.** เข้าถึงได้จากเว็บไซต์ : <http://peaoc.pea.co.th/ped/>
- [12] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. **วสาร นโยบายพลังงาน “ส่อง ทิศทางนโยบายความมั่นคงพลังงานไทย”.** ฉบับที่ 104. 2557
- [13] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค(กฟภ). **กฟภ. ทำโครงการ “PEA Road to LED.** 25 มีนาคม 2556
- [14] การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.). **จัดทำโครงการวิจัย และทดลองติดตั้งโคมไฟฟ้าสาธารณะด้วย หลอด LED ในเขตกรุงเทพมหานคร.** เข้าถึงได้จากเว็บไซต์ : <http://www.mea.or.th/new/content/detail.php?mid=87&did=781&tid=&pid=>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [15] Chun-An Cheng, Chien-Hsuan Chang, Tsung-Yuan Chung, Fu-Li Yang. "Design and Implementation of a Single-Stage Driver for Supplying an LED Street-Lighting Module With Power Factor Corrections." **in Power Electronics, IEEE Transactions.** vol.30, no.2, pp.956-966, Feb. 2015
- [16] Y. K. Cheng, K. W. E. Cheng. "General Study for using LED to replace traditional lighting devices." **Power Electronics Systems and Applications. 2006. ICPESA '06. 2nd International Conference.** pp.173-177, 12-14 Nov. 2006
- [17] V.C. Bender, F.B. Mendes, T. Maggi, M.A. Dalla Costa, T.B. Marchesan. "Design methodology for street lighting luminaires based on a photometrical analysis." **Power Electronics Conference (COBEP).** 2013 Brazilian. pp.1160-1165, 27-31 Oct. 2013
- [18] Kai Yang, Jidong Song, Yuqing Chen, Bin Lin. "Secondary light distribution design for LED street light." **Electronics and Optoelectronics (ICEOE) 2011 International Conference.** vol.2, pp.V2-378-V2-381, 29-31 July 2011
- [19] Jafrancesco D., Mercatelli L., Sansoni P., Fontani D., Francini F. "LED streetlamp only with reflection optics." **in Fotonica AEIT Italian Conference on Photonics Technologies.** 2015, vol., no., pp.1-4, 6-8 May 2015
- [20] X. Long, R. Liao, J. Zhou. "Development of street lighting system-based novel high-brightness LED modules." **Optoelectronics, IET.** vol.3, no.1, pp.40-46, February 2009
- [21] Li. Fusheng, Dahua Chen, Xianjie Song, Yuming Chen. "LEDs: A Promising Energy-Saving Light Source for Road Lighting." **Power and Energy Engineering Conference.** 2009. APPEEC 2009. Asia-Pacific, pp.1-3, 27-31 March 2009
- [22] J. M. Alonso, A. J. Calleja, D. Gacio, J. Cardesin, and E. Lopez. A longlife high-power-factor HPS-lamp LED retrofit converter based on the integrated buck-boost buck topology. **in 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society.** 2011, pp. 2860-2865.
- [23] J. Fraytag, M. F. da Silva, N. B. Chagas, R. N. do Prado, and M. A. D. Costa. "Lighting systems energy efficiency based on different human visual conditions." **in 9th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications (INDUSCON).** 2010, pp. 1-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [24] I. Lewin. "Lamp Color and Visibility in Outdoor Lighting Design." **presented at the Conference of the Institution of Lighting Engineers.** 1999.
- [25] Su-Chin Huang, Li-Ling Lee, Ming-Shan Jeng, Yao-Ching Hsieh. "Assessment of energy-efficient LED street lighting through large-scale demonstration." **Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), 2012 International Conference.** pp.1-5, 11-14 Nov. 2012
- [26] S. Alzubaidi, P.K. Soori. "Study on energy efficient street lighting system design." **Power Engineering and Optimization Conference (PEDCO) Melaka, Malaysia, 2012 IEEE International,** pp.291-295, 6-7 June 2012
- [27] K.R. Shailesh, S. Tanuja, M.V. Kamath. "Analysis of energy savings from replacing HPSV lighting with LED lighting in road lighting application." **Emerging Trends in Electrical Engineering and Energy Management (ICETEEEM), 2012 International Conference on,** pp.473-477, 13-15 Dec. 2012
- [28] Leena Tähkämö, Liisa Halonen. "Life cycle assessment of road lighting luminaires – Comparison of light-emitting diode and high-pressure sodium technologies,." **Journal of Cleaner Production.** Available online 16 January 2015
- [29] R. Barraza Garcia, G. Velazquez Angulo, J. Romero Gonzalez, E. Flores Tavizon, J.I. Huertas Cardozo. "LED street lighting as a strategy for climate change mitigation at local government level." **Global Humanitarian Technology Conference (GHTC), 2014 IEEE,** pp.345-349, 10-13 Oct. 2014
- [30] S. Hiranvarodom. "A comparative analysis of photovoltaic street lighting systems installed in Thailand." **Photovoltaic Energy Conversion, 2003.** Proceedings of 3rd World Conference on, vol.3, pp.2478-2481 Vol.3, 18-18 May 2003
- [31] Zeng Wen-xian, Ma Jie; Zhai Ying. "Rapid Charge System for Lead-Acid Battery of Solar Energy Street Light based on Single-Chip Microcomputer." **Computer Science and Information Technology, 2008.** ICCSIT '08. International Conference on, pp.337-341, Aug. 29 2008-Sept. 2 2008
- [32] Jun Pan, Chenghua Wang, Feng Hong. "Research of photovoltaic charging system with maximum power point tracking." **Electronic Measurement & Instruments, 2009.** ICEMI '09. 9th International Conference on, pp.4-478,4-481, 16-19 Aug. 2009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [33] B.J. Huang, M.S. Wu, P.C. Hsu, J.W. Chen, K.Y. Chen. "Development of high-performance solar LED lighting system." **Energy Conversion and Management**. Volume 51, Issue 8, August 2010, Pages 1669-1675
- [34] M. Becherif, M.Y. Ayad, A. Henni, A. Aboubou. "Hybridization of solar panel and batteries for street lighting by passivity based control." **Energy Conference and Exhibition (EnergyCon)**. 2010 IEEE International, pp.664-669, 18-22 Dec. 2010
- [35] Chiu H-J, Lo Y-K, Yao C-J, Cheng S-J. "Design and implementation of a photovoltaic high-intensity-discharge street lighting system." **IEEE Trans Power Electron** 2011. 26(12):3464-71.
- [36] M. Ali, M. Orabi, E. Abdelkarim, J.A.A. Qahouq, A.E. Aroudi. "Design and development of energy-free solar street LED light system." **Innovative Smart Grid Technologies - Middle East (ISGT Middle East)**, 2011 IEEE PES Conference on ,pp.1-7, 17-20 Dec. 2011
- [37] S. Nunoo, J.C. Attachie, C.K. Abraham. "Using solar power as an alternative source of electrical energy for street lighting in Ghana." **Innovative Technologies for an Efficient and Reliable Electricity Supply (CITRES)**, 2010 IEEE Conference on ,pp.467-471, 27-29 Sept. 2010
- [38] M.A. Dalla Costa, L. Schuch, L. Michels, C. Rech, J.R. Pinheiro, G.H. Costa. "Autonomous street lighting system based on solar energy and LEDs." **Industrial Technology (ICIT)**, 2010 IEEE International Conference on, pp.1143-1148, 14-17 March 2010
- [39] M. Fathi, A. Chikouche, M. Abderrazak. "Design and realization of LED Driver for solar street lighting applications." **Energy Procedia**, Volume 6, 2011, Pages 160-165
- [40] M. Becherif, D. Paire, A. Miraoui. "Energy management of solar panel and battery system with passive control." **Clean Electrical Power**, 2007. ICCEP '07. International Conference on, pp.14-19, 21-23 May 2007
- [41] Huang B-J, Chen C-W, Hsu P-C, Tseng W-M, Wu M-S. "Direct battery-driven solar led lighting using constant-power control." **Solar Energy** 2012. 86(11):3250-9.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [42] R.R. Chowdhury, M.S. Kabir, M.A. Arfat. "Electrification of streets of Dhaka City using smart solar system." **Informatics, Electronics & Vision (ICIEV)**, 2013 International Conference on, pp.1-4, 17-18 May 2013
- [43] S. Tunga, R. Panguloori, P. Mishra. "Optimal system sizing of weak grid interfaced solar outdoor lighting solution." **Advances in Green Energy (ICAGE)**, 2014 International Conference on, pp.278-283, 17-18 Dec. 2014
- [44] I.M. El-Amin, M.K. Ahmed. "Impact of a PV system on a power grid." in **Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM)**, 2014 International Symposium on, vol., no., pp.966-970, 18-20 June 2014
- [45] Yaow-Ming Chen, Hsu-Chin Wu, Yung-Chu Chen. "DC bus regulation strategy for grid-connected PV power generation system." **Sustainable Energy Technologies, 2008. ICSET 2008.** IEEE International Conference on, pp.437-442, 24-27 Nov. 2008
- [46] Xiangyang Gong, Manohar Kulkarni. "Design optimization of a large scale rooftop photovoltaic system." **Solar Energy**, Volume 78, Issue 3, March 2005, Pages 362-374
- [47] S. B. Kjaer, J. K. Pedersen, and F. Blaabjerg. "A review of singlephase grid-connected inverters for photovoltaic modules." **IEEE Trans. Ind. Appl.**, vol. 41, no. 5, pp. 1292-1306, Sep./Oct. 2005.
- [48] Y. Xue, L. Chang, S. B. Kjaer, J. Bordonau, and T. Shimizu. "Topologies of single-phase inverters for small distributed power generators: An overview." **IEEE Trans. Power Electron.**, vol. 19, no. 5, pp. 1305-1314, Sep. 2004.
- [49] Q. Li and P. Wolfs. "A review of the single phase photovoltaic module integrated converter topologies with three different DC link configurations." **IEEE Trans. Power Electron.**, vol. 23, no. 3, pp. 1320-1333, May 2008.
- [50] J. Lai. "Power conditioning circuit topologies." **IEEE Ind. Electron. Mag.**, vol. 3, no. 2, pp. 24-34, Jun. 2009.
- [51] A. Trubitsyn, B. J. Pierquet, A. K. Hayman, G. E. Gamache, C. R. Sullivan, and D. J. Perreault. "High-efficiency inverter for photovoltaic applications." in **Proc. IEEE Energy Convers. Congr. Expo.**, Sep. 2010, pp. 2803-2810.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [52] B. J. Pierquet and D. J. Perreault. "A single-phase photovoltaic inverter topology with a series-connected energy buffer." **IEEE Trans. Power Electron.**, vol. 28, no. 10, pp. 4603–4611, Oct. 2013.
- [53] P. T. Krein and R. S. Balog. "Cost-effective hundred-year life for singlephase inverters and rectifiers in solar and LED lighting applications based on minimum capacitance requirements and a ripple power port." in **Proc. IEEE Appl. Power Electron. Conf.**, Washington, DC, USA, Feb. 2009, pp. 620–625.
- [54] H. Hu, S. Harb, N. Kutkut, I. Batarseh, and Z. J. Shen. "A review of power decoupling techniques for microinverters with three different decoupling capacitor locations in PV systems." **IEEE Trans. Power Electron.**, vol. 28, no. 6, pp. 2711–2726, Jun. 2013
- [55] Song Chen, Peng Li, David Brady, Brad Lehman. "Determining the optimum grid-connected photovoltaic inverter size." **Solar Energy**, Volume 87, January 2013, Pages 96-116
- [56] E. Koutroulis, F. Blaabjerg. "Design optimization of grid-connected PV inverters." **Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)**, 2011 Twenty-Sixth Annual IEEE, pp.691-698, 6-11 March 2011
- [57] Minjie Chen, K.K. Afridi, D.J. Perreault. "A Multilevel Energy Buffer and Voltage Modulator for Grid-Interfaced Microinverters." **Power Electronics, IEEE Transactions on**, vol.30, no.3, pp.1203-1219, March 2015
- [58] G. Bayrak, M. Cebeci. "A novel lab view based anti-islanding detection method for grid connected PV systems." **Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)**, 2013 International Conference on, pp.549-554, 20-23 Oct. 2013
- [59] R. Hanna, J. Kleissl, A. Nottrott, M. Ferry. "Energy dispatch schedule optimization for demand charge reduction using a photovoltaic-battery storage system with solar forecasting." **Solar Energy**, Volume 103, May 2014, Pages 269-

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [60] A.S.A. Cardoso Diniz, L.D.V.B. Machado Neto, S.C.S. Costa, M.E.M. De Souza, F.H.A.F. Souza, W.C. Padrao, F.M.C. Michel, O.M. Toledo, D.O. Filho. "Development of a grid-connected photovoltaic-storage." **Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)**, 2014 IEEE 40th, vol., no., pp.2728,2733, 8-13 June 2014
- [61] สภาวิศวกร. **มาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพ**. “แนวทางการปฏิบัติด้านประสิทธิภาพพลังงานของคอมไฟถนน.” พิมพ์ครั้งที่ 1. กุมภาพันธ์ 2554
- [62] ข้อกำหนดและมาตรฐานทั่วไป งานติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง, กันยายน 2554
- [63] LIGHTING OF ROADS FOR MOTOR AND PEDESTRIAN TRAFFIC, technical report 2nd Edition, CIE 115:2010
- [64] ข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโรงจ่ายไฟฟ้า. เอกสารแนบท้ายประกาศหมายเลข 7.2. การไฟฟ้าภูมิภาค
- [65] ข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโรงจ่ายไฟฟ้า. เอกสารแนบท้ายประกาศหมายเลข 6.1. การไฟฟ้านครหลวง
- [66] Bhandari, Shyam B. (2009). " DISCOUNTED PAYBACK PERIOD-SOME EXTENSIONS." **ASBBS Annual Conference**: Las Vegas, Volume 16 Number 1.
- [67] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. **ประกาศราคากลาง**. เข้าถึงได้จากเว็บไซต์ : <http://www4.dede.go.th>
- [68] อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU) ในย่านพิกัดแรงดันต่ำ จากเว็บไซต์ <http://www.mea.or.th/>
- [69] U.S. Department of Energy. **LED Street Lighting**. Host Site: City of San Francisco. California. December 2008
- [70] CIE/PIARC. "**Road surfaces and lighting**." Joint technical report No.066, 1984.
- [71] CIE. "**Road Lighting for Wet Conditions**." Publication No. 47, 1979.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของพื้นผิวถนน

คุณสมบัติการสะท้อนแสงของผิวถนน ตามมาตรฐานก่อสร้างทาง พ.ศ. 2537 ของกรมทางหลวง ซึ่งออกแบบให้มีความเหมาะสมกับพื้นผิวถนนที่ก่อสร้างทั่วไป คือ ผิวคอนกรีตและลาดด้วยยางมะตอย แต่เมื่อผิวถนนเกิดการเปียกและ เกิดการสะท้อนแสงโดยตรงของผิวถนนเปียกที่ส่องสว่างมาก เป็นหย่อมๆ ทำให้ความสว่างของผิวถนนมีความสม่ำเสมอลดระดับลงและเกิดความจ้าตาเพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบต่อทัศนวิสัยของผู้ขับขี่ การจำลองระบบแสงสว่างไฟถนนเพื่อวิเคราะห์คุณภาพแสงสว่างกำหนดสมบัติการสะท้อนแสงของผิวถนน ซึ่งถูกแบ่งออกตามมาตรฐานของ CIE ในสภาวะพื้นผิวถนนแห้งแบ่งออกเป็น 4 แบบ โดยปริมาณของค่าสัมประสิทธิ์ความสว่างเฉลี่ย (Q_0) (R1 R2 R3 และ R4) และในสภาวะพื้นผิวถนนเปียกอีก 4 แบบ โดยปริมาณของค่าสัมประสิทธิ์ความสว่างเฉลี่ย (Q_0) (W1 W2 W3 และ W4) แสดงดังตารางที่ ก.1 เป็นตัวบ่งบอกคุณลักษณะการสะท้อนแสงของผิวถนน ในประเภทต่าง ๆ [70-71]

ตารางที่ ก.1 แสดงมาตรฐานระดับการสะท้อนแสงของผิวถนนทั้งในสภาวะผิวถนนแห้ง (R) และพื้นผิวถนนเปียก (W)

ลักษณะผิวถนน	ระดับผิวถนน	มาตรฐาน Q_0	ลักษณะผิวถนน
ผิวถนนแห้ง	R1	0.10	แทนผิวถนนคอนกรีตหรือผิวถนนลาดยางมะตอยที่ผสมหินบดและมีหินบดสีขาวสะท้อนแสงได้ดีไม่น้อยกว่า 12 % ของจำนวนหินบด
	R2	0.07	แทนผิวถนนลาดยางมะตอยที่ผสมหินบดที่สะท้อนแสงไม่ดีไม่น้อยกว่า 60 % ของจำนวนหินบด
	R3	0.07	แทน ผิวถนนลาดยางมะตอยที่ผสมหินบดสีทึบแสง
	R4	0.08	แทน ผิวถนนลาดด้วยยางมะตอยที่มีผิวเรียบมาก
ผิวถนนเปียก	W1	0.11	พื้นผิวถนนเปียกแต่ไม่ถึงกับท่วม
	W2	0.15	พื้นผิวถนนมีความเปียกมากกว่าระดับผิวถนน W1 แต่ไม่ถึงกับท่วม
	W3	0.20	พื้นผิวถนนมีความเปียกมากกว่าระดับผิวถนน W2 แต่ไม่ถึงกับท่วม
	W4	0.25	พื้นผิวถนนมีความเปียกมากกว่าระดับผิวถนน W3 แต่ไม่ถึงกับท่วม

ตารางที่ ก.2 แสดงค่าคุณภาพแสงสว่างในการใช้งานบนพื้นผิวถนนแห้ง กรณีถนนไม่มีเกาะกลาง

ประเภท พื้นผิว ถนน	ข้อมูล	มาตรฐาน	โคมไฟ HPS			โคมไฟ LED (LED Curve D)		
			ด้าน เดียว	ด้านตรง ข้าม	ด้านตรง ข้ามสลับ	ด้าน เดียว	ด้านตรง ข้าม	ด้านตรง ข้ามสลับ
R1	E_{av} (lux)	≥ 21.5	30	61	61	15	30	30
	E_{min} (lux)	ไม่มี	12	32	50	6.39	15	24
	E_{max} (lux)	ไม่มี	51	98	70	28	54	37
	U_0	≥ 0.4	0.396	0.535	0.823	0.432	0.503	0.795
	L_{av} (cd/m ²)	≥ 1.5	2.89	5.81	5.81	1.38	2.78	2.78
	U	≥ 0.4	0.61	0.73	0.81	0.65	0.70	0.83
	U_l	≥ 0.7	0.66	0.72	0.85	0.60	0.60	0.88
	TI (%)	≤ 10	10	/*	/*	9	10	6
	SL (W/cd.m ² /m ²)	≤ 1	0.40	0.40	0.40	0.35	0.34	0.34
R2	E_{av} (lux)	≥ 21.5	30	61	61	15	30	30
	E_{min} (lux)	ไม่มี	12	32	50	6.39	15	24
	E_{max} (lux)	ไม่มี	51	98	70	28	54	37
	U_0	≥ 0.4	0.396	0.535	0.823	0.432	0.503	0.795
	L_{av} (cd/m ²)	≥ 1.5	2.17	4.45	4.45	1.03	2.11	2.12
	U	≥ 0.4	0.63	0.74	0.73	0.70	0.73	0.75
	U_l	≥ 0.7	0.71	0.83	0.77	0.83	0.88	0.89
	TI (%)	≤ 10	13	15	9	12	13	7
	SL (W/cd.m ² /m ²)	≤ 1	0.53	0.52	0.52	0.46	0.45	0.45

หมายเหตุ : /* ไม่สามารถคำนวณได้ เนื่องจากในมาตรฐาน CIE (1976) ระบุไว้ว่าการประเมินค่าแสง
จ้าแยงตา ต้องคำนวณจากค่าความสว่างเฉลี่ยในช่วง $0.05 \text{ cd/m}^2 < L_{av} < 5 \text{ cd/m}^2$ เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ)

ประเภท พื้นผิว ถนน	ข้อมูล	มาตรฐาน	โคมไฟ HPS			โคมไฟ LED (LED Curve D)		
			ด้าน เดียว	ด้านตรง ข้าม	ด้านตรง ข้ามสลับ	ด้าน เดียว	ด้านตรง ข้าม	ด้านตรง ข้ามสลับ
R3	E_{av} (lux)	≥ 21.5	30	61	61	15	30	30
	E_{min} (lux)	ไม่มี	12	32	50	6.39	15	24
	E_{max} (lux)	ไม่มี	51	98	70	28	54	37
	U_0	≥ 0.4	0.396	0.535	0.823	0.432	0.503	0.795
	L_{av} (cd/m ²)	≥ 1.5	2.12	4.40	4.40	1	2.08	2.08
	U	≥ 0.4	0.59	0.66	0.66	0.63	0.67	0.68
	U_l	≥ 0.7	0.60	0.72	0.72	0.67	0.79	0.79
	TI (%)	≤ 10	13	15	9	12	13	7
	SL (W/cd.m ⁻² /m ²)	≤ 1	0.54	0.52	0.52	0.48	0.46	0.46
R4	E_{av} (lux)	≥ 21.5	30	61	61	15	30	30
	E_{min} (lux)	ไม่มี	12	32	50	6.39	15	24
	E_{max} (lux)	ไม่มี	51	98	70	28	54	37
	U_0	≥ 0.4	0.396	0.535	0.823	0.432	0.503	0.795
	L_{av} (cd/m ²)	≥ 1.5	2.31	4.83	4.84	1.08	2.26	2.26
	U	≥ 0.4	0.55	0.58	0.62	0.56	0.60	0.62
	U_l	≥ 0.7	0.56	0.67	0.73	0.58	0.69	0.75
	TI (%)	≤ 10	12	14	8	11	12	7
	SL (W/cd.m ⁻² /m ²)	≤ 1	0.50	0.48	0.48	0.44	0.42	0.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 แสดงค่าคุณภาพแสงสว่างในการใช้งานบนพื้นผิวถนนเปียก กรณีถนนไม่มีเกาะกลาง

ประเภท พื้นผิว ถนน	ข้อมูล	มาตรฐาน	โคมไฟ HPS			โคมไฟ LED (LED Curve D)		
			ด้าน เดียว	ด้านตรง ข้าม	ด้านตรง ข้ามสลับ	ด้าน เดียว	ด้านตรง ข้าม	ด้านตรง ข้ามสลับ
W1	E_{av} (lux)	≥ 21.5	30	61	61	15	30	30
	E_{min} (lux)	ไม่มี	12	32	50	6.39	15	24
	E_{max} (lux)	ไม่มี	51	98	70	28	54	37
	U_0	≥ 0.4	0.396	0.535	0.823	0.432	0.503	0.795
	L_{av} (cd/m ²)	≥ 1.5	4.33	9.23	9.24	2.05	4.36	4.37
	U	≥ 0.4	0.43	0.45	0.45	0.38	0.47	0.45
	U_l	≥ 0.7	0.33	0.43	0.56	0.33	0.41	0.52
	TI (%)	≤ 10	8	/*	/*	7	7	4
	SL (W/cd.m ² /m ²)	≤ 1	0.27	0.25	0.25	0.23	0.22	0.22
W2	E_{av} (lux)	≥ 21.5	30	61	61	15	30	30
	E_{min} (lux)	ไม่มี	12	32	50	6.39	15	24
	E_{max} (lux)	ไม่มี	51	98	70	28	54	37
	U_0	≥ 0.4	0.396	0.535	0.823	0.432	0.503	0.795
	L_{av} (cd/m ²)	≥ 1.5	5.90	12.78	12.81	2.75	5.96	5.98
	U	≥ 0.4	0.27	0.35	0.31	0.25	0.33	0.31
	U_l	≥ 0.7	0.26	0.32	0.45	0.20	0.26	0.38
	TI (%)	≤ 10	/*	/*	/*	5	/*	/*
	SL (W/cd.m ² /m ²)	≤ 1	0.20	0.18	0.18	0.17	0.16	0.16

หมายเหตุ : /* ไม่สามารถคำนวณได้ เนื่องจากในมาตรฐาน CIE (1976) ระบุไว้ว่าการประเมินค่าแสง
จ้าแยงตา ต้องคำนวณจากค่าความสว่างเฉลี่ยในช่วง $0.05 \text{ cd/m}^2 < L_{av} < 5 \text{ cd/m}^2$ เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ)

ประเภท พื้นผิว ถนน	ข้อมูล	มาตรฐาน	โคมไฟ HPS			โคมไฟ LED (LED Curve D)		
			ด้าน เดียว	ด้านตรง ข้าม	ด้านตรง ข้ามสลับ	ด้าน เดียว	ด้านตรง ข้าม	ด้านตรง ข้ามสลับ
W3	E_{av} (lux)	≥ 21.5	30	61	61	15	30	30
	E_{min} (lux)	ไม่มี	12	32	50	6.39	15	24
	E_{max} (lux)	ไม่มี	51	98	70	28	54	37
	U_0	≥ 0.4	0.396	0.535	0.823	0.432	0.503	0.795
	L_{av} (cd/m ²)	≥ 1.5	7.50	16.38	16.44	3.45	7.55	7.58
	U	≥ 0.4	0.17	0.29	0.24	0.16	0.25	0.23
	U_l	≥ 0.7	0.25	0.28	0.39	0.16	0.20	0.29
	TI (%)	≤ 10	/*	/*	/*	4	/*	/*
	SL (W/cd.m ⁻² /m ²)	≤ 1	0.15	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13
W4	E_{av} (lux)	≥ 21.5	30	61	61	15	30	30
	E_{min} (lux)	ไม่มี	12	32	50	6.39	15	24
	E_{max} (lux)	ไม่มี	51	98	70	28	54	37
	U_0	≥ 0.4	0.396	0.535	0.823	0.432	0.503	0.795
	L_{av} (cd/m ²)	≥ 1.5	7.96	17.50	17.58	3.56	7.88	7.92
	U	≥ 0.4	0.12	0.26	0.19	0.10	0.20	0.17
	U_l	≥ 0.7	0.25	0.28	0.35	0.14	0.17	0.22
	TI (%)	≤ 10	/*	/*	/*	4	/*	/*
	SL (W/cd.m ⁻² /m ²)	≤ 1	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12

หมายเหตุ : /* ไม่สามารถคำนวณได้ เนื่องจากในมาตรฐาน CIE (1976) ระบุไว้ว่าการประเมินค่าแสง
จ้าแยงตา ต้องคำนวณจากค่าความสว่างเฉลี่ยในช่วง $0.05 \text{ cd/m}^2 < L_{av} < 5 \text{ cd/m}^2$ เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 แสดงค่าคุณภาพแสงสว่างในการใช้งานบนพื้นผิวถนนแห้ง กรณีถนนมีเกาะกลาง

ประเภท พื้นผิว ถนน	ข้อมูล	มาตรฐาน	โคมไฟ HPS			โคมไฟ LED (LED Curve D)		
			ด้านตรง ข้าม	ด้านตรง ข้ามสลับ	กึ่งคูบน เกาะกลาง	ด้านตรง ข้าม	ด้านตรง ข้ามสลับ	กึ่งคูบน เกาะกลาง
R1	E_{av} (lux)	≥ 21.5	43	43	37	23	23	16
	E_{min} (lux)	ไม่มี	16	20	17	12	12	5.75
	E_{max} (lux)	ไม่มี	78	65	59	37	35	31
	U_0	≥ 0.4	0.381	0.465	0.448	0.499	0.503	0.369
	L_{av} (cd/m ²)	≥ 1.5	4.17	4.17	3.47	2.20	2.21	1.44
	U	≥ 0.4	0.55	0.60	0.65	0.69	0.65	0.56
	U_l	≥ 0.7	0.70	0.79	0.56	0.70	0.69	0.43
	TI (%)	≤ 10	11	9	10	9	7	9
	SL (W/cd.m ² /m ²)	≤ 1	0.25	0.25	0.30	0.20	0.20	0.30
R2	E_{av} (lux)	≥ 21.5	43	43	37	23	23	16
	E_{min} (lux)	ไม่มี	16	20	17	12	12	5.75
	E_{max} (lux)	ไม่มี	78	65	59	37	35	31
	U_0	≥ 0.4	0.381	0.465	0.448	0.499	0.503	0.369
	L_{av} (cd/m ²)	≥ 1.5	2.97	2.96	2.57	1.54	1.54	1.08
	U	≥ 0.4	0.62	0.57	0.74	0.70	0.69	0.58
	U_l	≥ 0.7	0.79	0.78	0.75	0.88	0.86	0.82
	TI (%)	≤ 10	14	12	12	12	9	11
	SL (W/cd.m ² /m ²)	≤ 1	0.35	0.35	0.40	0.28	0.28	0.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 (ต่อ)

ประเภทพื้นผิวถนน	ข้อมูล	มาตรฐาน	โคมไฟ HPS			โคมไฟ LED (LED Curve D)		
			ด้านตรงข้าม	ด้านตรงข้ามสลับ	กึ่งคูบนเกาะกลาง	ด้านตรงข้าม	ด้านตรงข้ามสลับ	กึ่งคูบนเกาะกลาง
R3	E_{av} (lux)	≥ 21.5	43	43	37	23	23	16
	E_{min} (lux)	ไม่มี	16	20	17	12	12	5.75
	E_{max} (lux)	ไม่มี	78	65	59	37	35	31
	U_0	≥ 0.4	0.381	0.465	0.448	0.499	0.503	0.369
	L_{av} (cd/m ²)	≥ 1.5	2.82	2.82	2.47	1.45	1.45	1.04
	U	≥ 0.4	0.58	0.56	0.70	0.65	0.67	0.56
	U_l	≥ 0.7	0.67	0.62	0.73	0.70	0.76	0.73
	TI (%)	≤ 10	14	12	12	13	10	11
	SL (W/cd.m ² /m ²)	≤ 1	0.37	0.37	0.42	0.30	0.30	0.41
R4	E_{av} (lux)	≥ 21.5	43	43	37	23	23	16
	E_{min} (lux)	ไม่มี	16	20	17	12	12	5.75
	E_{max} (lux)	ไม่มี	78	65	59	37	35	31
	U_0	≥ 0.4	0.381	0.465	0.448	0.499	0.503	0.369
	L_{av} (cd/m ²)	≥ 1.5	2.99	2.99	2.68	1.51	1.51	1.12
	U	≥ 0.4	0.55	0.52	0.60	0.60	0.61	0.54
	U_l	≥ 0.7	0.61	0.59	0.64	0.61	0.67	0.58
	TI (%)	≤ 10	14	11	11	12	9	10
	SL (W/cd.m ² /m ²)	≤ 1	0.35	0.35	0.39	0.28	0.28	0.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 แสดงค่าคุณภาพแสงสว่างในการใช้งานบนพื้นผิวถนนเปียก กรณีถนนมีเกาะกลาง

ประเภท พื้นผิว ถนน	ข้อมูล	มาตรฐาน	โคมไฟ HPS			โคมไฟ LED (LED Curve D)		
			ด้านตรง ข้าม	ด้านตรง ข้ามสลับ	กึ่งคูบน เกาะกลาง	ด้านตรง ข้าม	ด้านตรง ข้ามสลับ	กึ่งคูบน เกาะกลาง
W1	E_{av} (lux)	≥ 21.5	43	43	37	23	23	16
	E_{min} (lux)	ไม่มี	16	20	17	12	12	5.75
	E_{max} (lux)	ไม่มี	78	65	59	37	35	31
	U_0	≥ 0.4	0.381	0.465	0.448	0.499	0.503	0.369
	L_{av} (cd/m ²)	≥ 1.5	5.07	5.09	4.94	2.51	2.52	2.14
	U	≥ 0.4	0.47	0.43	0.45	0.51	0.51	0.40
	U_l	≥ 0.7	0.36	0.35	0.38	0.36	0.36	0.33
	TI (%)	≤ 10	/*	/*	7	8	6	6
	SL (W/cd.m ² /m ²)	≤ 1	0.20	0.20	0.21	0.17	0.17	0.20
W2	E_{av} (lux)	≥ 21.5	43	43	37	23	23	16
	E_{min} (lux)	ไม่มี	16	20	17	12	12	5.75
	E_{max} (lux)	ไม่มี	78	65	59	37	35	31
	U_0	≥ 0.4	0.381	0.465	0.448	0.499	0.503	0.369
	L_{av} (cd/m ²)	≥ 1.5	6.57	6.56	6.63	3.16	3.16	2.87
	U	≥ 0.4	0.40	0.38	0.28	0.36	0.39	0.25
	U_l	≥ 0.7	0.28	0.27	0.29	0.22	0.23	0.20
	TI (%)	≤ 10	/*	/*	/*	6	5	5
	SL (W/cd.m ² /m ²)	≤ 1	0.16	0.16	0.16	0.14	0.14	0.15

หมายเหตุ : /* ไม่สามารถคำนวณได้ เนื่องจากในมาตรฐาน CIE (1976) ระบุไว้ว่าการประเมินค่าแสง
จ้าแยงตา ต้องคำนวณจากค่าความสว่างเฉลี่ยในช่วง $0.05 \text{ cd/m}^2 < L_{av} < 5 \text{ cd/m}^2$ เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 (ต่อ)

ประเภทพื้นผิวถนน	ข้อมูล	มาตรฐาน	โคมไฟ HPS			โคมไฟ LED (LED Curve D)		
			ด้านตรงข้าม	ด้านตรงข้าม สลั้บ	กิ่งคู่บน เกาะกลาง	ด้านตรง ข้าม	ด้านตรงข้าม สลั้บ	กิ่งคู่บน เกาะกลาง
W3	E_{av} (lux)	≥ 21.5	43	43	37	23	23	16
	E_{min} (lux)	ไม่มี	16	20	17	12	12	5.75
	E_{max} (lux)	ไม่มี	78	65	59	37	35	31
	U_0	≥ 0.4	0.381	0.465	0.448	0.499	0.503	0.369
	L_{av} (cd/m ²)	≥ 1.5	8.11	8.16	8.32	3.82	3.85	3.59
	U	≥ 0.4	0.28	0.30	0.19	0.27	0.27	0.17
	U_l	≥ 0.7	0.26	0.25	0.27	0.17	0.17	0.15
	TI (%)	≤ 10	/*	/*	/*	5	4	4
	SL (W/cd.m ² /m ²)	≤ 1	0.13	0.13	0.12	0.11	0.11	0.12
W4	E_{av} (lux)	≥ 21.5	43	43	37	23	23	16
	E_{min} (lux)	ไม่มี	16	20	17	12	12	5.75
	E_{max} (lux)	ไม่มี	78	65	59	37	35	31
	U_0	≥ 0.4	0.381	0.465	0.448	0.499	0.503	0.369
	L_{av} (cd/m ²)	≥ 1.5	8.47	8.46	8.83	3.88	3.87	3.73
	U	≥ 0.4	0.19	0.20	0.16	0.19	0.18	0.13
	U_l	≥ 0.7	0.26	0.25	0.25	0.15	0.15	0.13
	TI (%)	≤ 10	/*	/*	/*	5	4	4
	SL (W/cd.m ² /m ²)	≤ 1	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.12

หมายเหตุ : /* ไม่สามารถคำนวณได้ เนื่องจากในมาตรฐาน CIE (1976) ระบุไว้ว่าการประเมินค่าแสงจ้าแยงตา ต้องคำนวณจากค่าความสว่างเฉลี่ยในช่วง $0.05 \text{ cd/m}^2 < L_{av} < 5 \text{ cd/m}^2$ เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ตารางผลการจำลองระบบแสงสว่างไฟถนนในกรณีปรับความสูงและระยะห่างระหว่าง
เสาไฟถนน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 แสดงค่าคุณภาพแสงสว่างจากการปรับความสูงเสาไฟถนน ในกรณีถนนไม่มีเกาะกลาง

ข้อมูล	มาตรฐาน	ความสูงเสาไฟถนน (เมตร)											
		ด้านเดียว				ด้านตรงข้าม				ด้านตรงข้ามสลับ			
		6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9
E_{av} (lux)	≥ 21.5	21	18	16	15	41	37	33	30	41	37	33	30
E_{min} (lux)	ไม่มี	4.25	5.58	6.18	6.39	12	14	15	15	27	26	25	24
E_{max} (lux)	ไม่มี	60	45	35	28	102	81	65	54	68	54	44	37
U_0	≥ 0.4	0.205	0.303	0.376	0.432	0.298	0.386	0.452	0.503	0.658	0.717	0.770	0.795
L_{av} (cd/m ²)	≥ 1.5	1.33	1.21	1.09	1.00	2.74	2.49	2.26	2.08	2.74	2.49	2.26	2.08
U	≥ 0.4	0.29	0.39	0.52	0.63	0.38	0.48	0.57	0.67	0.50	0.55	0.62	0.68
U_l	≥ 0.7	0.23	0.35	0.53	0.67	0.34	0.48	0.65	0.79	0.50	0.60	0.72	0.79
TI (%)	≤ 10	26	16	15	12	25	19	15	13	15	11	9	7
SL (W/cd.m ⁻² /m ²)	≤ 1	0.36	0.39	0.44	0.48	0.35	0.38	0.42	0.46	0.35	0.38	0.42	0.46

ตารางที่ ข.2 แสดงค่าคุณภาพแสงสว่างจากการปรับระยะห่างระหว่างเสาไฟถนน ในกรณีถนนไม่มีเกาะกลาง

ข้อมูล	มาตรฐาน	ระยะห่างระหว่างเสาไฟถนน (เมตร)														
		ด้านเดียว					ด้านตรงข้าม					ด้านตรงข้ามสลับ				
		32	34	36	38	40	32	34	36	38	40	32	34	36	38	40
E_{av} (lux)	≥ 21.5	17	16	15	14	13	33	31	30	28	27	33	31	30	28	27
E_{min} (lux)	ไม่มี	8.02	7.17	6.39	5.51	5.07	18	17	15	13	12	27	25	24	22	21
E_{max} (lux)	ไม่มี	29	29	28	28	28	56	55	54	54	53	41	38	37	37	35
U_0	≥ 0.4	0.481	0.457	0.432	0.393	0.380	0.552	0.529	0.503	0.466	0.450	0.820	0.805	0.795	0.785	0.779
L_{av} (cd/m ²)	≥ 1.5	1.13	1.06	1.00	0.95	0.91	2.33	2.20	2.08	1.97	1.87	2.34	2.20	2.08	1.97	1.87
U	≥ 0.4	0.63	0.64	0.63	0.60	0.54	0.75	0.71	0.67	0.61	0.57	0.70	0.68	0.68	0.65	0.64
U_l	≥ 0.7	0.77	0.72	0.67	0.61	0.54	0.86	0.84	0.79	0.72	0.65	0.84	0.82	0.79	0.76	0.74
TI (%)	≤ 10	11	11	12	12	13	12	12	13	13	14	7	7	7	7	8
SL (W/cd.m ⁻² /m ²)	≤ 1	0.42	0.45	0.48	0.50	0.52	0.41	0.43	0.46	0.48	0.51	0.41	0.43	0.46	0.48	0.51

ตารางที่ ข.3 แสดงค่าคุณภาพแสงสว่างจากการปรับความสูงเสาไฟถนน ในกรณีถนนมีเกาะกลาง

ข้อมูล	มาตรฐาน	ความสูงเสาไฟถนน (เมตร)											
		ด้านตรงข้าม				ด้านตรงข้ามสลับ				กึ่งคูบนเกาะกลาง			
		6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9
E_{av} (lux)	≥ 21.5	26	25	24	23	26	25	24	23	21	19	17	16
E_{min} (lux)	ไม่มี	5.55	8.24	10	12	5.47	7.89	9.89	12	2.49	4.01	5.03	5.75
E_{max} (lux)	ไม่มี	62	49	42	37	62	49	40	35	62	47	38	31
U_0	≥ 0.4	0.216	0.330	0.428	0.499	0.213	0.316	0.411	0.503	0.120	0.214	0.296	0.369
L_{av} (cd/m ²)	≥ 1.5	1.61	1.56	1.50	1.45	1.60	1.56	1.50	1.45	1.32	1.22	1.12	1.04
U	≥ 0.4	0.29	0.39	0.52	0.65	0.29	0.40	0.54	0.67	0.20	0.30	0.41	0.56
U_t	≥ 0.7	0.26	0.38	0.57	0.70	0.25	0.39	0.60	0.76	0.22	0.34	0.55	0.73
TI (%)	≤ 10	23	16	14	13	23	16	12	10	22	16	13	11
SL (W/cd.m ⁻² /m ²)	≤ 1	0.27	0.28	0.29	0.30	0.27	0.28	0.29	0.30	0.33	0.35	0.38	0.41

ตารางที่ ข.4 แสดงค่าคุณภาพแสงสว่างจากการปรับระยะห่างระหว่างเสาไฟถนน ในกรณีถนนมีเกาะกลาง

ข้อมูล	มาตรฐาน	ระยะห่างระหว่างเสาไฟถนน (เมตร)														
		ด้านตรงข้าม					ด้านตรงข้ามสลับ					กึ่งคูบนเกาะกลาง				
		32	34	36	38	40	32	34	36	38	40	32	34	36	38	40
E_{av} (lux)	≥ 21.5	26	24	23	22	21	26	24	23	22	21	18	16	16	15	14
E_{min} (lux)	ไม่มี	14	13	12	10	9.58	14	13	12	11	9.85	7.25	6.35	5.75	5.12	4.48
E_{max} (lux)	ไม่มี	38	37	37	36	36	38	36	35	35	34	32	31	31	31	31
U_0	≥ 0.4	0.529	0.514	0.499	0.472	0.460	0.535	0.518	0.503	0.484	0.473	0.414	0.385	0.369	0.348	0.320
L_{av} (cd/m ²)	≥ 1.5	1.62	1.53	1.45	1.37	1.30	1.63	1.53	1.45	1.37	1.30	1.17	1.10	1.04	0.99	0.94
U	≥ 0.4	0.72	0.69	0.65	0.60	0.55	0.74	0.71	0.67	0.63	0.58	0.65	0.62	0.56	0.49	0.44
U_l	≥ 0.7	0.80	0.75	0.70	0.64	0.60	0.83	0.79	0.76	0.69	0.63	0.82	0.78	0.73	0.65	0.56
TI (%)	≤ 10	11	12	13	13	13	9	9	10	10	10	10	10	11	11	12
SL (W/cd.m ⁻² /m ²)	≤ 1	0.27	0.28	0.30	0.31	0.33	0.27	0.28	0.30	0.31	0.33	0.37	0.39	0.41	0.43	0.46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์

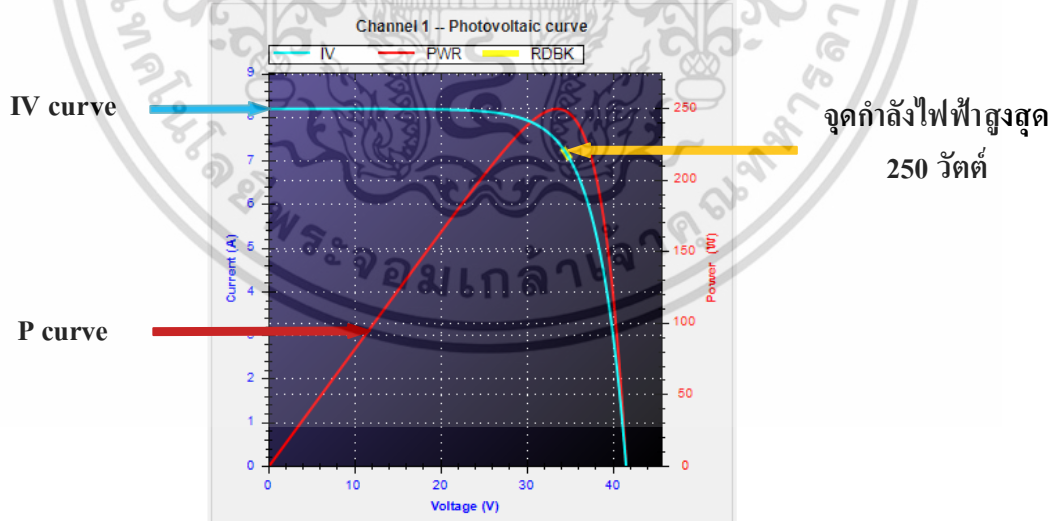
ในการศึกษาระบบแสงสว่างไฟถนนร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ การจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเครื่องจำลองพฤติกรรมพลังงานแสงอาทิตย์ จะให้คุณลักษณะทางไฟฟ้ามีค่าเทียบเท่ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการใช้งานจริง สามารถสร้างพฤติกรรมของกระแส แรงดันและกำลังไฟฟ้า ที่สามารถปรับเปลี่ยนตามค่าสภาพภูมิอากาศได้

คุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

- เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell)
- ขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 250 วัตต์
- แรงดันไฟฟ้าที่กําลังสูงสุด 33.5 โวลต์
- กระแสไฟฟ้าที่กําลังสูงสุด 7.46 แอมป์
- แรงดันไฟฟ้าเมื่อเปิดวงจร 41.5 โวลต์
- กระแสไฟฟ้าลัดวงจร 8.2 แอมป์

คิดจากสภาพมาตรฐานที่ความเข้มแสง 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ ค.1 แสดงพฤติกรรมทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง มีลักษณะกราฟเส้นโค้งของกระแสและแรงดัน (I-V curve), กราฟเส้นโค้งกำลังไฟฟ้า (P curve) และจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งลักษณะของเส้นกราฟและจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเหล่านี้จะแปรเปลี่ยนตามสภาพภูมิอากาศตามค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง

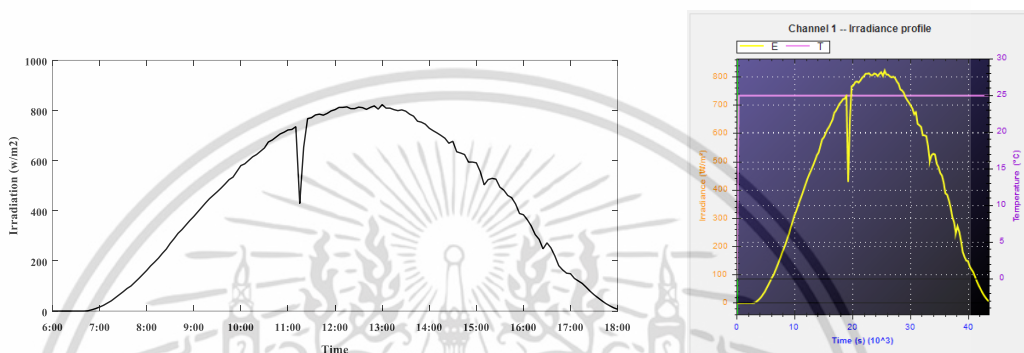


รูปที่ ค.1 กราฟคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดกำลัง 250 วัตต์

ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง เป็นค่าจากการเก็บค่าข้อมูลจริงในทุก ๆ 5 นาที ตั้งแต่เวลา 6.00 – 18.00 นาฬิกา ของทุกวัน ในระยะเวลา 1 ปี ซึ่งค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์จะมีค่าที่แตกต่างกันไปในแต่ละวันตามฤดูกาล แบ่งเป็น 3 ฤดูกาล ได้แก่ 1. ฤดูร้อน (กลางเดือนกุมภาพันธ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงกลางเดือนพฤษภาคม) 2. ฤดูฝน (กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม) 3. ฤดูหนาว (กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์) โดยค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์จากการวัดจริงจะถูกนำมาปรีตเป็นกราฟเพื่อใช้จำลองพฤติกรรมพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละเดือนแทนการเก็บค่าจากแผงเซลล์สุริยะทั้งหมด 12 เดือน แต่ในการทดลองพบว่า 1 กรณีศึกษาต้องใช้เวลา 12 ชั่วโมง ดังนั้นในการทดลองจึงทำการปรับตัวคูณเร่งเวลาเป็น 30 เท่าของเวลาจริง ดังนั้นใน 1 กรณีศึกษาจึงใช้เวลาทดลองเหลือ 24 นาที

ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนมกราคม

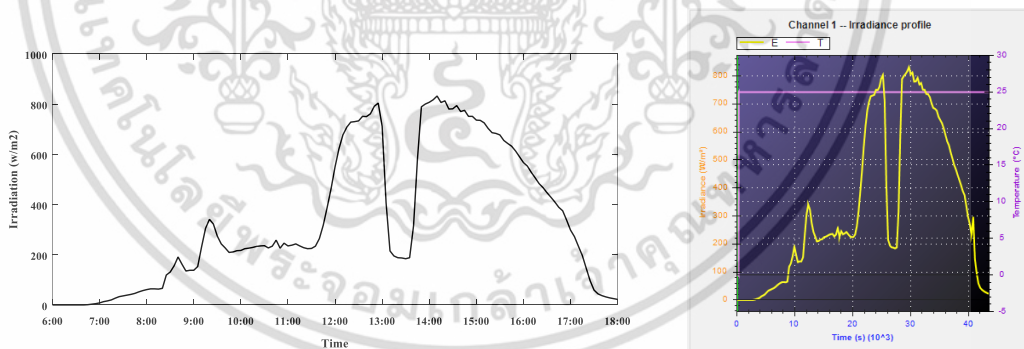


(ก) จากการเก็บข้อมูลจริง

(ข) การทดลอง

รูปที่ ค.2 แสดงลักษณะกราฟความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนมกราคม

ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนกุมภาพันธ์



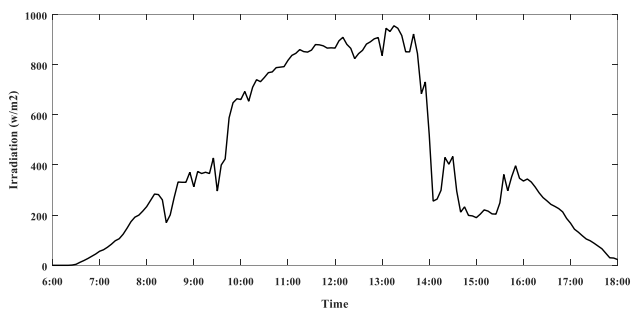
(ก) จากการเก็บข้อมูลจริง

(ข) การทดลอง

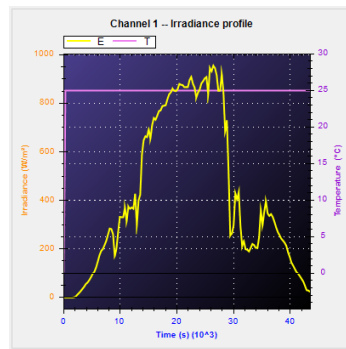
รูปที่ ค.3 แสดงลักษณะกราฟความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนกุมภาพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนมีนาคม



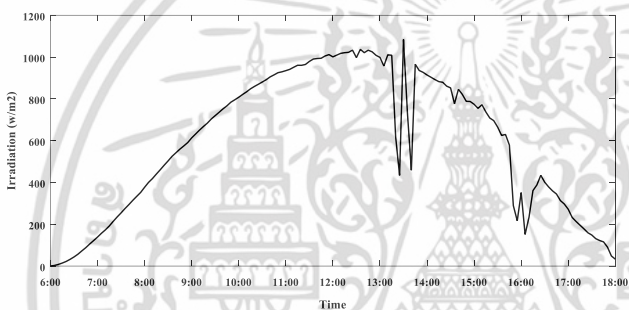
(ก) จากการเก็บข้อมูลจริง



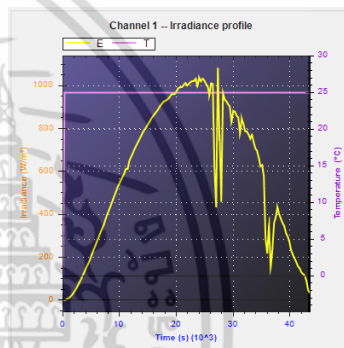
(ข) การทดลอง

รูปที่ ค.4 แสดงลักษณะกราฟความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนมีนาคม

ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนเมษายน



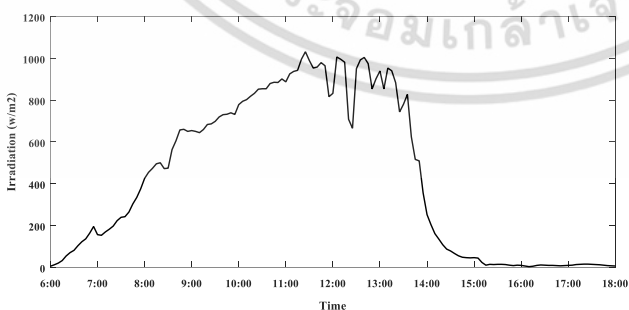
(ก) จากการเก็บข้อมูลจริง



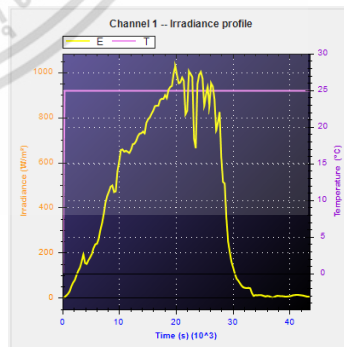
(ข) การทดลอง

รูปที่ ค.5 แสดงลักษณะกราฟความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนเมษายน

ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนพฤษภาคม



(ก) จากการเก็บข้อมูลจริง

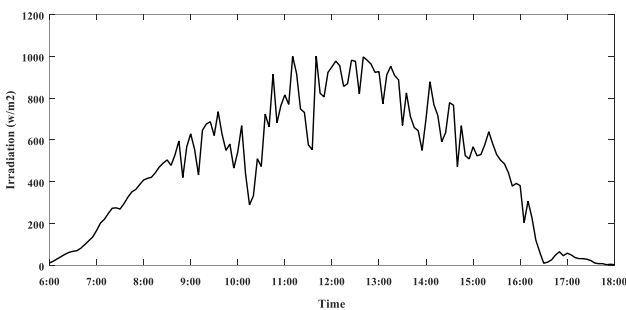


(ข) การทดลอง

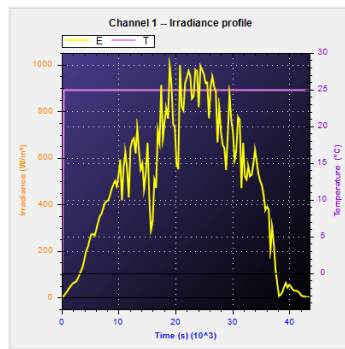
รูปที่ ค.6 แสดงลักษณะกราฟความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนพฤษภาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนมิถุนายน



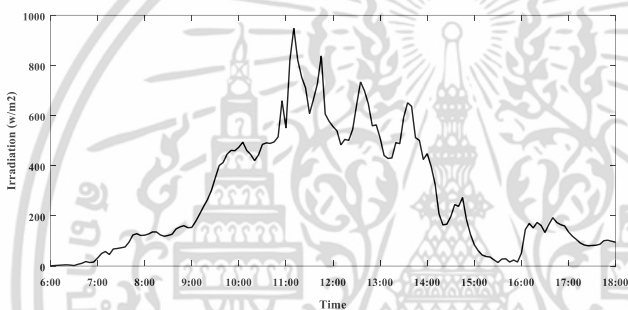
(ก) จากการเก็บข้อมูลจริง



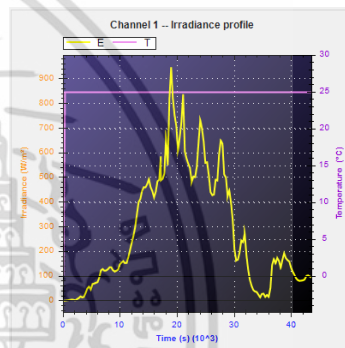
(ข) การทดลอง

รูปที่ ค.7 แสดงลักษณะกราฟความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนมิถุนายน

ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนกรกฎาคม



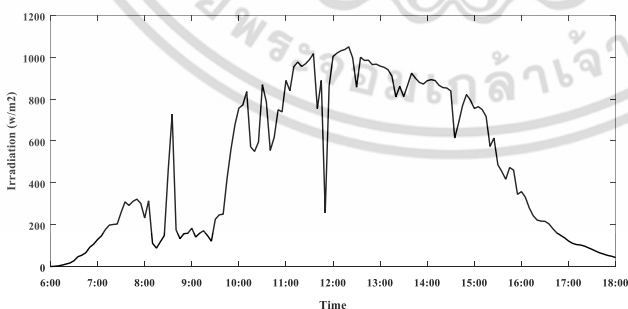
(ก) จากการเก็บข้อมูลจริง



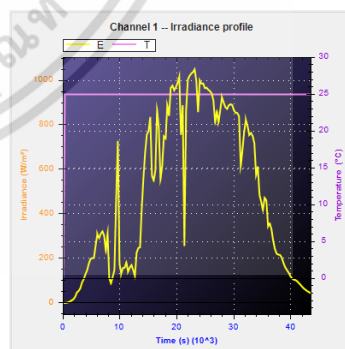
(ข) การทดลอง

รูปที่ ค.8 แสดงลักษณะกราฟความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนกรกฎาคม

ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนสิงหาคม



(ก) จากการเก็บข้อมูลจริง

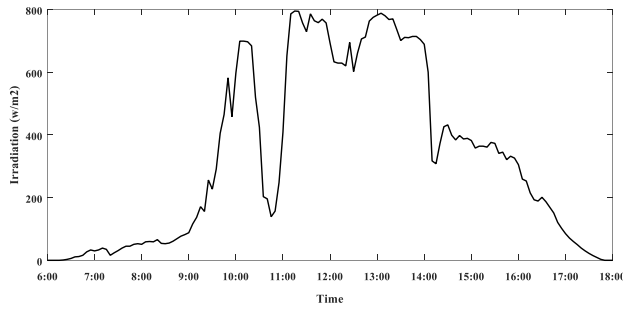


(ข) การทดลอง

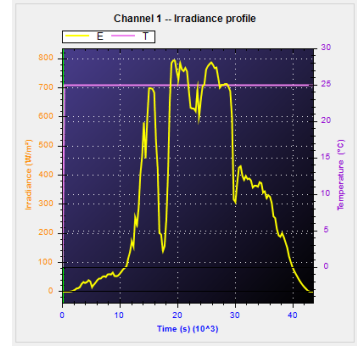
รูปที่ ค.9 แสดงลักษณะกราฟความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนสิงหาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนกันยายน



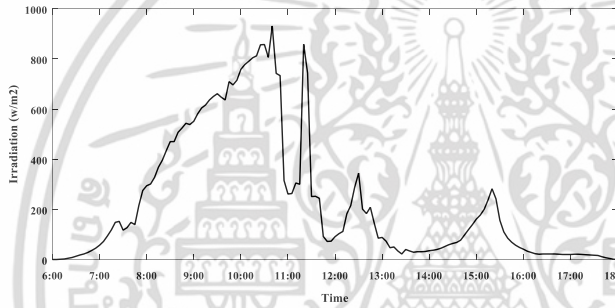
(ก) จากการเก็บข้อมูลจริง



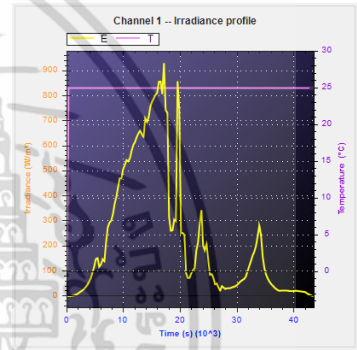
(ข) การทดลอง

รูปที่ ค.10 แสดงลักษณะกราฟความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนกันยายน

ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนตุลาคม



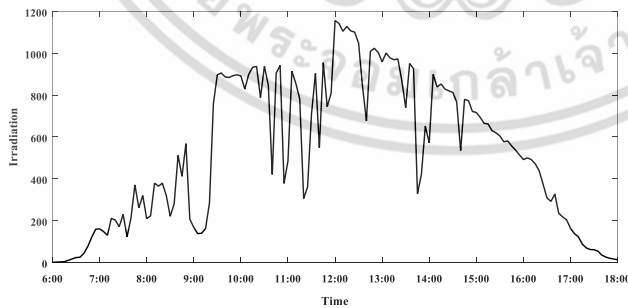
(ก) จากการเก็บข้อมูลจริง



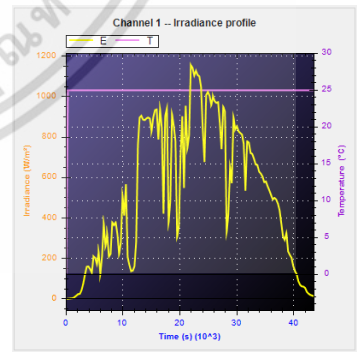
(ข) การทดลอง

รูปที่ ค.11 แสดงลักษณะกราฟความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนตุลาคม

ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนพฤศจิกายน



(ก) จากการเก็บข้อมูลจริง

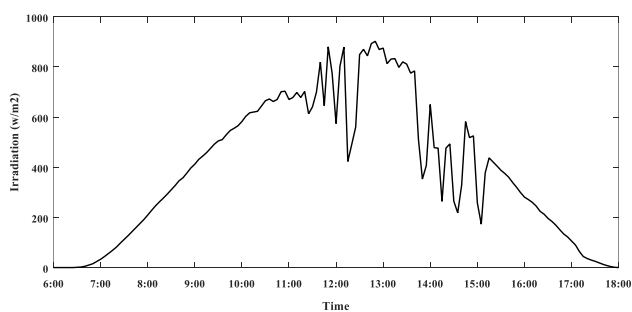


(ข) การทดลอง

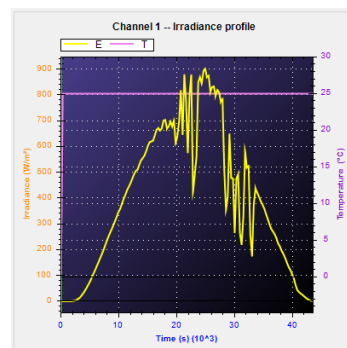
รูปที่ ค.12 แสดงลักษณะกราฟความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนพฤศจิกายน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนธันวาคม



(ก) จากการเก็บข้อมูลจริง



(ข) การทดลอง

รูปที่ ค.13 แสดงลักษณะกราฟความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในเดือนธันวาคม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง
ผลการทดลองประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในเดือนมกราคม

ผลการศึกษาทดลองเดือนมกราคม							
เวลา (นาฬิกา)	ความเข้มรังสี แสงอาทิตย์ (W/m ²)	แผงเซลล์สุริยะ			แบตเตอรี่		
		I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)	P (W)
6.00	0	0.1	0.0	0	0.6	24.9	0
7.00	16	0.3	28.1	7	0.4	24.9	0
8.00	162	1.6	29.1	48	1.2	25.1	31
9.00	377	3.4	30.2	104	3.3	25.5	84
10.00	580	5.0	31.3	155	5.1	25.9	132
11.00	722	6.0	32.5	195	6.4	26.3	169
12.00	803	6.6	33.3	220	7.2	26.6	193
13.00	823	6.6	33.6	220	7.2	26.7	193
14.00	729	5.8	34.0	198	6.4	26.7	171
15.00	591	4.5	33.9	153	4.9	26.5	129
16.00	384	3.0	33.9	102	3.1	26.2	81
17.00	149	1.1	33.3	37	0.8	28.5	20
18.00	7	0.2	31.0	7	0.4	25.5	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.2 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในเดือน
กุมภาพันธ์

ผลการศึกษาทดลองเดือนกุมภาพันธ์							
เวลา (นาฬิกา)	ความเข้มรังสี แสงอาทิตย์ (W/m ²)	แผงเซลล์สุริยะ			แบตเตอรี่		
		I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)	P (W)
6.00	0	0.1	0.0	0	0.5	24.9	0
7.00	8	0.2	27.9	6	0.4	24.9	0
8.00	61	0.6	29.4	18	0.2	25.0	2
9.00	138	1.3	29.9	39	0.9	25.2	22
10.00	217	1.9	30.8	59	1.7	25.4	42
11.00	235	2.1	30.7	64	1.8	25.4	96
12.00	550	4.8	31.8	151	5.0	25.9	128
13.00	711	5.3	33.5	177	5.7	26.4	152
14.00	807	6.5	34.5	223	7.3	26.6	195
15.00	736	5.8	35.3	204	6.6	26.8	177
16.00	567	4.5	35.2	157	5.0	26.5	133
17.00	298	2.5	33.8	83	2.4	26.1	63
18.00	22	0.2	29.9	7	0.4	25.6	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.3 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในเดือน มีนาคม

ผลการศึกษาทดลองเดือนมีนาคม							
เวลา (นาฬิกา)	ความเข้มรังสี แสงอาทิตย์ (W/m ²)	แผงเซลล์สุริยะ			แบตเตอรี่		
		I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)	P (W)
6.00	0	0.1	0.1	0	0.0	24.9	0
7.00	56	0.6	28.5	17	0.1	25.0	1
8.00	234	2.2	29.8	66	1.9	25.2	48
9.00	313	3.0	29.9	89	2.8	25.5	70
10.00	661	5.7	30.7	175	5.8	26.0	151
11.00	817	6.9	31.6	216	7.2	26.6	189
12.00	866	7.3	32.1	233	7.6	26.9	205
13.00	836	7.3	32.3	236	7.7	27.0	207
14.00	520	3.1	31.4	99	3.0	26.4	78
15.00	190	1.8	30.6	54	1.4	25.9	36
16.00	336	3.0	30.8	91	2.7	26.1	71
17.00	168	1.4	30.0	43	1.0	25.8	26
18.00	23	0.3	31.2	8	0.4	25.6	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.4 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในเดือน
เมษายน

ผลการศึกษาดทดลองเดือนเมษายน							
เวลา (นาฬิกา)	ความเข้มรังสี แสงอาทิตย์ (W/m ²)	แผงเซลล์สุริยะ			แบตเตอรี่		
		I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)	P (W)
6.00	0.2	0.1	37.0	2	0.5	24.9	0
7.00	139	1.8	28.9	52	1.4	25.1	35
8.00	377	3.9	30.0	116	3.7	25.6	95
9.00	613	5.6	31.8	179	5.9	26.1	154
10.00	808	6.9	33.7	232	7.7	26.6	204
11.00	935	7.6	35.0	265	8.7	27.0	234
12.00	1001	8.0	35.4	282	9.2	27.3	250
13.00	998	7.0	34.8	243	7.9	27.2	213
14.00	914	6.9	35.6	244	7.9	27.1	215
15.00	774	5.7	35.4	204	6.5	26.9	176
16.00	351	3.1	33.4	105	3.1	26.2	83
17.00	272	1.7	31.8	54	1.4	26.0	35
18.00	33	0.4	31.0	11	0.3	25.7	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.5 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในเดือน พฤษภาคม

ผลการศึกษาดทดลองเดือนพฤษภาคม							
เวลา (นาฬิกา)	ความเข้มรังสี แสงอาทิตย์ (W/m ²)	แผงเซลล์สุริยะ			แบตเตอรี่		
		I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)	P (W)
6.00	5	0.0	0.5	0.0	0.1	25.0	0
7.00	156	1.3	27.5	35.0	1.4	25.2	34
8.00	425	2.7	28.6	77.0	2.9	25.6	74
9.00	654	5.5	30.5	168.0	6.1	26.4	161
10.00	778	6.1	31.4	191.0	6.8	26.9	183
11.00	887	7.2	33.1	237.0	8.2	27.7	227
12.00	832	5.7	40.2	237.0	7.9	28.7	225
13.00	939	4.6	41.8	191.0	6.5	27.9	180
14.00	252	3.3	38.9	130.0	4.5	27.0	122
15.00	46	0.5	32.8	15.0	0.5	25.9	12
16.00	9	0.2	31.9	7.0	0.2	25.7	4
17.00	9	0.2	31.7	7.0	0.2	25.6	4
18.00	6	0.2	29.6	7.0	0.2	25.6	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.6 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในเดือน มิถุนายน

ผลการศึกษาทดลองเดือนมิถุนายน							
เวลา (นาฬิกา)	ความเข้มรังสี แสงอาทิตย์ (W/m ²)	แผงเซลล์สุริยะ			แบตเตอรี่		
		I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)	P (W)
6.00	11	0.1	0.0	0	0.1	25.0	0
7.00	166	0.7	28.8	20	0.7	25.1	18
8.00	408	2.6	30.3	79	2.9	25.5	75
9.00	629	4.1	30.8	126	4.6	26.0	120
10.00	542	6.1	31.5	191	6.8	26.6	182
11.00	815	5.9	31.8	190	6.7	26.6	181
12.00	949	4.7	32.0	154	5.3	26.7	146
13.00	927	6.7	33.9	226	7.8	27.5	215
14.00	701	6.6	33.4	223	7.7	27.5	212
15.00	567	6.3	32.7	206	7.2	27.4	196
16.00	381	4.3	31.9	136	4.8	26.9	129
17.00	58	0.2	29.5	7	0.2	25.9	4
18.00	3	0.2	29.8	7	0.2	25.7	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.7 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในเดือนกรกฎาคม

ผลการศึกษาดลองเดือนกรกฎาคม							
เวลา (นาฬิกา)	ความเข้มรังสี แสงอาทิตย์ (W/m ²)	แผงเซลล์สุริยะ			แบตเตอรี่		
		I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)	P (W)
6.00	1	0.1	0.0	0	0.1	25.0	0
7.00	32	0.2	29.1	7	0.1	25.0	3
8.00	123	1.0	28.9	31	1.1	25.2	28
9.00	154	1.4	29.5	42	1.5	25.3	38
10.00	474	3.7	31.2	115	4.2	25.8	109
11.00	550	4.1	32.3	134	4.8	26.2	126
12.00	838	6.4	33.3	214	7.5	26.9	203
13.00	734	5.5	33.5	185	6.5	26.9	175
14.00	637	4.7	33.6	157	5.3	26.8	148
15.00	238	2.2	32.3	72	2.5	26.1	67
16.00	52	0.3	29.8	8	0.2	25.6	4
17.00	160	1.6	31.7	52	1.8	25.9	48
18.00	95	0.9	31.4	28	1.0	25.7	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.8 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในเดือนสิงหาคม

ผลการศึกษาทดลองเดือนสิงหาคม							
เวลา (นาฬิกา)	ความเข้มรังสี แสงอาทิตย์ (W/m ²)	แผงเซลล์สุริยะ			แบตเตอรี่		
		I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)	P (W)
6.00	0	0.1	0.0	0	0.1	25.0	0
7.00	129	0.7	28.1	20	0.6	25.1	14
8.00	232	2.8	30.2	83	2.9	25.5	75
9.00	183	1.3	29.5	38	1.2	25.5	31
10.00	757	3.7	33.5	124	4.4	25.8	113
11.00	889	5.1	34.6	175	6.2	26.5	161
12.00	1004	6.5	35.9	215	7.9	27.2	199
13.00	958	7.4	36.9	272	9.1	27.8	254
14.00	888	6.9	36.2	249	8.4	27.7	232
15.00	755	6.1	35.5	217	7.3	27.3	201
16.00	358	3.9	34.4	132	4.5	26.7	121
17.00	122	1.4	33.6	47	1.5	26.1	39
18.00	43	0.6	32.2	19	0.5	25.8	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.9 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในเดือน กันยายน

ผลการศึกษาดทดลองเดือนกันยายน							
เวลา (นาฬิกา)	ความเข้มรังสี แสงอาทิตย์ (W/m ²)	แผงเซลล์สุริยะ			แบตเตอรี่		
		I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)	P (W)
6.00	1	0.1	0.0	0.0	0.1	24.9	0
7.00	161	0.3	27.1	8.0	0.2	25.0	6
8.00	210	2.0	28.9	60.0	2.1	25.3	56
9.00	168	2.1	29.0	60.0	2.2	25.5	57
10.00	892	7.5	31.0	231.0	8.3	26.3	220
11.00	914	7.7	31.9	244.0	8.6	26.9	232
12.00	745	6.0	32.9	192.0	7.0	26.7	182
13.00	1156	8.2	34.4	282.0	9.7	27.6	267
14.00	717	6.3	33.3	208.0	7.3	27.1	197
15.00	855	6.6	33.7	223.0	7.7	27.3	211
16.00	492	5.0	32.7	165.0	5.8	26.9	156
17.00	163	2.7	31.6	86.0	3.0	26.4	80
18.00	13	0.6	30.7	20.0	0.6	25.8	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.10 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในเดือน ตุลาคม

ผลการศึกษาดทดลองเดือนตุลาคม							
เวลา (นาฬิกา)	ความเข้มรังสี แสงอาทิตย์ (W/m ²)	แผงเซลล์สุริยะ			แบตเตอรี่		
		I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)	P (W)
6.00	0	0.1	0.0	0	0.1	25.0	0
7.00	57	0.1	37.1	3	0.1	25.0	0
8.00	294	1.2	27.5	34	1.2	25.2	32
9.00	551	4.1	29.5	120	4.4	25.8	114
10.00	758	5.5	30.5	167	6.0	26.3	159
11.00	858	6.8	31.2	211	7.5	26.8	200
12.00	91	2.3	30.2	69	2.5	26.1	646
13.00	88	1.8	30.5	56	2.0	25.9	52
14.00	35	0.4	29.6	12	0.3	25.5	9
15.00	41	0.7	31.3	21	0.7	25.5	19
16.00	48	1.1	32.2	33	1.2	25.7	30
17.00	20	0.3	30.8	9	0.2	25.4	5
18.00	7	0.3	30.0	8	0.2	25.4	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.11 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในเดือน พฤศจิกายน


ผลการศึกษาทดลองเดือนพฤศจิกายน							
เวลา (นาฬิกา)	ความเข้มรังสี แสงอาทิตย์ (W/m ²)	แผงเซลล์สุริยะ			แบตเตอรี่		
		I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)	P (W)
6.00	0	0.1	0.0	0	0.1	24.9	0
7.00	30	0.1	38.2	3	0.1	25.0	0
8.00	51	0.5	31.9	17	0.5	25.0	14
9.00	88	0.8	32.4	25	0.9	25.1	22
10.00	597	4.2	32.8	138	5.1	25.8	131
11.00	409	1.8	32.0	61	2.1	25.7	57
12.00	693	6.1	34.2	210	7.4	26.8	200
13.00	782	6.2	34.3	213	7.5	27.0	202
14.00	689	5.8	33.9	195	6.9	27.0	185
15.00	382	3.3	31.9	106	3.8	26.4	101
16.00	305	2.9	31.5	91	3.3	26.3	85
17.00	85	1.1	30.1	32	1.1	25.9	29
18.00	0	0.1	0.0	0	0.1	25.6	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.12 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในเดือน ธันวาคม

ผลการศึกษาดลองเดือนธันวาคม							
เวลา (นาฬิกา)	ความเข้มรังสี แสงอาทิตย์ (W/m ²)	แผงเซลล์สุริยะ			แบตเตอรี่		
		I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)	P (W)
6.00	0	0.1	0.0	0	0.1	25.0	0
7.00	33	0.3	27.9	8	0.1	25.0	1
8.00	209	1.7	28.2	49	1.8	25.3	46
9.00	412	3.4	29.1	100	3.7	25.7	95
10.00	582	4.8	30.3	146	5.3	26.0	138
11.00	670	5.9	31.5	185	6.6	26.6	176
12.00	574	6.6	32.6	216	7.6	27.0	205
13.00	875	7.1	33.8	239	8.3	27.4	227
14.00	437	3.4	32.4	111	3.9	26.5	104
15.00	478	4.4	32.6	143	5.1	26.6	136
16.00	281	2.6	32.0	84	8.0	26.3	79
17.00	106	1.2	31.0	37	1.3	25.9	34
18.00	8	0.3	28.9	7	0.2	25.6	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ
ผลการทดลองการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.1 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายในเดือนมกราคม

ผลการศึกษาดทดลองเดือนมกราคม														
เวลา (นาฬิกา)	ความเข้มรังสี แสงอาทิตย์ (W/m ²)	แผงเซลล์สุริยะ			ระบบจำหน่าย									
		I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)	P (W)	Q (Var)	S (VA)	PF	f (Hz)	% THDi	% THDv	
6.00	0	0.0	0.3	0	0.1	227.5	0	24	29	0.00	50	8.0	1.4	
7.00	16	0.1	34.4	3	0.1	229.8	3	24	30	0.10	50	8.1	1.4	
8.00	162	1.4	34.7	50	0.2	229.8	49	6	52	0.95	50	22.6	1.5	
9.00	377	3.1	34.9	108	0.5	230.0	106	6	106	1.00	50	7.6	1.4	
10.00	580	4.5	35.4	157	0.7	229.9	154	2	155	1.00	50	7.1	1.5	
11.00	722	5.3	36.0	193	0.8	230.6	188	8	189	0.99	50	4.5	1.4	
12.00	803	6.0	35.9	215	0.9	230.4	209	7	210	0.99	50	4.4	1.4	
13.00	823	6.0	35.8	214	0.9	230.6	208	7	209	0.99	50	4.4	1.4	
14.00	729	5.3	35.8	190	0.8	230.5	185	12	186	0.99	50	4.1	1.5	
15.00	591	4.0	35.1	141	0.6	230.7	137	2	139	0.99	50	8.2	1.4	
16.00	384	2.7	35.1	95	0.4	230.7	91	-3	94	0.98	50	20.5	1.4	
17.00	149	1.0	33.7	34	0.2	230.4	33	8	38	0.87	50	34.6	1.4	
18.00	7	0.0	0.5	0	0.1	227.8	0	24	29	0.00	50	7.7	1.4	

ตารางที่ จ.2 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายในเดือนกุมภาพันธ์

ผลการศึกษาดลองเดือนกุมภาพันธ์														
เวลา (นาฬิกา)	ความเข้มรังสี แสงอาทิตย์ (W/m ²)	แผงเซลล์สุริยะ			ระบบจำหน่าย									
		I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)	P (W)	Q (Var)	S (VA)	PF	f (Hz)	% THDi	% THDv	
6.00	0	0.0	0.2	0	0.1	227.8	0	24	29	0.00	50	7.8	1.4	
7.00	8	0.0	39.0	0	0.1	230.9	3	24	29	0.09	50	8.0	1.4	
8.00	61	0.6	29.4	17	0.1	229.6	16	14	28	0.56	50	51.5	1.4	
9.00	138	1.8	33.1	59	0.3	230.2	58	7	60	0.97	50	20.5	1.4	
10.00	217	1.7	34.9	61	0.3	230.4	59	7	61	0.97	50	16.8	1.4	
11.00	235	1.9	34.2	65	0.3	230.1	64	7	66	0.98	50	15.1	1.4	
12.00	550	4.9	36.1	177	0.8	230.3	173	0	174	0.99	50	6.6	1.4	
13.00	711	2.1	27.4	61	0.3	229.4	60	7	62	0.97	50	14.2	1.4	
14.00	807	6.2	35.7	220	0.9	230.5	214	6	215	0.99	50	4.4	1.5	
15.00	736	5.4	35.8	193	0.8	230.4	188	11	189	0.99	50	4.1	1.5	
16.00	567	4.0	35.1	142	0.6	230.6	138	2	139	1.00	50	8.4	1.5	
17.00	298	1.9	34.4	65	0.3	231.1	63	7	65	0.98	50	14.9	1.4	
18.00	22	0.0	0.4	0	0.1	227.8	0	24	29	0.00	50	8.3	1.4	

ตารางที่ จ.3 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายในเดือนมีนาคม

ผลการศึกษาดทดลองเดือนมีนาคม													
เวลา (นาฬิกา)	ความเข้มรังสี แสงอาทิตย์ (W/m ²)	แผงเซลล์สุริยะ			ระบบจำหน่าย								
		I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)	P (W)	Q (Var)	S (VA)	PF	f (Hz)	% THDi	% THDv
6.00	0	0.0	0.3	0	0.2	229.2	0	24	27	0.00	50	8.9	1.6
7.00	56	0.0	38.9	1	0.2	232.3	0	24	48	0.00	50	8.9	1.6
8.00	234	1.7	33.9	58	0.3	231.3	46	5	69	0.67	50	20.2	1.6
9.00	313	3.0	35.2	98	0.5	231.9	87	6	105	0.83	50	8.7	1.6
10.00	661	5.0	35.6	176	0.8	231.7	161	3	177	0.91	50	6.0	1.6
11.00	817	5.8	36.0	210	0.9	232.0	194	11	209	0.93	50	4.1	1.6
12.00	866	6.4	35.9	230	1.0	232.0	212	20	229	0.93	50	3.1	1.6
13.00	836	6.7	36.1	240	1.0	232.5	222	20	238	0.93	50	3.1	1.6
14.00	520	5.5	35.3	193	0.8	232.5	178	9	194	0.92	50	4.5	1.6
15.00	190	1.5	34.8	53	0.3	232.5	43	6	67	0.64	50	21.1	1.5
16.00	336	2.7	34.7	94	0.4	232.8	83	7	102	0.82	50	8.5	1.5
17.00	168	1.5	34.7	51	0.3	232.7	41	6	65	0.62	50	21.6	1.5
18.00	23	0.3	30.5	8	0.2	232.2	0	20	48	0.00	50	38.6	1.6

ตารางที่ จ.4 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายในเดือนเมษายน

ผลการศึกษาดลองเดือนเมษายน														
เวลา (นาฬิกา)	ความเข้มรังสี แสงอาทิตย์ (W/m ²)	แผงเซลล์สุริยะ			ระบบจำหน่าย									
		I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)	P (W)	Q (Var)	S (VA)	PF	f (Hz)	% THDi	% THDv	
6.00	0.2	0.1	31.8	2	0.2	232.3	0	23	49	0.00	50	8.8	1.6	
7.00	139	1.2	34.2	39	0.2	232.8	28	9	57	0.49	50	28.1	1.6	
8.00	377	3.0	34.7	103	0.5	232.7	91	6	109	0.83	50	8.1	1.5	
9.00	613	4.6	35.8	163	0.7	233.0	148	2	164	0.90	50	6.9	1.6	
10.00	808	6.0	35.7	216	0.9	233.7	199	8	214	0.93	50	4.5	1.6	
11.00	935	7.2	34.3	245	1.0	233.0	227	20	243	0.94	50	3.0	1.6	
12.00	1001	6.4	38.2	245	1.0	233.7	227	18	244	0.93	50	3.2	1.5	
13.00	998	6.5	37.9	245	1.0	233.7	227	19	244	0.93	50	3.2	1.6	
14.00	914	6.6	36.4	241	1.0	233.9	223	19	239	0.93	50	3.1	1.5	
15.00	774	5.7	35.6	204	0.9	233.4	188	11	203	0.92	50	4.2	1.6	
16.00	351	2.3	31.5	73	0.4	233.2	63	6	83	0.76	50	12.1	1.5	
17.00	272	2.0	34.9	70	0.3	233.5	59	6	80	0.74	50	14.6	1.6	
18.00	33	0.0	26.8	1	0.2	230.3	0	24	48	0.00	50	23.5	1.5	

ตารางที่ จ.5 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายในเดือนพฤษภาคม

ผลการศึกษาดลองเดือนพฤษภาคม													
เวลา (นาฬิกา)	ความเข้มรังสี แสงอาทิตย์ (W/m ²)	แผงเซลล์สุริยะ			ระบบจำหน่าย								
		I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)	P (W)	Q (Var)	S (VA)	PF	f (Hz)	% THDi	% THDv
6.00	5	0.0	37.8	1	0.1	233.0	1	25	25	0.00	50	9.6	1.8
7.00	156	1.4	34.0	47	0.2	232.6	42	7	44	0.95	50	24.3	1.9
8.00	425	3.6	35.8	128	0.5	233.0	123	-5	125	0.98	50	13.7	1.8
9.00	654	4.9	35.6	173	0.7	232.6	166	2	168	0.99	50	6.1	1.8
10.00	778	6.0	36.0	215	0.9	233.7	206	7	208	0.99	50	4.2	1.9
11.00	887	6.6	37.2	245	1.0	233.1	235	20	239	0.98	50	2.8	1.9
12.00	832	6.5	38.0	246	1.0	233.2	236	18	240	0.98	50	3.0	1.9
13.00	939	6.5	37.4	245	1.0	232.9	235	20	239	0.98	50	2.8	1.9
14.00	252	1.2	34.2	41	0.2	231.4	37	7	40	0.93	50	27.9	1.8
15.00	46	0.2	22.8	4	0.1	231.4	2	23	24	0.10	50	27.7	1.8
16.00	9	0.2	31.5	6	0.1	231.9	2	23	22	0.10	50	35.0	1.8
17.00	9	0.2	32.9	6	0.1	232.3	3	20	22	0.10	50	34.7	1.8
18.00	6	0.0	0.2	0	0.1	229.7	0	24	24	0.00	50	9.8	1.8

ตารางที่ จ.6 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายในเดือนมิถุนายน

ผลการศึกษาดลองเดือนมิถุนายน													
เวลา (นาฬิกา)	ความเข้มรังสี แสงอาทิตย์ (W/m ²)	แผงเซลล์สุริยะ			ระบบจำหน่าย								
		I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)	P (W)	Q (Var)	S (VA)	PF	f (Hz)	% THDi	% THDv
6.00	11	0.0	0.7	0	0.1	229.9	0	24	25	0.00	50	10.0	1.9
7.00	166	0.0	40.3	2	0.1	233.1	0	24	24	0.02	50	9.9	1.9
8.00	408	2.6	35.1	90	0.4	232.2	84	3	85	0.98	50	11.6	1.8
9.00	629	4.3	35.4	150	0.6	232.1	144	4	146	0.99	50	7.1	1.8
10.00	542	4.5	35.0	156	0.7	232.3	150	1	152	0.99	50	7.1	1.8
11.00	815	6.1	34.3	204	0.9	231.9	195	7	197	0.99	50	4.4	1.8
12.00	949	6.6	36.3	239	1.0	232.7	229	16	233	0.98	50	3.0	1.8
13.00	927	6.4	38.0	245	1.0	233.0	236	19	240	0.98	50	3.0	1.8
14.00	701	5.1	35.7	182	0.8	232.3	175	12	178	0.99	50	3.9	1.7
15.00	567	4.2	36.2	153	0.6	233.0	147	1	149	0.99	50	8.5	1.8
16.00	381	3.5	35.1	124	0.5	232.6	118	-6	121	0.98	50	14.5	1.6
17.00	58	0.2	39.2	8	0.1	233.3	4	17	20	0.21	50	47.6	1.7
18.00	3	0.2	38.1	9	0.1	242.7	5	17	20	0.24	50	45.2	1.7

ตารางที่ จ.7 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายในเดือนกรกฎาคม

ผลการศึกษาดลองเดือนกรกฎาคม														
เวลา (นาฬิกา)	ความเข้มรังสี แสงอาทิตย์ (W/m ²)	แผงเซลล์สุริยะ			ระบบจำหน่าย									
		I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)	P (W)	Q (Var)	S (VA)	PF	f (Hz)	% THDi	% THDv	
6.00	1	0.0	0.8	0	0.1	229.8	0	24	24	0.00	50	8.9	1.6	
7.00	32	0.1	37.2	3	0.1	232.5	1	24	24	0.03	50	13.2	1.7	
8.00	123	1.0	34.5	33	0.1	232.3	30	8	33	0.89	50	39.7	1.6	
9.00	154	1.3	33.8	42	0.2	232.6	38	8	41	0.94	50	27.6	1.6	
10.00	474	3.4	35.2	118	0.5	232.4	113	-4	116	0.98	50	15.3	1.5	
11.00	550	3.8	35.6	132	0.6	232.3	126	-6	129	0.98	50	13.3	1.5	
12.00	838	6.2	35.8	220	0.9	232.1	211	9	214	0.99	50	3.9	1.6	
13.00	734	4.8	35.7	172	0.7	232.6	165	1	167	0.99	50	6.3	1.7	
14.00	637	4.0	34.4	137	0.6	232.8	131	2	133	0.99	50	8.6	1.7	
15.00	238	2.0	35.4	73	0.3	232.6	69	4	70	0.98	50	14.3	1.7	
16.00	52	0.2	29.8	6	0.1	231.7	2	21	23	0.10	50	33.3	1.6	
17.00	160	1.3	34.9	47	0.2	232.6	42	7	44	0.95	50	25.0	1.6	
18.00	95	0.8	33.8	28	0.1	232.3	24	9	29	0.83	50	47.7	1.6	

ตารางที่ จ.8 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายในเดือนสิงหาคม

ผลการศึกษาดทดลองเดือนสิงหาคม														
เวลา (นาฬิกา)	ความเข้มรังสี แสงอาทิตย์ (W/m ²)	แผงเซลล์สุริยะ			ระบบจำหน่าย									
		I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)	P (W)	Q (Var)	S (VA)	PF	f (Hz)	% THDi	% THDv	
6.00	0	0.1	0.3	0	0.1	229.9	0	24	24	0.00	50	8.9	1.6	
7.00	129	1.4	33.8	48	0.2	232.1	44	7	46	0.96	50	24.5	1.5	
8.00	232	1.0	30.8	29	0.1	231.5	26	9	30	0.87	50	27.1	1.7	
9.00	183	1.2	34.7	43	0.2	231.9	40	7	42	0.94	50	27.6	1.6	
10.00	757	6.0	36.0	221	1.0	232.6	211	6	214	0.99	50	4.1	1.7	
11.00	889	7.4	34.2	253	1.1	232.1	242	16	245	0.99	50	2.8	1.6	
12.00	1004	6.3	38.7	244	1.0	232.7	235	21	239	0.98	50	2.7	1.6	
13.00	958	6.6	37.0	244	1.0	232.8	234	19	238	0.98	50	2.8	1.6	
14.00	888	6.5	36.2	235	1.0	232.8	225	19	229	0.98	50	2.9	1.6	
15.00	755	5.6	35.7	199	0.8	233.0	191	7	193	0.99	50	4.3	1.6	
16.00	358	2.2	33.5	75	0.3	232.0	71	5	73	0.98	50	12.5	1.6	
17.00	122	0.9	32.9	29	0.1	232.5	26	9	30	0.85	50	44.2	1.7	
18.00	43	0.0	0.5	0	0.1	230.5	0	24	25	0.00	50	9.2	1.6	

ตารางที่ จ.9 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายในเดือนกันยายน

ผลการศึกษาดลองเดือนกันยายน														
เวลา (นาฬิกา)	ความเข้มรังสี แสงอาทิตย์ (W/m ²)	แผงเซลล์สุริยะ			ระบบจำหน่าย									
		I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)	P (W)	Q (Var)	S (VA)	PF	f (Hz)	% THDi	% THDv	
6.00	1	0.0	0.7	0	0.1	229.8	0	24	24	0.00	50	8.8	1.6	
7.00	161	0.0	40.7	5	0.1	234.2	1	25	25	0.02	50	8.5	1.5	
8.00	210	1.2	32.9	44	0.2	233.1	40	7	43	0.94	50	25.1	1.5	
9.00	168	2.1	34.4	70	0.3	233.2	66	5	60	0.98	50	14.8	1.5	
10.00	892	6.6	36.4	239	1.0	233.3	228	20	231	0.98	50	2.7	1.5	
11.00	914	6.4	36.2	230	1.0	233.0	221	20	225	0.98	50	2.8	1.5	
12.00	745	6.1	36.9	225	0.9	233.3	215	18	219	0.98	50	3.7	1.5	
13.00	1156	6.6	36.0	237	1.0	233.2	227	18	231	0.98	50	2.9	1.5	
14.00	717	6.9	34.6	237	1.0	233.1	227	17	230	0.99	50	3.1	1.6	
15.00	855	5.8	35.9	207	0.9	233.4	198	8	201	0.99	50	4.2	1.5	
16.00	492	4.4	35.3	156	0.6	233.1	149	1	151	0.99	50	7.5	1.5	
17.00	163	2.3	34.6	80	0.3	232.9	76	4	78	0.99	50	12.6	1.5	
18.00	13	0.4	27.1	14	0.1	232.1	12	17	24	0.48	50	49.4	1.5	

ตารางที่ จ.10 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายในเดือนตุลาคม

ผลการศึกษาดลองเดือนตุลาคม														
เวลา (นาฬิกา)	ความเข้มรังสี แสงอาทิตย์ (W/m ²)	แผงเซลล์สุริยะ			ระบบจำหน่าย									
		I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)	P (W)	Q (Var)	S (VA)	PF	f (Hz)	% THDi	% THDv	
6.00	0	0.0	0.2	0	0.1	229.3	0	24	24	0.00	50	9.1	1.7	
7.00	57	0.4	34.0	15	0.1	231.8	12	14	22	0.54	50	53.2	1.6	
8.00	294	2.3	34.6	79	0.3	231.7	73	5	74	0.98	50	12.7	1.7	
9.00	551	4.1	35.6	147	0.6	232.2	141	2	143	0.99	50	8.0	1.7	
10.00	758	5.6	35.9	201	0.8	231.8	193	9	196	0.99	50	4.0	1.7	
11.00	858	2.2	30.2	67	0.3	230.8	64	7	65	0.98	50	12.9	1.7	
12.00	91	0.8	32.1	25	0.1	231.1	22	10	27	0.81	50	48.9	1.7	
13.00	88	0.7	34.0	23	0.1	231.4	20	10	26	0.77	50	54.7	1.7	
14.00	35	0.3	29.4	10	0.1	230.7	7	19	23	0.28	50	43.9	1.7	
15.00	41	1.3	34.3	44	0.2	231.7	40	7	43	0.95	50	26.6	1.8	
16.00	48	0.4	29.3	11	0.1	231.2	8	18	23	0.35	50	47.3	1.7	
17.00	20	0.2	40.5	10	0.1	233.1	6	16	20	0.28	50	52.7	1.7	
18.00	7	0.0	16.8	0	0.1	229.8	0	24	24	0.00	50	9.0	1.6	

ตารางที่ จ.11 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายในเดือนพฤศจิกายน

ผลการศึกษาดลองเดือนพฤศจิกายน														
เวลา (นาฬิกา)	ความเข้มรังสี แสงอาทิตย์ (W/m ²)	แผงเซลล์สุริยะ			ระบบจำหน่าย									
		I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)	P (W)	Q (Var)	S (VA)	PF	f (Hz)	% THDi	% THDv	
6.00	0	0.0	0.7	0	0.1	229.6	0	24	24	0.00	50	9.0	1.7	
7.00	30	0.0	36.4	2	0.1	232.0	0	24	24	0.00	50	8.9	1.6	
8.00	51	0.0	38.9	2	0.1	232.7	1	24	24	0.00	50	9.2	1.7	
9.00	88	0.6	23.9	14	0.1	230.5	11	18	24	0.47	50	45.6	1.7	
10.00	597	3.2	33.7	108	0.4	231.6	103	4	104	0.99	50	8.1	1.7	
11.00	409	1.6	32.7	52	0.2	231.5	49	5	51	0.97	50	20.9	1.6	
12.00	693	5.7	35.4	203	0.8	232.0	197	6	194	0.99	50	4.4	1.7	
13.00	782	5.2	36.0	187	0.8	232.0	180	10	182	0.99	50	4.1	1.7	
14.00	689	5.3	35.9	189	0.8	232.4	181	8	183	0.99	50	4.4	1.7	
15.00	382	3.0	34.7	103	0.4	231.8	98	-2	100	0.98	50	17.9	1.7	
16.00	305	2.7	34.8	92	0.4	232.3	89	6	90	0.99	50	9.0	1.6	
17.00	85	1.3	34.1	45	0.2	232.2	43	7	45	0.95	50	24.7	1.6	
18.00	0	0.2	29.7	5	0.1	231.4	2	21	23	0.11	50	19.0	1.7	

ตารางที่ จ.12 แสดงคุณภาพไฟฟ้าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายในเดือนธันวาคม

ผลการศึกษาดทดลองเดือนธันวาคม														
เวลา (นาฬิกา)	ความเข้มรังสี แสงอาทิตย์ (W/m ²)	แผงเซลล์สุริยะ			ระบบจำหน่าย									
		I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)	P (W)	Q (Var)	S (VA)	PF	f (Hz)	% THDi	% THDv	
6.00	0	0.0	0.4	0	0.1	229.6	0	24	24	0.00	50	8.8	1.6	
7.00	33	0.2	36.4	5	0.1	232.2	1	24	24	0.00	50	9.2	1.7	
8.00	209	1.3	34.4	45	0.2	232.3	42	7	44	0.95	50	26.1	1.6	
9.00	412	2.8	35.3	98	0.4	232.5	93	5	95	0.99	50	8.7	1.6	
10.00	582	4.2	35.2	147	0.6	232.1	140	4	142	0.99	50	7.1	1.6	
11.00	670	5.1	36.0	182	0.8	232.3	173	11	176	0.99	50	4.2	1.6	
12.00	574	5.4	37.4	201	0.8	232.3	193	10	196	0.99	50	4.1	1.7	
13.00	875	6.5	36.4	237	1.0	232.1	227	19	231	0.98	50	2.8	1.7	
14.00	437	3.6	31.8	110	0.5	231.9	105	-3	107	0.98	50	14.8	1.7	
15.00	478	4.1	35.9	146	0.6	232.3	139	4	141	0.99	50	7.3	1.7	
16.00	281	2.5	35.5	88	0.4	232.2	84	2	35	0.99	50	11.6	1.6	
17.00	106	1.1	34.0	39	0.2	232.1	35	8	38	0.93	50	29.7	1.6	
18.00	8	0.2	34.9	7	0.1	231.8	3	19	22	0.16	50	39.5	1.6	

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นาย สันฐิติ อยู่มาก
วัน เดือน ปีเกิด	3 เมษายน 2535 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ
ที่อยู่	150 ตรอกข้างร.วัดโพธิ์นิมิตร แขวงบางยี่เรือ เขตธนบุรี จังหวัดกรุงเทพฯ 10600
ประวัติการศึกษา	2556 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานวิจัย	ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการและ วารสารวิชาการระดับนานาชาติทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าระหว่างศึกษา ปริญญาโท ซึ่งตีพิมพ์ในการประชุมชื่อ 7th International Exergy, Energy and Environment Symposium (IEES-7)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้