รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาชุดควบคุมแสงสว่างแบบชาญฉลาดเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับดวงโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงในระบบแสงสว่างไฟถนน

Intelligent Illumination Control for Road Lighting using Internet Protocol Camera

นายอรรถพล เง่าพิทักษ์กุล

นายชัยยันต์ เจตนาเสน

นายชานนท์ วริสาร

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาชุดควบคุมแสงสว่างแบบชาญฉลาดเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับดวงโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงในระบบแสงสว่างไฟถนน

Intelligent Illumination Control for Road Lighting using Internet Protocol Camera

นายอรรถพล เง่าพิทักษ์กุล

นายชัยยันต์ เจตนาเสน

นายชานนท์ วริสาร

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การพัฒนาชุดควบคุมแสงสว่างแบบชาญฉลาดเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับดวงโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงในระบบแสงสว่างไฟถนน
แหล่งเงิน งบประมาณแผ่นดิน
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 920,000 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม พ.ศ. 2558 ถึง กันยายน พ.ศ. 2559
หัวหน้าโครงการ รศ.ดร. อรรถพล เง่าพิทักษ์กุล หน่วยงานต้นสังกัด คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ร่วมโครงการวิจัย ผศ.ดร. ชัยยันต์ เจตนาเสน หน่วยงานต้นสังกัด คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ดร. ชานนท์ วริสาร หน่วยงานต้นสังกัด วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอวิธีการควบคุมหลอดไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode) แบบอัจฉริยะ ซึ่งเกิดจากแนวคิดว่าระบบไฟถนนไม่จำเป็นต้องใช้ความสว่างสูงสุดตลอดเวลา โดยในขณะที่ไม่มียานพาหนะจะลดความสว่างลง ส่วนขณะที่การจราจรหนาแน่นจะมีความสว่างสูงสุดเพื่อความปลอดภัย การออกแบบวงจรควบคุมความสว่างมีการติดตั้งกล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (Internet Protocol Camera) ควบคู่กับการใช้โปรแกรมแลปวิว (LabVIEW) โดยที่กล้องนั้นสามารถตรวจจับความเคลื่อนไหวของยานพาหนะที่ผ่านกล้องซึ่งติดอยู่บริเวณก่อนถึงโคมไฟถนน ได้จากแสงไฟหน้ารถและการเคลื่อนไหวของรถ จากนั้นส่งสัญญาณไปยังวงจรควบคุมความสว่างของหลอดไฟ ด้วยเทคนิคสัญญาณที่สามารถปรับความกว้างของพัลส์ได้ (PWM) นอกจากนี้ยังมีตัวต้านทานไวแสงมาใช้ควบคุมการเปิด-ปิดของหลอดไฟถนน โดยติดตั้งการทดลองชุดควบคุมความสว่างในห้องจำลอง เพื่อวัดความสว่างและประสิทธิภาพของหลอดไฟ จากการทดลองพบว่าชุดควบคุมความสว่างของแสงที่ติดตั้งเพิ่มเข้าไปกับหลอดไฟถนน สามารถช่วยประหยัดพลังงานได้มากถึง 60.83% เมื่อใช้ที่ความสว่างต่ำที่สุด เนื่องจากปริมาณความสว่างของแสงที่ลดลงส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ใช้ลดลงไปด้วย ดังนั้นการควบคุมแสงไฟถนนก็นับเป็นตัวเลือกอีกทางหนึ่งในการช่วยประหยัดพลังงาน

คำสำคัญ : ระบบแสงสว่างไฟถนน การจัดการพลังงาน หลอดไดโอดเปล่งแสง ควบคุมความสว่าง

Research Title: Intelligent Illumination Control for Road Lighting using Internet Protocol Camera

Researcher: Assoc. Prof. Dr. Atthapol Ngaopitakkul **Faculty:** Electrical Engineering

Department: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Asst. Prof. Dr. Chaiyan Jettanasen **Faculty:** Electrical Engineering

Department: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Dr. Chanon Warisarn **Faculty:** College of Data Storage Innovation

Department: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

ABSTRACT

This project presents an intelligent illumination control system for road lighting. This system is originated from the concept that the street lights do not require maximum light illuminance all the time so while there are no vehicles, the control circuit will reduce the light illuminance. As part of heavy traffic, illuminance of the light will be increased for safety. The design of the illumination control circuit includes the internet protocol camera (IP Camera) with LabVIEW program. The IP camera is able to detect the movement of vehicles through the area before the camera by the headlight and the movement of vehicles. Then, the illumination control circuit will send signal to the bulb by pulse width modulation technique (PWM). There is also light dependent resistor (LDR) used to control the on and off switch of the light bulb. The experimental setup of the light intensity controller in built in the dark room simulation to measure the light illuminance and the efficiency of the light bulb. The result shows that the light illuminance controller installed to LED road lighting system can save energy up to 60.83% by decreasing illuminance of the light, thereby lowering power consumption. The street light control is one of the good options to reduce the waste of energy.

Keywords : Roadway Lighting System, Energy Management, LED Lamp, Illuminance Control

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยการพัฒนาชุดควบคุมแสงสว่างแบบชาญฉลาดเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับดวงโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงในระบบแสงสว่างไฟถนน สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาและได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนวิจัย งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

คณะผู้วิจัย

รศ.ดร. อรรถพล เจ่าพิทักษ์กุล

ผศ.ดร. ชัยยันต์ เจตนาเสน

ดร. ชานนท์ วริสาร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VII
สารบัญภาพ VIII
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 6
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 6
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย 6
1.5 สมมุติฐานงานวิจัย 7
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 8
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการทบทวนวรรณกรรม 10
2.1 หลักการทำงานและคุณสมบัติของหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง (High Power LED) .. 10
2.2 วงจรควบคุมความสว่างของหลอดไฟฟ้า 11
2.2.1 เทคนิคการควบคุมความสว่างแบบปิดแหล่งจ่ายกระแสสลับด้านหน้ารูปคลื่นไซน์ (Leading edge dimmer) 12
2.2.2 เทคนิคการควบคุมความสว่างแบบปิดแหล่งจ่ายกระแสสลับด้านหลังรูปคลื่นไซน์ (Trailing edge dimmer) 14
2.2.3 เทคนิคการควบคุมความสว่างโดยการปรับความกว้างของพัลซ์โดยการนำเอาสองสัญญาณมาเปรียบเทียบกัน (Pulse Width lighting control Dimmer) 15
2.3 **ตัวต้านทานไวแสง** (Light Dependent Resistor) 16
2.4 กล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (IP Camera) 18
2.4.1 หลักการทำงานของกล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (IP Camera) 18

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.2 หลักการทำงานของระบบวิสัยทัศน์ในการมองช่วงเวลากลางคืนด้วยรังสีอินฟราเรด (Infrared Night Vision) ภายในกล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (IP Camera) 20
2.5 โปรแกรมแลปวิว (LabVIEW) 21
2.6 ชุดรีเลย์ (Relay Module) 23
2.7 โปรแกรมจำลองการส่องสว่างของแสงจากหลอดไฟ (DIALux) 24
2.8 การทบทวนวรรณกรรม 26
บทที่ 3 การออกแบบและการจำลองระบบไฟถนน 29
3.1 การวัดค่าพลังงานและความสว่างของหลอดไฟถนนขณะที่ไม่ติดตั้งวงจรควบคุมความสว่าง 29
3.2 การออกแบบวงจรควบคุมความสว่างของไฟถนน 31
3.2.1 การวัดค่าความสว่างของหลอดไฟถนน 36
3.2.2 การวัดค่าพลังงานของหลอดไฟถนน 43
บทที่ 4 วิเคราะห์ผลการทดลอง 45
4.1 การติดตั้งกล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (Internet Protocol Camera) 45
4.2 แบบจำลองชุดควบคุมการปรับความสว่างของหลอดไฟถนนแบบไดโอดเปล่งแสง 47
4.3 โปรแกรม LabVIEW 47
4.4 แผนผังการทำงานของวงจรควบคุมความสว่างของหลอดไฟถนน 51
4.5 ศึกษาลักษณะของสัญญาณไฟฟ้า 53
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 55
เอกสารอ้างอิง 57
ภาคผนวก 63
ภาคผนวก ก **เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย** 64
ภาคผนวก ข หลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง (High Power LED) 66
ภาคผนวก ค กล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (IP Camera) 70
ภาคผนวก ง ตัวต้านทานไวแสง (LDR) 75

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก จ ตัวขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (Driver) 79
ภาคผนวก ฉ วงจรขับเกต เบอร์ TLP 250 83
ภาคผนวก ช มาตรฐานความสว่างของไฟถนน 91
ภาคผนวก ช มาตรฐานการออกแบบไฟถนน 93
ประวัติคณะผู้วิจัย 95

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 ค่าพารามิเตอร์จากการวัดขณะที่ไม่ติดตั้งวงจรควบคุมความสว่าง 31
3.2 เปรียบเทียบค่าความต่างศักย์กับจำนวนบิทขาเข้า Arduino ที่ได้จากการคำนวณ 35
3.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากโปรแกรมจำลองการส่องสว่างของแสงจากหลอดไฟ (DIALux) 39
3.4 ความสัมพันธ์แรงดันขาเข้าตัวขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED Driver) กับ พลังงานที่ใช้ 44
4.1 เปรียบเทียบแรงดันขาเข้าตัวขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED Driver) กับจำนวนยานพาหนะ .. 54

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

1.1 หลอดไดโอดเปล่งแสงที่ติดตั้งใช้งานสำหรับไฟถนน 3
1.2 กฟภ. ร่วมมือกับกรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบทและกรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น ประหยัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับไฟถนนและไฟสาธารณะ 4
1.3 กฟผ. เปิดตัว โครงการนำร่องเปลี่ยนโคมไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงเหมืองแม่เมาะ 4
1.4 หลักการทำงานเบื้องต้นของการตรวจจับปริมาณรถยนต์บนถนน 8
2.1 การนำไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง (High Power LED) 10
2.2 ลักษณะโครงสร้างของหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง (High Power LED) 11
2.3 วงจรการทำงานของวงจรควบคุมความสว่างของหลอดไฟฟ้า 12
2.4 วงจรการควบคุมเฟสที่ใช้ไตรแอคในการเปิด-ปิด กระแสไฟฟ้า 13
2.5 คลื่นรูปไซน์เมื่อถูกควบคุมด้วยไตรแอก 13
2.6 วงจรการควบคุมไฟแบบปิดแหล่งจ่ายกระแสสลับด้านหลังรูปคลื่นไซน์ (Trailing edge dimmer) 14
2.7 คลื่นของกระแสไฟฟ้าที่ยังคงคล้ายกับแรงดันไฟฟ้า 15
2.8 วงจรที่ให้กำเนิดสัญญาณที่สามารถปรับความกว้างของพัลส์ (PWM) 16
2.9 การนำสัญญาณสองสัญญาณมาเปรียบเทียบกัน 16
2.10 โครงสร้างของตัวต้านทานไวแสง (LDR) 17
2.11 การต่อวงจรแบ่งแรงดันของตัวต้านทานไวแสง (LDR) 18
2.12 ระบบการทำงานของกล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (IP Camera) 19
2.13 ตัวอย่างตัวแปร (Parameter) ที่ถูกกำหนดของค่าขอบเขตการมองเห็น (FOV) 20
2.14 ความแตกต่างของภาพที่มีระบบอินฟราเรดและไม่มีระบบอินฟราเรด 20
2.15 ความแตกต่างของภาพที่มีและไม่มีระบบการทำงานทั้งกลางวันและกลางคืน 21
2.16 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมแลปวิว (LabVIEW) 22
2.17 รูปทรงของชุดรีเลย์ (Relay Module) 23
2.18 รูปแบบหน้าสัมผัสของรีเลย์ 24
2.19 ภาพจำลองระบบไฟถนน 25
3.1 ไดอะแกรมเส้นเดียว (One line diagram) ของการต่อวงจรวัดค่าความพลังงานของหลอดไฟถนนขณะไม่ติดตั้งวงจรควบคุมความสว่าง 30

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3.2 ข้อมูลการกระจายแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง 30
3.3 วงจรวัดค่าความพลังงานของหลอดไฟถนนขณะติดตั้งวงจรควบคุมความสว่าง 33
3.4 คำสั่งที่เขียนลงใน Arduino 34
3.5 หน้าจอแสดงค่าจากพอร์ตอนุกรม (Serial Monitor) ที่ใช้ในการอ่านค่าบิทขาเข้าและ ขาออก 34
3.6 คำสั่งที่เขียนลง Arduino เพื่อสั่งให้ปรับความสว่างของหลอดไฟเป็นลำดับขั้น 35
3.7 วงจรขับเกต 36
3.8 ไดอะแกรมเส้นเดียว (One line diagram) ของการต่อวงจรวัดค่าความสว่างของหลอดไฟถนน 37
3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้าตัวขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (Vin Driver) และความสว่างในแต่ละระดับแรงดัน 38
3.10 แบบจำลองถนนสายหลักที่ใช้ในการคำนวณ 39
3.11 จำลองความสว่างที่มีการแบ่งค่าสีเพื่อแบ่งระดับความสว่างในแต่ละบริเวณ ของโคมไฟถนนที่ความสว่าง 23 ลักซ์ 41
3.12 จำลองความสว่างที่มีการแบ่งค่าสีเพื่อแบ่งระดับความสว่างในแต่ละบริเวณ ของโคมไฟถนน ที่ความสว่าง 20 ลักซ์ 41
3.13 จำลองความสว่างที่มีการแบ่งค่าสีเพื่อแบ่งระดับความสว่างในแต่ละบริเวณ ของโคมไฟถนนที่ความสว่าง 18 ลักซ์ 42
3.14 จำลองความสว่างที่มีการแบ่งค่าสีเพื่อแบ่งระดับความสว่างในแต่ละบริเวณ ของโคมไฟถนนที่ความสว่าง 14 ลักซ์ 42
3.15 จำลองความสว่างที่มีการแบ่งค่าสีเพื่อแบ่งระดับความสว่างในแต่ละบริเวณ ของโคมไฟถนน ที่ความสว่าง 10 ลักซ์ 43
4.1 กล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (Internet Protocol) Axis รุ่น P1425-LE 45
4.2 ไดอะแกรมเส้นเดี่ยวในการติดตั้งกล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (IP Camera) 46
4.3 การเชื่อมต่อกล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอลและโปรแกรม Axis IP Utility 46
4.4 แบบจำลองชุดควบคุมความสว่างของหลอดไฟถนนแบบไดโอดเปล่งแสง 47
4.5 คำสั่งในโปรแกรม LabVIEW เพื่อการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ 48

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.6 เส้นสมมติที่สร้างขึ้นในโปรแกรม LabVIEW โดยใช้ถนนจำลอง 49
4.7 กรอบสีเขียวที่ใช้วัดค่าความสว่างจากหลอดไฟหน้าของยานพาหนะโดยใช้ถนนจำลอง 50
4.8 เส้นสมมติที่สร้างขึ้นในโปรแกรม LabVIEW โดยใช้ถนนจริง 50
4.9 กรอบสีเขียวที่ใช้วัดค่าความสว่างจากหลอดไฟหน้าของยานพาหนะโดยใช้ถนนจริง 51
4.10 แผนผังการทำงานของวงจรควบคุมความสว่างของหลอดไฟถนน 52
4.11 คลื่นสัญญาณด้านขาออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ 53
4.12 รูปคลื่นสัญญาณที่ตกคร่อมตัวขับหลอดไฟถนนแบบไดโอดเปล่งแสงขณะปรับดิวตี้ไซเคิล 53

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้านับเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการดำรงชีวิตประจำวัน ปรับปรุงคุณภาพชีวิต และขับเคลื่อนการพัฒนาทางเศรษฐกิจของประเทศ จึงอาจกล่าวได้ว่า พลังงานไฟฟ้าเปรียบเสมือนเส้นเลือดใหญ่ของสังคมในทุกวันนี้และในอนาคต ซึ่งความต้องการพลังงานไฟฟ้าในทุกภูมิภาคของประเทศไทยนั้นมีมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง และนับวันยิ่งมีปริมาณการใช้พลังงานเพิ่มสูงมากขึ้น ดังนั้นหากไม่ตระหนักถึงการลดปริมาณการใช้ เชื่อได้ว่า อนาคตพลังงานจะต้องหมดสิ้นไป ในปัจจุบันการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งในทุกพื้นที่การจราจรหรือการเดินทาง ทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มความปลอดภัยในการสัญจรให้กับผู้ใช้รถใช้ถนนในเวลากลางคืน ไฟฟ้าแสงสว่างทำให้ผู้ขับขี่มีทัศนะวิสัยในการมองเห็นที่ชัดเจนมากขึ้นหรือเทียบเท่ากับในเวลากลางวัน และทำให้ผู้ขับขี่สามารถรับรู้ข้อมูลข่าวสารที่สำคัญต่าง ๆ ได้อย่างครบถ้วนและมีประสิทธิภาพ ความต้องการไฟฟ้าแสงสว่างของถนนในแต่ละบริเวณอาจแตกต่างกันไปตามลักษณะทางกายภาพของถนน สภาพการจราจร และสภาพแวดล้อมของถนนในแต่ละพื้นที่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของข้อมูลข่าวสารที่ผู้ขับขี่ต้องรับรู้ด้วยการมองเห็นด้วย นอกจากนี้ในบางกรณียังสามารถใช้อุปกรณ์อำนวยความปลอดภัยอื่น ๆ มาทดแทนไฟฟ้าแสงสว่างได้ ซึ่งมีราคาถูกกว่าและมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน ดังนั้นการออกแบบถือเป็นปัจจัยสำคัญในเรื่องการส่องสว่างซึ่งจะต้องออกแบบให้ระบบส่องสว่างของโคมไฟถนน มีคุณภาพเหมาะสมต่อผู้ใช้รถใช้ถนน โดยคำนึงถึงประโยชน์ของการส่องสว่างตามวัตถุประสงค์ ดังนี้

(1) เพื่อให้ผู้ใช้รถใช้ถนนสัญจรได้อย่างปลอดภัยและคล่องตัว

(2) ช่วยป้องกันมิให้เกิดอุบัติเหตุ บริเวณที่เกิดบ่อยในช่วงกลางคืน

(3) เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่ปรากฏแก่สายตาในเวลากลางคืนให้ดีขึ้น

(4) เพื่อช่วยป้องกันและลดอาชญากรรมให้ประชาชนที่สัญจรและเดินเท้าเกิดความปลอดภัย

ความสามารถในการมองเห็นที่น้อยลงในเวลากลางคืนทำให้มีความเสี่ยงต่ออุบัติเหตุมากขึ้น ดังนั้นหลักของการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง คือ เพื่อให้ผู้ขับขี่สามารถรับรู้ข้อมูลข่าวสารและสามารถควบคุมยานพาหนะในกระบวนการขับรถได้ เมื่อพิจารณาความต้องการข้อมูลข่าวสารของผู้ขับขี่ในกระบวนการขับรถแล้ว การออกแบบไฟฟ้าแสงสว่างต้องเหมาะสมในด้านความสว่าง ความสม่ำเสมอของแสง การป้องกันแสงบาดตา และอื่น ๆ

โคมไฟถนนที่มีอยู่ในประเทศไทยซึ่งอยู่ในความดูแลของกรมทางหลวงและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง แต่อย่างไรก็ดี ทางการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคต้องเป็นผู้รับภาระในการ

จ่ายกำลังไฟฟ้าในส่วนนี้ ให้กับโคมไฟถนน โดยเฉพาะการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจำเป็นต้องจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโคมไฟถนนทั่วประเทศ ยกเว้น ในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคต้องเป็นผู้แบกรับค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ โดยเมื่อปี 2553 มีการใช้ไฟถนนและไฟสาธารณะกว่า 1,600 ล้านหน่วย คิดเป็นมูลค่ากว่า 4,000 ล้านบาท ซึ่งเป็นเงินจำนวนมากในแต่ละปี แนวทางที่จะลดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ มีการดำเนินงานมีหลายวิธี ซึ่งขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการใช้งานดังนี้

1. การดับไฟและการลดจำนวนดวงโคม เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด โดยการดับบางโคมไฟในถนน (HPS 250 W) ที่มีการจราจรเบาบาง เช่น วิธีดับดวงโคมแบบดวงเว้นดวง ซึ่งมีข้อเสียคือ ทำให้การกระจายแสงบนพื้นถนนไม่สม่ำเสมอ ทำให้ประสาทตาทำงานหนัก ส่วนวิธีลดจำนวนดวงโคมที่ใช้กับโคมไฟเสาสูง (High Mast 400 W) ลดจาก 12 หลอดเป็น 8 หลอด ก็จะทำให้พื้นผิวถนนมีความสว่างไม่สม่ำเสมอ

2. การเปลี่ยนขนาดของดวงโคม โดยการลดขนาดกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ เช่น ไฟถนนประเภทหลอดโซเดียมความดันไอสูง (HPS) เปลี่ยนจากขนาด 250 วัตต์ เป็น 150 วัตต์ ซึ่งวิธีนี้จะทำให้ค่าความสว่างลดลง

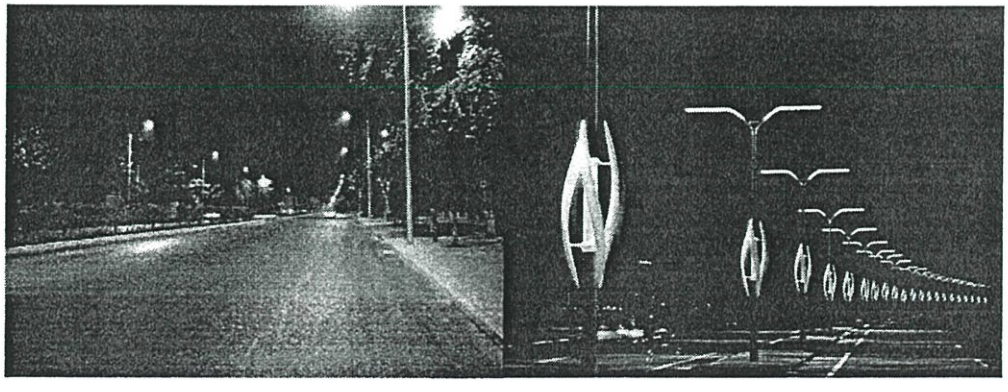
3. การเปลี่ยนชนิดหลอดไฟ เป็นแนวทางการประหยัดพลังงานไฟสาธารณะอีกวิธีหนึ่งโดยการเปลี่ยนชนิดของหลอดไฟที่ใช้กับไฟสาธารณะให้มีกำลังไฟฟ้าลดลง แต่ความสว่างยังคงเท่าเดิม

4. การปรับลดกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ดวงโคม ใช้หลักการลดแรงดันหรือลดกระแสเพื่อลดกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับดวงโคม โดยการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มในวงจรไฟถนนเพื่อปรับลดพลังงานในช่วงที่มีการจราจรเบาบาง เช่น 22.00 -05.00 น. โดยค่าความสว่างเฉลี่ยต้องสอดคล้องกับมาตรฐานของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบทเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้ถนน

สำหรับในต่างประเทศนั้น ได้มีการพัฒนาโคมไฟถนนจากการใช้หลอดโซเดียมความดันไอสูง (HPS) มาใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงหรือหลอดแอลอีดี (LED) เนื่องจากหลอดชนิดนี้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ค่อนข้างมาก อีกทั้งนี้เพื่อให้เกิดความสวยงามดังจะเห็นได้จากภาพที่ 1.1 สำหรับประเทศไทยนั้น ได้มีการแนวความคิดที่จะนำหลอดไดโอดเปล่งแสงหรือหลอดแอลอีดี (LED) มาแทนที่หลอดโซเดียมความดันไอสูง (HPS) โดยเมื่อวันที่ 16 มิถุนายน 2554 นายณรงค์ศักดิ์ กำมเลศ ผู้ว่าการ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) เป็นประธานในพิธีลงนามบันทึกข้อตกลงความร่วมมือโครงการประหยัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับไฟถนนและไฟสาธารณะกับกรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบทและกรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น ณ สำนักงานใหญ่ กฟภ. ดังแสดงในภาพที่ 1.2 ซึ่ง กฟภ. เป็นหน่วยงานรัฐวิสาหกิจสาขาสาธารณูปโภคมีหน้าที่ในการจัดหาและจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าให้ประชาชน ธุรกิจและอุตสาหกรรมพื้นที่รับผิดชอบ 74 จังหวัด กฟภ.ยังร่วมรับผิดชอบต่อสังคมในการให้บริการไฟฟรีโดยไม่คิดมูลค่า ในส่วนของไฟถนน (โคมไฟที่ติดตั้งอยู่บนถนนของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบท) และไฟสาธารณะ (โคมไฟที่ติดตั้งในพื้นที่สาธารณะในเขตขององค์การ

บริหารส่วนท้องถิ่น เช่น เทศบาล อบต. ฯลฯ) ซึ่งมีแนวโน้มการใช้ไฟฟ้าสูงมากขึ้นทุกปี กฟภ. จึงร่วมมือกับ 4 หน่วยงาน ดังกล่าวข้างต้น โดยนำโคมไฟประหยัดพลังงานแบบ LED (Light Emitting Diode) จำนวนประมาณ 1,000,000 หลอด เปลี่ยนทดแทนหลอดโซเดียมความดันสูงและหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งใช้ระยะเวลาดำเนินการตั้งแต่ปี 2554 เป็นต้นไป ทยอยดำเนินการติดตั้งช่วงแรกจำนวน 16,000 หลอด ส่วนที่เหลือจะดำเนินการติดตั้งต่อไป สำหรับไฟถนนและไฟสาธารณะ ซึ่งหากสามารถเปลี่ยนหลอด LED ได้ครบจำนวนตามเป้าหมาย จะสามารถประหยัดไฟฟ้าได้ปีละประมาณ 450 ล้านหน่วย หรือ คิดเป็น 1 ใน 3 ของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเขื่อนศรีนครินทร์ จ.กาญจนบุรี และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกว่า 261,000 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี ช่วยชาติประหยัดพลังงาน ลดการใช้พลังงาน ลดการนำเข้าเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าและช่วยโลกลดภาวะโลกร้อน

นอกจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) แล้ว การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย หรือ กฟผ. นำโดยนายสุนชัย คำนูณเศรษฐ์ ผู้ว่าการ กฟผ. ได้มีการเปิดตัวโครงการนำร่องเปลี่ยนหลอดแอลอีดีชนิดโคมไฟถนนในเหมืองแม่เมาะดังภาพที่ 1.3 เมื่อวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2557 ตั้งเป้าปี 2557 มุ่งเน้นจัดทำ "โครงการส่งเสริมการใช้อุปกรณ์แสงสว่าง LED" เพื่อกระตุ้นให้เกิดการใช้อุปกรณ์ประสิทธิภาพสูงในระบบแสงสว่าง โดยใช้สถานที่ภายในของ กฟผ. รวม 8 แห่ง ประกอบด้วย เขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนศรีนครินทร์ เขื่อนวชิราลงกรณ์ เขื่อนรัชชประภา โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ สำนักงานกลาง กฟผ. และเหมืองแม่เมาะ เพื่อใช้เป็นกรณีศึกษาด้านการประหยัดพลังงาน ซึ่งหากการดำเนินงานดังกล่าวแล้วเสร็จจะส่งผลให้ กฟผ. สามารถลดการใช้ไฟฟ้าลงได้ประมาณ 3.6 ล้านหน่วยต่อปี ประหยัดเงินค่าไฟฟ้าได้ปีละ 10.8 ล้านบาท และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงได้ 1,860 ตันต่อปี



ภาพที่ 1.1 หลอดไดโอดเปล่งแสงที่ติดตั้งใช้งานสำหรับไฟถนน

ภาพที่ 1.2 กฟภ. ร่วมมือกับกรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบทและกรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น ประหยัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับไฟถนนและไฟสาธารณะ

ภาพที่ 1.3 กฟผ. เปิดตัว โครงการนำร่องเปลี่ยนโคมไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงเหมืองแม่เมาะ

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า จากการที่การไฟฟ้าทั้งสามหน่วยงานเป็นผู้ริเริ่มนำหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) มาใช้ในระบบแสงสว่างไฟถนนทดแทนหลอดโซเดียมความดันไอสูงแบบเดิมนั้น จึงเป็นก้าวย่างที่สำคัญและเป็นตัวอย่างที่ดีให้หน่วยงานภาครัฐและเอกชนถึงการใช้พลังงานด้านไฟฟ้าแสงสว่างอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งนอกจากจะช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างแล้ว ยังสามารถช่วยรัฐลดการลงทุนด้านโรงจักรไฟฟ้าได้อีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ โครงการดังกล่าวยังมีส่วนกระตุ้นให้ผู้ประกอบการภาคเอกชนเห็นถึงโอกาสทางธุรกิจในด้านแสงสว่าง ส่งผลให้มีการพัฒนา

อุตสาหกรรมด้านนี้อย่างจริงจังซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการของไทยเมื่อประชาคมเศรษฐกิจอาเซี่ยน (AEC) มีผลบังคับใช้อย่างเป็นทางการในปี 2558

จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่า เมื่อนำหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) มาใช้ในระบบแสงสว่างไฟถนนนั้นจะเป็นการลดพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ดี ในปัจจุบันยังมีอีกวิธีที่ใช้ลดพลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างไฟถนน คือ การปรับลดกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ดวงโคม โดยการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มในวงจรไฟถนนเพื่อปรับลดพลังงานในช่วงที่มีการจราจรเบาบาง เช่น 22.00 -05.00 น. โดยค่าความสว่างเฉลี่ยต้องสอดคล้องกับมาตรฐานของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบทเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้ถนน ถึงแม้ว่า วิธีดังกล่าว จะเป็นการลดการใช้พลังงานได้จริง แต่ค่าความสว่างเฉลี่ยที่ได้รับจะมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ เนื่องจากมีปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ ประกอบกัน เช่น ต้นไม้บดบังโคมไฟถนน การเสื่อมสภาพของหลอดไฟฟ้า สภาพอากาศในแต่ละพื้นที่ เป็นต้น นอกจากนี้ วิธีดังกล่าวยังไม่ได้คำนึงถึงความหนาแน่นของรถยนต์ไม่เท่ากันในแต่ละช่วงเวลาหรือแต่ละวัน จึงทำให้มีโอกาสที่ผู้ขับขี่มีทัศนะวิสัยในการมองเห็นที่แย่ลงหรือไม่สามารถรับรู้ข้อมูลสภาพแวดล้อมของถนนหรือบริเวณข้างเคียงได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงอาจก่อให้เกิดอันตรายกับผู้ใช้รถใช้ถนนได้

จากเหตุผลข้างต้น โครงการวิจัยนี้จึงมีการนำเสนอระบบควบคุมแสงสว่างร่วมกับเซ็นเซอร์ชาญฉลาด (Intelligent Lighting Control Systems) มาบูรณาการเข้าไปกับระบบแสงสว่างโคมไฟถนน ซึ่งถือเป็นกุญแจสำคัญในการลดพลังงานที่ใช้ไปในระบบแสงสว่างไฟถนน โดยปรับแต่งระดับของแสงสว่างอย่างอัตโนมัติให้สอดคล้องกับพื้นที่และความหนาแน่นรถยนต์ที่เกิดขึ้นในสถานที่ต่างๆ กล่าวคือ หากจำนวนรถวิ่งผ่านจำนวนมาก โคมไฟถนนจะสว่างเต็มที่ (100%) ในทางกลับกัน หากจำนวนรถวิ่งผ่านน้อยความสว่างโคมไฟถนน จะลดลงมา (90 – 70%) แต่ยังอยู่เกณฑ์มาตรฐานความสว่างของกรมทางหลวง

กล่าวโดยสรุป จากนโยบายด้านการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดที่จะช่วยเผยแพร่ข้อมูลและส่งเสริมการใช้หลอดไดโอดเปล่งแสง อีกทั้งยังพัฒนาชุดอุปกรณ์เพื่อควบคุมแสงสว่างเพื่อนำมาใช้ในการควบคุมแสงสว่างของหลอดไฟฟ้าในเวลากลางคืนให้เปลี่ยนแปลงอัตโนมัติตามมาตรฐานส่องสว่าง เพื่อช่วยรณรงค์ให้เกิดการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของทั้งประเทศ อีกทั้งยังเป็นการลดภาระการนำเข้าด้านเชื้อเพลิง และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตไฟฟ้าที่ไม่จำเป็น ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้นำไปสู่การลดภาวะโลกร้อนอย่างยั่งยืนต่อไป นับได้ว่างานวิจัยนี้เป็นการส่งเสริมการใช้หลอดประหยัดพลังงาน หากโครงงานวิจัยนี้เป็นที่แพร่หลายในสังคมจะยิ่งทำให้การประหยัดพลังงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานในระบบแสงสว่าง เพื่อให้ได้ระดับความส่องสว่างเหมาะสมกับพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบแสงสว่างภายนอกอาคาร

2) เพื่อศึกษาและออกแบบการสร้างอุปกรณ์ควบคุมแสงสว่างแบบชาญฉลาดสำหรับระบบแสงสว่างไฟถนนเพื่อช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและความสว่างให้มีความเหมาะสมกับมาตรฐานที่กำหนด

3) เพื่อเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระหว่างโคมไฟถนนที่ไม่มีระบบควบคุมแสงสว่างกับโคมไฟถนนที่มีระบบควบคุมแสงสว่าง เพื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพที่สูงสุดในทุกๆ ด้าน โดยเฉพาะด้านพลังงานและด้านเศรษฐศาสตร์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1) ระบบแสงสว่างที่พิจารณาคือ หลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) สำหรับโคมไฟถนน

2) วัดสัญญาณกระแสไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้า, สัญญาณฮาร์มอนิกส์หรือสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากระบบแสงสว่างที่พิจารณา รวมไปถึงความสว่าง

3) ออกแบบชุดควบคุมแสงสว่างสำหรับหลอดไดโอดเปล่งแสงเพื่อให้สอดคล้องตามมาตรฐานที่กำหนด

4) ตรวจสอบประสิทธิภาพของชุดควบคุมแสงสว่างที่ออกแบบโดยการนำไปใส่ในระบบจริงที่พิจารณา แล้ววัดค่าความสว่างและพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นว่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมหรือสอดคล้องตามมาตรฐานที่พิจารณาหรือไม่

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยตลอดโครงการ มีรายละเอียดดังนี้

1. จัดเตรียมอุปกรณ์หลักที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยทั้งหมด ได้แก่ มาตรวัดปริมาณทางไฟฟ้าออสซิลโลสโคป โคมไฟถนนพร้อมหลอดไฟไดโอดเปล่งแสง มาตรวัดส่องสว่าง เป็นต้น

2. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับหลอดไดโอดเปล่งแสงและการออกแบบชุดควบคุมแสงสว่าง ตลอดจนปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำงานของหลอดไดโอดเปล่งแสงสำหรับไฟถนน

3. ติดตั้งอุปกรณ์และทำการวัดค่าและเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดจากการใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสงกรณีไม่มีชุดควบคุมแสงสว่าง เช่น ค่าความสว่าง, กระแสไฟฟ้าที่ใช้งาน, กำลังไฟฟ้า, พลังงานไฟฟ้า, ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (power factor), ค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวม (total harmonic distortion) เป็นต้น รวมถึงเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสเปกตรัมของสัญญาณกระแสเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบเบื้องต้น

4. ติดตั้งอุปกรณ์และทำการวัดค่าและเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดจากการใช้ชุดควบคุมแสงสว่าง เช่น ค่าความสว่าง กระแสไฟฟ้าที่ใช้งาน กำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (power factor) ค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวม (total harmonic distortion) เป็นต้น รวมถึงเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสเปกตรัมของสัญญาณกระแสเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาหรือปรับปรุงชุดควบคุมต่อไป

5. ทำการออกแบบและติดตั้งชุดควบคุมแสงสว่างและพลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างที่พิจารณา เพื่อรวบรวมข้อมูลที่เกิดขึ้นจริง ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลทางแสง รวมไปถึงข้อมูลทางด้านพลังงานไฟฟ้า จากนั้นนำผลที่ได้จากการติดตั้งในแต่ละกรณีศึกษามารวบรวมเพื่อศึกษาถึงข้อบกพร่องและแนวทางแก้ไขที่เหมาะสมก่อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

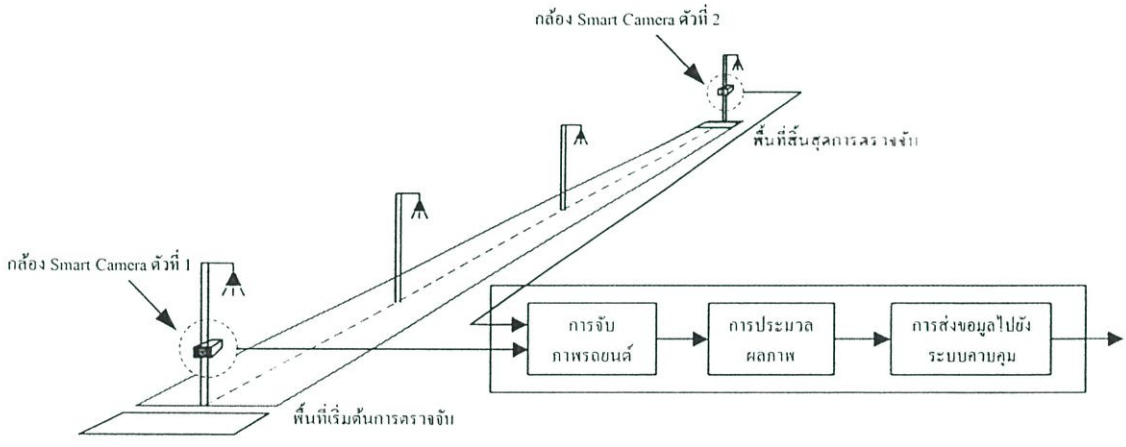
6. นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์มาปรับปรุงชุดควบคุมต้นแบบ

7. สรุปผลการศึกษาวิจัยเพื่อจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์ และเขียนบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ

1.5 สมมุติฐานงานวิจัย

สมมุติฐานการวิจัยพัฒนาตั้งบนหลักการของการเปลี่ยนรูปพลังงาน วิศวกรรมส่องสว่าง และการประมวลสัญญาณ โครงการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การให้แสงสว่างในการขับขี่ยานพาหนะสำหรับบนท้องถนนและบริเวณที่เกี่ยวเนื่อง โดยพิจารณาทั้งในแง่ของปริมาณและคุณภาพของแสงสว่าง กล่าวโดยสรุป โคมไฟถนนที่ใช้ในโครงการวิจัยนี้ ความสว่างจะแปรผันตรงกับความหนาแน่นจำนวนรถที่วิ่งผ่าน กล่าวคือ หากจำนวนรถวิ่งผ่านจำนวนมาก โคมไฟถนนจะสว่างเต็มที่ (100%) ในทางกลับกัน หากจำนวนรถวิ่งผ่านน้อยความสว่างโคมไฟถนน จะลดลงมา (90 – 70%) ด้วยเหตุนี้เอง โครงงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบชุดควบคุมแสงสว่าง โดยสามารถปรับระดับแสงสว่างจากชุดอุปกรณ์ตรวจจับระดับแสงอัตโนมัติเพื่อหรี่หรือทำให้สว่างตามที่ต้องการอย่างอัตโนมัติ ชุดควบคุมนี้ประกอบด้วยโคมไฟฟ้า (หลอดไฟฟ้าและอุปกรณ์ประกอบภายในโคมไฟ), เซ็นเซอร์หรือกล้องตรวจจับวัตถุอัตโนมัติ, และไมโครคอนโทรเลอร์ในการควบคุมแสง ลักษณะการติดตั้งและการใช้งานแสดงดังภาพที่ 1.4 เซ็นเซอร์หรือกล้องตรวจจับที่มีตัวตรวจจับทำการวัดแสงสว่างในโซนที่กำหนดไว้ขณะเดียวกัน ทำการตรวจจับรถยนต์ที่วิ่งผ่านจุดที่ทำการตรวจจับเพื่อเป็นสัญญาณอินพุตให้กับระบบ โดยจะติดตั้งเซ็นเซอร์หรือกล้องตรวจจับก่อนเสาไฟส่องสว่างต้นแรกประมาณ 50 เมตร และตัวสุดท้ายจะติดตั้งที่เสาไฟส่องสว่างต้นสุดท้ายที่ต้องการตรวจจับจำนวนลบ โดยกล้องทั้ง 2 ตัวจะทำงานสัมพันธ์กัน ตัวแรกเป็นตัวนับจำนวนรถที่เข้ามาและตัวสุดท้ายเป็นตัวนับจำนวนรถที่วิ่งผ่านออกไปจากบริเวณที่เราสนใจ ดังแสดงในภาพที่ 1.4 ดังนั้นทำให้สามารถทราบได้ว่าปริมาณรถที่วิ่งอยู่บนท้องถนนมีปริมาณมากน้อยเพียงใด ก่อนจะนำผลดังกล่าวไปปรับรถปริมาณไฟส่องสว่างต่อไป

ขั้นตอนต่อมา การประมวลผลภาพจะกระทำหลังจากขั้นตอนการตรวจจับภาพรถยนต์ ซึ่งมีทั้งการบีบอัดสัญญาณ การวิเคราะห์สัญญาณเพื่อจะแยกระหว่างวัตถุที่เป็นรถยนต์ กับวัตถุอื่นๆ ที่ไม่ใช่รถยนต์ เช่น คนเดินข้ามถนน ต้นไม้ ก้อนเมฆ เป็นต้น การคำนวณปริมาณรถยนต์บนพื้นที่ที่พิจารณา เช่น คำนวณค่าทางสถิติของจำนวนรถยนต์ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์ที่วิ่งเป็นท้องถนน เป็นต้น และสุดท้ายคือการส่งข้อมูลผ่านระบบสื่อสารไปยังระบบควบคุมหรือซอฟต์แวร์การควบคุมแสงสว่างซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีเกณฑ์ที่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ หากระดับการส่องสว่างอยู่นอกเกณฑ์เหล่านั้นซอฟต์แวร์ทำการส่งคำสั่งไปหรี่หรือปรับเพิ่มความสว่างของโคมไฟฟ้าตามที่ต้องการ ในโครงงานวิจัยใช้ชุดตรวจจับแสงสว่างเพื่อนำมาใช้ในการควบคุมแสงสว่างของหลอดไฟฟ้าให้เปลี่ยนแปลงอัตโนมัติตามมาตรฐานส่องสว่าง โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมวงจรปรับแสงสว่างอัตโนมัติ



ภาพที่ 1.4 หลักการทำงานเบื้องต้นของการตรวจจับปริมาณรถยนต์บนถนน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิจัยนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ประโยชน์ในด้านการพัฒนาทางด้านอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วมของประเทศ และประโยชน์จากองค์ความรู้ใหม่ ซึ่งแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากอนุรักษ์พลังงาน

1) ช่วยลดต้นทุนของการซื้อพลังงานไฟฟ้าสำหรับไฟสาธารณะที่การไฟฟ้าทั้งสามแห่งรวมไปถึงหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องแบกรับในการใช้จ่ายเกี่ยวกับไฟสาธารณะ

2) สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายจากการสร้างโรงจักรไฟฟ้าเพิ่ม ช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้า ลดปัญหามลภาวะและปัญหาโลกร้อน

3) ส่งเสริมการใช้หลอดประหยัดพลังงานหรืออุปกรณ์สำหรับใช้ส่องสว่างภายนอกอาคาร เพื่อให้ได้ระดับความส่องสว่างตามมาตรฐานของกรมทางหลวง

4) สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลงได้ในระดับหนึ่ง โดยยังคงประสิทธิภาพของการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าเช่นเดิม

5) เป็นการออกแบบชุดควบคุมแสงสว่างให้มีความเหมาะสมเพื่อใช้งานตามความหนาแน่นของรถยนต์สำหรับถนนลักษณะต่างๆ

6) สนับสนุนและส่งเสริมให้มีการค้นคว้าและวิจัยทางด้านการอนุรักษ์พลังงานอย่างต่อเนื่องและให้เกิดผลการประหยัดพลังงานอย่างยั่งยืนต่อไป ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับวิศวกร นักวิจัย นักศึกษา ตลอดจนผู้สนใจอื่นๆ เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและพัฒนาต่อไป

ประโยชน์ในด้านการพัฒนายกระดับงานวิจัยของประเทศ

1) โครงการวิจัยนี้เป็นการรวมกันของวิทยาการหลายๆ ด้าน เช่น วิศวกรรมส่องสว่าง วิศวกรรมไฟฟ้า และวิศวกรรมการวัดและควบคุม เข้าด้วยกัน ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์ร่วมกันของนักวิจัยในสาขาดังกล่าว ทั้งในด้านการแลกเปลี่ยนความรู้ ความคิดเห็น นับเป็นการพัฒนายกระดับงานวิจัยของประเทศ

2) สามารถนำความรู้ที่ได้จากการวิจัยชิ้นนี้ไปเผยแพร่เพื่อการพัฒนาเป็นแนวคิดในการออกแบบและประยุกต์ใช้งานระบบแสงสว่างด้วยชุดความคุมแสงแสว่างและพลังงานไฟฟ้าด้วยตัวตรวจวัดแสงสว่าง รวมไปถึงสามารถพัฒนาต่อยอดทางด้านพลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างในอนาคตได้ดีขึ้น

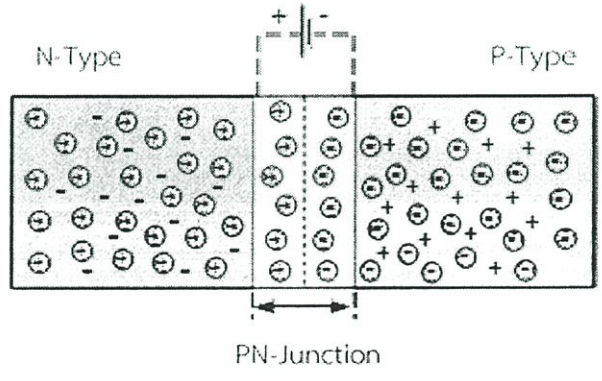
3) การวิเคราะห์ที่นำเสนอในโครงการวิจัยนี้ ได้บทความเชิงวิชาการในระดับนานาชาติ จำนวน 1 บทความ นับได้ว่าเป็นประโยชน์สำหรับวิศวกร นักวิจัย นักศึกษา ตลอดจนผู้สนใจอื่นๆ เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและพัฒนาต่อไป

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการทบทวนวรรณกรรม

การควบคุมไฟถนนแบบหลอดไดโอดเปล่งแสงอย่างอัจฉริยะที่สามารถควบคุมความสว่างได้อย่างอัตโนมัติตามสภาพแวดล้อมและยานพาหนะที่สัญจรไปมา สามารถลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็นจากการเปิดใช้ไฟถนนตลอดช่วงเวลากลางคืนได้ ในการออกแบบชุดควบคุมไฟถนนแบบหลอดไดโอดเปล่งแสงอย่างอัจฉริยะนั้น จำเป็นที่ต้องเข้าใจทฤษฎีต่าง ๆ ของอุปกรณ์และโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมความสว่างของไฟถนนจึงทำให้ชุดควบคุมที่ออกแบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นเนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎี หลักการทำงานและคุณสมบัติของอุปกรณ์และโปรแกรมต่าง ๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

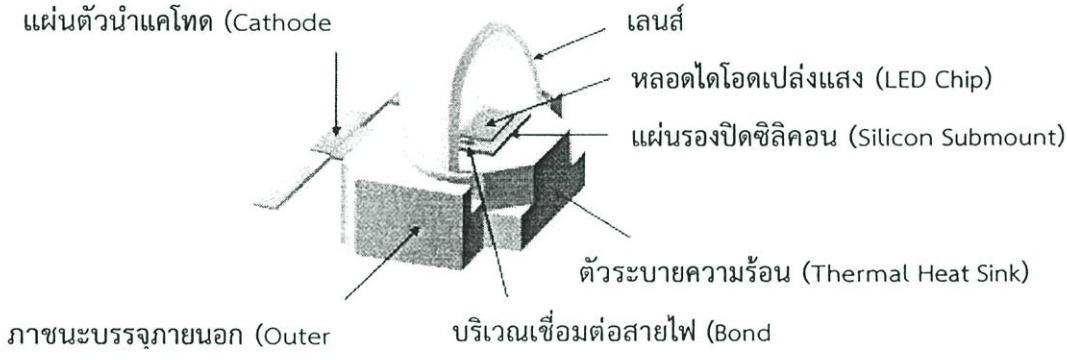
2.1 หลักการทำงานและคุณสมบัติของหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง (High Power LED)

หลอดไดโอดเปล่งแสง (Light-Emitting Diode: LED) คือ สารกึ่งตัวนำไฟฟ้าที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน แล้วปล่อยแสงสว่างออกมาได้ทันที โดยหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง (High Power LED) สามารถเปล่งแสงออกมาได้เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่กลับมีประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างดีกว่าหลอดไฟขนาดเล็ก ๆ ทั่วไป ส่วนประกอบภายในหลอดไดโอดเปล่งแสงประกอบด้วยแผ่นชิปสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type) และสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type) ดังแสดงในภาพที่ 2.1 และเมื่อจ่ายกระแสทำให้อิเล็กตรอนที่สารชนิดเอ็น (N-type) วิ่งข้ามรอยต่อ (PN-Junction) ไปรวมกับโฮลในสารชนิดพี (P-type) ทำให้เกิดกระแสไหลเป็นผลทำให้ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเปลี่ยนไปและคายพลังงานออกมาในรูปคลื่นแสง



ภาพที่ 2.1 การนำไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง (High Power LED)

หลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง (High Power LED) ให้พลังงานแสงสว่างสูงถึง 70 ลูเมน/วัตต์ ซึ่งลำแสงที่ออกมาจากหลอดไดโอดเปล่งแสงจะเย็น ไม่ร้อนเหมือนหลอดชนิดอื่น ๆ ทิศทางแสงสว่างส่องไปเฉพาะด้านหน้าเท่านั้นทำให้ลดการสูญเปล่าของแสงสว่าง มีอายุการใช้งานของหลอดโดยเฉลี่ยประมาณ 60,000 ชั่วโมง ค่าดัชนีความถูกต้องของสี (CRI) เฉลี่ย และประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงกว่าหลอดไฟชนิดอื่น ๆ จากภาพที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างของโหลดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง (High Power LED) มีน้ำหนักเบาและขนาดเล็ก แต่มีความทนทานต่อการสั่นสะเทือน ไม่เปราะบางเหมือนหลอดขดลวด หรือ หลอดฟลูออเรสเซนต์ธรรมดา และหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง (High Power LED) ให้ความสว่างทันทีเมื่อเปิดสวิทช์ สามารถเปิด-ปิด ได้บ่อยครั้งโดยไม่เกิดความเสียหายง่าย ทำให้การบำรุงรักษาต่ำ

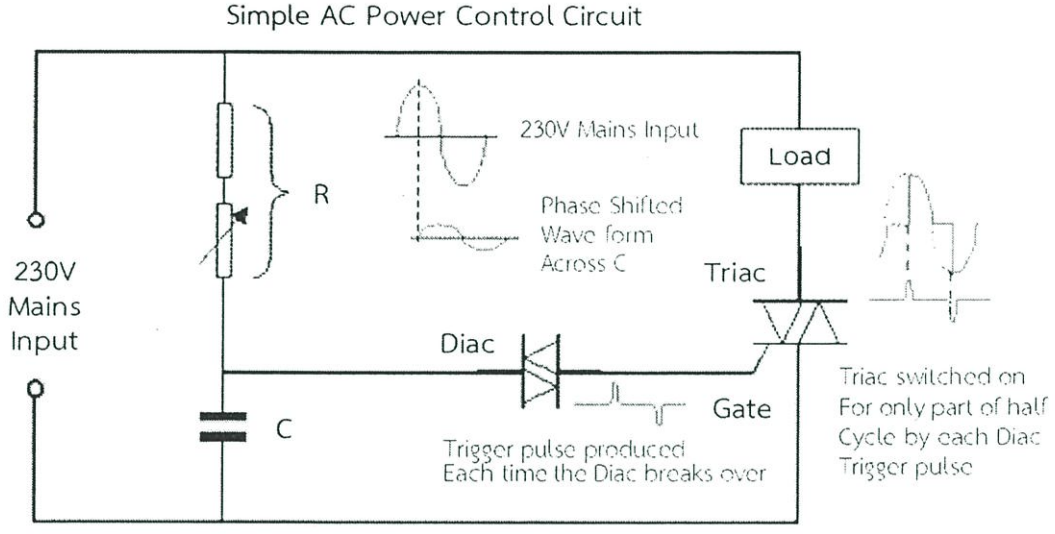


ภาพที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างของหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง (High Power LED)

2.2 วงจรควบคุมความสว่างของหลอดไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าที่ใช้ตามบ้านเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ คลื่นรูปไซน์ (Sine wave) ความถี่ 50 Hz แรงดันไฟฟ้า 220 V หลักการทำงานของวงจรควบคุมความสว่างของหลอดไฟฟ้า ใช้หลักการลดทอนรูปคลื่นสัญญาณรูปไซน์ (Sine wave) ให้ผิดเพี้ยนไปจากเดิม โดยอาศัยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เช่น สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์เอสซีอาร์ (Silicon Control Rectifier: SCR) หรือ ไตรแอก (Triac) และ ไดแอก (Diac) โดยมีวงจรการทำงานตาม ภาพที่ 2.3 จากรูปเห็นว่าเมื่อวงจรทำงานรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) ของโหลดมีรูปคลื่นผิดไปจากด้านขาเข้า (Input) เป็นเหตุให้กำลังแสงสว่างของโหลดถูกลดกำลังลง กล่าวคือวงจรควบคุมความสว่างของหลอดไฟแบบหมุน ใช้หลักการ เพิ่มค่าความต้านทาน (resistance) ของวงจร เพื่อให้แรงดันไฟฟ้า (voltage) ที่

ป้อนหลอดไฟมากขึ้น-น้อยลงเหมือนปุ่มปรับเสียงของวิทยุนั้นเองประเภทของการควบคุมความสว่างของหลอดไฟแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

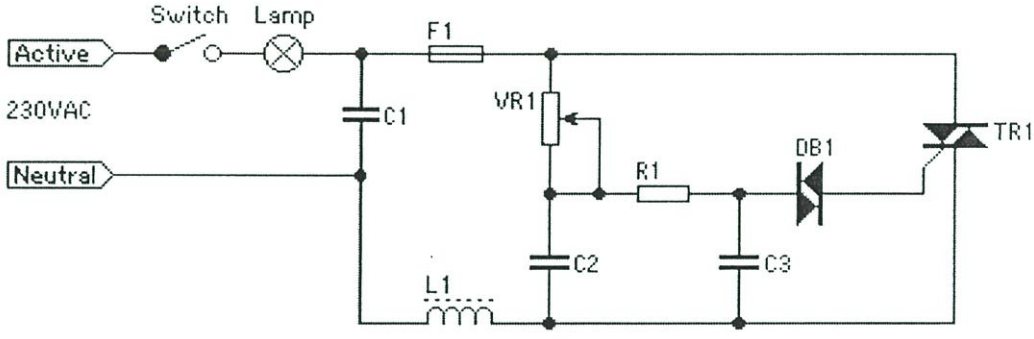


ภาพที่ 2.3 วงจรการทำงานของวงจรควบคุมความสว่างของหลอดไฟฟ้า

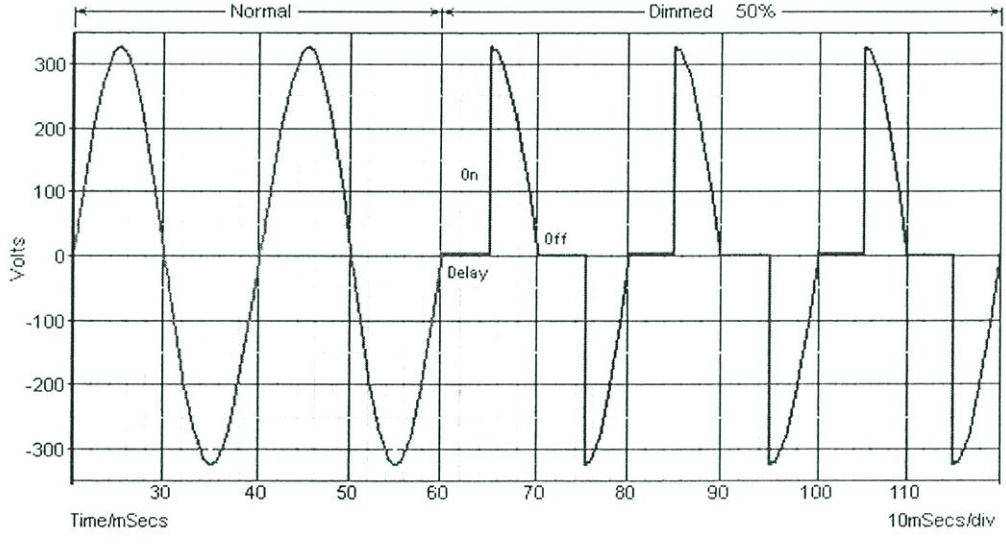
2.2.1 เทคนิคการควบคุมความสว่างแบบปิดแหล่งจ่ายกระแสสลับด้านหน้ารูปคลื่นไซน์ (Leading edge dimmer)

เทคนิคการหรี่ไฟแบบปิดแหล่งจ่ายกระแสสลับด้านหน้ารูปคลื่นไซน์ (Leading edge dimmer) หรือ DD1-DIM เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมความเข้มของแสงแบบเก่า มีลักษณะเป็นชุดอุปกรณ์ (module) ขนาดใหญ่กว่าฝ่ามือเล็กน้อย กลไกภายในเป็นชุดควบคุมที่ออกแบบมาให้ทำงานได้อิสระจากกัน เพียงแค่จ่ายไฟฟ้าเข้าไป และนำหลอดมาต่อ สำหรับระบบไฟฟ้า สามารถทำงานได้ทั้งระบบไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียว (single-phase) และมอดูลใช้การควบคุมที่อิสระ จึงทำให้สามารถใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส (3-phase) ได้ ภายในมีไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่ควบคุมการทำงาน จุดเด่นที่สำคัญก็คือ แต่ละชุดอุปกรณ์ (module) ทำงานได้อิสระจากกัน ต่อเชื่อมเข้าหากันเป็นระบบได้ด้วย RS485 ใช้สำหรับงานระบบไฟได้ทุกชนิดทั้งงานเล็กและงานใหญ่ และถ้าอุปกรณ์ชุดใดชำรุด สามารถแก้ไขเฉพาะอุปกรณ์ชุดนั้น ไม่กระทบกับระบบอื่น จากภาพที่ 2.4 เป็นรูปวงจรการควบคุมเฟส (Phase Control) ที่ใช้ไตรแอก (Triac) ในการเปิด-ปิดกระแสไฟฟ้า โดยเทียบกับตำแหน่งจุดตัดที่แกนแนวตั้ง มีค่าเป็นศูนย์ (Zero-Crossing) ของแรงดันไฟฟ้ารูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) ดังภาพที่ 2.5 รูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) เมื่อถูกควบคุมด้วยไตรแอก (Triac) ทำให้เกิดการหน่วงเวลาที่จุดไตรแอก (Triac) และไม่สามารถหยุดกระแสที่ไหลได้จนกว่ารูปคลื่นไซน์ (Sine Wave)

ผ่านศูนย์ กระแสจะหยุดไปเอง ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเพียงบางส่วนของรูปคลื่น มีผลทำให้ความสว่างของหลอดไฟลดลง และสามารถควบคุมระดับแสงสว่าง จากต่ำสุดไปยังจุดสูงสุด โดยการปรับอุปกรณ์ VR1



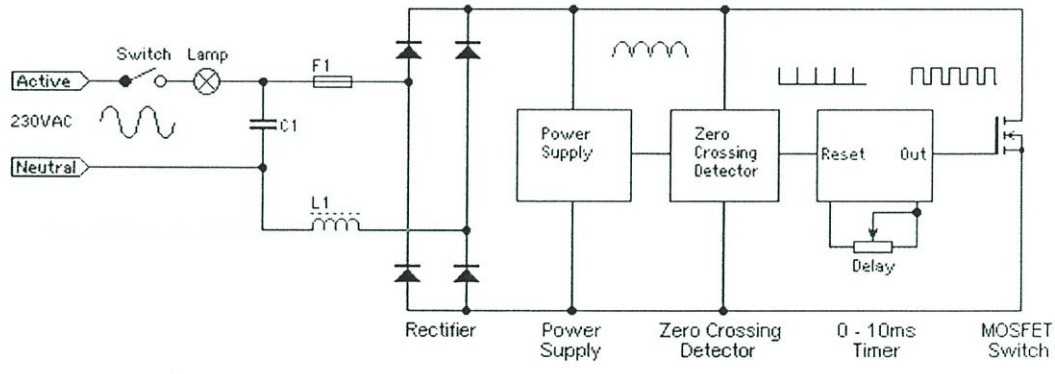
ภาพที่ 2.4 วงจรการควบคุมเฟสที่ใช้ไตรแอคในการเปิด-ปิด กระแสไฟฟ้า



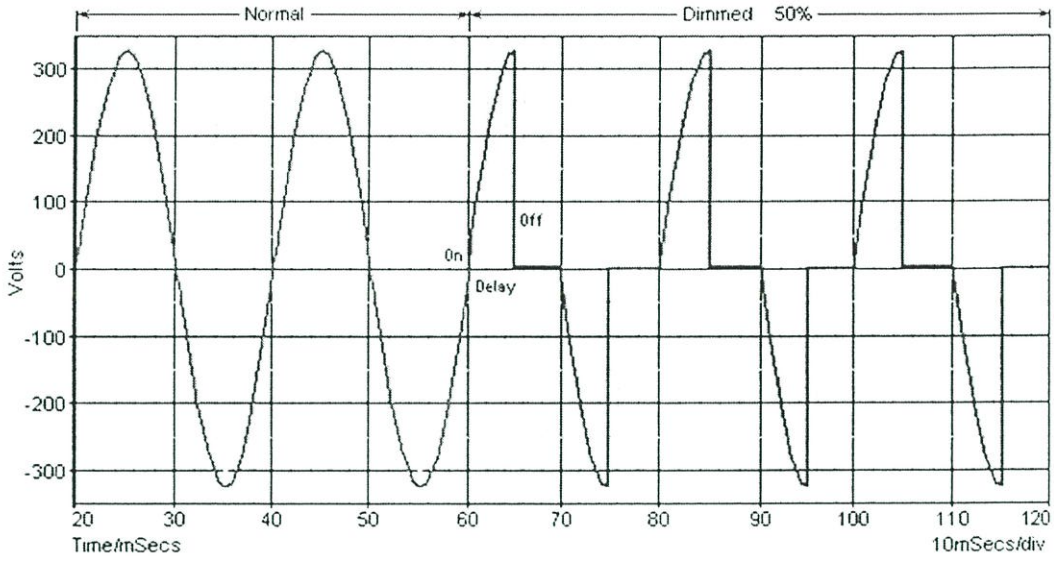
ภาพที่ 2.5 คลื่นรูปไซน์เมื่อถูกควบคุมด้วยไตรแอก

2.2.2 เทคนิคการควบคุมความสว่างแบบปิดแหล่งจ่ายกระแสสลับด้านหลังรูปคลื่นไซน์ (Trailing edge dimmer)

เทคนิคการควบคุมความสว่างแบบปิดแหล่งจ่ายกระแสสลับด้านหลังรูปคลื่นไซน์ (Trailing edge dimmer) เหมาะกับระบบไฟฟ้าที่ใช้หลอดความร้อน หรือหลอดไส้ (Incandescent light Lamp) และหลอดฟลูออเรสเซนต์ประหยัดพลังงาน (Compact Fluorescent Lamp) เพื่อลดสัญญาณรบกวน และการสั่น (Ringing) ของไส้หลอดอันเกิดจากปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ (Resonance) ไม่นิยมนำมาใช้งานกับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) โดยวงจรนี้มีความซับซ้อนดังภาพที่ 2.6 เนื่องจากการควบคุมโดยปล่อยให้กระแสไฟฟ้าผ่านไปก่อนแล้วจึงหยุด จังหวะของการหยุดนำกระแสหรือปิดสวิตช์ (Switch-OFF) ไม่ส่งสัญญาณรบกวนที่รุนแรง โดยในช่วงแรกเป็นไปตามรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า ทำให้กระแสไฟฟ้ามีลักษณะเข้าใกล้รูปคลื่นไซน์ (Sine wave) การควบคุมด้วยอุปกรณ์หน่วงเวลา (VR delay) ดังภาพที่ 2.7 เห็นได้ว่ารูปคลื่นของกระแสไฟฟ้ามีลักษณะคล้ายกับแรงดันไฟฟ้าในช่วงแรก และมีการลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีการปิดสวิตช์ (Switch-OFF) แหล่งจ่ายกระแสสลับในช่วงท้ายของรูปคลื่นไซน์ (Sine wave) รูปคลื่นที่ได้ทำให้แสงสว่างของหลอดไฟลดลงแต่ไม่มีกระแสกระชากเนื่องจากใช้พลังงานจากจุดเริ่มต้นของเฟส สัญญาณรบกวนถูกเปลี่ยนเป็นความร้อนจึงมีความร้อนเกิดขึ้นมากกว่า และความคงทนต่อการลัดวงจรด้อยกว่าเทคนิคการหรี่ไฟแบบปิดแหล่งจ่ายกระแสสลับด้านหน้ารูปคลื่นไซน์ (Leading edge dimmer)



ภาพที่ 2.6 วงจรการควบคุมไฟแบบปิดแหล่งจ่ายกระแสสลับด้านหลังรูปคลื่นไซน์ (Trailing edge dimmer)

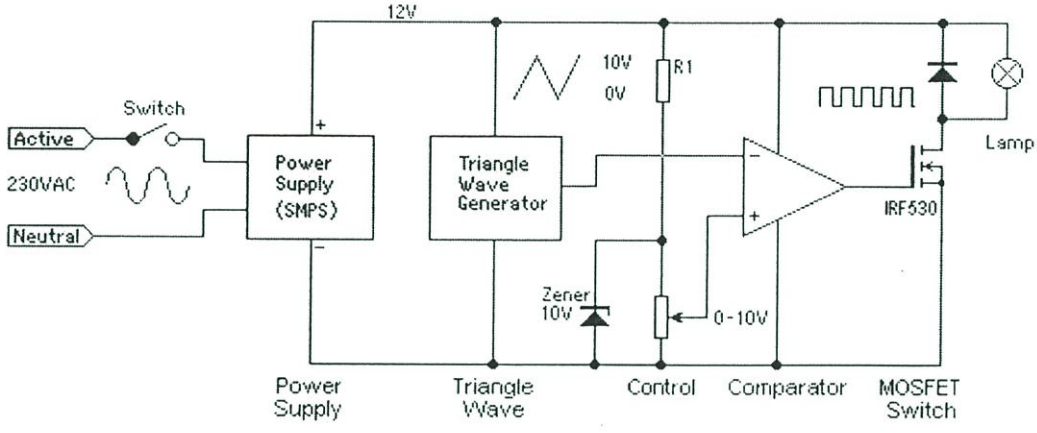


ภาพที่ 2.7 คลื่นของกระแสไฟฟ้าที่ยังคงคล้ายกับแรงดันไฟฟ้า

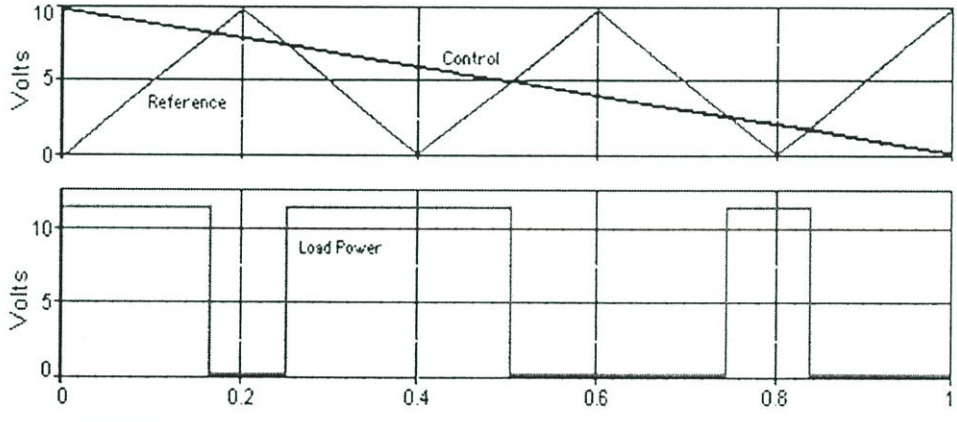
2.2.3 เทคนิคการควบคุมความสว่างโดยการปรับความกว้างของพัลซ์โดยการนำเอาสองสัญญาณมาเปรียบเทียบกัน (Pulse Width lighting control Dimmer)

วงจรนี้สามารถต่อวงจรได้ตามภาพที่ 2.8 เพื่อเป็นแหล่งกำเนิดของสัญญาณที่สามารถปรับความกว้างของพัลส์ (PWM) ที่ใช้ในการควบคุมความสว่างของหลอดไฟฟ้า ซึ่งการปรับความกว้างของพัลซ์สามารถทำได้โดยการนำเอาสองสัญญาณมาเปรียบเทียบกัน (Pulse Width Modulate) สัญญาณที่นำมาเทียบคือ สัญญาณรูปสามเหลี่ยม และสัญญาณที่ต้องการปรับความกว้างของพัลซ์ตามภาพที่ 2.9 ซึ่งได้จากการผสมระหว่างสัญญาณรูปสามเหลี่ยมและสัญญาณรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) โดย ร้อยละของอัตราส่วนระหว่างความกว้างของพัลส์ (PW) กับคาบเวลาของพัลส์ (T) หรือเรียกว่าวัฏจักรหน้าที่ (Duty Cycle) เนื่องจากการปรับ วัฏจักรหน้าที่ (Duty Cycle) เป็นตัวกำหนดปริมาณพลังงานให้กับอุปกรณ์ งานวิจัยนี้เขียนโปรแกรมกำเนิดสัญญาณที่สามารถปรับความกว้างของพัลส์ (PWM) จากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR (Arduino) การผสมสัญญาณรูปสามเหลี่ยมและสัญญาณรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) ใช้หลักการที่ส่งค่าแบบดิจิทัลคือ 0-1 ด้วยความถี่ค่าหนึ่ง ผลที่ได้จากการผสมสัญญาณดังกล่าวได้รูปคลื่นสัญญาณพัลส์ที่มี 2 สถานะ คือ สถานะเปิดหรือสัญญาณสูง (1) และสถานะปิดหรือสัญญาณต่ำ (0) เมื่อนำสัญญาณที่ได้ไปขับหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง (High Power LED) ได้ผลการควบคุมคือ เมื่อสัญญาณพัลส์มีสถานะเปิดหลอดไฟติดสว่างเต็มที และถ้าเป็นสถานะปิดหลอดไฟดับ หากการติด-ดับมีความถี่สูงจนสายตาไม่สามารถสังเกตการติดดับ เห็นเป็นเพียงแสงที่หรี่ลงหากทำให้ช่วงเวลาเปิดน้อยลง และหากทำให้เวลาเปิดมากขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้หลอดไฟสว่างขึ้นเรื่อย ๆ จนเต็มที่เมื่อเปิดตลอด ในการใช้งาน สัญญาณที่

สามารถปรับความกว้างของพัลส์ (PWM) ต้องเลือกขาที่เขียนว่าเป็นสัญญาณที่สามารถปรับความกว้างของพัลส์ (PWM) เท่านั้น



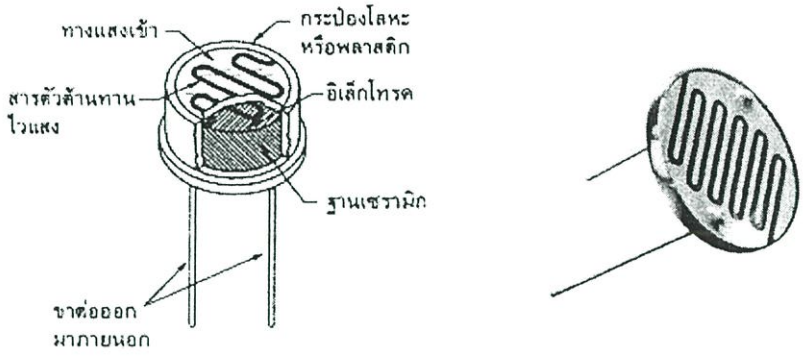
ภาพที่ 2.8 วงจรที่ให้กำเนิดสัญญาณที่สามารถปรับความกว้างของพัลส์ (PWM)



ภาพที่ 2.9 การนำสัญญาณสองสัญญาณมาเปรียบเทียบกัน

2.3 ตัวต้านทานไวแสง (Light Dependent Resistor)

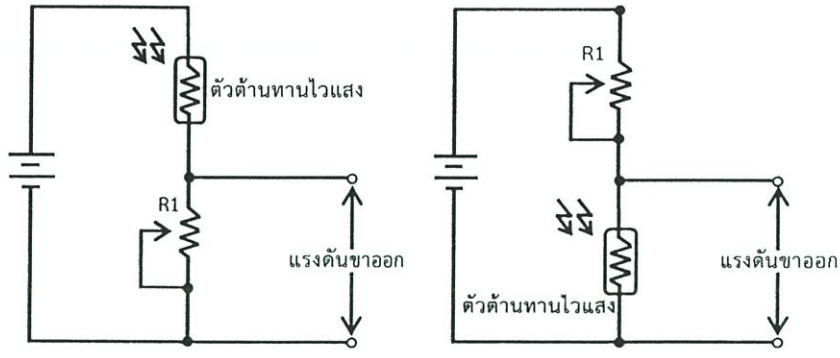
ตัวต้านทานไวแสง (Light Dependent Resistor: LDR) สามารถเปลี่ยนสภาพทาง ความนำไฟฟ้าได้เมื่อมีแสงตกกระทบ เป็นตัวต้านทานที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำประเภทแคดเมียมซัลไฟด์ (Cadmium Sulfide: Cds) หรือแคดเมียมซิลินายส์ (Cadmium Selenide: CdSe) โดยเอามาฉาบลงบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรองแล้วต่อขาจากสารที่ฉาบไว้ออกมาดังโครงสร้างในภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 โครงสร้างของตัวต้านทานไวแสง (LDR)

ตัวต้านทานไวแสง (LDR) ไวต่อแสงช่วงคลื่น 400-1000 นาโนเมตร ซึ่งครอบคลุมช่วงคลื่นที่ไวต่อตาคนคือ 400-700 นาโนเมตร นั่นคือตัวต้านทานไวแสง (LDR) ไวต่อแสงอาทิตย์ และแสงจากหลอดไส้ หรือหลอดเรืองแสง และยังไวต่อแสงอินฟราเรดที่ตามองไม่เห็น (ช่วงคลื่นตั้งแต่ 700 นาโนเมตรขึ้นไป) ในส่วนของคุณสมบัติทางไฟฟ้าของตัวต้านทานไวแสง (LDR) มีอัตราส่วนของความต้านทานในขณะที่ไม่มีแสงกับในขณะที่มีแสงอาจมีค่าต่างกัน 100, 1,000, 10,000 เท่า แล้วแต่แบบหรือรุ่นความต้านทานในขณะไม่มีแสงอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.5 เมกะวัตต์ ขึ้นไป และความต้านทานขณะที่มีแสงอยู่ในช่วงตั้งแต่ 10 กิโลวัตต์ลงมา ทนแรงดันสูงสุดได้มากกว่า 100 โวลท์ และทนกำลังไฟฟ้าได้ประมาณ 50 มิลลิวัตต์

การใช้ตัวต้านทานไวแสง (LDR) ทำงานเสมือนเป็นสวิตช์ปิด-เปิดวงจร ใช้หลักการเพียงสองอย่างคือ มีแสง หรือไม่มีแสง โดยทั่วไปทำการต่อวงจรโดยการนำมาอนุกรมกับตัวต้านทานตัวหนึ่งแล้วต่อเป็นวงจรแบ่งแรงดันออกมาตามภาพที่ 2.11(ก) ทำงานดังนี้คือ ถ้ามีแสงสว่างตัวต้านทานไวแสง (LDR) มีความต้านทานต่ำ ทำให้แรงดันส่วนใหญ่มาตกคร่อม R1 ส่งผลให้แรงดันขาออก (Output) สูงเกือบเท่าแรงดันไฟฟ้าเลี้ยง และถ้าไม่มีแสง ตัวต้านทานไวแสง (LDR) มีความต้านทานสูงแรงดันส่วนใหญ่ไปตกที่ตัวต้านทานไวแสง (LDR) ส่งผลให้แรงดันขาออก (Output) มีค่าเกือบเป็น 0 โวลต์ ส่วนในภาพที่ 2.11(ข) วงจรทำงานในทางตรงข้าม เพียงแต่สลับที่ระหว่างตัวต้านทานไวแสง (LDR) กับ R1 เวลามีแสงสว่างแรงดันขาออก (Output) มีค่าเกือบเป็น 0 โวลต์ เวลาไม่มีแสงสว่างแรงดันขาออก (Output) มีค่าเกือบเท่าแรงดันไฟฟ้าเลี้ยง เห็นได้ว่าตรงกันข้ามกับกรณีแรก แต่ทั้งสองกรณีมีวงจรที่ต่อออกไปสำหรับจับสัญญาณว่ามีแสงสว่างหรือไม่ แล้วนำไปควบคุมสวิตช์ให้ทำงาน



(ก) การต่อวงจรแบ่งแรงดันแบบตัวต้านทานไวแสง (LDR) อนุกรมกับ

(ข) การต่อวงจรแบ่งแรงดันแบบตัวต้านทานไวแสง (LDR) ขนานกับ

ภาพที่ 2.11 การต่อวงจรแบ่งแรงดันของตัวต้านทานไวแสง (LDR)

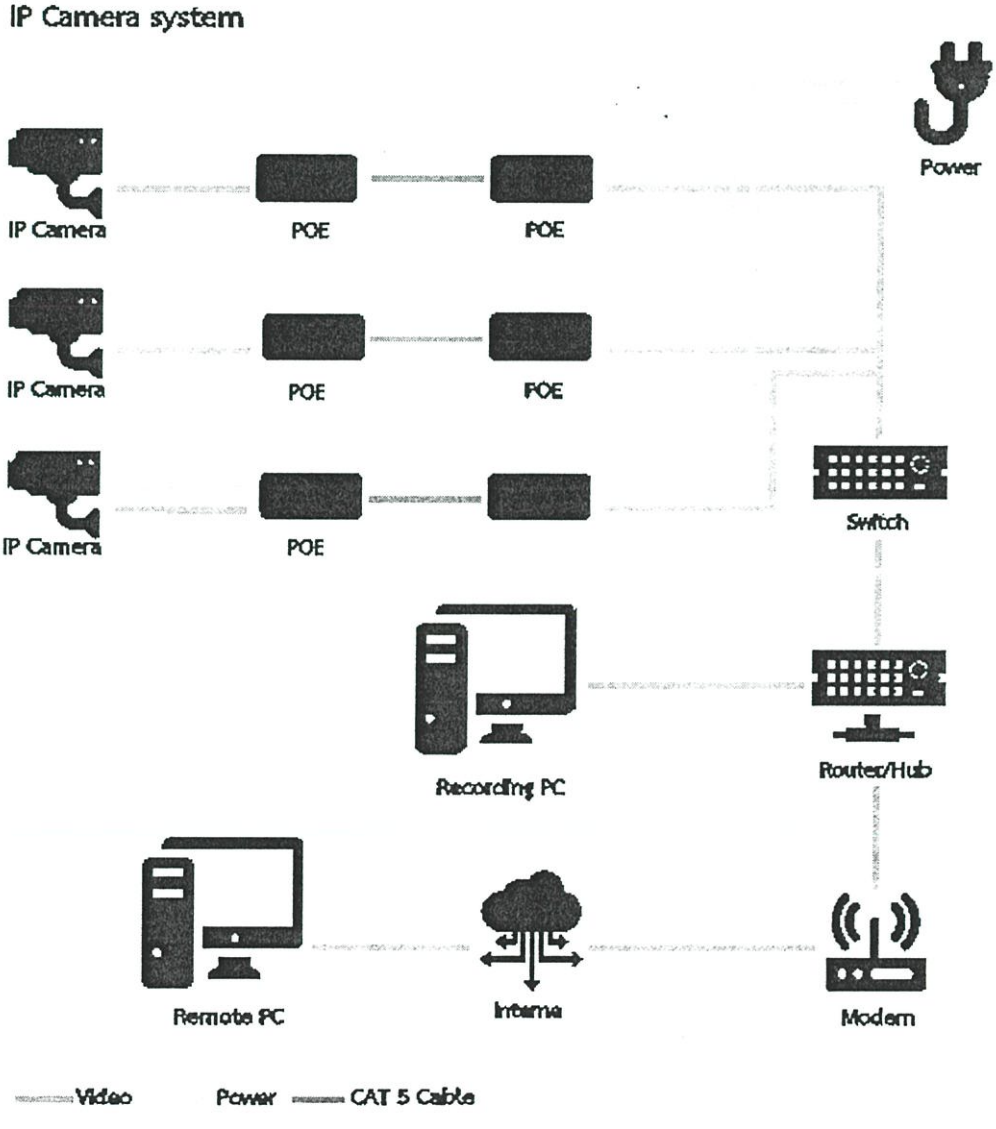
2.4 กล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (IP Camera)

2.4.1 หลักการทำงานของกล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (IP Camera)

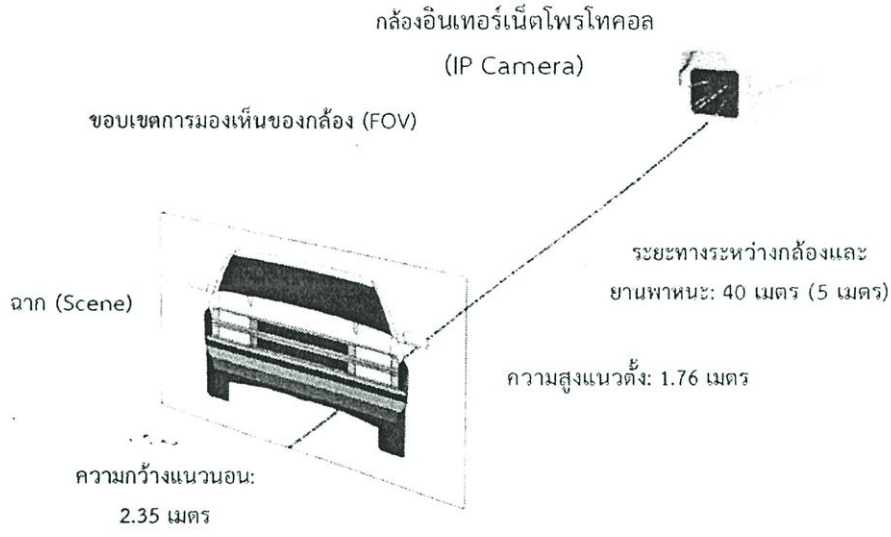
กล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (Internet Protocol Camera :IP Camera) หรือกล้องเครือข่าย (Network Camera) เป็นประเภทของกล้องวีดีโอดิจิทัล (Digital Video Camera) มีหลักการทำงานเหมือนกล้องทั่วไปที่ใช้สำหรับเฝ้าระวัง และที่แตกต่างจากกล้องวงจรปิด (Closed Circuit Television :CCTV) แบบแอนะล็อก คือสามารถส่งและรับข้อมูลผ่านทางระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ และอินเทอร์เน็ตได้ กล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (IP Camera) มักถูกนำไปใช้กับผู้ใช้เฉพาะสำหรับการเฝ้าระวังหรือตรวจจับการเคลื่อนไหวของคน หรือยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านไปมา โดยที่ผู้ใช้งานสามารถดูภาพสดจากระยะไกลบนระบบอินเทอร์เน็ต หรือระบบเครือข่ายได้ ผ่านทางโปรแกรมที่มาพร้อมกับกล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (IP Camera) กับดูภาพผ่านทางเว็บบราวเซอร์ (Web Browser) แต่ไม่จำเป็นต้องต่อทำงานร่วมกับเครื่องคอมพิวเตอร์ตลอดเวลา และสามารถสั่งงานกับควบคุมและบันทึกภาพได้ภายในตัว ภาพที่ 2.12 แสดงระบบการทำงานของกล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (IP Camera) และมีการต่อร่วมกับอุปกรณ์แปลงไฟ (Power Over Ethernet :POE) คือสามารถจ่ายไฟให้ตามสายแลน (LAN) ได้ทำให้ประหยัดค่าเดินสายไฟฟ้า หรือสะดวกต่อการสำรองไฟฟ้า โดยไฟฟ้าที่ผ่านสายแลนนี้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงจึงไม่มีการรบกวนสัญญาณภายในสายแลน

กล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (IP Camera) มักถูกติดตั้งบนทุกช่องจราจร ประกอบด้วย ทางหลวง ถนน ที่จอดรถหรืออื่น ๆ โดยความละเอียดของกล้องวีดิโอที่ถูกบันทึกด้วยกล้องไม่ควรต่ำกว่า 4CIF หรือความละเอียดของการประมวลผลภาพวีดิโอ (processes video

frames) น้อยสุดที่ต้องการคือไม่ต่ำกว่า 704 x 576 พิกเซล เมื่อคำนึงถึงชนิดของเซ็นเซอร์รับภาพมาตรฐาน (เช่น 1/3) และความยาวโฟกัสของเลนส์ที่ใช่เท่ากัน ตัวอย่างดังแสดงในภาพที่ 2.13 ความยาวโฟกัสของเลนส์ 60 มิลลิเมตร มีค่าขอบเขตการมองเห็น (Field of View: FOV) ของกล้องจากระยะห่างประมาณ 40 เมตร คือ 2.35 x 1.76 เมตร ค่าขอบเขตการมองเห็น (FOV) ของกล้องขนาดเดียวกันรับค่า ๆ ได้จากระยะห่าง 5 เมตร แต่ความยาวโฟกัสมีค่า 8 มิลลิเมตร



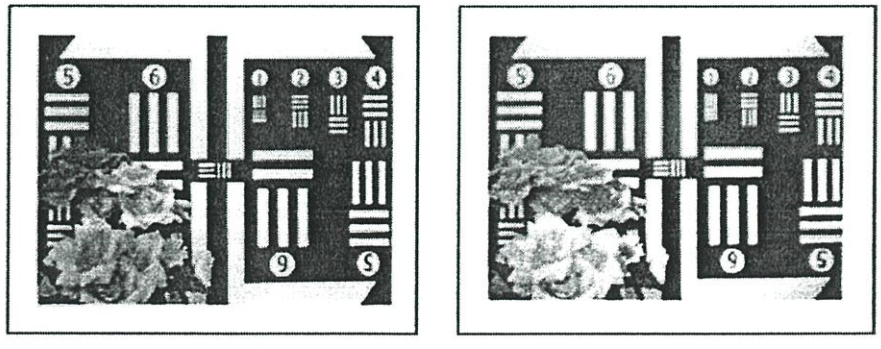
ภาพที่ 2.12 ระบบการทำงานของกล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (IP Camera)



ภาพที่ 2.13 ตัวอย่างตัวแปร (Parameter) ที่ถูกกำหนดของค่าขอบเขตการมองเห็น (FOV)

2.4.2 หลักการทำงานของระบบวิสัยทัศน์ในการมองช่วงเวลากลางคืนด้วยรังสีอินฟราเรด (Infrared Night Vision) ภายในกล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (IP Camera)

กล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (IP Camera) รุ่น Axis P1425 LE ภายในมีระบบวิสัยทัศน์ในการมองช่วงเวลากลางคืนด้วยรังสีอินฟราเรด (Infrared Night Vision) โดยมีหลักการทำงานคือใช้แสงจากหลอดอินฟราเรด (Infrared: IR) ส่องกระทบวัตถุจะทำงานเมื่อแสงน้อยในระดับหนึ่ง โดยมีตัวตรวจจับ (Sensor) ที่ด้านหน้าของกล้องแล้วส่งสัญญาณให้หลอดอินฟราเรด (IR) ทำงาน และเมื่อแสงน้อยภาพเปลี่ยนเป็นขาว-ดำ ดังแสดงในภาพที่ 2.14 เห็นความแตกต่างของภาพระหว่างที่อินฟราเรดทำงานและไม่ทำงาน ซึ่งมีข้อดีคือ สามารถมองเห็นในที่มืดสนิทได้เลย เพราะใช้แสงอินฟราเรด (IR) ส่องไปที่วัตถุโดยตรง

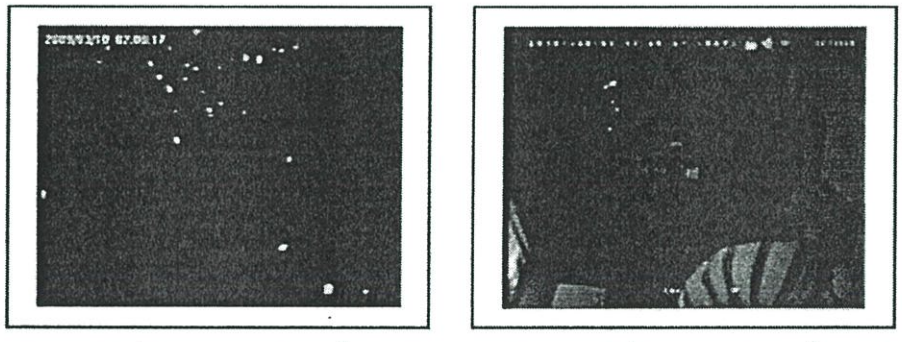


อินฟราเรดไม่ทำงาน **อินฟราเรดทำงาน**

ภาพที่ 2.14 ความแตกต่างของภาพที่มีระบบอินฟราเรดและไม่มีระบบอินฟราเรด

การเลือกใช้งานควรเลือกตามความเหมาะสมกับสถานที่ติดตั้งเช่น ถ้าสถานที่ติดตั้งไม่มีแสงสว่างเลยหรือมืดสนิท และระยะไม่ไกลมากควรใช้กล้องอินฟราเรด (IR) ส่วนสถานที่ติดตั้งที่มีแสงสว่างบ้างต้องการคุณภาพของภาพสูงและมีงบประมาณควรใช้กล้องที่ทำงานได้ทั้งกลางวันและกลางคืน (Day & Night)

ระบบการทำงานทั้งกลางวันและกลางคืน (Day & Night Vision) กล้องวงจรปิดที่มีระบบการทำงานทั้งกลางวันและกลางคืน (Day & Night Vision) คือกล้องวงจรปิด ที่สามารถใช้งานได้ทั้งกลางวันและกลางคืน แต่ต้องการแสงเล็กน้อยเพื่อให้กล้องวงจรปิดสามารถจับภาพได้และเมื่อกล้องวงจรปิดได้รับแสงน้อยมาก ๆ จะเปลี่ยนภาพเป็นโหมดขาว-ดำ ดังแสดงในภาพที่ 2.15 ข้อดีคือกล้องวงจรปิดที่มีระบบการทำงานทั้งกลางวันและกลางคืน (Day & Night Vision) ไม่ได้จำกัดเรื่องของระยะทางที่ตัวกล้องเพิ่มมากขึ้น ข้อเสียคือ ใช้ในที่มืดสนิทไม่ได้ ต้องการแสงเพียงเล็กน้อยเพื่อให้กล้องสามารถทำงาน



กล้องวงจรปิดที่ไม่มีระบบการทำงานทั้งกลางวันและกลางคืน (Day & Night Vision)

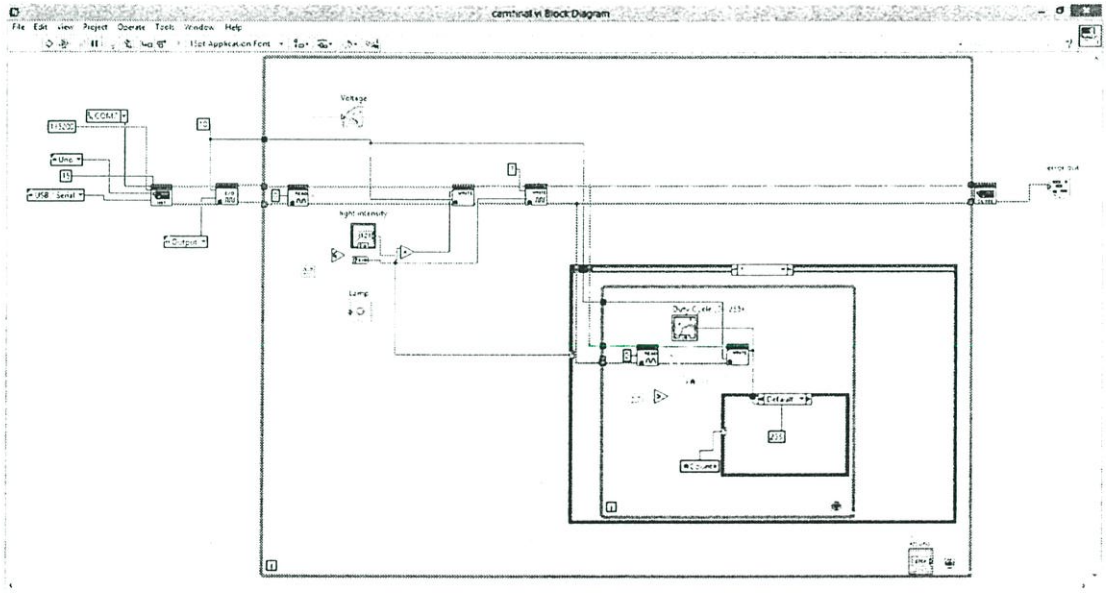
กล้องวงจรปิดที่มีระบบการทำงานทั้งกลางวันและกลางคืน (Day & Night Vision)

ภาพที่ 2.15 ความแตกต่างของภาพที่มีและไม่มีระบบการทำงานทั้งกลางวันและกลางคืน (Day & Night Vision)

2.5 โปรแกรมแลปวิว (LabVIEW)

โปรแกรมแลปวิว (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench: LabVIEW) เป็นโปรแกรมที่นำมาใช้ในด้านการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับวิศวกรรม โดยสร้างเครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม ในตัวของโปรแกรมประกอบไปด้วยฟังก์ชันที่ใช้ช่วยในการวัดมากมายและมีประโยชน์อย่างสูงเมื่อใช้ร่วมกับเครื่องมือวัดทางวิศวกรรม สิ่งที่โปรแกรมแลปวิว (LabVIEW) แตกต่างจากโปรแกรมอื่นอย่างเห็นได้ชัดที่สุดก็คือเป็นโปรแกรม

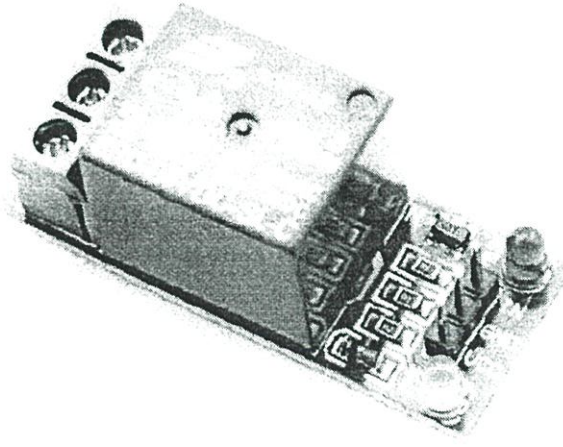
ประเภท GUI (Graphic User Interface) โดยสมบูรณ์ นั่นคือไม่จำเป็นต้องเขียนคำสั่ง (Code) ใด ๆ ทั้งสิ้น และภาษาที่ใช้ในโปรแกรมนี้เรียกว่าเป็น ภาษารูปภาพ หรือเรียกอีกอย่างว่าภาษาจี (Graphical Language: G) แทนการเขียนโปรแกรมเป็นบรรทัดด้วยรูปภาพหรือสัญลักษณ์ทั้งหมด ข้อได้เปรียบสูงสุดของโปรแกรมแลปวิว (LabVIEW) คือการพยายามทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์เมื่อรวมกับโปรแกรมแลปวิว (LabVIEW) และอุปกรณ์เชื่อมต่อเพื่อการเก็บข้อมูล (Data Acquisition Card) แล้วสามารถเปลี่ยนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลให้กลายเป็นเครื่องมือวัดในหลายรูปแบบเช่น เครื่องแสดงคลื่นกระแสไฟฟ้า (Oscilloscope) , มัลติมิเตอร์ (Multi-meter) , ฟังก์ชันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Function Generator) หรือเครื่องมือวัดอื่น ๆ ตามที่ต้องการ ทำให้สามารถใช้คอมพิวเตอร์ในการทำการวัดและเครื่องมือวัดได้อย่างกว้างขวาง เป็นที่มาของชื่อเครื่องมือวัดเสมือนจริง (Virtual Instrument: VI) และข้อได้เปรียบเหนือการใช้อุปกรณ์จริงเหล่านั้นคือเครื่องมือวัดเสมือนจริง (VI) สามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับการใช้งานของผู้ใช้แต่ละกลุ่มได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.16 เป็นตัวอย่างการเขียนโปรแกรมแลปวิว (LabVIEW) เพื่อใช้ควบคุมความความเข้มแสงของไฟถนนโดยจะเป็นเสมือนจอแสดงผล (Monitor) ของระบบนี้และยังสามารถทำการวัดวัดค่าต่าง ๆ เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า เป็นต้น



ภาพที่ 2.16 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมแลปวิว (LabVIEW)

2.6 ชุดรีเลย์ (Relay Module)

รีเลย์ (Relay) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ซึ่งทำหน้าที่ตัดต่อวงจรแบบเดียวกับสวิตช์ โดยควบคุมการทำงานด้วยไฟฟ้า รีเลย์ (Relay) มีหลายประเภท ตั้งแต่รีเลย์ (Relay) ขนาดเล็กที่ใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป จนถึงรีเลย์ (Relay) ขนาดใหญ่ที่ใช้ในงานไฟฟ้าแรงดันสูง โดยมีรูปร่างแตกต่างกันออกไป แต่มีหลักการทำงานที่คล้ายคลึงกัน ทั้งนี้รีเลย์ (Relay) ยังสามารถเลือกใช้งานได้หลากหลาย รีเลย์ (Relay) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นชุดรีเลย์ (Relay Module) คือชุดรีเลย์ที่ใช้ต่อกับเอาต์พุต (Output) ของอุปกรณ์อื่น ๆ เพื่อนำหน้าสัมผัสของรีเลย์ (Contact Relay) ไปใช้งาน ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย ซ่อมแซมได้ง่าย และเคลื่อนย้ายสะดวก รูปทรงของชุดรีเลย์ (Relay Module) ดังที่แสดงในภาพที่ 2.17 มีหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) แสดงสภาวะการทำงานของรีเลย์ (Relay)

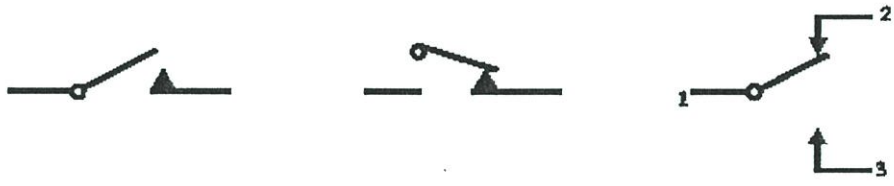


ภาพที่ 2.17 รูปทรงของชุดรีเลย์ (Relay Module)

รูปแบบหน้าสัมผัสของชุดรีเลย์มีอยู่ 3 รูปแบบ

- หน้าสัมผัสแบบ A (Form A) หมายถึง หน้าสัมผัสของรีเลย์ (Relay) ในสภาพปกติจะเปิดอยู่ (Normally open) และหน้าสัมผัสเป็นแบบปกติ (Single Pole Single Throw: SPST) เขียนเป็นสัญลักษณ์ดังแสดงในภาพที่ 2.18(ก)
- หน้าสัมผัสแบบ B (Form B) หมายถึง หน้าสัมผัสของรีเลย์ (Relay) ในสภาพปกติปิด (Normally close) และเป็นหน้าสัมผัสแบบปกติ (SPST) เขียนเป็นสัญลักษณ์ดังแสดงในภาพที่ 2.18(ข)

- หน้าสัมผัสแบบ C (Form C) เป็นหน้าสัมผัสแบบขนาบอยู่ทั้งสองด้าน (Single Pole Double Throw: SPDT) เขียนสัญลักษณ์ดังแสดงในภาพที่ 2.18(ค) หน้าสัมผัสแบบ C มีอยู่ด้วยกัน 3 ขา ในขณะที่รีเลย์ (Relay) ยังไม่ทำงาน หน้าสัมผัส 1 และ 2 ต่อกันอยู่ เมื่อรีเลย์ (Relay) ทำงานหน้าสัมผัส 1 และ 2 แยกกัน จากนั้นหน้าสัมผัส 1 มาต่อกับหน้าสัมผัส 3 แทน พอรีเลย์ (Relay) หยุดทำงานหน้าสัมผัส 1 กับ 2 กลับมาต่อกันตามเดิม

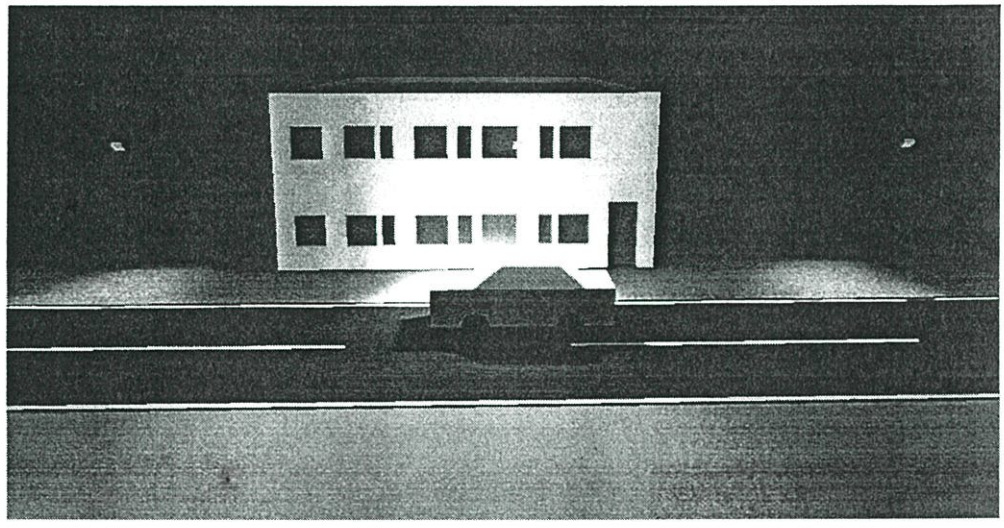


(ก) หน้าสัมผัสแบบ A (Form A) (ข) หน้าสัมผัสแบบ B (Form B) (ค) หน้าสัมผัสแบบ C (Form C)

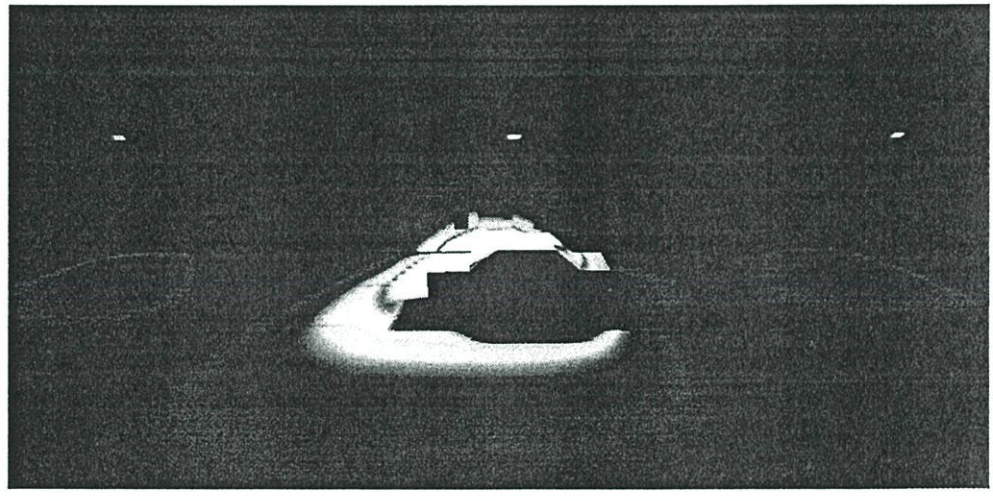
ภาพที่ 2.18 รูปแบบหน้าสัมผัสของรีเลย์

2.7 โปรแกรมจำลองการส่องสว่างของแสงจากหลอดไฟ (DIALux)

โปรแกรมจำลองการส่องสว่างของแสงจากหลอดไฟ คือโปรแกรมที่สามารถออกแบบและคำนวณระบบไฟฟ้าแสงสว่างได้อย่างชัดเจนโดยอ้างอิงค่ากำลังของความสว่าง (Lumen) และกำลังไฟฟ้า (Power) จากหลอดไฟที่นำมาใช้ สามารถนำข้อมูลของโคมไฟฟ้า และหลอดไฟแต่ละแบบมาใส่ในแบบจำลองที่สร้างขึ้นมาได้ โดยได้ค่าความส่องสว่างที่ตกกระทบพื้นที่นั้น ๆ เช่น พื้น โต๊ะ เก้าอี้ หรือบริเวณที่ต้องการทราบค่าส่องสว่าง ใช้หน่วยเป็นลักซ์ (Lux) โดยสร้างห้องหรือพื้นที่ ๆ ต้องการจำลองเป็นรูป 3 มิติ แล้วมีระดับค่าลักซ์ (Lux) บอกความส่องสว่างทุกบริเวณที่แสงส่องกระทบ โปรแกรมจำลองการส่องสว่างของแสงจากหลอดไฟสามารถแสดงผลของการส่องสว่างจากโคมไฟฟ้าที่ใช้ได้อย่างสมจริง เป็นประโยชน์ในการจำลองการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างก่อนนำไปสร้างจริง จากภาพที่ 2.19(ก) เป็นการจำลองการส่องสว่างของแสงจากหลอดไฟของระบบไฟถนนที่สามารถควบคุมความสว่างของหลอดไฟได้ และภาพที่ 2.19(ข) คือภาพจำลองความสว่างที่มีการแบ่งค่าสีได้อย่างชัดเจนเพื่อแบ่งระดับความส่องสว่างในแต่ละบริเวณ และสามารถบอกค่าความส่องสว่างเป็นตัวเลขอย่างละเอียดของทุกบริเวณ เนื่องจากมีการใช้วงจรควบคุมความสว่างของหลอดไฟทำให้บริเวณที่มียานพาหนะผ่านมีความส่องสว่างมากกว่าบริเวณที่ไม่มียานพาหนะผ่าน



(ก) ภาพจำลองสามมิติของการส่องสว่างของแสงจากหลอดไฟของระบบไฟถนน



(ข) ภาพจำลองความสว่างที่มีการแบ่งค่าสีเพื่อแบ่งระดับความส่องสว่างในแต่ละบริเวณ

ภาพที่ 2.19 ภาพจำลองระบบไฟถนน

การออกแบบงานไฟฟ้าแสงสว่างบนถนนมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการสัญจรให้กับผู้ใช้รถใช้ถนนในเวลากลางคืน โดยการออกแบบไฟฟ้าแสงสว่างบนถนนต้องมีความสว่างที่ตรงตามเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งทำให้ผู้ขับขี่มีการมองเห็นที่ชัดเจนมากขึ้นหรือเทียบเท่ากับในเวลากลางวัน และทำให้ผู้ขับขี่สามารถรับรู้ข้อมูลข่าวสารที่สำคัญต่าง ๆ ได้อย่างครบถ้วนและมีประสิทธิภาพ ความต้องการไฟฟ้าแสงสว่างของถนนในแต่ละบริเวณจะแตกต่างกันไปตามลักษณะทาง

กายภาพของถนน สภาพการจราจรในแต่ละพื้นที่ การติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างบริเวณทางแยก ทางร่วม ทางโค้ง และบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงแนวทางเดินรถ แสงสว่างจะช่วยให้ปลอดภัยยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ไฟฟ้าแสงสว่างยังมีประโยชน์ด้านความปลอดภัยมากในพื้นที่เขตชุมชนหรือในเมือง เพราะไม่เพียงแต่ทำให้ผู้ใช้ทางมีความปลอดภัยด้านการจลาจลเท่านั้น แสงสว่างยังช่วยป้องกันอาชญากรรมให้กับคนเดินเท้าอีกด้วย การออกแบบงานไฟฟ้าแสงสว่างบนถนนจึงจำเป็นที่ต้องออกแบบให้มีประสิทธิภาพและถูกต้องมาตรฐาน จึงได้มีการนำโปรแกรมจำลองการส่องสว่างของแสงจากหลอดไฟ (Dialux) มาช่วยในการออกแบบงานไฟฟ้าแสงสว่างบนถนน

2.8 การทบทวนวรรณกรรม

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงสำหรับภายนอกอาคาร พบว่า ในบางประเทศได้มีการวิจัยเกี่ยวกับหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ใช้กับไฟถนนมากมาย [1-17] โดยที่ในเอกสารอ้างอิง [1] ได้กล่าวถึงพฤติกรรมของหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง มีการพิจารณาในเรื่องอุณหภูมิของหลอดไดโอดเปล่งแสงแม้ว่าว่าจะมีการใช้พลังงานที่ต่ำก็ตาม การวิเคราะห์วงจรพาวเวอร์ซัพพลายที่ใช้ ในเอกสารอ้างอิง [3] เป็นการพัฒนาหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูงเพื่อประสิทธิภาพทางพลังงานให้ดียิ่งขึ้น เช่น การควบคุมแสง การปรับแต่งชุดขับหลอด ซึ่งมีการอธิบายอย่างชัดเจน ในเอกสารอ้างอิง [5] ได้กล่าวถึงโครงสร้างของคอนเวอร์เตอร์สำหรับหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูงเพื่อเป็นการลดค่าฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้น ซึ่งจะมีหลักการและวิธีการคำนวณค่าต่างๆ ของคอนเวอร์เตอร์ ในเอกสารอ้างอิง [7] ได้กล่าวถึงคุณลักษณะการกระจายแสงของโคมไฟถนนประเภทใช้หลอดไดโอดเปล่งแสง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพทางแสง ในเอกสารอ้างอิง [9] เป็นการศึกษาเกี่ยวกับความสบายตาในการมองแสงสว่างที่ออกมาจากโคมไฟถนนประเภทใช้หลอดไดโอดเปล่งแสง มุมของลำแสงที่ เพื่อความปลอดภัยในการขับรถ ในเอกสารอ้างอิง [11] ศึกษาถึงคุณลักษณะสำคัญในการจ่ายไฟให้กับหลอดไดโอดเปล่งแสง ว่าจะรับไฟจาก การไฟฟ้า หรือ แบตเตอรี่ โดยใช้ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ เพียงอย่างเดียวในการชาร์จแบตเตอรี่ โดยปราศจากการใช้ไฟจากการไฟฟ้า ในเอกสารอ้างอิง [13] บทความนี้กล่าวถึงวงจรชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง ราคาประหยัด ซึ่งเป็นวงจร บัค-บูส ทำงานในโหมดนำกระแสไม่ต่อเนื่อง ในเอกสารอ้างอิง [15] บทความกล่าวถึงอายุการใช้งานและความน่าเชื่อถือของหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูงที่ใช้สำหรับไฟถนน อันมีผลมาจากความร้อนที่เกิดขึ้น ในเอกสารอ้างอิง [17] กล่าวถึงประสิทธิภาพทางด้านพลังงานของระบบไฟถนนประเภทหลอดไดโอดเปล่งแสง การควบคุมชุดขับหลอดแบบมัลติเฟส โดยใช้การควบคุมแบบดิจิตอล จนไปถึงมีการสร้างระบบต้นแบบไว้ในบทความนี้ด้วย

จะเห็นได้ว่า ในต่างประเทศได้เริ่มมีการศึกษาถึงประสิทธิภาพและนำมาใช้ในบางประเทศแล้ว เช่น ในประเทศจีน แต่ในเรื่องของระยะเวลาการคุ้มทุน อาจยังไม่ได้ระบุอย่างชัดเจน หรือแม้แต่ตัวแปรที่สำคัญ อาทิ ความสว่าง ความสม่ำเสมอของการกระจายแสง สภาวะแสงบาดตา ภาวะไร้ประสิทธิภาพจากแสงแยงตา ที่เกิดขึ้นกับลักษณะถนนชนิดต่าง ๆ ก็ยังไม่ได้กล่าวถึงอย่างชัดเจน จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้เพื่อรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการออกแบบการติดตั้งโคมไฟหลอดไดโอดเปล่งแสงอย่างเหมาะสมกับสภาวะถนนหลักที่ใช้งานในประเทศไทย

สำหรับการควบคุมแสงสว่างในระบบแสงสว่างภายนอกอาคารนั้น จากการศึกษาบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเรื่องการควบคุมแสงสว่าง [18-30] พบว่า โดยส่วนใหญ่จะเป็นการกล่าวถึงภายในอาคาร ในเอกสารอ้างอิงที่ [18] พบว่า วิธีการหรี่แสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ประกอบด้วยผนังและแหล่งกำเนิดแสงเชื่อมต่อกันด้วยสายไฟเพียง 2 เส้นเท่านั้น ตัวหรี่ของตัวต้านทานจะจำกัดมุมเป็นส่วนเล็กๆและถูกตรวจจับโดยตัวควบคุมบัลลาสท์ ข้อมูลของมุมจะถูกเปลี่ยนเป็นข้อมูลความถี่ในการขับหลอดไฟให้เป็นที่น่าพอใจ ในเอกสารอ้างอิงที่ [19] พบว่า ข้อมูลพื้นฐานของการหรี่หลอดฟลูออเรสเซนต์ถูกสร้างในแผงควบคุมของ ELMAPS TC4 มันจะแสดงสมดุลของพลังงานรอบๆจุดเริ่มต้นของอิเล็กโทรดของฮอตสปอต โดยการเปรียบเทียบปกติจะเปรียบเทียบจากการเพิ่มขึ้นของความร้อนที่ต้องการซึ่งหลอดฟลูออเรสเซนต์ถูกหรี่ ในเอกสารอ้างอิงที่ [20] พบว่า จะนำเสนอบัลลาสก์อิเล็กทรอนิกซ์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์หลายท่อซึ่งมีเรื่องสำคัญ ได้แก่ ตัวประกอบกำลังที่มีค่าสูง ความสามารถในการหรี่ และการซอฟท์สวิตช์ซึ่งตนถึงการทำงานของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำในย่านความถี่สูง เทคนิคการควบคุมการหรี่ที่ใช้ในอินเวอร์เตอร์แบบครึ่งบริดจ์เป็นพื้นฐานของการเลื่อนเฟสในกระแสขณะติดตั้งตัวกรองกับหลอดไฟ ยิ่งไปกว่านั้นผลลัพท์ที่ได้จากการทดลองจะแสดงในการวิเคราะห์การพัฒนา ในเอกสารอ้างอิงที่ [21] Ochiai Holcombและ Regina Mueller ได้นำเสนอผลการศึกษาคุณลักษณะทางแสง และ ประสิทธิภาพของหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง (High Power LED) ประเภทต่าง ๆ เพื่อหาความเหมาะสมในการใช้งานของแต่ละประเภท ในเอกสารอ้างอิงที่ [22] David Caicedo และคณะ ได้ทำการศึกษาอัลกอลิทึ่มสำหรับใช้ในการควบคุมแสงสว่าง โดยใช้กับระบบแสงสว่างที่มีการติดตั้งเซนเซอร์แบบเฉพาะจุด เพื่อให้แสงสว่างที่ออกมา มีการกระจายแสงที่เหมาะสมกับพื้นที่ใช้งานจริงในเอกสารอ้างอิงที่ [23] Michael Fischer และคณะได้นำเสนอแบบจำลองการส่องสว่างในระบบความคุมแสงสว่างโดยใช้การคำนวณแบบเมทริกส์เข้ามาช่วยในการสร้างแบบจำลองเพื่อหารูปแบบการกระจายแสงที่เหมาะสมในพื้นที่ที่ทำการศึกษาในเอกสารอ้างอิงที่ [24] Giuseppe Parise และคณะได้นำเสนอวิธีการหาประสิทธิภาพด้านพลังงานของระบบแสงสว่างซึ่งเป็นประโยชน์ในการออกแบบระบบควบคุมแสงสว่าง ให้เหมาะสมกับระบบแสงสว่างนั้น ๆ ในเอกสารอ้างอิงที่ [25] SherifMatta และ Masud Mahmud เสนอระบบและรายละเอียดการ

ออกแบบการประหยัดพลังงานโดยการควบคุมความแสงของหลอดไฟ เพื่อให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม และใช้แสงสว่างจากภายนอกในการควบคุมการหรี่ไฟของระบบแสงสว่าง โดยทำการออกแบบและจำลองผ่านโปรแกรมในเอกสารอ้างอิงที่ [26] Giuseppe Parise และ Luigi Martirano ศึกษาวิธีการนำแสงสว่างภายนอกมาใช้ร่วมกับแสงสว่างจากหลอดไฟโดยใช้เทคนิกการวัด แสงสว่างแบบต่างๆมาใช้กับระบบควบคุมแสงสว่างในเอกสารอ้างอิงที่ [27] AndariHusen และคณะ ศึกษาการควบคุมแสงสว่างของหลอดไฟในระบบแสงสว่าง ให้พอดีกับความต้องการของผู้ใช้แสงสว่าง ในเอกสารที่ [28] Richard Mistrick และ Craig Casey นำเสนอการใช้ซอฟแวร์เดย์ซิมในการจำลองข้อมูลที่เกี่ยวกับแสงสว่างภายนอก เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการออกแบบระบบแสงสว่างที่ใช้แสงสว่างจากภายนอกร่วมด้วย ในเอกสารที่ [29] Fracis Rubinstein และ Mahmut Karaye นำเสนอผลการทดสอบการใช้แสงสว่างจากภายนอกร่วมกับระบบควบคุมแสงสว่างตามช่วงเวลา (Occupancy control strategy) ซึ่งช่วยในการประหยัดพลังงานเนื่องจากชั่วโมงการทำงานของระบบแสงสว่างลดน้อยลง ในเอกสารอ้างอิงที่ [30] Luigi Martirano ศึกษาวิธีการประหยัดพลังงานในระบบแสงสว่างโดยการเปรียบเทียบระหว่างการระบบควบคุมแสงสว่างแบบเปิดปิดอัตโนมัติ และระบบควบคุมแสงสว่างที่ใช้การหรี่ไฟ (dimming) ในห้องเรียนสองห้อง ซึ่งจากการศึกษาพบว่า หากนำทั้งสองระบบนี้มาใช้ร่วมกัน จะสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 54 เปอร์เซ็นต์

ซึ่งจากเอกสารอ้างอิงทั้งหมดที่กล่าวมา แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า โครงการวิจัยที่นำเสนอนี้เป็นการวิจัยเพื่อหาองค์ความรู้ใหม่อย่างแท้จริง ไม่เป็นการวิจัยซ้ำกับองค์ความรู้ที่มีอยู่แล้ว ผลจากการวิจัยนี้จะทำให้ทราบถึงองค์ความรู้ใหม่ที่ยังไม่มีการทำวิจัยมาก่อน ดังต่อไปนี้

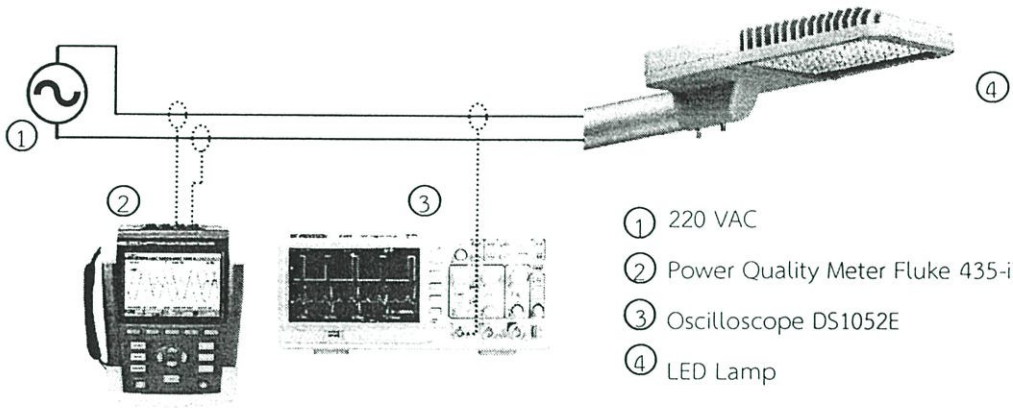
1. การควบคุมแสงสว่างอัตโนมัติให้เหมาะสมสอดคล้องกับพื้นที่และกิจกรรมโดยนำกล้องตรวจจับความหนาแน่นของรถยนต์วัตถุมาร่วมพิจารณาในการปรับระดับความส่องสว่างให้ประสานกับระบบแสงประดิษฐ์ (หลอดไดโอดเปล่งแสง) ซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างช่วงเวลากลางคืนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 3
การออกแบบและการจำลองระบบไฟถนน

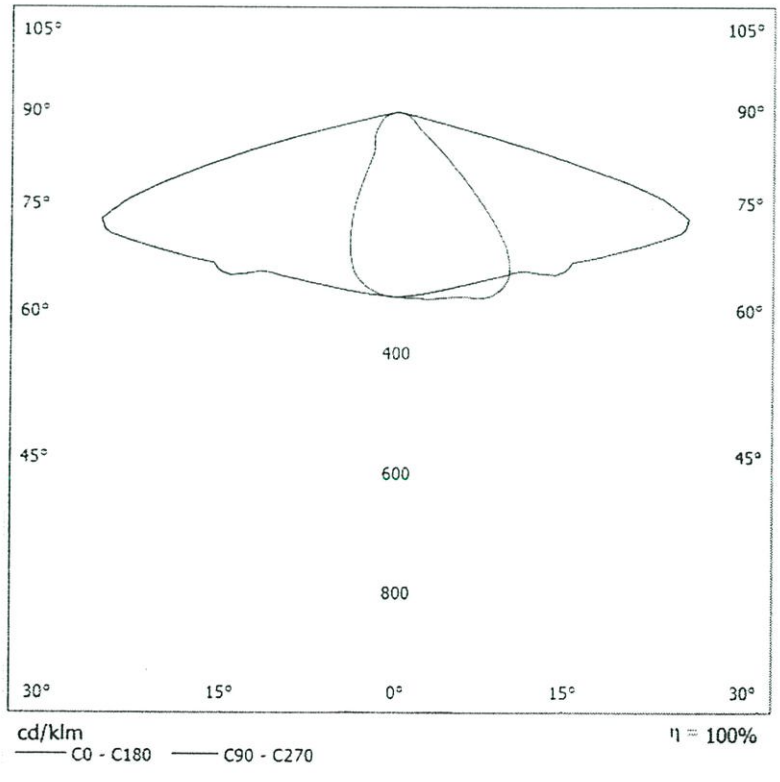
งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการควบคุมความสว่างไฟถนนแบบหลอดไดโอดเปล่งแสงอย่างอัจฉริยะ มีหลักการคือ สามารถปรับความสว่างได้อัตโนมัติ เมื่อสภาพแวดล้อมภายนอกมีความสว่างต่ำลง หลอดไฟสว่างขึ้น และดับเมื่อความสว่างภายนอกมากขึ้น ในขณะที่มียานพาหนะสัญจรผ่านเซนเซอร์ที่ได้ติดตั้งไว้ ในบทนี้กล่าวถึงการออกแบบวงจรควบคุมความสว่างของหลอดไฟถนน โดยการวัดพลังงานที่หลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง และค่าความสว่างของหลอดไฟถนนเมื่อใช้ระดับความสว่างในแต่ละระดับแรงดันที่ป้อนเข้าตัวขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED Driver) พร้อมทั้งจำลองระบบไฟถนนโดยใช้โปรแกรม DIALux เพื่อตรวจสอบว่าค่าความสว่างในแต่ละระดับนั้นมีค่าถูกต้องตามมาตรฐานกำหนดหรือไม่ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การวัดค่าพลังงานและความสว่างของหลอดไฟถนนขณะที่ไม่ติดตั้งวงจรควบคุมความสว่าง

ก่อนที่ติดตั้งวงจรควบคุมความสว่างของหลอดไฟถนน ต้องวัดค่าพลังงานและความสว่างของหลอดไฟถนนขณะที่ไม่ติดตั้งวงจรควบคุมความสว่าง โดยนำผลการทดลองที่ได้มาใช้เป็นตัวเปรียบเทียบเพื่อตรวจสอบว่าหลังจากที่ติดตั้งวงจรควบคุมความสว่างของหลอดไฟถนนแล้ว มีความสว่าง และการใช้พลังงานของระบบไฟถนนที่ลดลง การต่อวงจรที่ใช้วัดพลังงานที่ใช้ดังภาพที่ 3.1 แสดงไดอะแกรมเส้นเดียว (One line diagram) ของการต่อวงจรวัดค่าพลังงานของหลอดไฟถนนขณะไม่ติดตั้งวงจรควบคุมความสว่าง โดยขณะที่ยังไม่ติดตั้งวงจรควบคุมความสว่างของหลอดไฟสามารถต่อไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์เข้าหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูงได้โดยตรงและนำเครื่องมือวัดมาวัดค่าพลังงานแสดงดังรูป 3.1 หลอดไดโอดเปล่งแสงที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง PHILIPS รุ่น BRP372 LED122/NW 120W 220-240V DME มีข้อมูลการกระจายของแสงดังภาพที่ 3.2 เห็นได้ว่าหลอดไฟถนนรุ่นนี้มีการกระจายของแสงออกทางด้านข้างอย่างสม่ำเสมอ และมีค่าฟลักซ์การส่องสว่าง (Luminous flux) ต่อดวงโคม (Luminaire) 12130 ลูเมน ทำการวัดค่าพลังงานและความสว่างของหลอดไฟถนนขณะไม่ติดตั้งวงจรควบคุมความสว่างได้พารามิเตอร์ตามตารางที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ไดอะแกรมเส้นเดียว (One line diagram) ของการต่อวงจรวัดค่าความพลังงานของหลอดไฟถนนขณะไม่ติดตั้งวงจรควบคุมความสว่าง



ภาพที่ 3.2 ข้อมูลการกระจายแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง

PHILIPS รุ่น BRP372 LED122/NW 120W 220-240V DME

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์จากการวัดขณะที่ไม่ติดตั้งวงจรควบคุมความสว่าง

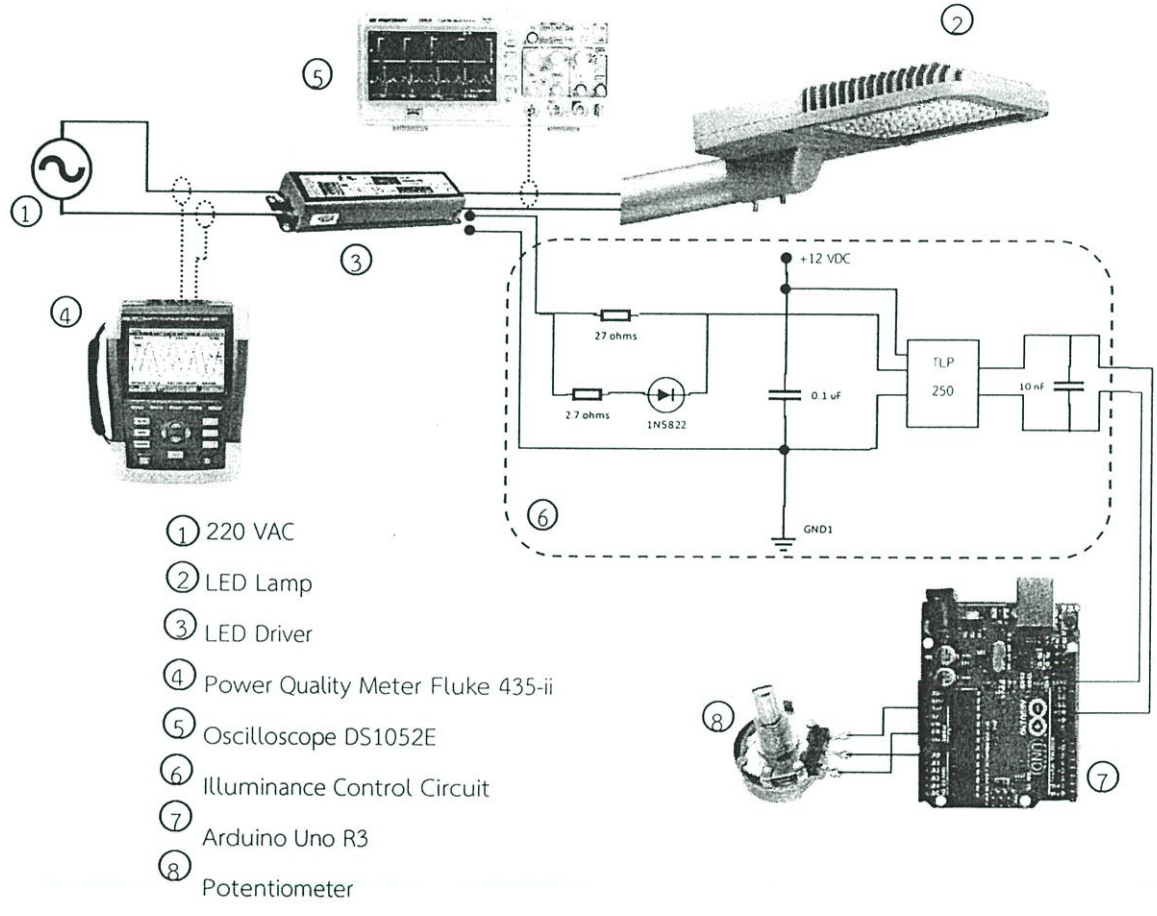
พารามิเตอร์	ผลการวัด
แรงดันขาเข้า (V_i)	220
แรงดันขาออก (V_o)	13.25
กระแสขาออก (I_o)	0.56
กำลังไฟฟ้าจริง (W)	119
กำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA)	122
กำลังไฟฟ้าเสมือน (VAR)	21
Power Factor	0.97
ความสว่าง (Lux)	788

จากการวัดค่าพลังงานและความสว่างของหลอดไฟถนนขณะไม่ติดตั้งวงจรควบคุมความสว่าง วัดค่าแรงดับขาออก (V_o) หลอดไดโอดเปล่งแสงได้ 13.25 โวลต์ แต่เนื่องจากคุณสมบัติของตัวขับหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูงสามารถปรับความสว่างได้ตั้งแต่ 0-10 โวลต์ แสดงให้เห็นว่าสามารถปรับแรงดันขาออกของหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูงได้เกินพิกัดระดับแรงดันสูงสุดที่ปรับได้ วัดค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ใช้ได้ 119 วัตต์ มีค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) 0.97 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมตามการไฟฟ้าระบุไว้ และวัดค่าความสว่างโดยวัดที่ความสูง 2.38 เมตร ได้ 788 ลักซ์

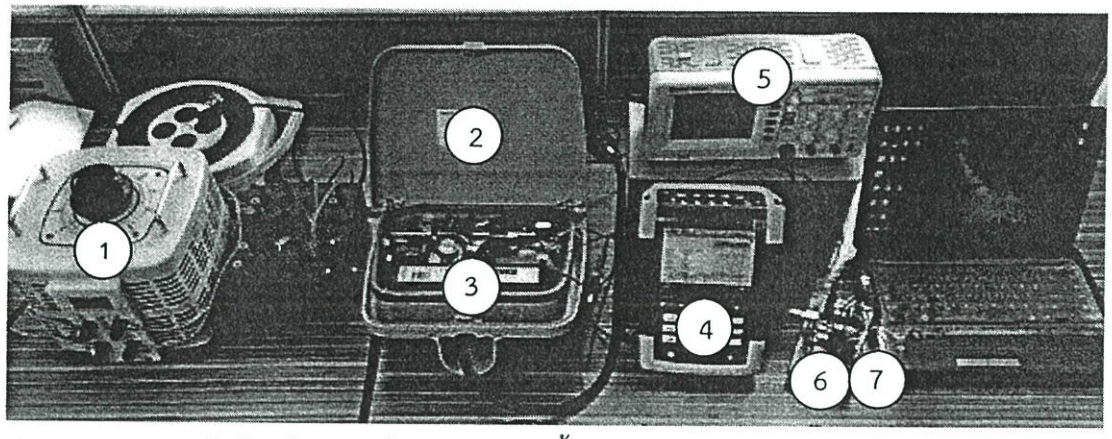
3.2 การออกแบบวงจรควบคุมความสว่างของไฟถนน

การออกแบบวงจรควบคุมความสว่างของไฟถนนสามารถต่อวงจรได้ตามภาพที่ 3.3(ก) แสดงไดอะแกรมเส้นเดียว (One line diagram) ของการต่อวงจรวัดค่าความพลังงานของหลอดไฟถนนขณะติดตั้งวงจรควบคุมความสว่างของหลอดไฟถนนแล้ว โดยมีการต่อวงจรควบคุมความสว่างเพิ่มที่ตัวขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED Driver) ทำการวัดค่าพลังงานและรูปคลื่นสัญญาณที่ตำแหน่งดังแสดงในไดอะแกรมเส้นเดียว (One line diagram) และภาพที่ 3.3(ข) แสดงชุดการทดลองวัดค่าพลังงานของไฟถนนขณะติดตั้งวงจรควบคุมความสว่างของหลอดไฟถนนแล้ว ประกอบด้วย หม้อแปลงที่สามารถปรับแรงดันได้ (Variac) เพื่อทดสอบว่าหากปรับแรงดันขาเข้าแล้วทำให้หลอดไฟถนนมีความสว่างที่ลดลงหรือไม่ (หมายเลข 1 ในรูป) หลอดไฟถนนแบบไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง (High Power LED) พร้อมด้วยตัวขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED Driver) โดยตัวขับหลอดไดโอดเปล่องแสง (LED Driver) จะถูกติดตั้งไว้ภายในโคมและเป็นรุ่นที่สามารถปรับความสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสงได้ (หมายเลข 2 และ 3 ในรูป) เครื่องตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้า (Fluke meter) เพื่อเก็บข้อมูล กระแส แรงดัน กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน กำลังไฟฟ้าปรากฏ และ ตัวประกอบกำลัง

(หมายเลข 4 ในรูป) ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) ใช้แสดงรูปคลื่นที่สามารถปรับความกว้างของพัลส์ (PWM) ในการปรับความสว่างของหลอดไฟถนน (หมายเลข 5 ในรูป) และวงจรควบคุมความสว่างของหลอดไฟถนน โดยสั่งการผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 (หมายเลข 5 และ 6 ในรูป)



(ก) ไดอะแกรมเส้นเดียว (One line diagram) ของการต่อวงจรวัดค่าความพลังงานของหลอดไฟถนน ขณะติดตั้งวงจรควบคุมความสว่าง



(ข) ชุดการทดลองวัดค่าพลังงานของไฟถนนขณะติดตั้งวงจรควบคุมความสว่างของหลอดไฟถนนแล้ว

ภาพที่ 3.3 วงจรวัดค่าความพลังงานของหลอดไฟถนนขณะติดตั้งวงจรควบคุมความสว่าง

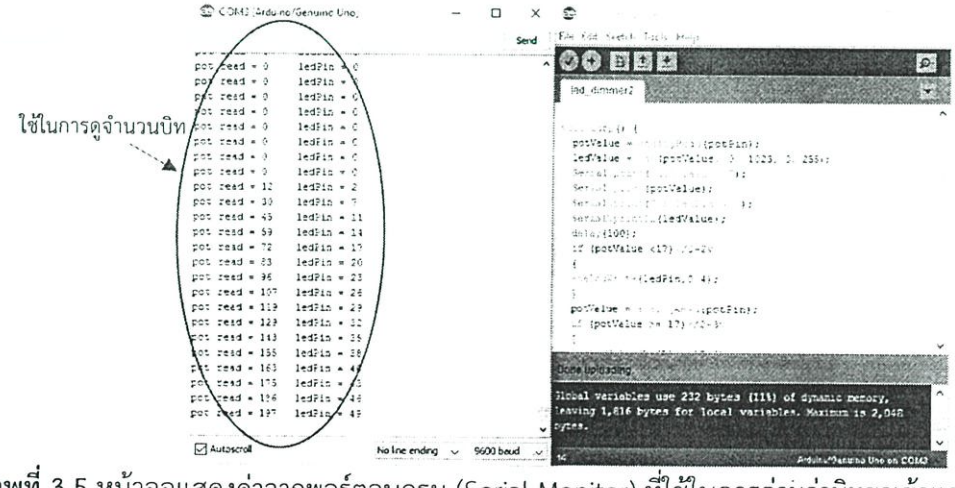
ตามปกติแล้วหลอดไฟถนนแบบไดโอดเปล่งแสงที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เมื่อเปิดใช้งานสามารถวัดแรงดันขาเข้าตัวขับได้ที่ 13.25 โวลต์ ซึ่งเป็นแรงดันที่ให้ความสว่างสูงสุด แต่เนื่องด้วยคุณสมบัติของหลอดไฟถนนที่ใช้มีคุณสมบัติในการปรับความสว่างด้วยแรงดันตั้งแต่ 0 – 10 โวลต์ (ดูเพิ่มเติมที่ภาคผนวก ฉ) จึงทำการออกแบบวงจรควบคุมความสว่างขึ้น คาดว่าสามารถช่วยประหยัดพลังงานที่ใช้ได้

ต่อวงจรดังภาพที่ 3.3 โดยขาลบของหลอดไดโอดเปล่งแสงต่อกับตัวต้านทานขนาด 220 โอห์ม และต่อเข้าไปที่ขา GND ของ Arduino และขาบวกต่อเข้ากับช่องที่ 6 ฝั่งสัญญาณขาออกดิจิตอล ส่วนทางด้านขาเข้าต่อตัวต้านทานปรับค่าได้ (หมายเลข 8 ในรูป) โดยขาบวกต่อเข้ากับช่อง 5V ขาลบต่อเข้ากับขา GND และขากลางต่อเข้าช่อง A0 และทำการเขียนโค้ดคำสั่งเพื่อให้ Arduino ทำการควบคุมความสว่างแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสง

ฝั่งขาเข้าซึ่งต่อเข้ากับตัวต้านทานปรับค่าได้อ่านค่าได้ 1024 ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ 0 ถึง 1023 และฝั่งขาออกซึ่งต่อกับไดโอดเปล่งแสงอ่านค่าได้ 256 ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ 0 ถึง 255 ค่าความสว่างแสงมากขึ้นตามการปรับค่าฝั่งขาเข้าที่มากขึ้นตามลำดับ โดยความต่างศักย์ขาออกจาก Arduino เป็นสัญญาณที่ปรับความกว้างของพัลส์ได้ (PWM) ที่ 0 ถึง 5 โวลต์ จากการเขียนคำสั่งตาม ภาพที่ 3.4

ภาพที่ 3.4 คำสั่งที่เขียนลงใน Arduino

ขั้นตอนต่อไปปรับความสว่างของหลอดไดโอดเปล่งขึ้นลงเป็นลำดับขั้นตั้งแต่ 0 ถึง 5 โวลต์ โดยเพิ่มลำดับขั้นละ 1 โวลต์ ทำการคำนวณค่าบิทขาเข้าเปรียบเทียบกับความต่างศักย์ขาออกในแต่ละลำดับขั้น แล้วเขียนคำสั่งลงใน Arduino ใหม่ (ในการดูค่าบิทขาเข้าและขาออกให้เปิดหน้าจอแสดงค่าจากพอร์ตอนุกรม (Serial Monitor) ในโปรแกรม Arduino ดังภาพที่ 3.5)



ภาพที่ 3.5 หน้าจอแสดงค่าจากพอร์ตอนุกรม (Serial Monitor) ที่ใช้ในการอ่านค่าบิทขาเข้าและขาออก

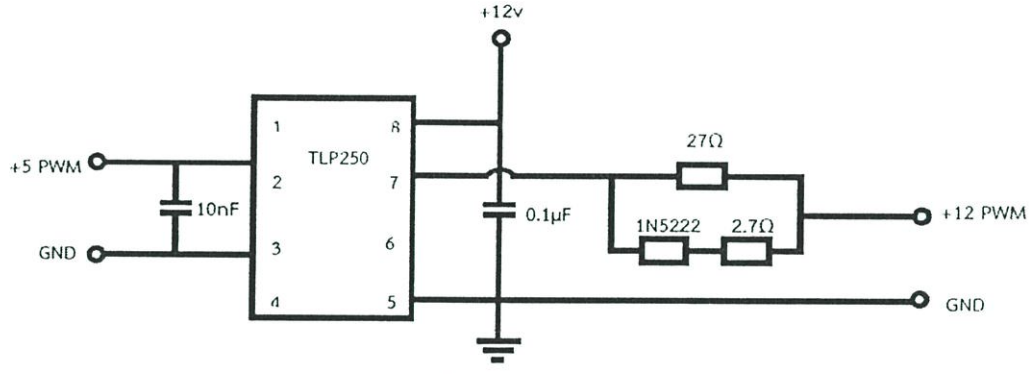
ตารางที่ 3.2 เป็นการคำนวณค่าความต่างศักย์เปรียบเทียบกับจำนวนบิทขาเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งสามารถอ่านค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1023 บิท จากนั้นนำค่าบิทที่คำนวณได้ไปเขียนคำสั่งลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อกำหนดสัญญาณขาออกเป็นลำดับขั้นและนำไปควบคุมความสว่าง ตามที่ได้กำหนดไว้ ดังภาพที่ 3.6

ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบค่าความต่างศักย์กับจำนวนบิทขาเข้า Arduino ที่ได้จากการคำนวณ

จำนวนบิทขาเข้า Arduino	ค่าความต่างศักย์ (V)
0	0
204.6	1
409.2	2
613.8	3
818.4	4
1023	5

ภาพที่ 3.6 คำสั่งที่เขียนลง Arduino เพื่อสั่งให้ปรับความสว่างของหลอดไฟเป็นลำดับขั้น

เนื่องจากสัญญาณที่ปรับความกว้างของพัลส์ได้ (PWM) ที่ส่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์มีขนาด +5 โวลต์ ทำให้ไม่มีแรงดันพอไปใช้ในการควบคุมความสว่างผ่านตัวขับของหลอดไฟถนนแบบไดโอดเปล่งแสงซึ่งใช้แรงดันตั้งแต่ 0 - 10 โวลต์ จึงใช้ออปโต้คับเปลอร์ (Opto - Coupler) เบอร์ TLP250 (สามารถอ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก ข) ต่อเข้าไปในวงจร เพื่อขยายขนาดของสัญญาณที่สามารถปรับความกว้างของพัลส์ได้ จากขนาด +5 โวลต์ เป็น +10 โวลต์



ภาพที่ 3.7 วงจรขับเกต

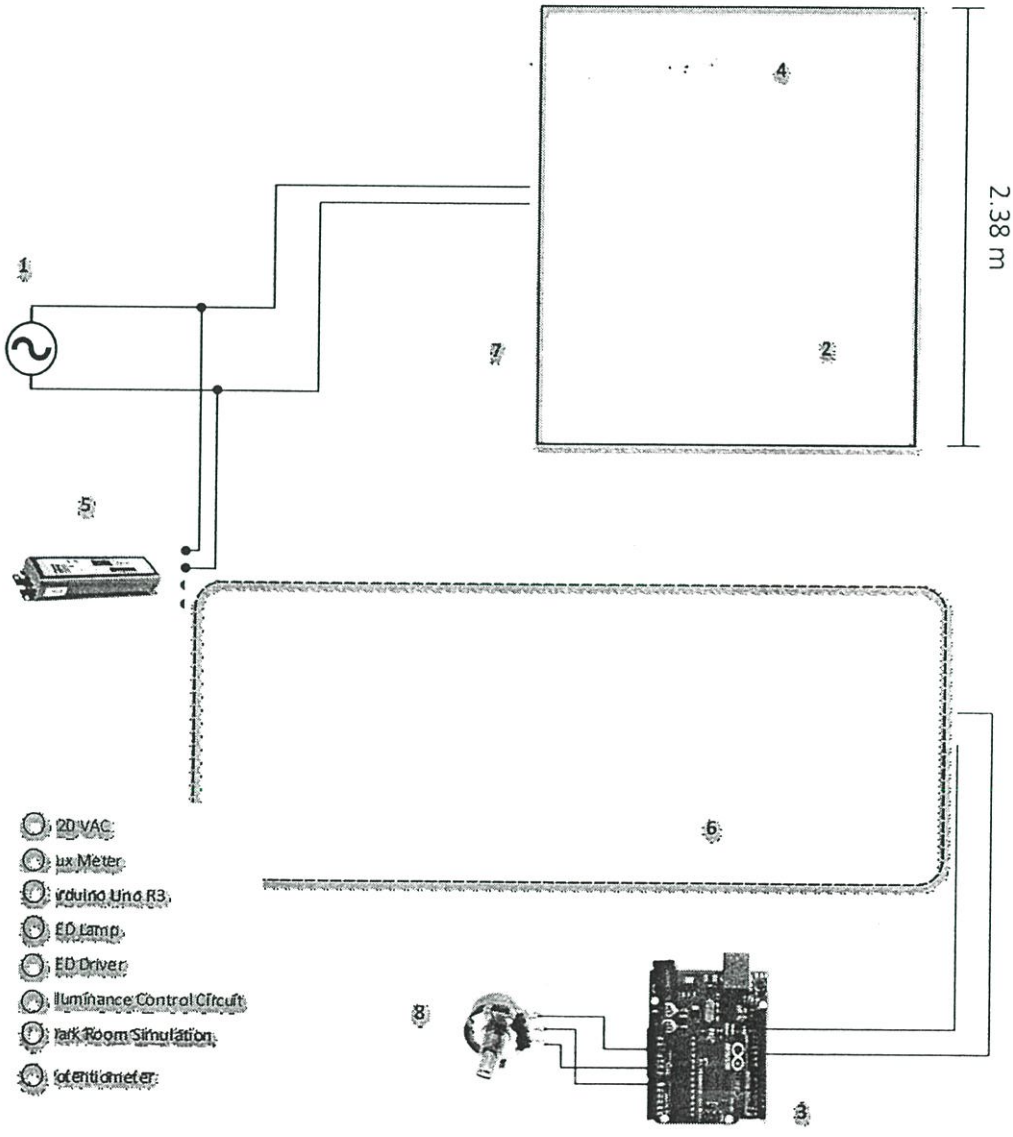
จากภาพที่ 3.7 ออปโต้คัปเปลอร์ (Opto – Coupler) รับสัญญาณปรับความกว้างของพัลส์ได้ขนาด +5 โวลต์เข้าที่ขา 2 และกราวด์เข้าที่ขา 3 โดยมีการต่อขนานตัวเก็บประจุประขนาด 10 nF เพื่อลดขนาดสไปก์ของสัญญาณ รับแรงดันไฟกระแสตรงขนาด 12 โวลต์จากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านบวกเข้าที่ขา 8 และกราวด์ที่ขา 5 มีการต่อขนานตัวเก็บประจุขนาด 0.1µF เช่นกัน ออปโต้คัปเปลอร์ (Opto - Coupler) จ่ายสัญญาณปรับความกว้างของพัลส์ได้ ขนาด +12 โวลต์ออกที่ขา 7 จากนั้นนำไปควบคุมความสว่างของหลอดไฟถนนแบบไดโอดเปล่งแสง

3.2.1 การวัดค่าความสว่างของหลอดไฟถนน

การวัดค่าความสว่างของหลอดไฟต้องทำการวัดจากชุดการทดลองการควบคุมความสว่างของไฟถนน และการจำลองระบบไฟถนนในโปรแกรม DIALux เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบความถูกต้องและตรงตามมาตรฐานกำหนด เนื่องจากการชุดการทดลองวัดความสว่างในตู้มืด ที่ความสูงหลอดไฟจากพื้น 2.38 เมตร ไม่สามารถวัดที่ความสูงเสาไฟ และความกว้างถนนได้ตามที่มาตรฐานกำหนด จึงต้องทำการจำลองระบบไฟถนนในโปรแกรม DIALux เพื่อจำลองและวัดค่าความสว่างของหลอดไฟถนน ณ ความสูงและความกว้างตามมาตรฐาน

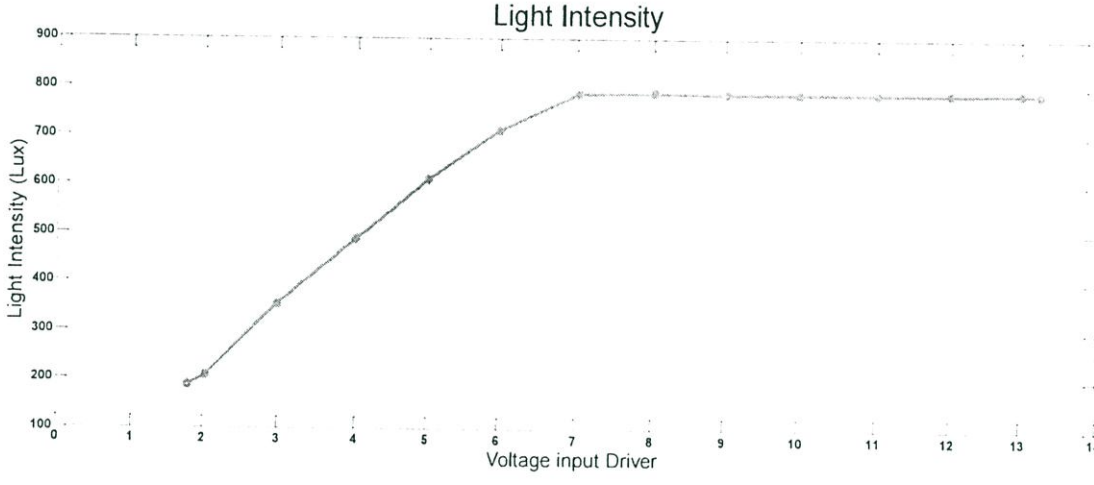
- **การวัดค่าความสว่างของหลอดไฟในตู้มืด**

ทำการติดตั้งวงจรควบคุมความสว่างของหลอดไฟดังไดอะแกรมเส้นเดียว (One line diagram) ในภาพที่ 3.8 โดยนำเครื่องวัดความสว่างแสง (Lux meter) มาวาง ณ ตำแหน่งใต้ดวงโคม เพื่อวัดค่าความสว่างสูงสุดที่ได้จากดวงโคม และทดลองวัดค่าความสว่างของหลอดไฟในตู้มืด ติดตั้งหลอดไฟที่ความสูงจากพื้น 2.38 เมตร โดยที่มีเครื่องวัดค่าความสว่างอยู่ที่พื้นตู้ จากนั้นปรับค่าความสว่างเป็นลำดับขั้น แล้ววัดความความสว่างแสงที่อ่านได้จากเครื่องวัดความสว่างแสง (Lux meter)



ภาพที่ 3.8 ไดอะแกรมเส้นเดียว (One line diagram) ของการต่อวงจรวัดค่าความสว่างของหลอดไฟถนน

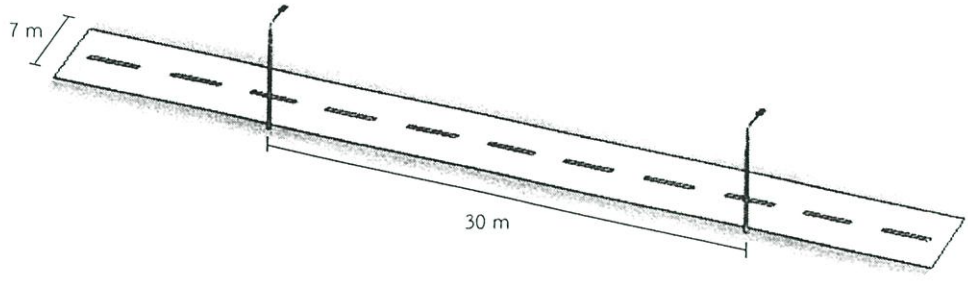
หลังจากการแปลงแรงดันขาออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำการวัดค่าความสว่างของแสงที่ได้จากการปรับชุดควบคุมความสว่างในตู้มืด พบว่าความสว่างเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามแรงดันขาเข้าตัวขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (V_{in} Driver) ที่เพิ่มขึ้น และความสว่างเริ่มมีค่าคงที่เมื่อปรับแรงดันขาเข้าตัวขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED Driver) ไปที่ 7 โวลต์ แม้ว่าเพิ่มแรงดันมากขึ้นก็ยังคงให้ค่าความสว่างเท่าเดิม เช่นเดียวกันกับค่าของกำลังไฟฟ้าจริง (W) และค่ากระแสไฟฟ้า (A) ตามภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้าตัวขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (Vin Driver) และความสว่างในแต่ละระดับแรงดัน

- **การวัดค่าความสว่างของหลอดไฟจากการจำลองระบบไฟถนนในโปรแกรม DIALux**

ในการวิจัยใช้โปรแกรมจำลองการส่องสว่างของแสงจากหลอดไฟ (DIALux) สำหรับจำลองผลการทดลองในคอมพิวเตอร์ เพื่อศึกษาโปรแกรม และออกแบบกรณีศึกษาต่าง ๆ มีการจำลองความสว่างที่ใช้กับระบบไฟถนน โดยใช้โปรแกรมจำลองการส่องสว่างของแสงจากหลอดไฟ (DIALux) เพื่อนำมาคำนวณค่าความสว่าง และออกแบบระบบไฟถนนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการจำลองการควบคุมความสว่างของหลอดไฟในระบบไฟถนน โดยใช้พื้นที่ในการคำนวณ ขนาดความกว้างถนน 7 เมตร และระยะห่างระหว่างเสาไฟฟ้า 30 เมตร โดยตำแหน่งการวางเสาไฟอยู่ที่ระยะ 15 เมตร ของพื้นที่คำนวณ ดังภาพที่ 3.10 หลอดไฟที่ใช้คือหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง (High Power LED) รุ่น PHILIPS BRP372 LED122/NW 120W 220-240V DME (รายละเอียดเพิ่มเติมที่ภาคผนวก ค)



ภาพที่ 3.10 แบบจำลองถนนสายหลักที่ใช้ในการคำนวณ

ตารางที่ 3.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากโปรแกรมจำลองการส่องสว่างของแสงจากหลอดไฟ (DIALux)

Voltage	ค่ามาตรฐาน	100% (7V-10V)	90.36% (6V)	77.54% (5V)	61.93% (4V)	44.80% (3V)
W (watt)	-	120	108	87	68	47
E_{avg} (lux)	$\geq$ 21.5	23	20	18	14	10
E_{min} (lux)	-	16	14	12	9.58	6.91
E_{max} (lux)	-	37	33	29	23	16
E_{min}/E_{avg}	$\geq$ 0.4	0.690	0.690	0.690	0.690	0.690
E_{min}/E_{max}	$\geq$ 0.167	0.423	0.423	0.423	0.423	0.423
Watt/m	$\leq$ 12.3	4.00	3.60	2.90	2.27	1.57
L_{av} (cd/m^2)	$\geq$ 1.5	1.51	1.36	1.16	0.92	0.66
U_0	$\geq$ 0.4	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
UI	$\geq$ 0.7	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85

จากตารางที่ 3.3 สามารถแบ่งการจำลองออกเป็น 5 กรณี ที่ระดับความสว่างตั้งแต่ 44.80% ของความสว่างสูงสุด ที่ 3 โวลต์ ถึงระดับความสว่างสูงสุด 100% ที่ 7 โวลต์

กรณีที่ 1 เมื่อสภาพแวดล้อมมืด และมียานพาหนะสัญจรผ่านตั้งแต่ 4 คัน หรือมากกว่า ในบริเวณที่กำหนดค่าความสว่างเฉลี่ยมีค่าเป็น 23 ลักซ์ ซึ่งเป็นค่าความสว่างสูงสุดที่ใช้งาน ที่ระดับแรงดัน7 โวลต์ ถึง 10 โวลต์ หรือ 100 % จากตาราง ที่ 3.2 พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้นั้นมีค่าสูงที่สุด ส่งผลให้ค่าความเข้มส่องสว่างเฉลี่ยมีค่าสูงที่สุด และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างที่ได้นั้นมีค่า เป็นไปตามมาตรฐานไฟถนน

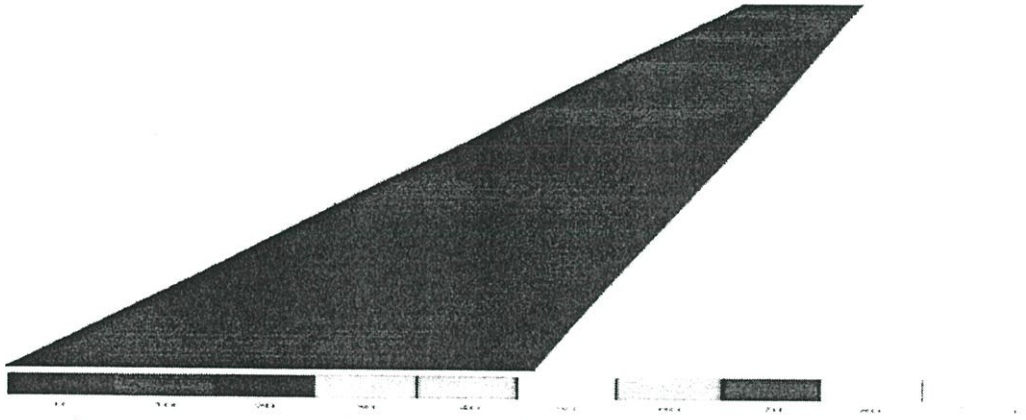
กรณีที่ 2 เมื่อสภาพแวดล้อมมืด และมียานพาหนะสัญจรผ่าน 3 คัน ในบริเวณที่กำหนดค่าความสว่างเฉลี่ยมีค่าเป็น 20 ลักซ์ ที่ระดับแรงดัน 6 โวลต์ หรือ 90.36 % จากตารางที่ 3.2พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้นั้นมีค่าลดลง 10 % จากค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ส่งผลให้ค่าความเข้ม ส่องสว่างเฉลี่ยนั้นลดลง 9.93 % จากค่าสูงสุดเช่นเดียวกัน แต่ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างนั้นมีค่าคงที่ และเป็นไปตามมาตรฐานไฟถนน

กรณีที่ 3 เมื่อสภาพแวดล้อมมืด และมียานพาหนะสัญจรผ่าน 2 คัน ในบริเวณที่กำหนด ค่าความสว่างเฉลี่ยมีค่าเป็น 18 ลักซ์ ที่ระดับแรงดัน 5 โวลต์ หรือ 77.54 %จากตารางที่ 3.2พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้นั้นมีค่าลดลง 27.5 % จากค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ส่งผลให้ค่าความเข้มส่องสว่างเฉลี่ยนั้นลดลง 23.18 % จากค่าสูงสุดเช่นเดียวกัน แต่ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างนั้นมีค่าคงที่ และเป็นไปตามมาตรฐานไฟถนน

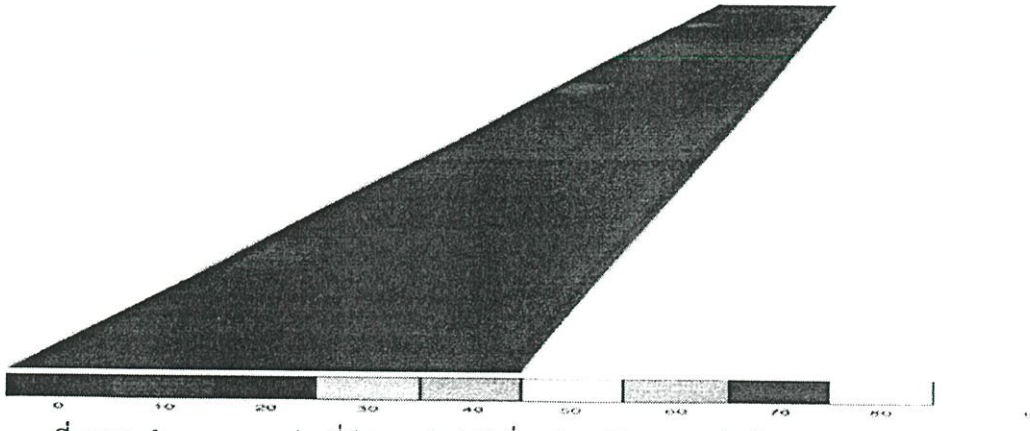
กรณีที่ 4 เมื่อสภาพแวดล้อมมืด และมียานพาหนะสัญจรผ่าน 1 คัน ในบริเวณที่กำหนด ค่าความสว่างเฉลี่ยมีค่าเป็น 14 ลักซ์ ที่ระดับแรงดัน 4 โวลต์ หรือ 61.93% จากตารางที่ 3.2พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้นั้นมีค่าลดลง 43.33 % จากค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ส่งผลให้ค่าความเข้ม ส่องสว่างเฉลี่ยนั้นลดลง 39.07 % จากค่าสูงสุดเช่นเดียวกัน แต่ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างนั้นมีค่าคงที่ และเป็นไปตามมาตรฐานไฟถนน

กรณีที่ 5 เมื่อสภาพแวดล้อมมืด และไม่มียานพาหนะสัญจรผ่านในบริเวณที่กำหนด ค่าความสว่างเฉลี่ยมีค่าเป็น 10 ลักซ์ ซึ่งเป็นค่าความสว่างต่ำสุดที่ใช้งาน ที่ระดับแรงดัน 3 โวลต์ หรือ 44.80% จากตารางที่ 3.2 พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้นั้นมีค่าลดลง 60.83 % จากกำลังไฟฟ้าสูงสุด ส่งผลให้ค่าความเข้มส่องสว่างเฉลี่ยนั้นลดลง 56.29 % จากค่าสูงสุด แต่ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างนั้นมีค่าคงที่ และ เป็นไปตามมาตรฐานเช่นเดียวกันกับเปิดไฟที่ระกับแรงดันสูงสุดที่ 7 โวลต์ ถึง 10 โวลต์ หรือ 100 %

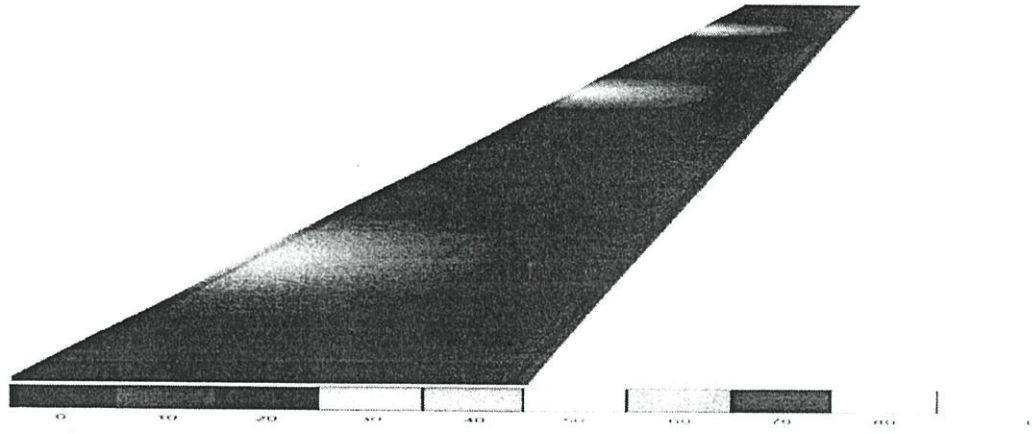
จากผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมจำลองการส่องสว่างของแสงจากหลอดไฟ (DIALux) พบว่า ค่าแรงดันที่จ่ายให้กับตัวขับหลอดไอโอดเปล่งแสง (LED Driver) เป็นตัวกำหนดค่าความสว่างของโคมไฟถนน ค่าความเข้มส่องสว่างเฉลี่ย และกำลังไฟฟ้าที่ใช้งาน โดยมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน แต่ค่าความสม่ำเสมอนั้นมีค่าคงที่ตลอดการใช้งาน และเป็นไปตามมาตรฐาน ระบบไฟถนนไม่จำเป็นต้องใช้ความสว่างสูงสุดตลอดเวลา ในขณะที่ไม่มีผู้คนหรือรถสัญจรผ่านบริเวณนั้นสามารถลดความสว่างลงได้ และในขณะที่มีรถสัญจรไปมานั้นให้เพิ่มความสว่างขึ้น ทั้งนี้การเพิ่มหรือลดความสว่างของโคมไฟถนนขึ้นอยู่กับปริมาณของยานพาหนะที่ผ่านบริเวณนั้น และความเหมาะสมกับความต้องการในช่วงเวลานั้น ๆ



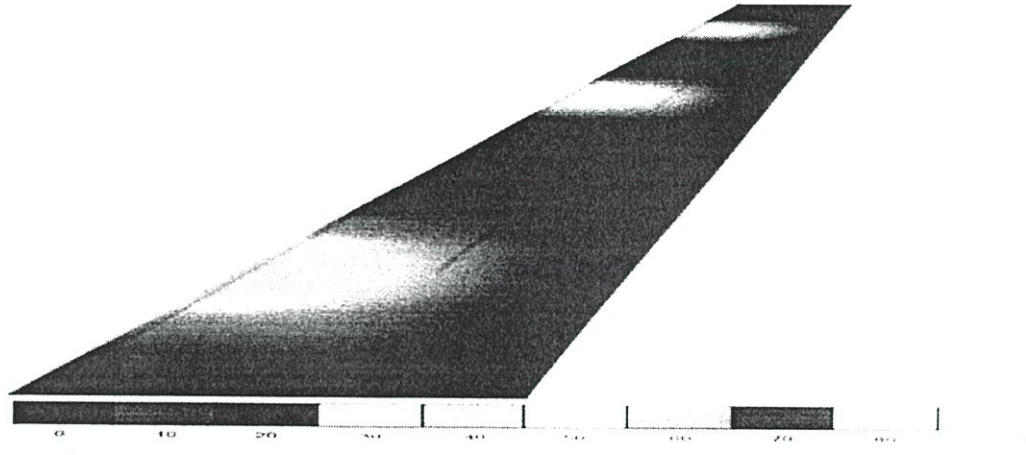
ภาพที่ 3.11 จำลองความสว่างที่มีการแบ่งค่าสีเพื่อแบ่งระดับความสว่างในแต่ละบริเวณ ของโคมไฟถนนที่ความสว่าง 23 ลักซ์



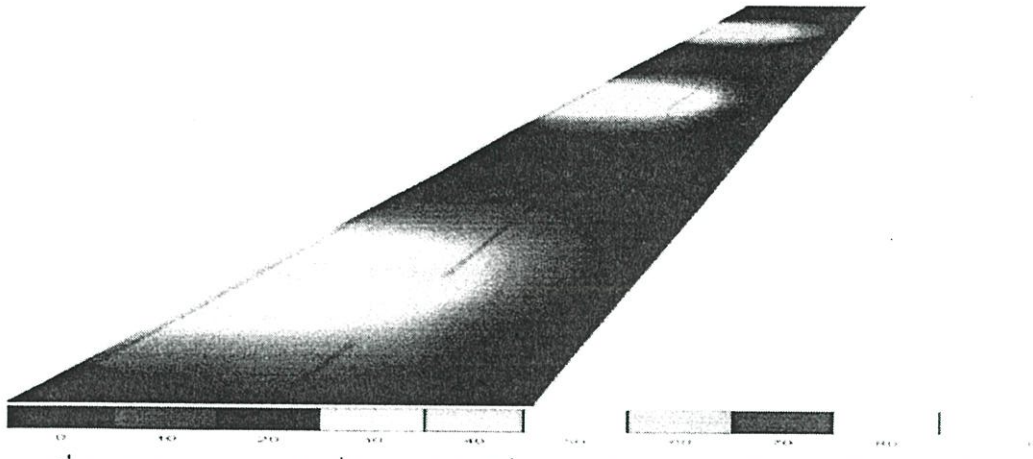
ภาพที่ 3.12 จำลองความสว่างที่มีการแบ่งค่าสีเพื่อแบ่งระดับความสว่างในแต่ละบริเวณ ของโคมไฟถนน ที่ความสว่าง 20 ลักซ์



ภาพที่ 3.13 จำลองความสว่างที่มีการแบ่งค่าสีเพื่อแบ่งระดับความสว่างในแต่ละบริเวณ ของโคมไฟถนนที่ความสว่าง 18 ลักซ์



ภาพที่ 3.14 จำลองความสว่างที่มีการแบ่งค่าสีเพื่อแบ่งระดับความสว่างในแต่ละบริเวณ ของโคมไฟถนนที่ความสว่าง 14 ลักซ์



ภาพที่ 3.15 จำลองความสว่างที่มีการแบ่งค่าสีเพื่อแบ่งระดับความสว่างในแต่ละบริเวณ ของโคมไฟถนน ที่ความสว่าง 10 ลักซ์

จากผลการทดลองด้วยโปรแกรมจำลองการส่องสว่างของแสงจากหลอดไฟ (Dialux) พบว่าที่จุดพิกัดใต้โคมมีความสว่างมากที่สุด และลดน้อยลงเรื่อย ๆ ตามรัศมีการกระจายของแสงที่ห่างออกไป สามารถดูได้จาก ภาพที่ 3.14 – 3.18 เป็นการจำลองความสว่างที่มีการแบ่งค่าสีเพื่อแบ่งระดับความส่องสว่างในแต่ละบริเวณอย่างชัดเจนซึ่งบริเวณ เมื่อสภาพแวดล้อมมืด และมียานพาหนะสัญจรผ่าน วงจรควบคุมความสว่างนั้นจะเพิ่มความสว่างขึ้น และเมื่อไม่มียานพาหนะสัญจรผ่าน ความสว่างจะถูกลดลง

3.2.2 การวัดค่าพลังงานของหลอดไฟถนน

การวัดค่าพลังงานของหลอดไฟถนนต้องทำการวัดค่าพลังงานของหลอดไฟถนนจากชุดทดลองการควบคุมความสว่างของไฟถนนโดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ และวัดความสว่างในตู้มืด ที่ความสูงหลอดไฟจากพื้น 2.38 เมตร วงจรควบคุมความสว่างของหลอดไฟที่ติดตั้งเข้าไปมีหลักการทำงานคือ ไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าจากตัวต้านทานปรับค่าได้ นำมาใช้ในการประมวลผลส่งสัญญาณที่สามารถปรับความกว้างของพัลส์ได้ทางด้านขาออก เพื่อควบคุมความสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสง โดยความสว่างขึ้นอยู่กับจำนวนบิทขาออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เป็นตัวกำหนดแรงดันขาเข้าตัวขับด้วย หมายความว่ายิ่งมีจำนวนบิทมาก ความสว่างยิ่งเพิ่มขึ้นเช่นกัน

ตารางที่ 3.4 ความสัมพันธ์แรงดันขาเข้าตัวขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED Driver) กับ พลังงานที่ใช้

แรงดันขาเข้าตัวขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED Driver)	กระแส (A)	กำลัง (W)	ตัวประกอบกำลัง
1.791	0.15	27	0.80
2.035	0.16	29	0.82
2.99	0.24	47	0.91
4	0.33	68	0.94
5.01	0.42	87	0.96
6	0.50	105	0.97
7.02	0.56	119	0.97
8.01	0.56	119	0.97
9.02	0.56	119	0.97
10	0.56	119	0.97
11	0.56	119	0.97
11.98	0.56	119	0.97
13.01	0.56	119	0.97
13.25	0.56	119	0.97

แรงดันขาเข้าตัวขับหลอดไดโอดเปล่งแสงสามารถปรับได้ตามแรงดันตั้งแต่ 0 – 13.25 โวลต์ ความสัมพันธ์แรงดันขาเข้าตัวขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED Driver) กับค่าพลังงานที่หลอดไดโอดเปล่งแสงใช้แปรผันตรงกัน เริ่มต้นการทำงานเมื่อหลอดไฟสว่างขึ้นในขณะที่ติดตั้งชุดควบคุมความสว่าง วัดแรงดันขาเข้าตัวขับได้ 1.791 โวลต์ หากค่าบิทขาเข้ามากกว่า 13 บิท แรงดันขาเข้าตัวขับเพิ่มขึ้นเป็น 2.035 โวลต์ ที่บิทขาเข้ามากกว่า 85 บิท แรงดันขาเข้าตัวขับเพิ่มขึ้นเป็น 2.99 โวลต์ ที่บิทขาเข้ามากกว่า 167, 248, 332, 420, 510, 605, 690, 790, 890, 992 และ 1023 สามารถวัดแรงดันขาเข้าตัวขับได้ 4.00, 5.01, 6.00, 7.02, 8.01, 9.02, 10.00, 11.00, 11.98, 13.01 และ 13.25 ตามลำดับ โดยที่แรงดัน 7.02 โวลต์ ให้ค่าความสว่างสูงสุดแม้ว่าจะเพิ่มแรงดันมากขึ้นก็ตาม เนื่องจากคุณสมบัติของตัวขับหลอดไดโอดเปล่งสามารถปรับความสว่างได้ตั้งแต่ 0 –10 โวลต์ เมื่อต่อวงจรปรับความสว่างของไฟทำให้เกิดค่าความสูญเสียในวงจร ส่งผลให้เกิดแรงดันตกได้ ตัวขับจึงมีการกำหนดค่าให้ที่ 7 โวลต์มีค่าความสว่างสูงสุด เพื่อคงประสิทธิภาพในการใช้งานหลอดไดโอดเปล่งไว้ ดังข้อมูลในตารางที่ 3.4

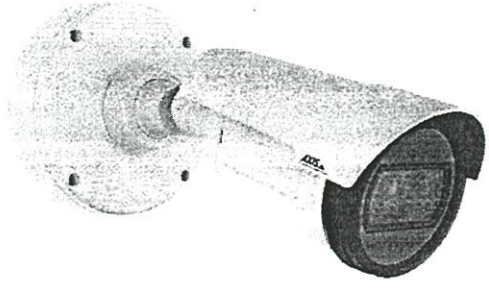
บทที่ 4
วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การติดตั้งกล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (Internet Protocol Camera)

กล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล คือกล้องวงจรปิดประเภทหนึ่ง โดยเป็นกล้องวงจรปิดประเภทที่นำความสามารถของกล้องวงจรปิดและระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์มารวมกัน โดยตัวกล้องประกอบไปด้วยระบบประมวลผลภาพ (Image Processing), ตัววิเคราะห์ภาพเคลื่อนไหว (Compression Video Analysis) และ ฟังก์ชันระบบเครือข่าย (Network function) นอกจากนี้กล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล ยังมีส่วนเก็บข้อมูลเพื่อใช้บันทึกภาพนิ่งหรือภาพเคลื่อนไหวด้วย

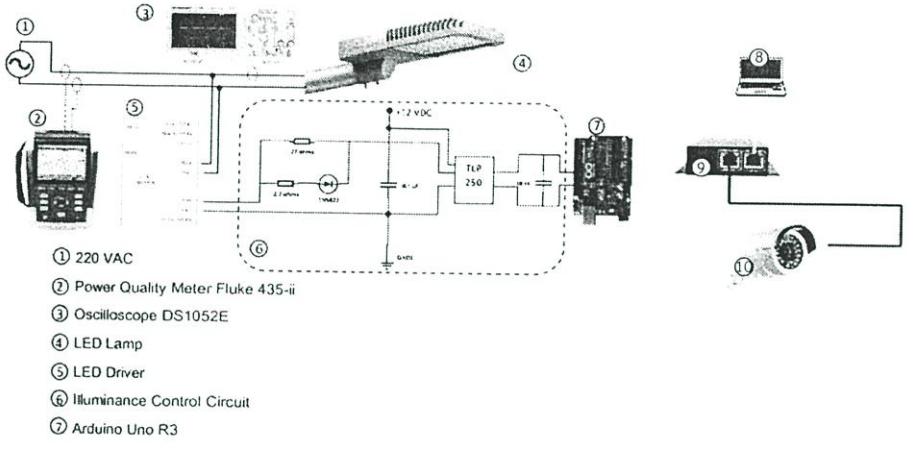
กล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอลมีเลขอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (IP Address) ของแต่ละตัวกล้องเอง ลักษณะเดียวกับเลขที่บ้านใช้บอกว่าเครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องอยู่ที่ไหนของระบบเครือข่าย ทำให้สามารถเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายที่บ้านหรือสำนักงานได้ด้วยตัวเอง ไม่ต้องมีอุปกรณ์เสริม

กล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอลยี่ห้อ Axis รุ่น P1425-LE จากภาพที่ 4.1 เป็นกล้องทรงหัวกระสุน ให้ภาพความละเอียดสูง (Hi-definition) มีการติดตั้งเทคโนโลยีอินฟราเรด สามารถใช้งานได้ในที่ที่มีความสว่างน้อยมากถึง 0.25 ลักซ์ รองรับการติดตั้งนอกภายนอกอาคาร มาตรฐานการป้องกันฝุ่นละอองและน้ำระดับ 66 (International Protection 66 : IP66) และเนื่องจากกล้องรุ่นนี้มีคุณสมบัติในการแสดงภาพได้ด้วยจำนวนภาพต่อวินาที (Framerates) สูงถึง 25-30 วินาที ทำให้สามารถตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนไหวเร็ว เช่น รถยนต์หรือยานพาหนะอื่นได้ อีกทั้งยังสามารถใช้งานได้ในช่วงเวลาที่มีแสงน้อย จึงเป็นเหตุผลที่เลือกกล้องรุ่นนี้มาใช้ในงานวิจัย



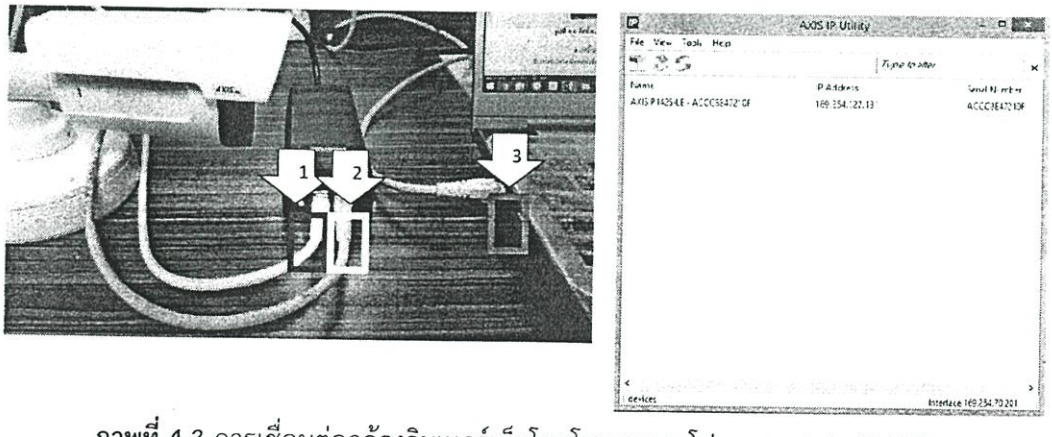
ภาพที่ 4.1 กล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (Internet Protocol) Axis รุ่น P1425-LE

ติดตั้งกล้องอินเทอร์เน็ทโพรโทคอล โดยนำสายโครงข่ายคอมพิวเตอร์เฉพาะบริเวณ (Local Area Network : LAN) ที่ออกมาจากกล้อง ต่อเข้าตัวจ่ายไฟผ่านสายโครงข่ายคอมพิวเตอร์เฉพาะบริเวณ (PoE Injector) เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับกล้อง โดยตัวจ่ายไฟผ่านสายโครงข่ายคอมพิวเตอร์เฉพาะบริเวณ (PoE Injector) ทำหน้าที่เป็นตัวแยกสัญญาณจากกล้องและนำสัญญาณเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อนำไปใช้ในการประมวลผล ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ไดอะแกรมเส้นเดี่ยวในการติดตั้งกล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (IP Camera)

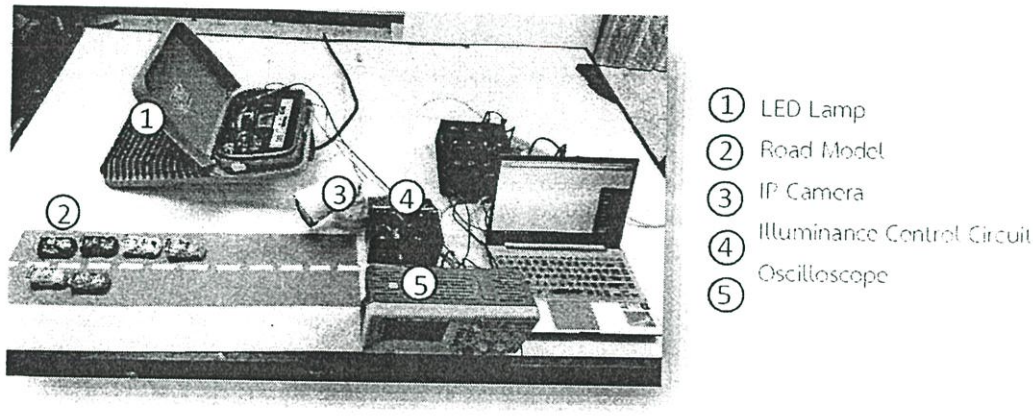
จากนั้นทำการเปิดโปรแกรม Axis IP Utility (ภาพที่ 4.3) เพื่อตรวจสอบว่ากล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอลเชื่อมต่อเข้ากับระบบแล้วหรือไม่ หากเชื่อมต่อแล้ว หน้าต่างโปรแกรมจะปรากฏชื่อกล้อง และตัวเลขเลขอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (IP Address) แสดงว่ากล้องได้เชื่อมต่อเข้าสู่ระบบเครือข่ายแล้ว



ภาพที่ 4.3 การเชื่อมต่อกล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอลและโปรแกรม Axis IP Utility

4.2 แบบจำลองชุดควบคุมการปรับความสว่างของหลอดไฟถนนแบบไดโอดเปล่งแสง

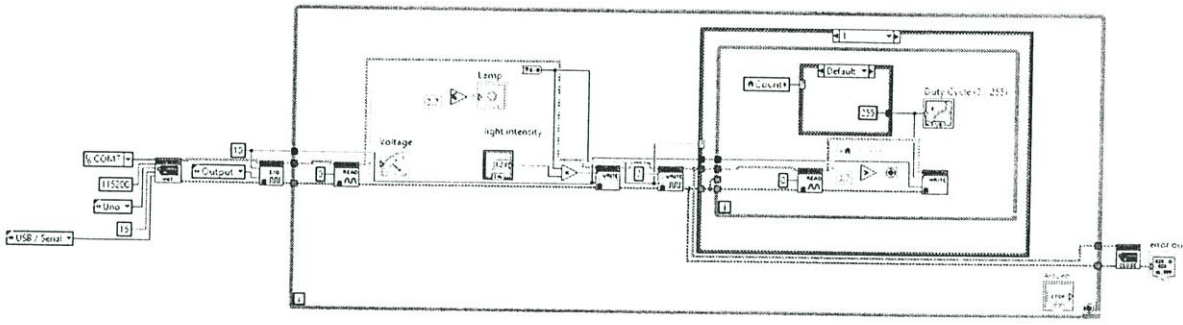
แบบจำลองการควบคุมความสว่างประกอบไปด้วยหลอดไฟถนนแบบไดโอดเปล่งแสง, แบบจำลองถนน, กล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล, วงจรควบคุมความสว่างของหลอดไฟ และออสซิลโลสโคป โดยวงจรควบคุมความสว่างของหลอดไฟมีตัวต้านทานไวแสง (LDR) เพื่อรับค่าความสว่างของแสงภายนอกแล้วนำมาสั่งการเปิดปิดหลอดไฟถนนแบบไดโอดเปล่งแสง เมื่อหลอดไฟถนนสว่างขึ้นจากนั้นกล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอลทำหน้าที่ตรวจจับความหนาแน่นของการจราจร (ในที่นี้เป็นรถจำลอง) ในขณะที่มียานพาหนะสัญจรไม่หนาแน่น ความสว่างของหลอดไฟถนนมีค่าน้อย และในขณะที่การจราจรหนาแน่น หลอดไฟถนนปรับความสว่างขึ้นโดยอัตโนมัติ จากนั้นนำออสซิลโลสโคปใช้ในการวัดรูปคลื่นสัญญาณแรงดัน ในขณะที่มีการปรับความสว่าง การติดตั้งแบบจำลองการควบคุมความสว่างแสดงดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 แบบจำลองชุดควบคุมความสว่างของหลอดไฟถนนแบบไดโอดเปล่งแสง

4.3 โปรแกรม LabVIEW

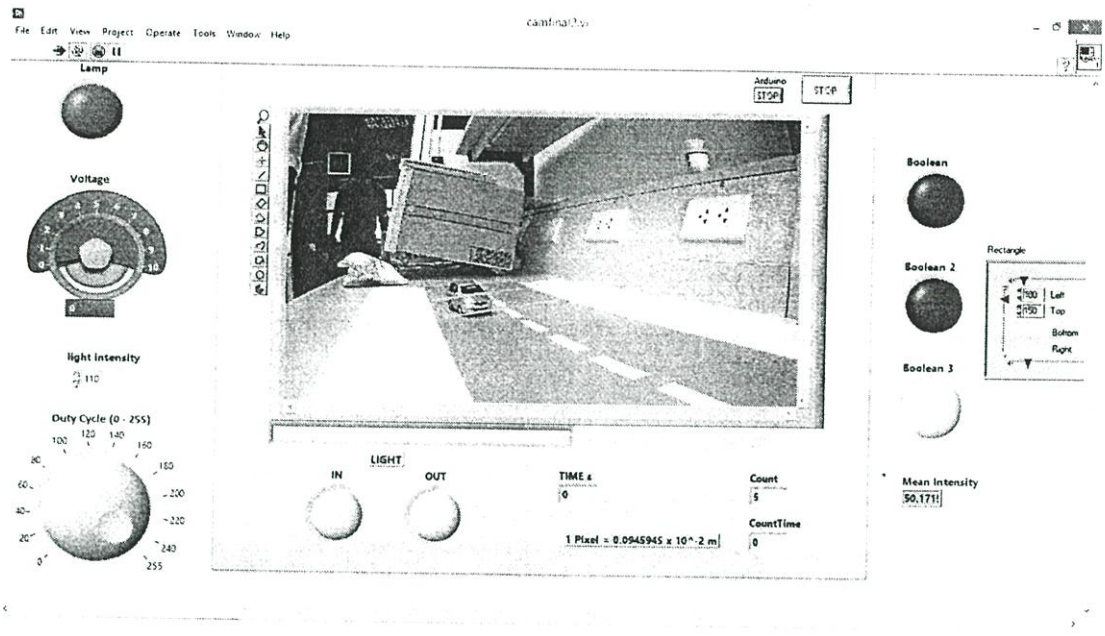
LabVIEW ใช้เป็นโปรแกรมในการเขียนคำสั่งเพื่อให้กล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอลทำการตรวจจับความเคลื่อนไหวและแสงสว่างจากไฟหน้าของยานพาหนะ ทำให้สามารถแยกแยะได้ว่าเป็นยานพาหนะไม่ใช่คนเดินผ่าน นอกจากนี้ตัวโปรแกรมยังเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อรับค่าจากตัวต้านทานไวแสงมาทำสั่งการเปิดปิดหลอดไฟถนนด้วย



ภาพที่ 4.5 คำสั่งในโปรแกรม LabVIEW เพื่อการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

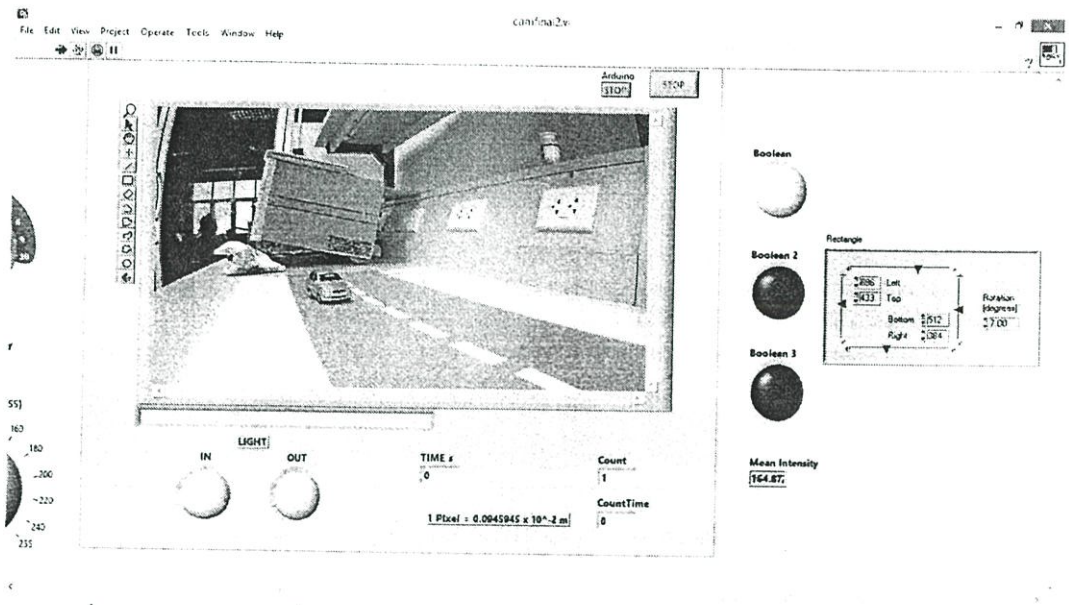
จากภาพที่ 4.5 เป็นคำสั่งในโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้รับค่าจากตัวต้านทานไวแสง (LDR) ที่ขา A0 เมื่อความสว่างที่ถึงค่าที่กำหนดไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งสัญญาณเป็นค่าสูงออกไปที่ขา 10 และสั่งการให้รีเลย์ทำการปิดวงจรเพื่อให้หลอดไฟถนนแบบไดโอดเปล่งแสงสว่างขึ้น โดยทำการกำหนดความสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสงไว้ที่แรงดันขาเข้าตัวขับ 3 โวลต์ เพื่อให้มีค่าความสว่างผ่านตามมาตรฐานของไฟถนน (ดูรายละเอียดได้ที่ภาคผนวก ช) จากนั้นรอรับค่าจำนวนรถที่ตรวจจับได้ที่ส่งมาจากกล้องเพื่อควบคุมความสว่างตามความหนาแน่นของจราจร

การตรวจจับความหนาแน่นของจราจรต้องประกอบไปด้วยสองเงื่อนไขในการนับจำนวนรถหนึ่งคัน เงื่อนไขแรกคือตรวจจับความเคลื่อนไหวและอีกเงื่อนไขหนึ่งคือตรวจจับความสว่างของแสงไฟจากหน้ายานพาหนะ หากขาดอันใดอันหนึ่งไป กล้องจะไม่นับจำนวนยานพาหนะนั้นๆ ดังภาพที่ 4.6 และ 4.8 การทำงานของคำสั่งมีการสร้างเส้นสมมติ 2 เส้นขึ้นบนจอภาพเพื่อตรวจจับความเคลื่อนไหว โดยเงื่อนไขแรกจะถูกต้องเมื่อรถเคลื่อนที่ทับเส้นสมมติทั้ง 2 เส้นพร้อมกัน

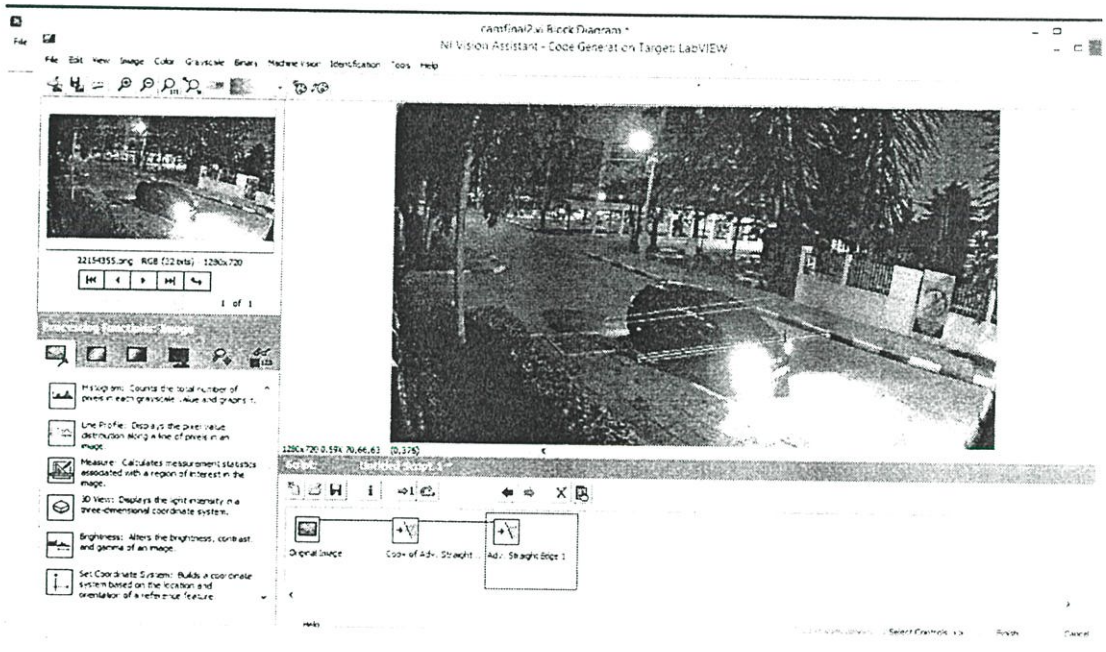


ภาพที่ 4.6 เส้นสมมติที่สร้างขึ้นในโปรแกรม LabVIEW โดยใช้ถนนจำลอง

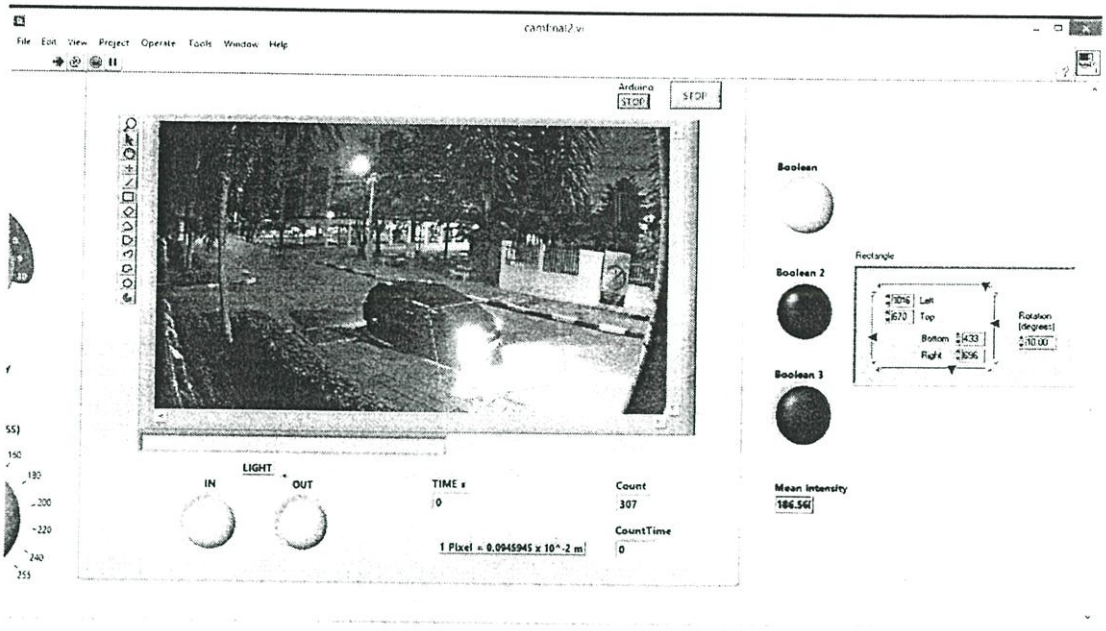
เงื่อนไขที่สองคือความสว่างในกรอบสีเขียวดังภาพที่ 4.7 และ 4.9 สูงมากพอถึงค่าที่ได้กำหนดไว้ทำให้เงื่อนไขถูกต้อง จึงเริ่มต้นนับจำนวนคันรถ หลังจากเริ่มนับจำนวนรถแล้ว มีการจับเวลา 5 วินาที หากในช่วงเวลานี้ถ้ามีรถผ่านเข้ามาและเงื่อนไขถูกต้องทั้งอย่าง จะนับเป็น 2 คัน และเริ่มจับเวลาใหม่ เป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ หากไม่มีรถผ่านเข้ามาใน 5 วินาที จะลดจำนวนคันลงทีละ 1 คัน ซึ่งจำนวนคันที่นับได้นี้นำไปส่งสัญญาณเข้าคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมความสว่างตามจำนวนคันรถ ผลลัพธ์ที่ได้คือ ความสว่างของหลอดไฟถนนแบบไดโอดเปล่งแสงแปรผันตามจำนวนคันรถที่นับได้นั่นเอง



ภาพที่ 4.7 กรอบสีเขียวที่ใช้วัดค่าความสว่างจากหลอดไฟหน้าของยานพาหนะโดยใช้ถนนจำลอง



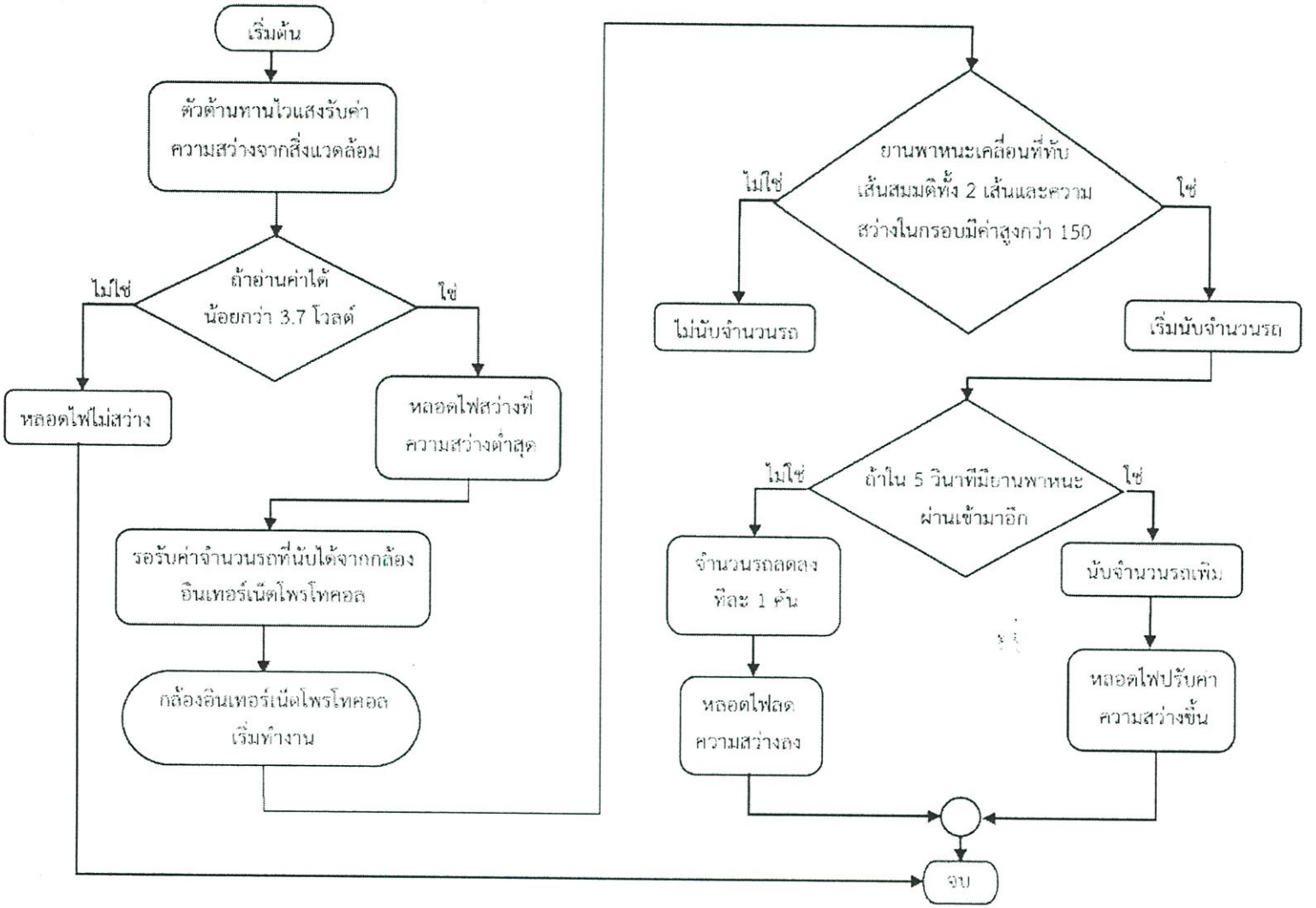
ภาพที่ 4.8 เส้นสมมติที่สร้างขึ้นในโปรแกรม LabVIEW โดยใช้ถนนจริง



ภาพที่ 4.9 กรอบสีเขียวที่ใช้วัดค่าความสว่างจากหลอดไฟหน้าของยานพาหนะโดยใช้ถนนจริง

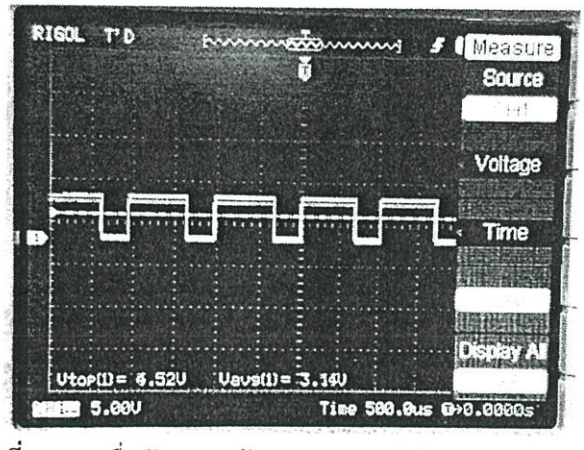
4.4 แผนผังการทำงานของวงจรควบคุมความสว่างของหลอดไฟถนน

การทำงานของวงจรควบคุมความสว่างเริ่มต้นที่ตัวต้านทานไวแสงรับค่าความสว่างจากสิ่งแวดล้อมภายนอก หากค่าที่รับมามีค่าน้อยกว่า 3.7 โวลต์ ไมโครคอรโทรลเลอร์สั่งการให้หลอดไฟถนนสว่างขึ้นที่ความสว่างต่ำสุด หลังจากนั้นกล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอลเริ่มทำงาน ตรวจจับความหนาแน่นของการจราจรโดยใช้สองเงื่อนไขนั่นคือ ต้องมียานพาหนะเคลื่อนที่ทับเส้นสมมติทั้งสองเส้นที่เขียนไว้ในโปรแกรมแลปวิว และต้องมีค่าความสว่างในกรอบอ้างอิงสูงถึงค่าที่กำหนด เมื่อครบทั้งสองเงื่อนไขนี้แล้ว ให้เริ่มนับจำนวนยานพาหนะและเริ่มจับเวลา หากในช่วงเวลา 5 วินาทีมียานพาหนะผ่านเข้ามาอีก ให้นับจำนวนรถเพิ่มขึ้น หากไม่มียานพาหนะผ่านมา จำนวนยานพาหนะที่นับได้ลดลงทีละ 1 คัน ซึ่งจำนวนยานพาหนะที่นับได้นี้จะนำไปปรับความสว่างของหลอดไฟถนนนั่นเอง จากนั้นเมื่อความสว่างของสิ่งแวดล้อมภายนอกเพิ่มขึ้นจนตัวต้านทานไวแสงรับค่าได้มากกว่า 3.7 โวลต์ ไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งการให้หลอดไฟถนนดับลง แผนผังการทำงานแสดงดังภาพที่ 4.10

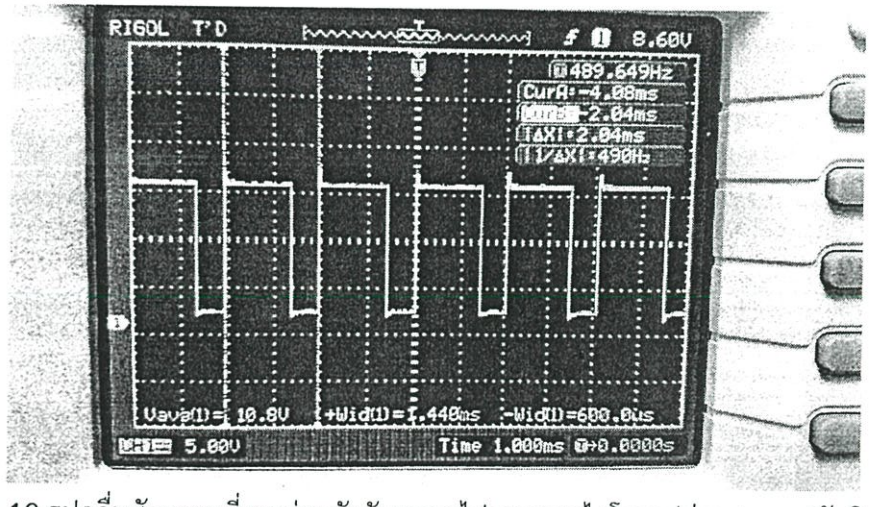

เริ่มต้น
ตัวต้านทานไวแสงรับค่าความสว่างจากสิ่งแวดล้อม
ถ้าอ่านค่าได้น้อยกว่า 3.7 โวลต์
ไม่ใช่
ใช่
หลอดไฟไม่สว่าง
หลอดไฟสว่างที่ความสว่างต่ำสุด
รอรับค่าจำนวนรถที่นับได้จากกล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล
กล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอลเริ่มทำงาน
ยานพาหนะเคลื่อนที่ทับเส้นสมมติทั้ง 2 เส้นและความสว่างในกรอบมีค่าสูงกว่า 150
ไม่ใช่
ใช่
ไม่นับจำนวนรถ
เริ่มนับจำนวนรถ
ถ้าใน 5 วินาทีมียานพาหนะผ่านเข้ามาอีก
ไม่ใช่
ใช่
จำนวนรถลดลงทีละ 1 คัน
นับจำนวนรถเพิ่ม
หลอดไฟลดความสว่างลง
หลอดไฟปรับค่าความสว่างขึ้น
จบ

4.5 ศึกษาลักษณะของสัญญาณไฟฟ้า

ใช้ออสซิลโลสโคปในตรวจจับสัญญาณที่ออกจากไมโครคอนโทรเลอร์ เพื่อศึกษารูปแบบของสัญญาณและนำไปใช้ในการออกแบบวงจรควบคุมความสว่าง จากภาพที่ 4.11 เป็นสัญญาณที่ปรับความกว้างของพัลส์ได้ที่ดิวตี้ไซเคิล 75 % ได้แรงดัน 3.14 โวลต์ ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการปรับดิวตี้ไซเคิลเป็น 100 % แล้วได้แรงดันสูงสุด 4.94 V



ภาพที่ 4.11 คลื่นสัญญาณด้านขาออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ 4.12 รูปคลื่นสัญญาณที่ตกคร่อมตัวขับหลอดไฟถนนแบบไดโอดเปล่งแสงขณะปรับดิวตี้ไซเคิล

จากภาพที่ 4.12 เป็นการตรวจสอบแรงดันขาเข้าที่ตัวขับหลอดไดโอดเปล่งแสงขณะมีการปรับความสว่างหรือปรับดิวตี้ไซเคิลว่ามีแรงดันกระชากสูงเกินกว่าพิกัดหรือไม่ ซึ่งอาจส่งผลต่ออายุการใช้งานของหลอดไฟ

เห็นได้ว่าคลื่นสัญญาณขณะปรับดิวตี้ไซเคิลเป็นสัญญาณที่สามารถปรับความกว้างของพัลส์ได้ ซึ่งสัญญาณที่ได้มีความเรียบ ไม่มีการกระเพื่อม (Ripple) จากผลการทดลองได้ค่าแรงดันสูงสุดคือ 13.25 โวลต์ ซึ่งพิกัดของตัวขับหลอดไดโอดเปล่งแสงมีพิกัด 10 โวลต์ สามารถสรุปได้ว่าวงจรปรับความสว่างของหลอดไฟไม่ทำให้เกิดไฟกระชากที่รุนแรง เนื่องจากสัญญาณที่สามารถปรับความกว้างของพัลส์ได้มีความถี่สูงถึง 489.649 เฮิร์ท ไม่ทำให้หลอดไดโอดเปล่งแสงมีอายุการใช้งานสั้นลง และเนื่องจากวงจรควบคุมความสว่างของหลอดไฟทำงานที่ความถี่สูง ทำให้ใช้เวลาในการตอบสนองขณะปรับความสว่างเร็วมาก จึงไม่ส่งผลต่อการใช้งานของผู้ใช้แสงไฟถนน

จากตารางที่ 4.1 เมื่อตัวต้านทานไวแสงรับค่าความสว่างของแสงและนำมาสั่งการเปิดหลอดไฟ หลอดไฟเริ่มสว่างขึ้นที่แรงดันขาเข้าตัวขับหลอดไดโอดเปล่งแสงเท่ากับ 3 โวลต์ซึ่งตรงกับค่าความสว่าง 24.686 ลักซ์ (ได้จากการคำนวณเทียบที่ความสูง 9 เมตรตามมาตรฐานการติดตั้งไฟถนน อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก ฌ) เมื่อมีการตรวจจับยานพาหนะเพิ่มขึ้น วงจรควบคุมความสว่างทำการเพิ่มแรงดันโดยอัตโนมัติ ซึ่งค่าความสว่างนี้สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามลักษณะพื้นที่ที่ติดตั้งไฟถนนแบบอัจฉริยะ โดยสามารถเพิ่มระดับแรงดันให้ละเอียดมากขึ้น เพื่อให้ประสิทธิภาพการใช้งานที่เหมาะสมกับพื้นที่

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบแรงดันขาเข้าตัวขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED Driver) กับจำนวนยานพาหนะ

แรงดันขาเข้าตัวขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED Driver)	จำนวนยานพาหนะ	ความสว่าง (Lux)	กระแส (A)	กำลัง (W)	ตัวประกอบกำลัง
2.99	0	24.686	0.24	47	0.91
4	1	34.126	0.33	68	0.94
5.01	2	42.728	0.42	87	0.96
6	3	49.791	0.50	105	0.97
7.02	4	55.106	0.56	119	0.97
8.01	มากกว่า 4	55.176	0.56	119	0.97

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการควบคุมหลอดไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) แบบอัจฉริยะ โดยใช้กล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (Internet Protocol Camera) โดยการศึกษาแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลักได้แก่ ศึกษาด้านคลื่นสัญญาณที่ไปจ่ายให้หลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) เพื่อให้หลอดสามารถปรับระดับความสว่างได้อย่างเหมาะสม, ออกแบบ และจำลองวงจรควบคุมความสว่างโดยติดตั้งกล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (Internet Protocol Camera) ในการตรวจจับสัญญาณเพื่อบอกปริมาณความหนาแน่นของการจราจร, วิเคราะห์พลังงานโดยการวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเนื่องจากวงจรควบคุมความสว่าง และวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ว่าสามารถประหยัดพลังงานได้มากน้องเพียงใด

ในการศึกษาสัญญาณที่ไปจ่ายให้หลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ใช้สัญญาณที่สามารถปรับความกว้างของพัลส์ (PWM) จากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR (Arduino) ซึ่งเกิดจากการผสมสัญญาณรูปสามเหลี่ยม และสัญญาณรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) โดยผลที่ได้จากการผสมสัญญาณดังกล่าวได้รูปคลื่นสัญญาณพัลส์ที่มี 2 สถานะ คือ สถานะเปิดหรือสัญญาณสูง (1) หลอดไฟติดสว่างเต็มที่ และสถานะปิดหรือสัญญาณต่ำ (0) หลอดไฟดับลง

จำลองวงจรควบคุมความสว่างโดยการเขียนคำสั่งลงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR (Arduino) รุ่น UNO R3 เพื่อใช้ในการควบคุมวงจรควบคุมความสว่าง และติดตั้งกล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (Internet Protocol Camera) เป็นตัวตรวจจับ (sensor) ในการจับสัญญาณเพื่อบอกปริมาณความหนาแน่นของการจราจร โดยที่กล้องนั้นสามารถจับความเคลื่อนไหวของยานพาหนะที่ผ่านกล้องซึ่งติดอยู่บริเวณก่อนถึงโคมไฟถนน ได้จากแสงไฟหน้ารถ และการเคลื่อนไหวของรถ โดยโปรแกรม LabVIEW นั้นสร้างเส้นสมมติไว้สองเส้น ยานพาหนะต้องเคลื่อนที่ผ่านทับเส้นสมมติทั้งสองเส้นพร้อมกัน จากนั้นสัญญาณจากโปรแกรม LabVIEW ถูกส่งไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR (Arduino) เพื่อไปควบคุมวงจรควบคุมความสว่าง ให้เพิ่มระดับความสว่างของหลอดไฟถนนขึ้นเมื่อมียานพาหนะสัญจรผ่านบริเวณนั้น และลดระดับความสว่างของหลอดไฟถนนลงเมื่อไม่มียานพาหนะผ่าน ข้อดีที่พบจากการใช้กล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (Internet Protocol Camera) คือมีช่วงการตรวจจับที่มากกว่าตัวตรวจจับ (sensor) ประเภทอื่น ๆ และสามารถรับ-ส่งข้อมูลระยะไกลได้โดยผ่านระบบอินเทอร์เน็ต

ในส่วนของค่าประสิทธิภาพของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ได้จากการทดลองภายในตู้ทดลอง และการใช้โปรแกรมจำลองการส่องสว่างของแสงจากหลอดไฟ (DIALux) สำหรับจำลองผล

การทดลองในคอมพิวเตอร์ พบว่าการติดตั้งวงจรควบคุมความสว่างโดยใช้กล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (Internet Protocol Camera) นั้นสามารถลดการใช้พลังงานได้จริง เนื่องจากในการใช้งานจริงไม่จำเป็นต้องใช้ความสว่างสูงสุดตลอดเวลา ในขณะที่ไม่มีผู้คนหรือรถสัญจรผ่านบริเวณนั้น สามารถลดความสว่างแสงให้เหลือเพียง 10 ลักซ์ และในขณะที่มีผู้คนหรือรถสัญจรไปมานั้นให้เพิ่มความสว่างเป็น 14 ลักซ์ ไปจนถึง 23 ลักซ์ ขึ้นอยู่กับปริมาณของยานพาหนะที่ผ่านบริเวณนั้น และความเหมาะสมกับความต้องการในช่วงเวลานั้น ๆ ซึ่งค่ามาตรฐานความส่องสว่างเฉลี่ยของไฟถนนสายย่อยในเมืองนั้น อยู่ที่ 9.7 ลักซ์ (รายละเอียดเพิ่มเติมที่ภาคผนวก ช)

โดยภาพรวมของผลลัพธ์ที่ออกมาสรุปได้ว่าการเปลี่ยนมาใช้หลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) กับระบบไฟถนนควบคู่กับการใช้วงจรควบคุมความสว่างนั้นสามารถลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็นลงได้ เนื่องจากสามารถลดค่าพลังงานที่ใช้งานจาก 4 วัตต์/เมตร ที่ค่าความสว่างสูงที่สุด เหลือเพียง 1.57 วัตต์/เมตร ที่ค่าความสว่างต่ำที่สุด ซึ่งค่ามาตรฐานอยู่ที่ 12.3 วัตต์/เมตร แสดงให้เห็นว่าสามารถลดพลังงานลงได้จริง และพบว่าเมื่อลดความสว่างลง ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างที่ได้นั้นยังคงมีค่าคงที่ และเป็นไปตามมาตรฐาน (รายละเอียดเพิ่มเติมที่ภาคผนวก ฌ) และหากติดตั้งกล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (Internet Protocol Camera) ในการตรวจจับสัญญาณเพื่อบอกปริมาณความหนาแน่นของการจราจรเข้าไปด้วยนั้นจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานได้มากยิ่งขึ้น ถึง 60.83 % จากค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้งานเมื่อเปิดที่ความสว่างต่ำสุด

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักนโยบายและแผนพลังงาน. 2547. **การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า ฉบับเดือนมกราคม 2547**. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: http://www.eppo.go.th/load/load2004-jan04rev/3-result.html

[2] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2559. **ผลการดำเนินงานการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของ กฟผ. ปี 2558 และทิศทางในปี 2559**.(ออนไลน์) . เข้าถึงได้จาก:http://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=1313:egatnews-20160106-02&catid=30&Itemid=112

[3] สำนักนโยบายและแผนพลังงาน. 2545. **ค่าพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า**. .(ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: http://www.eppo.go.th/vrs/VRS57-02-forecast.html

[4] **ผู้จัดการ. 2559. แนวโน้มการใช้ไฟฟ้าปี 2559.** .(ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: http://www.manager.co.th/South/ViewNews.aspx?NewsID=9590000022897

[5] สำนักนโยบายและแผนพลังงาน. **สถานการณ์พลังงานไทย มกราคม 2558**. .(ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: http://slideplayer.in.th/slide/3201409/

[6] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. **สถานการณ์พลังงานปี 2556 และแนวโน้มปี 2557**. .(ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: http://webkc.dede.go.th/testmax/node/187

[7] กรมธุรกิจพลังงาน. **การจัดหา และจัดจำหน่าย สรุปการผลิต นำเข้า จำหน่าย และส่งออกน้ำมันเชื้อเพลิง**. .(ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: http://www.doeb.go.th/v5/info_sum_import_export_fuel.php

[8] National Legislative Assemble. 2558. **สรุปสถานการณ์ด้านพลังงาน**. .(ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: http://click.senate.go.th/?p=4214

[9] **Fusheng Li, Dahua Chen, Xianjie Song**, and **Yuming Chen**, "LEDs: A Promising Energy-Saving Light Source for Road Lighting," Power and Energy Engineering Conference, 2009. APPEEC 2009. Asia-Pacific, 27-31 March 2009, pp. 1 - 3

[10] ecotech คลังอะไหล่ไอซี. 2555. **ประโยชน์ของการใช้หลอดไฟ LED**. .(ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: http://www.ecotech.co.th/news/98-new01.html

[11] PEA ENCOM International. 2557. **ทำไมต้องหลอด LED**. .(ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: http://www.pea-encom.com/index.php?mo=3&art=42142192

[12] CBC International. **ข้อดี-ข้อเสีย ของการเปลี่ยนมาใช้หลอด LED**. .(ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: http://www.cbcinter.co.th/article.php?id=30

[13] การไฟฟ้าฝ่ายผลิต. **ข้อมูลเบื้องต้นงานส่งเสริมการใช้หลอด LED ปี 2556**. .(ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: http://e-saving.egat.co.th/LED/led2.html

[14] R. Barraza Garcia, G. Velazquez Angulo, J. Romero Gonzalez, E. Flores Taviz6n, "LED street lighting as a strategy for climate change mitigation at local government level," Global Humanitarian Technology Conference (GHTC), 2014 IEEE, 10-13 Oct. 2014, pp. 345 – 349

[15] PHILIPS. **ระบบแสงสว่างสำหรับไฟถนน**.(ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: http://www.lighting.philips.com/pwc_li/th_th/connect/tools_literature/road.pdf

[16] **สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย. ความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าแสงสว่าง.** .(ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: http://www.tieathai.org/

[17] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. **ประเด็นนโยบายของรัฐบาลและกระทรวงมหาดไทยเกี่ยวกับการเปลี่ยนมาใช้หลอด LED ปี 2558**. .(ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: https://www.pea.co.th/introduction/Pages/govPolicy.aspx

[18] PHILIPS. **Take the lead in light 2559**. .(ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: http://www.lighting.philips.co.th/education/lighting-university.html

[19] กองการตลาด,ประหยัดไฟฟ้า. 2013. **ข้อมูลเบื้อต้นงานส่งเสริมการใช้หลอดLED**. .(ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: http://e-saving.egat.co.th/LED/led2.html

[20] D. R. Nuttall, R. Shuttleworth, and G. Routledge, "Design of a LED Street Lighting System," **Power Electronics, Machines and Drives, 2008. PEMD 2008. 4th IET Conference** on, 2-4 April 2008, pp. 436 - 440

[21] การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.). **จัดทำโครงการวิจัย และทดลองติดตั้งโคมไฟฟ้าสาธารณะด้วยหลอด LED ในเขตกรุงเทพมหานคร**. .(ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: http://www.mea.or.th/new/content/detail.php?mid=87&did=781&tid&pid

[22] เดลินิวส์. **หลอด LED สามารถช่วยประหยัดพลังงาน**. .(ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: http://m.dailynews.co.th/News.do?contentId=66319

[23] Chunyu Liu, Quangen Wang, and Fangyuan Zhang, "Design and development of city street-lighting energy-saving system," Circuits,Communications and System (PACCS), 2010 Second Pacific-Asia Conference on, vol.1, 1-2 Aug. 2010, pp. 178 – 182

[24] Gwan-chi Jane, Chun-Chieh Su, Huang-Jen Chiu, Senior Member, IEEE, Yu-Kang Lo, "High-efficiency LED driver for street light applications," Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), 2012 International Conference on, 11-14 Nov. 2012, pp. 1 - 5

[25] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค(กฟภ). **กฟภ. ทำโครงการ "PEA Road to LED"**. .(ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: https://www.pea.co.th/News/Pages/PEA-เป็นผู้นำในการใช้พลังงาน-เทคโนโลยี-LED-.aspx

[26] A. Lay-Ekuakille, F. D'Aniello, F. Miduri, D. Leonardi, A. Trotta, "Smart control of road-based LED fixtures for energy saving," **Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, 2009. IDAACS 2009. IEEE International Workshop** on , 21-23 Sept. 2009, pp.59,62

[27] Po-Yen Chen, Yi-Hua Liu; Yeu-Torng Yau, Hung-Chun Lee, "Development of an energy efficient street light driving system," **Sustainable Energy Technologies, 2008. ICSET 2008. IEEE International Conference** on, 24-27 Nov. 2008, pp.761,764

[28] S. Kitano, S. Haruyama, M. Nakagawa, "LED road illumination communications system" **Vehicular Technology Conference**, 2003 IEEE PES

[29] Wu Yue, Shi Changhong, Zhang Xianghong, Yang Wei, "Design of new intelligent street light control system," **Control and Automation (ICCA), 2010 8th IEEE International Conference** on , 9-11 June 2010, pp.1423,1427

[30] N. Zotos, C. Stergiopoulos, K. Anastasopoulos, G. Bogdos, E. Pallis, and C. Skianis, "Case study of a dimmable outdoor lighting system with intelligent management and remote control," **Telecommunications and Multimedia (TEMU), 2012 International Conference** on, July 30 2012-Aug 1 2012, pp.43

[31] H. Andrei, C. Cepisca, V. Dogaru-Ulieru, T. Ivanovici, L. Stancu, and P. C. Andrei, "Measurement analysis of an advanced control system for reducing the energy consumption of public street lighting systems," PowerTech, 2009 IEEE Bucharest , June 28 2009-July 2 2009, pp. 1 – 6

[32] David Gacio, J. Marcos Alonso, Jorge Garcia, Lidia Campa, , Mario J. Crespo, and Manuel Rico-Secades, "PWM Series Dimming for Slow-Dynamics HPF LED Drivers: the High-Frequency Approach," Industrial Electronics, IEEE Transactions on, vol.59, no.4, 22 March 2011, pp. 1717 – 1727

[33] Chin-Sien Moo, Yu-Jen Chen, and Wen-Ching Yang, "An Efficient Driver for Dimmable LED Lighting," Power Electronics, IEEE Transactions on, vol., no.11, 13 January 2012, pp. 4613 – 4618

[34] Hye-Man Jung, Jong-Hyun Kim, Byoung-kuk Lee, and Dong-Wook Yoo, "A new PWM dimmer using two active switches for AC LED lamp," Power Electronics Conference (IPEC), 2010 International on, 21-24 June 2010, pp. 1547 – 1551

[35] Shih-Chang Hsia, Jyun-Jia Ciou, and Sheng-Yueh Lai, "Multi-channel LED Driver with PWM Dimming and Temperature Self-Protection," Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, 2013 Ninth International Conference on, 16-18 Oct. 2013, pp. 100 – 103

[36] Hengyu Wu, Minli Tang, Guo Huang, "Design of multi-functional street light control system based on AT89S52 single-chip microcomputer," Industrial Mechatronics and Automation (ICIMA), 2010 2nd International Conference on , vol.1, pp.134,137, 30-31 May 2010

[37] Chung, H.S.H.; Ho, N.M.; Hui, S.Y.R.; Mai, W.Z., "Case study of a highly-reliable dimmable road lighting system with intelligent remote control," Power Electronics and Applications, 2005 European Conference on ,pp.1 pp.,P.10

[38] L. Alexandru, P. Valentin, "Hardware design of a street lighting control system with vehicle and malfunction detection," Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), 2013 8th International Symposium on ,23-25 May 2013, pp.1,4

[39] N. Yoshiura, Y. Fujii, N. Ohta, "Smart street light system looking like usual street lights based on sensor networks," **Communications and Information Technologies (ISCIT), 2013 13th International Symposium** on ,4-6 Sept. 2013, pp.633,637

[40] M. Joshi, R. Madri, S. Sonawane, A. Gunjal, D.N. Sonawane, "Time Based Intensity Control for Energy Optimization Used for Street Lighting," **India Educators' Conference (TIIEC), 2013 Texas Instruments** ,4-6 April 2013, pp.211,215

[41] H. **Pires, A.M. Carreiro, G. Pereira, R. Carreira, J.P. Trovao, and J. Landeck,** "IP@Smart - Energy Management System Applied to Eco-Efficient Public Lighting Networks," Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), 2014 IEEE, 27-30 Oct. 2014, pp.1-6

[42] **Choenil Park, Daeho Kim , Hyunyong Park** , and **Jaesang Cha** , "A design for object tracking security system using on LED light combined CCTV," ICT Convergence (ICTC), 2011 International Conference **on**,28-30 Sept. 2011, pp. 204 – 207

[43] G. **Dodds, J.J. Glenn, R. Robinson, and F. Mullin,** "Assessment of road-lighting parameters using camera based systems," CCTV and Road Surveillance (Ref. No. 1999/126), IEE Seminar **on**, 1999, pp. 5/1 - 5/6

[44] Long Li, Xiumin Chu, Yong Wu, Qing Wu, "The Development of Road Lighting Intelligent Control System Based on Wireless Network Control,"**Electronic Computer Technology, 2009 International Conference** on ,20-22 Feb. 2009, pp.353,357

[45] M. **Karth**, V. **Saravanan** and S. **Vijayakumar**, "Cloud based automatic street light monitoring system," Green Computing Communication and Electrical Engineering (ICGCCEE), **2014 International Conference on**, 6-8 March 2014, pp. 1 – 6

[46] J.D. Lee, K.Y. Nam, S.H. Jeong, S.B. Choi, H.S. Ryoo, D.K. Kim, "Development of Zigbee based Street Light Control System," **Power Systems Conference and Exposition, 2006. PSCE '06. 2006 IEEE PES**, Oct. 29 2006, pp.2236,2240

[47] Li Lian, Li Li, "Wireless dimming system for LED Street lamp based on ZigBee and GPRS," **System Science, Engineering Design and Manufacturing Informatization (ICSEM), 2012 3rd International Conference** on , vol.2, 20-21 Oct. 2012, pp.100,102

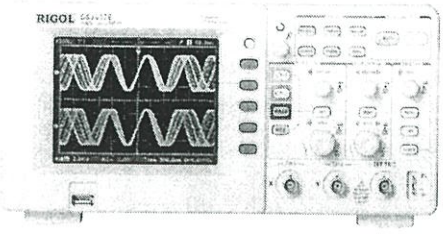
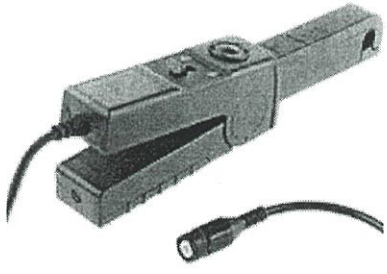
[48] S. Deo, S. Prakash, A. Patil, "Zigbee-based intelligent street lighting system," **Devices, Circuits and Systems (ICDCS), 2014 2nd International Conference** on, 6-8 March 2014, pp.1,4

[49] F. Leccese, "Remote-Control System of High Efficiency and Intelligent Street Lighting Using a ZigBee Network of Devices and Sensors," **Power Delivery, IEEE Transactions** on , vol.28, no.1, Jan. 2013, pp.21,28

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

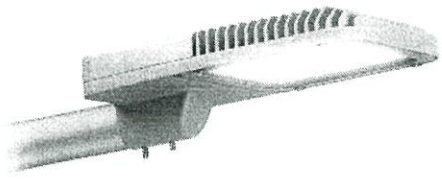
เครื่องมือวัด

	ผลิตภัณฑ์: Digital Oscilloscope ยี่ห้อ: RIGOL รุ่น: DS1052E รายละเอียด: Bandwidth 50MHz 2 Analog channel 8 bits Vertical Resolution
	ผลิตภัณฑ์: Multimeter ยี่ห้อ: Sanwa รุ่น: cd772 รายละเอียด: Maximum frequency bandwidth 1kHz Maximum AC/DC current 15 A Maximum AC/DC Voltage 1000V
	ผลิตภัณฑ์: AC/DC Current Probe ยี่ห้อ: CHAUVIN ARNOUX รายละเอียด: 10A/1V – 100A/1V Input 70A AC, 100A DC Output 100mV/A – 10mV/A DC100kHz 1Vpeak max 140Apeak max
	ผลิตภัณฑ์: Voltage Probe ยี่ห้อ: RIGOL รุ่น: RP2200 รายละเอียด: 150 MHz passive probe With accessories Easy measurements and probing Compatible with Rigol oscilloscopes

ภาคผนวก ข

หลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง (High Power LED)

PHILIPS รุ่น BRP372 LED122/NW 120W 220-240V DME



BRP371/372/373 – simple, economical and reliable

GreenVision BRP371/372/373

The call for innovative sustainable development is driving an increase in LED road installations in city environments. At the same time, customers are concerned that the total cost of the solution should remain within budget. BRP371/372/373 is a simple, economical and reliable LED road-lighting solution that delivers substantial energy savings compared with conventional fixtures. Its neutral white light ensures visual comfort for all road users. Lifetime reliability is assured, with excellent thermal management helping to prevent early LED failure. Installation is easy, and maintenance of the driver box can be carried out without the use of tools on the pole. BRP371/372/373 also offers wireless point-to-point luminaire control.

Benefits

- Optimized energy saving – 50% saving compared with SON
- Easy to install and maintain; driver box – tool-free maintenance on the pole
- Wireless point-to-point luminaire control

Features

- Excellent thermal management
- Tool-free maintenance
- Neutral white light (4000 K)
- Dedicated lens for different road configurations
- Lightweight housing design

Application

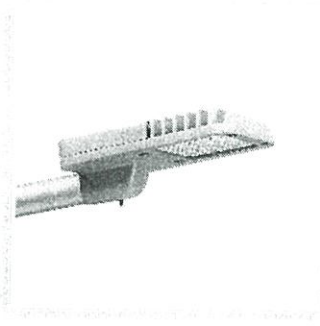
- Expressways, highways
- Major roads, secondary roads
- Industrial roads, residential roads

PHILIPS

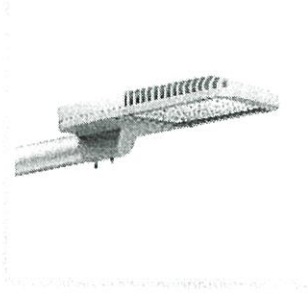
Specifications

• Type	BRP371 (422 mm length version) BRP372 (522 mm length version) BRP373 (853 mm length version)
• Light source	Integral LED-module
• Power	55-305 W depending on product
• Beam angle	150°
• Luminous flux	4800-28,200 lm depending on product
• Luminaire efficacy	90 lm/W
• Correlated Color Temperature	4000 K
• Color Rendering Index	75
• Maintenance of lumen output - L70	50,000 hours at 35 °C
• Driver failure rate	0.05% per 5000 hours
• Operating temperature range	-40 to +55 °C
• Driver	Separate (non-self ballasted LED-module)
• Mains voltage	220-240 V / 50-60 Hz
• Inrush current	108 A
• Dimming	Yes
• Controls system input	1-10 V
• Optic	Road-medium (DM2E), road-wide (DW2), road-narrow (DN)
• Optical cover	Glass, flat
• Material	Housing, gear cover, clip: high-pressure die-cast aluminum, non-corrosive Glass: thermally hardened, 5 mm thick Gear tray: steel
• Color	Canopy, cover, clip: gray (RAL7040)
• Connection	Push-in connector with 3 poles
• Maintenance	Toolless for driver maintenance Opening by one clip No internal cleaning required
• Installation	Recommended mounting height: 8-12 m Side-entry mounting: lateral entry Ø48-60 mm Standard tilt angle post top: 5-15° Max SCx: 0.13 m (422 mm length version), 0.16 m (522 mm length version), 0.26 m
• Cable gland	M20

Related products

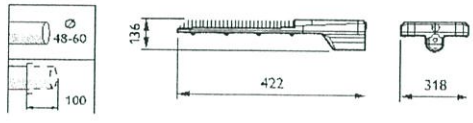


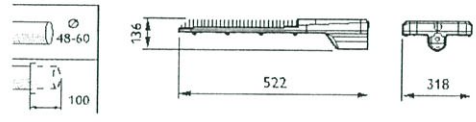
BRP371 road-lighting LED luminaire



BRP372 road-lighting LED luminaire

Dimensional drawing





Product details

Front view

Back view

General Information

Order code	Light source color	Optical cover/lens type	Lamp family code	Optic type	Product family code
91 1491 668801	Natural white	FG	LED48	DN	BRP371
91 1401 669901	Natural white	FG	LED79	DM2E	BRP371
91 1401 670201	Natural white	FG	LED126	DM2E	BRP372

Approval and Application

Order code	Mech Impact Protection Code
91 1491 668801	IK08
91 1401 669901	IK08
91 1401 670201	IK08

ภาคผนวก ค
กล้องอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (IP Camera)

AXISP1425-LENetworkCamera

CompactandcostͲeffectivesurveillancewithOptimizedIR

AXIS COMMUNICATIONS

The bullet-style AXIS P1425-LE provides excellent image quality in HDTV 1080p resolution. The camera features a varifocal P-iris lens and Axis' OptimizedIR, a power-efficient IR LED technology providing automatic illumination of a scene in complete darkness. P-iris control provides optimal depth of field, resolution, image contrast and clarity. AXIS P1425-LE supports Axis' Corridor Format for vertically oriented video streams. The pixel counter assures that the required pixel resolution is met. Remote zoom and focus eliminate the need for hands-on fine tuning. The input/output port can be used for notification to an alarm panel or control of a relay The outdoor-ready camera comes with an adjustable weather shield.

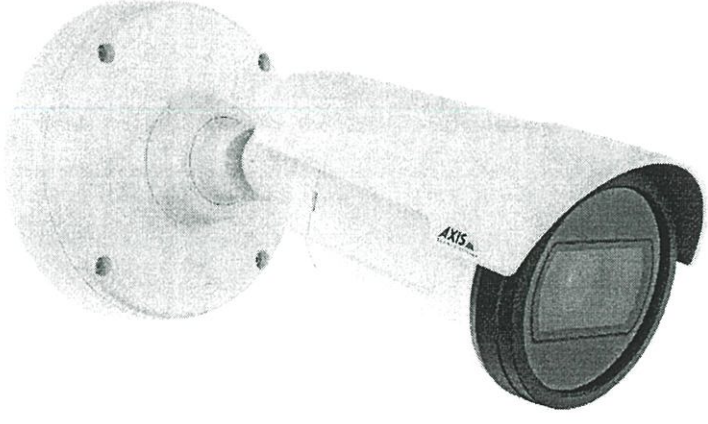
> HDTV1080presolutionatfullframerate

> Day&Nightfunctionality

> Built-inIRLEDswithOptimizedIR

> Easeofinstallation

> I/Osupport



AXISP1425-LENetworkCamera

Camera	
Image sensor	Progressive scan CMOS 1/2.8"
Lens	3–10.5 mm, F1.4 Horizontal angle of view: 33°–92° Varifocal, Autofocus, Remotefocusandzoom, P-Iriscontrol, IR Corrected
Day and night	Automatically removable infrared-cut filter
Minimum Illumination	Color: 0.25 lux at F1.4 B/W: 0.05 lux at F1.4 0 lux with IR illumination on.
Shutter time	1/28000 s to 2 s with power line frequency 50 Hz 1/33500 s to 2 s with power line frequency 60 Hz
Video	
Video compression	H.264 Main and Base line profiles (MPEG-4 Part 10/AVC) Motion JPEG
Resolutions	1920x1080HDTV1080pto160x90 Meets relevant parts of SMPTE 274M (HDTV 1080p)
Frame rate	Up to 25/30 fps (50/60 Hz)in all resolutions
Video streaming	Multiple, individually configurable streams in H.264 and Motion JPEG, Controllable frame rate and bandwidth, VBR/MBR H.264
Image settings	Manual shutter time, Compression, Color, Brightness, Sharpness, White balance, Exposure control, Exposure zones ,Backlight compensation, Fine tuning of behavior at low light, Text and image overlay, Privacy masks, IR illumination Wide Dynamic Range – Dynamic Contrast Rotation: 0°, 90°, 180°, 270°, including Corridor Format
Pan/Tilt/Zoom	Digital PTZ
Network	
Security	Password protection, IP address filtering, HTTPS[a] encryption, IEEE 802.1X[a] network access control, Digest authentication, User access log
Supported Protocols	IPv4/v6, HTTP, HTTPS[a], SSL/TLS[a], QoS Layer 3 DiffServ, FTP, CIFS/SMB, SMTP, Bonjour, UpnP™, SNMPv1/v2c/v3 (MIB-II), DNS, DynDNS, NTP, RTSP, RTP, SFTP, TCP, UDP, IGMP, RTCP, ICMP,DHCP, ARP, SOCKS, SSH
System integration	
Application Programming Interface	Open API for software integration, including VAPIX® and AXIS Camera Application Platform; specifications at www.axis.com AXIS Video Hosting System (AVHS) with One-Click Connection ONVIF Profile S, specification at www.onvif.org
Analytics	Video Motion Detection Supportfor AXIS Camera Application Platform enabling installation of AXIS Video Motion Detection 3, AXIS Cross Line Detection, AXIS Digital Autotracking and third-party

	applications, see www.axis.com/acap
Event triggers	Detectors: Day/Night Mode, Live Stream Accessed Tampering Hardware: Network, Temperature Input Signal: Manual Trigger, Virtual Inputs Storage: Disruption, Recording System: System Ready Time: Use Schedule, Recurrences
Event actions	File upload: FTP, SFTP, HTTP, HTTPS network share ande mail Notification: email, HTTP, HTTPS and TCP and SNMP trap External output activation Video recording to edge storage Pre-and post-alarm video buffering IR illumination
Built-in Installation aids	Pixel counter, Remote zoom (3.5x optical) ,Remote focus
Data streaming	Event data
General	
Casing	IP66-and NEMA 4X-rated casing (polyester polycarbonate blend)
Memory	256 MB RAM,128 MB Flash
Power	Power over Ethernet IEEE 802.3af/802.3at Type 1 Class 3 Max 11.2 W
Connectors	RJ-45 10BASE-T/100BASE-TX PoE I/O: 4-pin terminal block for 1 alarm input and 1 output
IR illumination	OptimizedIR,highly efficient LEDs with adjustable intensity and angle of illumination. Range up to 15 m (50 ft)
Edge storage	Support for microSD/microSDHC/microSDXC card Support for recording to dedicated network-attached storage (NAS) For SD card and NAS recommendations see www.axis.com
Operating conditions	-30 °C to 50 °C (-22 °F to 122 °F) Humidity 10–100% RH (condensing)
Storage conditions	-40 °C to 65 °C (-40 °F to 149 °F)
Approvals	EN 55022 Class A, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3, EN6 1000-6-EN 61000-6-2, EN 55024, FCC Part 15 Subpart B Class A, ICES-003 Class A, VCCI Class A, RCM AS/NZS CISPR 22 Class A, KCC KN22 Class B, KN24, IEC/EN/UL 60950-1, IEC/EN/UL 60950-22, IEC/EN 60529 IP66, NEMA 250 type 4X, IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2, IEC 60068-2-6, IEC 60068-2-27
Weight	With weather shield: 788 g (1.74 lb)
Dimensions	Ø132 x 260 mm(Ø5 3/16x10 1/4 in)
Included accessories	Mounting bracket, Drill template, Installation Guide, Windows decoder 1-user license Weather shield
Optional accessories	AXIS T94F01M J-Box/Gang Box Plate AXIS T91A47 Pole Mount AXIS T94P01B Corner Bracket

	AXIS T94F01P Conduit BackBox Axis PoE Midspans For more accessories, see www.axis.com
Video management Software	AXIS Camera Companion, AXIS Camera Station, Video managements oftware from Axis' Application Development Partners available on www.axis.com/techsup/software
Languages	English, German, French, Spanish, Italian, Russian, Simplified Chinese, Japanese, Korean, Portuguese
Warranty	Axis 3-year warranty and AXIS Extended Warranty option, see www.axis.com/warranty

a. This product includes software developed by the OpenSSL Project for use in the OpenSSL Toolkit (http://www.openssl.org/), and cryptographic software written by Eric Young (eay@cryptsoft.com).

More information is available at www.axis.com

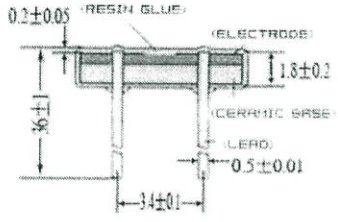
©2014-2015 Axis Communications AB. AXIS COMMUNICATIONS, AXIS, ETRAX, ARTPEC and VAPIX are registered trademarks
or trademark applications of Axis AB in various jurisdictions. All other company names and products are trademarks or registered trademarks of their respective companies. We reserve the right to introduce modifications without notice.

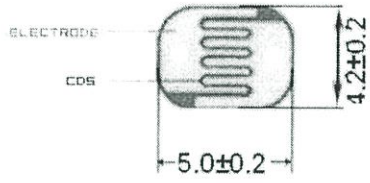
ภาคผนวก ง
ตัวต้านทานไวแสง (LDR)

GM55 Series Datasheet

Photoconductive resistance is a kind of semiconductor resistor, conductivity with light changes. Using the characteristics of different shapes and made by light area of photoconductive resistance. Photoconductive resistance is widely applied in toys, lamps and lanterns, camera, etc.

Structure diagram (unit:mm)





Properties and characteristics

Epoxy encapsulated
Small size
Reliable performance
Quick response
High sensitivity
Good characteristic of spectrum

Type and specification

Specification	Type	Max Voltage (VDC)	Power Dissipation (mw)	Ambient Temperature Range (°c)	Spectral Response Peak (nm)	Light Resistance (10Lux) (KΩ)	Dark Resistance (MΩ)	γ_{10}^{100}	Response time (ms)		Illuminance resistance Characteristic
									Increase	Decrease	
φ 5 Series	GM5516	150	90	-30-+70	540	5 to 10	0.5	0.5	30	30	1
	GM5528	150	100	-30-+70	540	10 to 20	1	0.6	20	30	2
	GM5537-1	150	100	-30-+70	540	20 to 30	2	0.6	20	30	3
	GM5537-2	150	100	-30-+70	540	30 to 50	3	0.7	20	30	3
	GM5539	150	100	-30-+70	540	50 to 100	5	0.8	20	30	4
	GM5549	150	100	-30-+70	540	100 to 200	10	0.9	20	30	5

Measuring Conditions

1. Light Resistance:
   measured at 10 lux with standard light A (2854k color temperature) and 2h pre-illumination at 400-600 lux prior to testing.

2. Dark Resistance:
   measured 10 seconds after pulsed 10 lux.

3. Gamma Characteristic:
   between 10 lux and 100 lux and given by

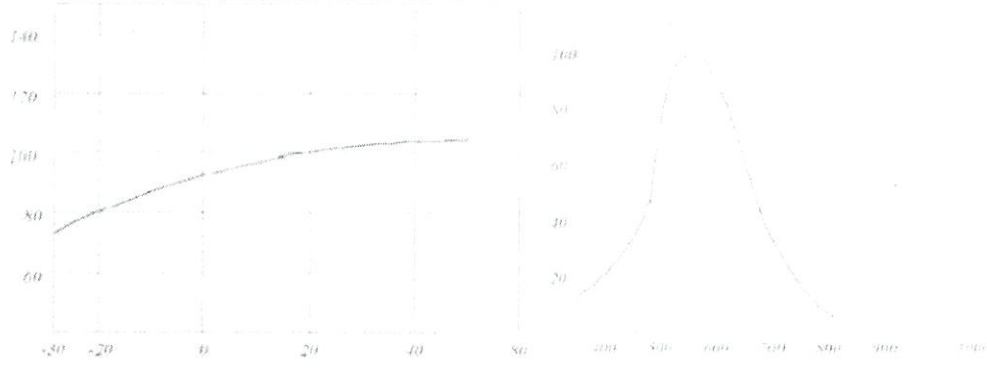
   $$T = \frac{\log (R10/R100)}{\log (100/10)} = \log (R10/R100)$$

   R10, R100 cell resistance at 10 lux and 100 lux.
   The error of T is +0.1.

4. Pmax:
   Max. power dissipation at ambient temperature of 25° C.

5. Vmax:
   Max. voltage in darkness that may be applied to the cell continuously.

Main characteristic curve



Light - resistance characteristic curve

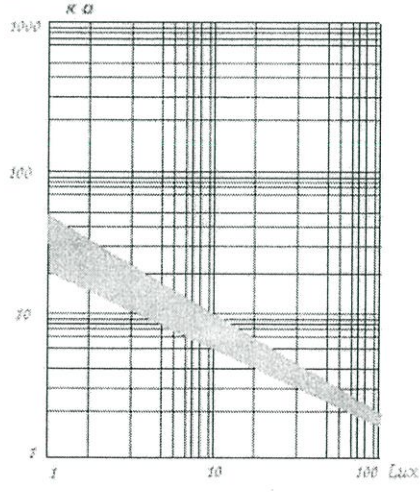


Figure 1

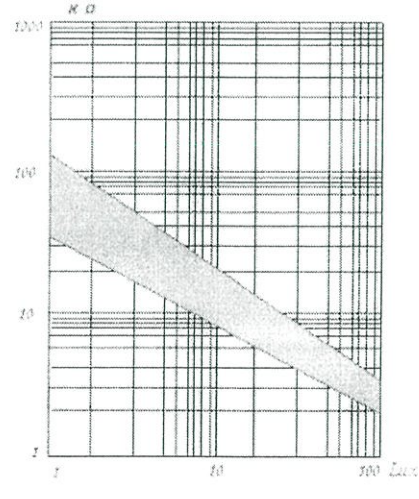


Figure 2

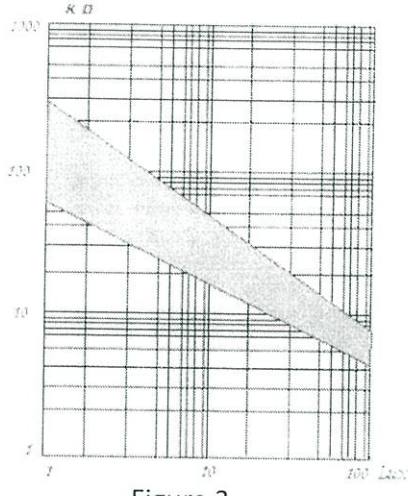


Figure 3

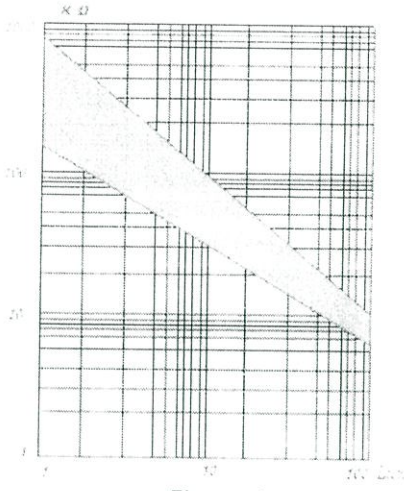


Figure 4

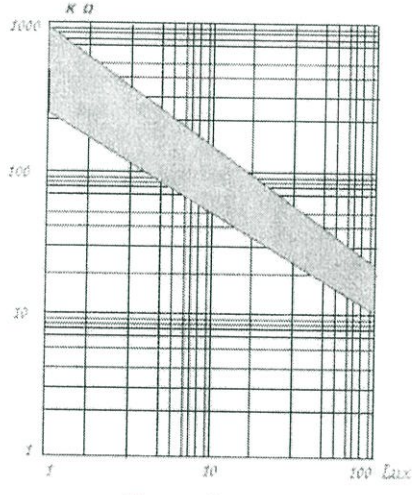


Figure 5

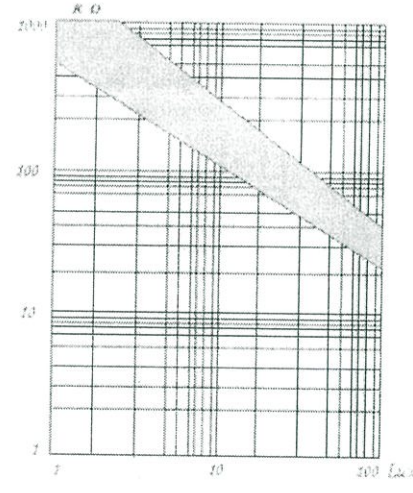


Figure 6

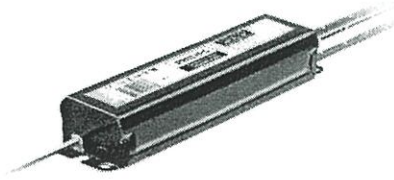
Note

This product adopts environmental materials packaging,little packaging is 200 pcs, big packaging is 2000pcs. To avoid this product in damp,high temperature environment preservation. Welding possible time. Attention should be apart from ceramic welding wire 4mm base location.

ภาคผนวก จ

ตัวขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (Driver)

รุ่น PHILIPS Xitanium 150W 0.35-0.7A GL Prog sXt



Xitanium Constant Current Xtreme

Xitanium 150W 0.35-0.7A GL Prog sXt

Xitanium Xtreme LED drivers provide constant current output, optimal for a single string of LEDs. With exceptional operating efficiency, our drivers significantly reduce energy costs. The Xitanium Xtreme portfolio offers both central and standalone dimming protocols further increasing the energy savings and CO2 reductions achieved with LED lighting. The fully programmable drivers deliver all dimming options and a range of currents in a single driver. System reliability is maximized with intelligent temperature monitoring of the LED light engine. The full portfolio offers maximum flexibility with customizable operating settings, delivering optimal performance tailored for each design.

Product data

• General Information

Constant light output	Programmable
Number Of Products on MCB (16A Type B) (Max)	7

• Operating and Electrical

Input Frequency	50-60_1 Hz
Total Harmonic distortion IEC (Max)	20 %
Output Current ripple (Nom)	30 %
Maximum Efficiency	93 %
Power Factor 100% load (Min)	0.97
Output Current (Nom)	Programmable (350-700) mA
Output Current tolerance (Max)	5 %
Output Current tolerance (Min)	-5 %
Input Voltage (AC)	120-277 V
Power Factor 50% load (Min)	0.94
Earth Leakage	0.7 mA
Input Current (Max)	700 mA
Input Power (Nom)	165 W
Inrush Current Peak (Max)	108 A
Output Power (Nom)	30-150 W
Output Voltage	125-280 V
Inrush Current Width To 50% of Peak	140 µs

• Wiring

Control Wire Length	500 mm
Output Wire Length	500 mm
Control Wire Cross Section (Nom)	0.82 mm^2
Output Wire Cross Section (Nom)	0.82 mm^2

• Temperature

T-Ambient (Max)	55 °C
T-Ambient (Min)	-40 °C
T-Case Lifetime (Nom)	71 °C
T-Case Maximum (Max)	80 °C
Module Temperature Protection	Programmable
T-Case Switch Off (Nom)	92 °C

• Controls and Dimming

Control Interface	1-10V/DALI/Dynadimmer
Dimming Range	100-10 %
Lumistep Dimming Time	-
Lumistep Dimming Time After Midpoint	-

• Mechanical and Housing

Housing Color	Black

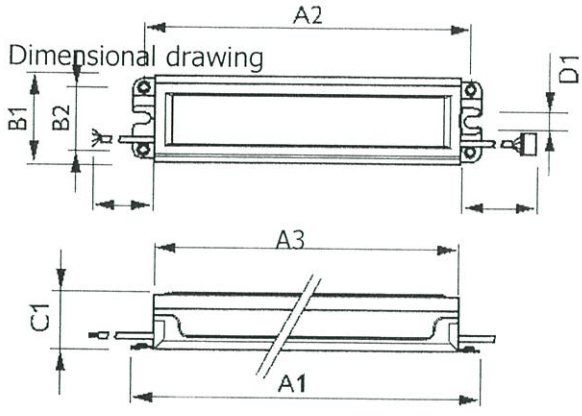
• Approval and Application

Surge Protection (Common/Differential)	3/3 kV
IP Classification	IP 66 [Ingress Protection 66]
Isolation Classification	Class II
Approval Marks	ENEC certificate
	CE marking
	RoHS compliance

• Product Data

Full product code	872790078351300
Order product name	Xitanium 150W 0.35-0.7A GL Prog sXt
EAN/UPC – Product	8718291999782
Order code	929000702202
Numerator - Quantity Per Pack	1
Numerator - Packs per outer box	10
Material Nr. (12NC)	929000702202
Net Weight (Piece)	1.048 kg

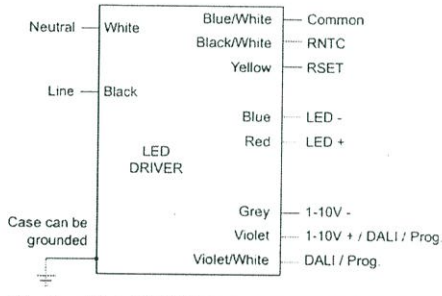
Dimensional drawing



Xitanium 75 & 150 W sXt

Xitanium 150W 0.35-0.7A GL Prog sXt

Product	D1	A2	B2	C1	A1	A3	X1	B1
Xitanium 150W 0.35-0.7A GL Prog sXt	8 mm	226.2 mm	42.9 mm	37.1 mm	240.5 mm	211.1 mm	500 mm	59.1 mm



Xitanium 75 & 150W 0.35-0.70A Prog & Prog+ sXt

© 2016 Philips Lighting Holding B.V.
All rights reserved.

Specifications are subject to change without notice. Trademarks are the property of Koninklijke Philips N.V. (Royal Philips) or their respective owners.

www.philips.com/lighting

2016, February 1
data subject to change

ภาคผนวก ฉ
วงจรขับเกต เบอร์ TLP 250

TOSHIBA Photocoupler GaAℓAs Ired & Photo-IC

TLP250

Transistor Inverter
Inverter For Air Conditioner
IGBT Gate Drive
Power MOS FET Gate Drive

The TOSHIBA TLP250 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.
This unit is 8-lead DIP package.
TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

- Input threshold current: I_F=5mA(max.)
- Supply current (I_{CC}): 11mA(max.)
- Supply voltage (V_{CC}): 10-35V
- Output current (I_O): ±1.5A (max.)
- Switching time (t_{pLH}/t_{pHL}): 0.5μs(max.)
- Isolation voltage: 2500V_{rms}(min.)
- UL recognized: UL1577, file No.E67349
- Option(D4)

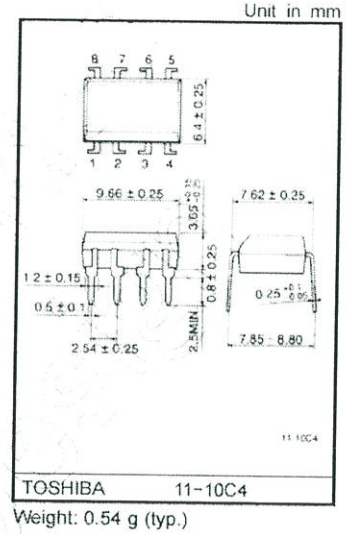
  VDE Approved : DIN EN60747-5-2

  Maximum Operating Insulation Voltage : 890V_{PK}

  Highest Permissible Over Voltage : 4000V_{PK}

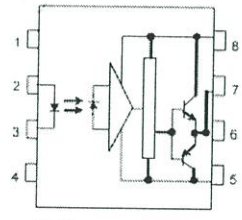
(Note):When a EN60747-5-2 approved type is needed, Please designate "Option(D4)"

Unit in mm



Weight: 0.54 g (typ.)

Pin Configuration (top view)

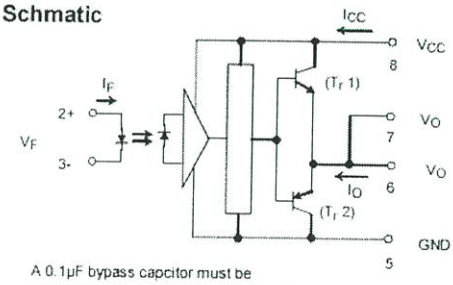


1 : N.C.
2 : Anode
3 : Cathode
4 : N.C.
5 : GND
6 : V_O (Output)
7 : V_O
8 : V_{CC}

Truth Table

		Tr1	Tr2
Input LED	On	On	Off
	Off	Off	On

Schmatic



A 0.1μF bypass capcitor must be connected between pin 8 and 5 (See Note 5).

Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

	Characteristic		Symbol	Rating	Unit
LED	Forward current		I_F	20	mA
	Forward current derating (Ta ≥ 70°C)		$\Delta I_F / \Delta Ta$	−0.36	mA / °C
	Peak transient forward curent	(Note 1)	I_{FPT}	1	A
	Reverse voltage		V_R	5	V
	Junction temperature		T_I	125	°C
Detector	"H"peak output current (P_W ≤ 2.5μs,f ≤ 15kHz)	(Note 2)	I_{OPH}	−1.5	A
	"L"peak output current (P_W ≤ 2.5μs,f ≤ 15kHz)	(Note 2)	I_{OPL}	+1.5	A
	Output voltage	(Ta ≤ 70°C)	V_O	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Supply voltage	(Ta ≤ 70°C)	V_{CC}	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Output voltage derating (Ta ≥ 70°C)		$\Delta V_O / \Delta Ta$	−0.73	V / °C
	Supply voltage derating (Ta ≥ 70°C)		$\Delta V_{CC} / \Delta Ta$	−0.73	V / °C
	Junction temperature		T_j	125	°C
Operating frequency		(Note 3)	f	25	kHz
Operating temperature range			T_{opr}	−20~85	°C
Storage temperature range			T_{stg}	−55~125	°C
Lead soldering temperature (10 s)			T_{sol}	260	°C
Isolation voltage (AC, 1 min., R.H.≤ 60%)		(Note 4)	BV_S	2500	Vrms

Note: Using continuously under heavy loads (e.g. the application of high temperature/current/voltage and the significant change in temperature, etc.) may cause this product to decrease in the reliability significantly even if the operating conditions (i.e. operating temperature/current/voltage, etc.) are within the absolute maximum ratings.
Please design the appropriate reliability upon reviewing the Toshiba Semiconductor Reliability Handbook ("Handling Precautions"/"Derating Concept and Methods") and individual reliability data (i.e. reliability test report and estimated failure rate, etc).

Note 1: Pulse width P_W ≤ 1μs, 300pps

Note 2: Exporenential wavefom

Note 3: Exporenential wavefom, I_{OPH} ≤ −1.0A(≤ 2.5μs), I_{OPL} ≤ +1.0A(≤ 2.5μs)

Note 4: Device considerd a two terminal device: Pins 1, 2, 3 and 4 shorted together, and pins 5, 6, 7 and 8 shorted together.

Note 5: A ceramic capacitor(0.1μF) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching proparty. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

Recommended Operating Conditions

Characteristic	Symbol	Min	Typ.	Max		Unit
Input current, on (Note6)	$I_{F(ON)}$	7	8	10		mA
Input voltage, off	$V_{F(OFF)}$	0	—	0.8		V
Supply voltage	V_{CC}	15	—	30	20	V
Peak output current	I_{OPH}/I_{OPL}	—	—	±0.5		A
Operating temperature	T_{opr}	−20	25	70	85	°C

Note: Recommended operating conditions are given as a design guideline to obtain expected performance of the device. Additionally, each item is an independent guideline respectively. In developing designs using this product, please confirm specified characteristics shown in this document.

Note 6: Input signal rise time(fall time)<0.5μs.

Electrical Characteristics (Ta = −20~70°C, unless otherwise specified)

Characteristic		Symbol	Test Cir-cuit	Test Condition		Min	Typ.*	Max	Unit
Input forward voltage		V_F	—	I_F = 10 mA , Ta = 25°C		—	1.6	1.8	V
Temperature coefficient of forward voltage		$\Delta V_F / \Delta Ta$	—	I_F = 10 mA		—	−2.0	—	mV / °C
Input reverse current		I_R	—	V_R = 5V, Ta = 25°C		—	—	10	μA
Input capacitance		C_T	—	V = 0 , f = 1MHz , Ta = 25°C		—	45	250	pF
Output current	"H" level	I_{OPH}	1	V_{CC} = 30V (*1)	I_F = 10 mA V_{8-5} = 4V	−0.5	−1.5	—	A
	"L" level	I_{OPL}	2		I_F = 0 V_{6-5} = 2.5V	0.5	2	—	
Output voltage	"H" level	V_{OH}	3	V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = −15V R_L = 200Ω, I_F = 5mA		11	12.8	—	V
	"L" level	V_{OL}	4	V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = −15V R_L = 200Ω, V_F = 0.8V		—	−14.2	−12.5	
Supply current	"H" level	I_{CCH}	—	V_{CC} = 30V, I_F = 10mA Ta = 25°C		—	7	—	mA
				V_{CC} = 30V, I_F = 10mA		—	—	11	
	"L" level	I_{CCL}	—	V_{CC} = 30V, I_F = 0mA Ta = 25°C		—	7.5	—	
				V_{CC} = 30V, I_F = 0mA		—	—	11	
Threshold input current	"Output L→H"	I_{FLH}	—	V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = −15V R_L = 200Ω, V_O > 0V		—	1.2	5	mA
Threshold input voltage	"Output H→L"	V_{FHL}	—	V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = −15V R_L = 200Ω, V_O < 0V		0.8	—	—	V
Supply voltage		V_{CC}	—			10	—	35	V
Capacitance (input–output)		C_S	—	V_S = 0 , f = 1MHz Ta = 25°C		—	1.0	2.0	pF
Resistance(input–output)		R_S	—	V_S = 500V , Ta = 25°C R.H.≤ 60%		1×10^{12}	10^{14}	—	Ω

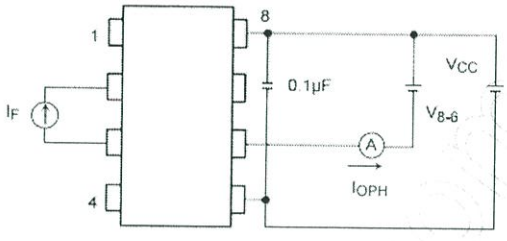
* All typical values are at Ta = 25°C (*1): Duration of I_O time ≤ 50μs

Switching Characteristics (Ta = −20~70°C , unless otherwise specified)

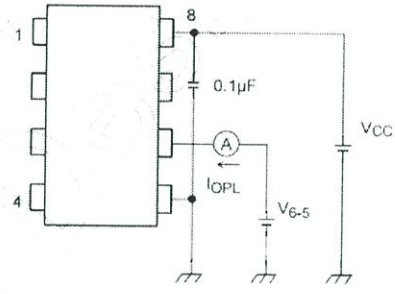
Characteristic		Symbol	Test Cir-cuit	Test Condition	Min	Typ.*	Max	Unit
Propagation delay time	L→H	t_{pLH}	5	I_F = 8mA V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = −15V R_L = 200Ω	—	0.15	0.5	μs
	H→L	t_{pHL}			—	0.15	0.5	
Output rise time		t_r			—	—	—	
Output fall time		t_f			—	—	—	
Common mode transient immunity at high level output		C_{MH}	6	V_{CM} = 600V, I_F = 8mA V_{CC} = 30V, Ta = 25°C	−5000	—	—	V / μs
Common mode transient immunity at low level output		C_{ML}		V_{CM} = 600V, I_F = 0mA V_{CC} = 30V, Ta = 25°C	5000	—	—	V / μs

All typical values are at Ta = 25°C

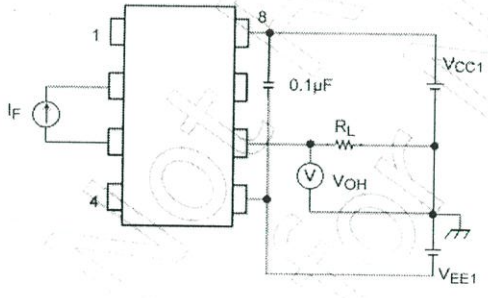
Test Circuit 1 : I_{OPH}



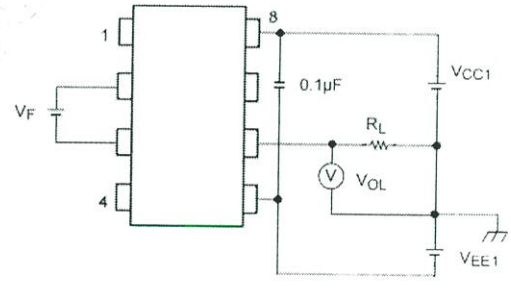
Test Circuit 2 : I_{OPL}



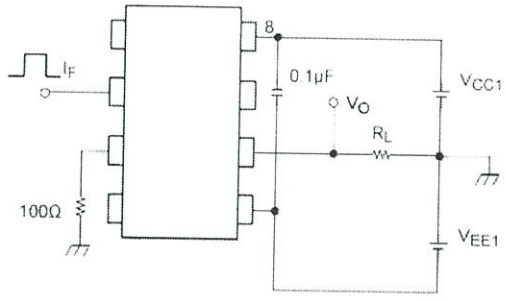
Test Circuit 3 : V_{OH}

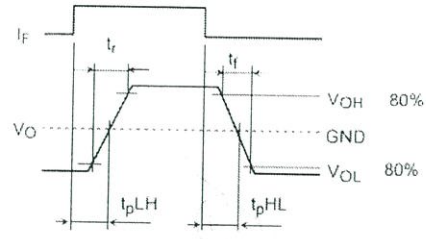


Test Circuit 4 : V_{OL}

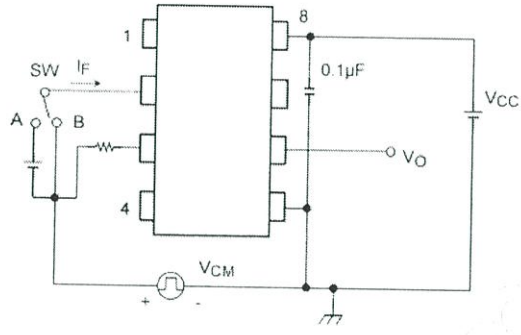


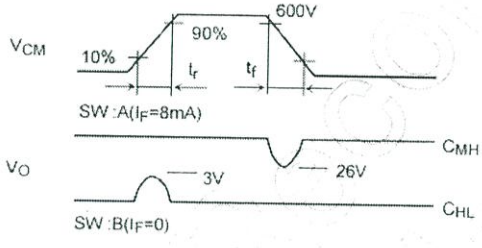
Test Circuit 5: t_{pLH}, t_{pHL}, t_r t_f





Test Circuit 6: C_{MH}, C_{ML}



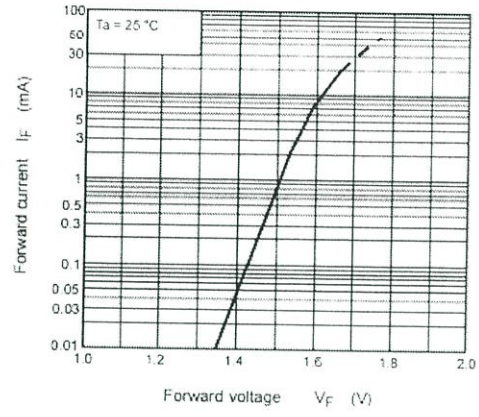


$$C_{ML} = \frac{480\ (V)}{t_{r\ (\mu s)}}$$

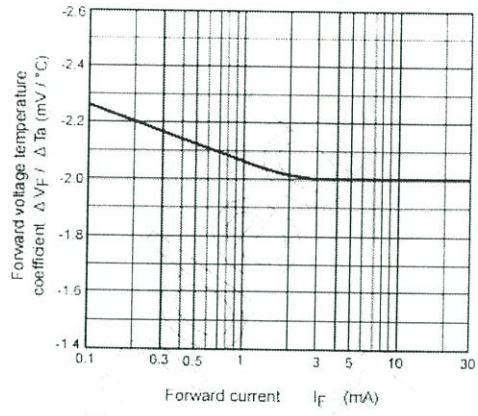
$$C_{MH} = \frac{480\ (V)}{t_{f\ (\mu s)}}$$

C_{ML}(C_{MH}) is the maximum rate of rise (fall) of the common mode voltage that can be sustained with the output voltage in the low (high) state.

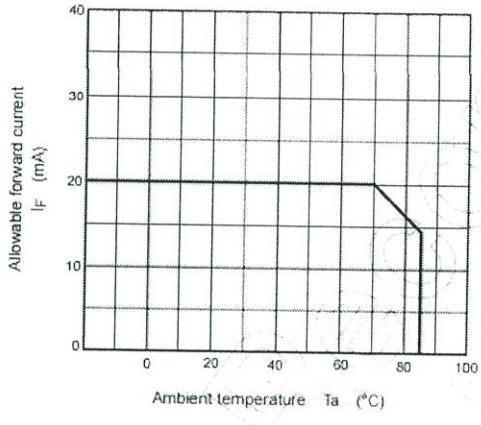
$I_F - V_F$



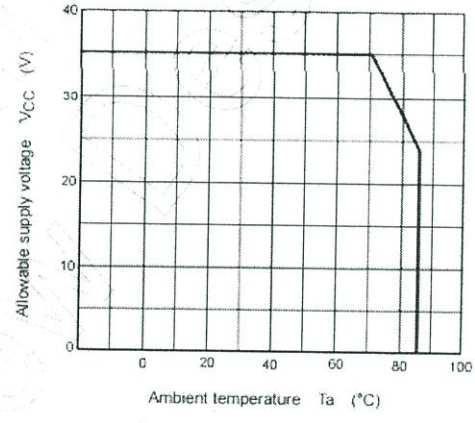
$\Delta V_F / \Delta Ta - I_F$



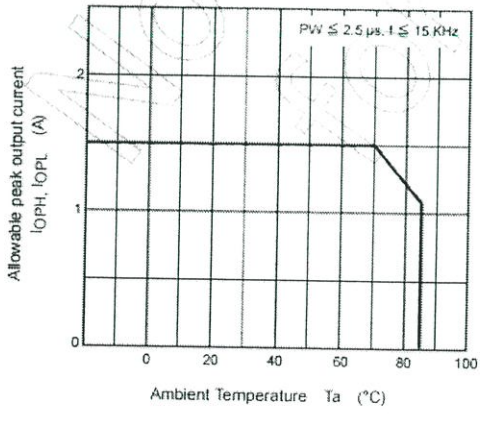
$I_F - Ta$



$V_{CC} - Ta$



$I_{OPH}, I_{OPL} - Ta$



RESTRICTIONS ON PRODUCT USE

- Toshiba Corporation, and its subsidiaries and affiliates (collectively "TOSHIBA"), reserve the right to make changes to the information in this document, and related hardware, software and systems (collectively "Product") without notice.
- This document and any information herein may not be reproduced without prior written permission from TOSHIBA. Even with TOSHIBA's written permission, reproduction is permissible only if reproduction is without alteration/omission.
- Though TOSHIBA works continually to improve Product's quality and reliability, Product can malfunction or fail. Customers are responsible for complying with safety standards and for providing adequate designs and safeguards for their hardware, software and systems which minimize risk and avoid situations in which a malfunction or failure of Product could cause loss of human life, bodily injury or damage to property, including data loss or corruption. Before creating and producing designs and using, customers must also refer to and comply with (a) the latest versions of all relevant TOSHIBA information, including without limitation, this document, the specifications, the data sheets and application notes for Product and the precautions and conditions set forth in the "TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook" and (b) the instructions for the application that Product will be used with or for. Customers are solely responsible for all aspects of their own product design or applications, including but not limited to (a) determining the appropriateness of the use of this Product in such design or applications; (b) evaluating and determining the applicability of any information contained in this document, or in charts, diagrams, programs, algorithms, sample application circuits, or any other referenced documents; and (c) validating all operating parameters for such designs and applications. **TOSHIBA ASSUMES NO LIABILITY FOR CUSTOMERS' PRODUCT DESIGN OR APPLICATIONS.**
- Product is intended for use in general electronics applications (e.g., computers, personal equipment, office equipment, measuring equipment, industrial robots and home electronics appliances) or for specific applications as expressly stated in this document. Product is neither intended nor warranted for use in equipment or systems that require extraordinarily high levels of quality and/or reliability and/or a malfunction or failure of which may cause loss of human life, bodily injury, serious property damage or serious public impact ("Unintended Use"). Unintended Use includes, without limitation, equipment used in nuclear facilities, equipment used in the aerospace industry, medical equipment, equipment used for automobiles, trains, ships and other transportation, traffic signaling equipment, equipment used to control combustions or explosions, safety devices, elevators and escalators, devices related to electric power, and equipment used in finance-related fields. Do not use Product for Unintended Use unless specifically permitted in this document.
- Do not disassemble, analyze, reverse-engineer, alter, modify, translate or copy Product, whether in whole or in part.
- Product shall not be used for or incorporated into any products or systems whose manufacture, use, or sale is prohibited under any applicable laws or regulations.
- The information contained herein is presented only as guidance for Product use. No responsibility is assumed by TOSHIBA for any infringement of patents or any other intellectual property rights of third parties that may result from the use of Product. No license to any intellectual property right is granted by this document, whether express or implied, by estoppel or otherwise.
- **ABSENT A WRITTEN SIGNED AGREEMENT, EXCEPT AS PROVIDED IN THE RELEVANT TERMS AND CONDITIONS OF SALE FOR PRODUCT, AND TO THE MAXIMUM EXTENT ALLOWABLE BY LAW, TOSHIBA (1) ASSUMES NO LIABILITY WHATSOEVER, INCLUDING WITHOUT LIMITATION, INDIRECT, CONSEQUENTIAL, SPECIAL, OR INCIDENTAL DAMAGES OR LOSS, INCLUDING WITHOUT LIMITATION, LOSS OF PROFITS, LOSS OF OPPORTUNITIES, BUSINESS INTERRUPTION AND LOSS OF DATA, AND (2) DISCLAIMS ANY AND ALL EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES AND CONDITIONS RELATED TO SALE, USE OF PRODUCT, OR INFORMATION, INCLUDING WARRANTIES OR CONDITIONS OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, ACCURACY OF INFORMATION, OR NONINFRINGEMENT.**
- GaAs (Gallium Arsenide) is used in Product. GaAs is harmful to humans if consumed or absorbed, whether in the form of dust or vapor. Handle with care and do not break, cut, crush, grind, dissolve chemically or otherwise expose GaAs in Product.
- Do not use or otherwise make available Product or related software or technology for any military purposes, including without limitation, for the design, development, use, stockpiling or manufacturing of nuclear, chemical, or biological weapons or missile technology products (mass destruction weapons). Product and related software and technology may be controlled under the Japanese Foreign Exchange and Foreign Trade Law and the U.S. Export Administration Regulations. Export and re-export of Product or related software or technology are strictly prohibited except in compliance with all applicable export laws and regulations.
- Please contact your TOSHIBA sales representative for details as to environmental matters such as the RoHS compatibility of Product. Please use Product in compliance with all applicable laws and regulations that regulate the inclusion or use of controlled substances, including without limitation, the EU RoHS Directive. TOSHIBA assumes no liability for damages or losses occurring as a result of noncompliance with applicable laws and regulations.

ภาคผนวก ช
มาตรฐานความสว่างของไฟถนน

มาตรฐานความส่องสว่างของกรมทางหลวง

ประเภทถนน STREET CLASSIFICATIONS	ความส่องสว่างเฉลี่ย (ลักซ์) AVERAGE ILLUMINANCE (lux)		
	ในเมือง CENTRAL-URBAN AREAS	ชานเมือง SUB-URBAN AREAS	ชนบท (นอกเมือง) RURAL AREAS
ถนนสายประธาน HIGH GRADE MOTORWAYS	21.5	15.0	10.75
ถนนสายหลัก MAIN ROUTES	21.5	13.0	9.7
ถนนสายรอง SECONDARY ROUTES	13.0	9.7	6.5
ถนนสายย่อย LOCAL ROADS	9.7	6.5	2.1
ทางแยก AT JUNCTION	21.5	21.5	15.0

ภาคผนวก ซ
มาตรฐานการออกแบบไฟถนน

ตารางที่ 2 ผลการออกแบบการส่องสว่างถนนกว้าง 14 เมตร (ถนนกว้าง 7 เมตร + เกาะกลางกว้าง 3 เมตร + ถนนกว้าง 7 เมตร), ระดับชั้นการส่องสว่าง M1 และติดตั้งดวงโคมแบบ Central Twin (CT)

รายการ	การออกแบบ แบบปัจจุบัน (M1)			การออกแบบ แบบใหม่ (M1)		
	ข้อกำหนด	ผิวถนน R1	ผิวถนน R3	ข้อกำหนด	ผิวถนน R1	ผิวถนน R3
1. ระยะห่างของเสา (เมตร)	36	36	36	-	41	46
2. ความสูงของดวงโคม (เมตร)	9	9	9	-	12	12
3. ระยะยื่น (เมตร)	1	1	1	1	1	1
4. มุมเอียง (องศา)	15	15	15	0	0	0
5. ความสว่างเฉลี่ย (ลักซ์)	21.5	38	38	20 (R1), 28 (R3)	34	30
6. ความสม่ำเสมอ (Emin/Eav)	0.40	0.42	0.42	0.40	0.543	0.496
7. ความสม่ำเสมอ (Emin/Emax)	0.167	0.224	0.224	0.167	0.338	0.279
8. ความส่องสว่างเฉลี่ย (cd/m^2)	2.0	3.6	2.6	2.0	3.1	2.0
9. ความสม่ำเสมอรวม (U0)	0.4	0.6	0.6	0.4	0.6	0.6
10. ความสม่ำเสมอตามยาว (Ul)	0.7	0.5 (F)	0.7	0.7	0.7	0.7
11. ส่วนเพิ่มขีดเริ่มเปลี่ยน TI (%)	10	13 (F)	16 (F)	10	7	10
12. อัตราส่วนบริเวณแวดล้อม SR	0.5	0.9	0.9	0.5	0.8	0.8
13. แฟกเตอร์การใช้ประโยชน์แสง UF	-	0.299	0.299	-	0.3049	0.3019
14. LPI_1 (W/m)	12.3 (R1), 13.0 (R3)	15.44 (F)	15.44 (F)	12.3 (R1), 13.0 (R3)	13.17 (F)	11.74
15. ผลประหยัด (%)	-	-	-	-	14.7	24.0

หมายเหตุ (F) คือ Fail ไม่ผ่านข้อกำหนด

ประวัติคณะผู้วิจัย

1. ชื่อ (ภาษาไทย) รศ.ดร.อรรถพล เง่าพิทักษ์กุล
   (ภาษาอังกฤษ) Atthapol Ngaopitakkul, Ph.D.

วัน เดือน ปีเกิด 28 สิงหาคม 2521 อายุ 36 ปี
เพศ ชาย สถานะทางการสมรส โสด
เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 5849990003908
ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์
หน่วยงานที่อยู่ที่ติดต่อได้ พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520 โทร 02-329-8330 โทรสาร 02-329-8330
เบอร์มือถือ 0817324318 Email knatthap@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรีสาขา วิศวกรรมไฟฟ้า (B.Eng)		สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
ปีที่สำเร็จ	2545	
ปริญญาโทสาขา วิศวกรรมไฟฟ้า (M.Eng)		สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
ปีที่สำเร็จ	2547	
ปริญญาเอกสาขา วิศวกรรมไฟฟ้า (D.Eng)		สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
ปีที่สำเร็จ	2550	

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

Power System, Power System Protection, Application of Wavelet Transform to power system protection, Artificial Neural Networks, Illumination, Energy Management

ผลงานวิจัยย้อนหลัง 3 ปีและผลงานวิจัยอื่นๆ (เช่น Proceedings หนังสือ ฯลฯ)

Journal Papers

1. A. Ngaopitakkul, and C. Jettanasen, "A Discrete Wavelet Transform Approach to Discriminating among Inrush Current, External Fault, and Internal Fault in Power Transformer using Low-Frequency Components Differential Current Only," IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering (TEEE), Vol. 9, No. 3, May, 2014, pp. 302-314. (ISI Impact factor 2012 = 0.343)
2. T. Patcharoen, and A. Ngaopitakkul, "A novel discrete wavelet transform based on travelling wave technique for identifying the fault location for transmission network systems," IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol. 8, No. 5, September, 2013, pp. 432-439. (ISI Impact factor 2012 = 0.343)
3. A. Ngaopitakkul, and S. Bunjongjit, "An application of a discrete wavelet transform and a back-propagation neural network algorithm for fault diagnosis on single-circuit transmission line," International Journal of Systems Science (IJSS), Vol. 44, No. 9, September, 2013, pp. 1745-1761. (ISI Impact factor 2012 = 1.305)
4. C. Jettanasen, and A. Ngaopitakkul, "A Novel Probabilistic Neural Networks-Based Algorithm for Classifying Internal Fault in Transformer Windings" IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering (TEEE), Vol. 8, No. 2, March, 2013, pp. 123-131. (ISI Impact factor 2011 = 0.394)
5. A. Ngaopitakkul and C. Jettanasen, "Selection of Proper Activation Functions in Back-Propagation Neural Networks Algorithm for Identifying the phase with fault appearance in Transformer Windings," *International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC),* Vol. 8, No. 6, June, 2012, pp. 4299-4318. (ISI Impact factor 2010 = 1.664)
6. S. Bunjongjit and A. Ngaopitakkul, "Selection of Proper Artificial Neural Networks for Fault Classification on Single Circuit Transmission Line," *International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC),* Vol. 8, No. 1(A), January, 2012, pp. 361-374. (ISI Impact factor 2010 = 1.664)
7. A. Ngaopitakkul and C. Jettanasen, "The comparisons technique of coefficient DWT for identifying Simultaneous Fault Types on Transmission System," *International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC),* Vol. 7, No. 10, October, 2011, pp. 5789-5800. (ISI Impact factor 2010 = 1.664)

ประวัติการทำงานที่สำคัญ และ Professional Activities

Committee : IEEJ-EIT Joint Symposium : Advanced Technology in Power Systems (2008-2009)

Committee : Illuminating Engineering Association of Thailand (TIEA) (Jan 2008 – Present)

Committee : Thai Mechanical and Electrical Design and Consulting Engineer Association (MECT) (Oct 2008 – Present)

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

Dec 2013 – Present	Head of Research Project "Study and Analysis on Impact and Performance of Distribution System Connected to Multi-Distributed Generation" {Supported by the King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Research Fund, Thailand}
Oct 2013 – Present	Head of Research Project "Analysis of Energy Consumption and Electromagnetic Interference (EMI) Problems for Light Emitting Diode (LED) Street Light" {Supported by the King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Research Fund, Thailand}
Dec 2012 – Present	Head of Research Project "Development of Earth Terminal Configuration of Towers Using Impulse Characteristics" {Supported by the EGAT Research Fund, Thailand}
Sep 2012 – May 2013	Advisor of Research Project "Study and analysis the effect of harmonics noise of LED lamp" {Supported by EPPO Fund, Thailand}
Mar 2012 – Sep 2013	Head of Research Project "An Application of Discrete Wavelet Transform and Artificial Intelligent for Fault Diagnosis in Distribution System" {Supported by the National Research Council of Thailand, Thailand}
Sep 2011 – May 2012	Advisor of Research Project "Study and analysis of harmonics issued from electronic ballast of T5 fluorescent lamp" {Supported by EPPO Fund, Thailand}
Oct 2010 – Sep 2011	Researcher of Project "The Classification of fault in power transformer using Discrete Wavelet Transform" {Supported by the Faculty of Engineering Fund, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand}

Sep 2010 – May 2011	Advisor of Research Project "Feasibility and System Impact Study of Energy Saving using T5 in Building" {Supported by EPPO Fund, Thailand}
Dec 2009 – Nov 2011	Head of Research Project "An Application of Discrete Wavelet Transform and Artificial Intelligent Algorithm for Simultaneous Fault Diagnosis in Electrical Power Transmission Systems" {Supported by the King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Research Fund, Thailand}
Oct 2009 – Sep 2010	Head of Research Project "Fault Diagnosis in Underground Cable Systems using Discrete Wavelet Transform" {Supported by the Faculty of Engineering Fund, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand}
Oct 2008 – Sep 2009	Researcher of Project "Fault Analysis on Single Circuit Transmission line Using Discrete Wavelet Transform and Fuzzy Logic" {Supported by the Faculty of Engineering Fund, Srinakarinwirot, Thailand}
Oct 2007 – Sep 2008	Researcher of Project "An Application of Discrete Wavelet Transform and Neural Network for Fault Diagnosis in Transmission Systems" {Supported by the Faculty of Engineering Fund, Srinakarinwirot, Thailand}

2. **ชื่อ** **(ภาษาไทย) ผศ.ดร. ชัยยันต์ เจตนาเสน**

(ภาษาอังกฤษ) Chaiyan Jettanasen, Ph.D.

วัน เดือน ปีเกิด 26 สิงหาคม 2522 **อายุ** 35 **ปี**

เพศ ชาย **สถานะทางการสมรส** สมรส

เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3720901020204

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

หน่วยงานที่อยู่ที่ติดต่อได้ พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กรุงเทพฯ 10520 โทร 02-329-8330 โทรสาร 02-329-8330

เบอร์มือถือ 080-0220851 Email kjchaiya@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

ปริญญาเอก Ph.D. of Electrical Engineering (Docteur en Génie Electrique), Ecole Centrale de Lyon, France
ปีที่จบ พ.ศ.2551
ปริญญาตรี-โท Master of Electrical Engineering (Master de Recherche en Génie Electrique) / Diploma of Elecrical Engineering (Diplôme d'ingéneur), Institut National des Sciences Appliquées (INSA) de Lyon, France
ปีที่จบ พ.ศ. 2548

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

EMI/EMC in power electronic systems, ESD in electric/electronic system, Conversion of electrical energy, Power electronics

ผลงานวิจัยย้อนหลัง 3 ปีและผลงานวิจัยอื่นๆ (เช่น Proceedings หนังสือ ฯลฯ)

Journal Papers

1. C. Jettanasen, and A. Ngaopitakkul, "A Novel Probabilistic Neural Networks-Based Algorithm for Classifying Internal Fault in Transformer Windings" IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering (TEEE), Vol. 8, No. 2, March, 2013, pp. 123-131. (ISI Impact factor 2011 = 0.394)
2. Chaiyan Jettanasen, "*Modeling and Optimizing a Passive EMI Filter to Attenuate Common-Mode Currents at High Frequency in a Three-Phase Adjustable-Speed AC Motor Drive*", International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC), ISSN 1349-4198, Vol. 8, No. 10 (A), October 2012, pp. 6629 – 6642 (ISI Impact Factor 2010: 1.664)
3. C. Jettanasen, F. Costa, C. Vollaire, "*Common mode emissions measurements and simulation in variable-speed drive systems*", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 24, No. 11, November 2009.

National/International Conference Papers

1. C. Jettanasen, "*Analysis of Conducted Electromagnetic Interference Generated by PWM Inverter Fed-AC Motor Drives*", The 15th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS2012), Sapporo, Japan, October 21-24, 2012.

2. C. Jettanasen, "*Reduction of Common-Mode Voltage Generated by Voltage-Source Inverter using Proper PWM Strategy*", 2012 Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility & Technical Exhibition on EMC RF/Microwave Measurement & Instrumentation, Singapore, May 21-24, 2012.
3. C. Jettanasen, "*Design of Electrostatic Discharge Event Detector*", IEEE TENCON 2011, Bali, Indonesia, November 21-24, 2011.
4. C. Jettanasen, "*Pulse Width Modulation Technique to Attenuate Common-Mode Voltage Generated by Voltage Source Inverter-fed AC Motor Drive* ", The International Conference on Electrical Engineering (ICEE2011), Hong Kong, July 10-14, 2011.

3. **ชื่อ** (ภาษาไทย) ดร.ชานนท์ วริสาร
(ภาษาอังกฤษ) Chanon Warisarn, Ph.D.

วัน เดือน ปีเกิด 4 พฤศจิกายน 2525 **อายุ** 32 ปี
เพศ ชาย **สถานะทางการสมรส** โสด
เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน
ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
หน่วยงานที่อยู่ที่ติดต่อได้ พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร
วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520 โทร 02-326-4731 โทรสาร 02-326-4731
เบอร์มือถือ 0869971001 Email kwchanon@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรีสาขา วิศวกรรมไฟฟ้า (B.Eng) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีที่สำเร็จ 2548
ปริญญาเอกสาขา วิศวกรรมไฟฟ้า (D.Eng) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
ปีที่สำเร็จ 2554

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
Detection and equalization, Timing recovery for baseband transmission, Ultrahigh density information storage system, Error-control coding

ผลงานวิจัยย้อนหลัง 3 ปีและผลงานวิจัยอื่นๆ (เช่น Proceedings หนังสือ ฯลฯ)

1. P. Kovintavewat, A. Arrayangkool, and C. Warisarn, "A Rate-8/9 2D Modulation Code for Bit-Patterned Media Recording" *IEEE Trans. Magn.*,, Impact 1.83.
2. C. Warisarn, A. Arrayangkool, and P. Kovintavewat, "An ITI-Mitigating 5/6 Modulation Code for Bit-Patterned Media Recording" in Journal Association for Computing Machinery (ACM), Submitted, Impact 1.30.
3. A. Arrayangkool, C. Warisarn, and P. Kovintavewat, "A Constructive Inter-Track Interference Coding Scheme for Bit-Patterned Media Recording System" in Journal of Applied Physics, Accepted, Impact 2.30.
4. C. Warisarn, T. Losuwan, P. Supnithi, and P. Kovintavewat, "An Iterative Inter-Track Interference Mitigation Technique for Two-Dimensional Magnetic Recording Systems" in Journal of Applied Physics, Accepted, Impact 2.30.
5. S. Chandrasekaran, P. Supnithi, C. Warisarn, and D. Bai, "Spinning Disk Test Study on Erase Band and Write Width for Shingled Magnetic Recording" in Journal of Applied Physics, Accepted, Impact 2.30.
6. A. Arrayangkool, C. Warisarn, and P. Kovintavewat, "A Recorded-Bit Patterning Scheme with Accumulated Weight Decision for Bit Patterned Media Recording" in Electronic Trans. IEICE 2013, Published, Impact 0.34.
7. Lin M. M. Myint and C. Warisarn, "Estimate ITI information using Cross Correlation Functions in Equalizer Designing Process for BPM Magnetic Recording," in Proc. ITC-CSCC 2013, Yeosu, Korea, 30 Jun - Jul.3 2013
8. N. Bumrungkiat, C. Warisarn, and P. Kovintavewat, "A Magnetized Grain Modeling Method Based on the Image of Real Magnetic Grains for Two-Dimensional Magnetic Recording," in Proc. ITC-CSCC 2013, Yeosu, Korea, 30 Jun - Jul.3 2013
9. A. Arrayangkool, C. Warisarn, and P. Kovintavewat, "A 2D-Interference Mitigation with a Multitrack Recorded-Bit Patterning Scheme for Bit Patterned Media Recording," in Proc. ITC-CSCC 2013, Yeosu, Korea, 30 Jun - Jul.3 2013
10. A. Arrayangkool, C. Warisarn, Lin M. M. Myint, and P. Kovintavewat, "A Simple A Simple Recorded-Bit Patterning Scheme for Bit Patterned Media Recording," in Proc. of ECTI-CON 2013, Krabi, Thailand, May. 15-17 2013.

11. S. Koonkarnkhai, C. Warisarn, and P. Kovintavewat, "Iterative Decoding for Bit-Patterned Media Recording Channels with Insertion/Deletion Errors," in Proc. of I-SEEC 2012, Phetchburi, Thailand, Dec. 11-14 2012.
12. P. Kovintavewat , C. Warisarn, and C. Tantibundhit, "Performance of Interpolated Timing Recovery in Perpendicular Magnetic Recording Channel," in Proc. of I-SEEC 2012, Phetchburi, Thailand, Dec. 11-14 2012.
13. T. Losuwan, C. Warisarn, L. M. Myint, and P. Supnithi, "A Study of Iterative Detection Method for Four-Grain Based Two-Dimensional Magnetic Recording," in Proc. of APMRC 2012, Singapore, Oct 31- Nov 2, 2012
14. Losuwan T., Warisarn C., and Kovintavewat P. "Complexity Reduction of Modified Per-Survivor Iterative Timing Recovery" in Proc. of ITC-CSCC 2012, Sapporo, Japan, Jul. 15-18 2012.
15. Warisarn C., Kovintavewat P., and Supnithi P. "Complexity Reduction of Modified Per-Survivor Iterative Timing Recovery" ECTI-CIT Trans., Nov. 2012.
16. Warisarn C., Supnithi P. "A Novel IIR Equalizer Design for Perpendicular Recording Systems with Media Jitter Noise." KKU Res. J., 17(3), Jun. 2012. pp. 339–348.
17. M. Lin, P. Supnithi, C. Warisarn, and N. Puttarak, "Off-track detection in magnetic recording based on the readback signals" ," in Proc. INTERMAG 2012, Vancouver, Canada, May 7 - 11, 2012.

ประวัติการทำงานที่สำคัญ และ Professional Activities

เม.ย. 54 –มิ.ย. 54 **นักวิจัยต่างชาติบัณฑิตวิทยาลัยคณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม,** มหาวิทยาลัย

เอฮิเมะ เมือง มัทซึยามา ประเทศ ญี่ปุ่น

ต.ค. 53– มี.ค. 54 **ผู้ช่วยสอน**, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

ต.ค. 52– มี.ค. 53 **ผู้ช่วยสอน**, ส. เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มิ.ย. 50– ต.ค. 50 **ฝึกงานทางเทคนิค**, ซีเกทเทคโนโลยี, เทพารักษ์, กรุงเทพ, ประเทศไทย