สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์และควบคุมความเข้มของแสงสว่างโดยใช้การควบคุมแบบชดเชยแสงเพื่อการประหยัดพลังงาน

EMPIRICAL ANALYSIS OF NATURAL LIGHTING FOR ENERGY CONSERVATION USING TOP-UP CONTROL METHOD

T117117

ชัยชนะ วังกะดิลก

CHAICHANA WANGKADILOK

ฉบับ.....
เลขทะเบียน.....117117
วัน,เดือน,ปี.....23 ธ.ค. 2554

b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2553

KMITL-2010-EN-M -060-134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EMPIRICAL ANALYSIS OF NATURAL LIGHTING FOR ENERGY CONSERVATION USING TOP-UP CONTROL METHOD

CHAICHANA WANGKADILOK

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADDRABANG

2010

KMITL-2010-EN-M-060-134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2010

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ให้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์และควบคุมความเข้มของแสงสว่างโดยใช้การควบคุมแบบชดเชยแสงเพื่อการประหยัดพลังงาน

Thesis Title Empirical Analysis of Natural Lighting for Energy Conservation Using Top – Up Control Method

นักศึกษา นายชัยชนะ วังกะดิลก

รหัสประจำตัว 48060853

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.วิศรุต ศรีรัตนะ

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2010-EN-M-060-134

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.วิทยา	ทิพย์สุวรรณพร	
รศ.วิริยะ	กองรัตน์	
ดร.เลิศเลขา	ศรีรัตนะ	
รศ.ดร.ทวีพล	ซื่อสัตย์	
รศ.วิศรุต	ศรีรัตนะ	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 3 สิงหาคม พ.ศ. 2553 เวลา 10.00 – 12.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 3 สิงหาคม พ.ศ. 2553

สำนักทะเบียนและประมวลผล สจล.
วันที่ส่งเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
วันที่ 7 เดือน ก.ย. พ.ศ. 53
ลงชื่อ.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์และควบคุมความเข้มของแสงสว่างโดยใช้การควบคุมแบบชดเชยแสงเพื่อการประหยัดพลังงาน
นักศึกษา	นายชัยชนะ วังกะดิลก
รหัสประจำตัว	48060853
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2553
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.วิศรุต ศรีรัตนะ

บทคัดย่อ

บทความนี้ นำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มของแสงสว่างภายในห้องตัวอย่างขนาด 24 ตารางเมตร สูง 3 เมตร จากแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านหน้าต่างกระจกใสเข้ามาภายในห้อง ตามลักษณะภูมิอากาศและภูมิประเทศของประเทศไทย ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 จนถึง เดือนมกราคม พ.ศ. 2551 เป็นกรณีศึกษา ทั้งนี้เพื่อควบคุมความเข้มของแสงสว่างภายในห้องให้คงที่ ซึ่งในที่นี้กำหนดมาตรฐานไว้ที่ 500 ลักซ์ ตลอดช่วงเวลาตั้งแต่ 08.00-16.00 น. ด้วยการชดเชยจากแสงสว่างของหลอดไฟประหยัดพลังงาน 30 วัตต์ 1,700 ลูเมน 56 ลูเมนต่อวัตต์ จำนวน 9 หลอด โดยวิธีการควบคุมแบบต่อเนื่อง อ้างอิงตามมาตรฐานของ Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) ด้วยหลักการนี้จะกำหนดช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลทุกๆ 5 นาที จากเซนเซอร์ชนิดโฟโต้คอนดักทีฟเซลล์ในลักษณะของแรงดันไฟฟ้าขนาด 0-5 โวลท์ ผ่านพอร์ตอนุกรมด้วยความละเอียด 1,023 ระดับจาก ADC 10 บิต ไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของแสงสว่างภายในห้อง ตลอดจนประมาณการการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Empirical analysis of natural lighting for energy conservation using Top-up control method
Student	Mr.Chaichana Wangkadilok
Student ID.	48060853
Degree	Master of Engineering
Program	Instrumentation Engineering
Year	2010
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Witsarut Sriratana

ABSTRACT

This paper presents an empirical analysis of interior illuminance from natural lighting transmitting through clear glazed window into the reference room located in Bangkok, Thailand, during February 2007 to January 2008 as a case study. Point illuminances measured by photoconductive sensors were collected every 5 minutes and the average interior illuminance from natural lighting were then calculated instantaneously. In this study, natural lighting also aims to reduce the requirement of electric lighting during work hours (8.00-16.00) of the reference room. If natural lighting alone could not supply the light at the required value, the electric lighting were switched on and controlled by using top-up control method to maintain the standard illuminance level. The average interior illuminance, comprising of natural light and electric light, was controlled to be stable at Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) standard level of 500 lux. Nine sets of high performance lamp, 56 lm/W of efficacy, were assumed to be supplied electric lighting to meet the standard condition. The requirements of supplementary lighting and possible savings during the test months were finally estimated.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.วิศรุต ศรีรัตนะ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้ รวมถึงแนวทางการออกแบบการเก็บข้อมูลและการทดลองและยังให้ประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า และยังช่วยผลักดันให้ข้าพเจ้าได้ทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลงได้

ขอขอบพระคุณ รศ.วิศรุต ศรีรัตนะ และ กรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณ บริษัทชไนเดอร์ (ไทยแลนด์) จำกัด Schneider Electric (Thailand) ที่สนับสนุนอุปกรณ์การวิจัยนี้ และยังขอบคุณ คุณปรัช เอี่ยวสุวรรณ และ Mr. Sylvain Gire ที่คอยให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณภรรยาของข้าพเจ้า คุณเครือวัลย์ วังกะดิลก ที่เป็นเสมือนคู่คิดและเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบกราบพระคุณ พระคุณพ่อ แม่ อีกทั้งพระคุณครูอาจารย์ทั้งหลายที่ช่วยส่งเสริมและประสิทธิ์ประสาทวิชาให้ข้าพเจ้าได้มีความรู้และความเจริญก้าวหน้า

ชัยชนะ วังกะดิลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....IX

สารบัญรูป.....XI

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....1

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....2

1.4 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์.....2

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....4

2.1 ความสัมพันธ์ของพลังงานแสงอาทิตย์กับโลก.....4

2.2 พลังงานแสงอาทิตย์.....6

2.3 พลังงานแสงอาทิตย์เมื่อเดินทางถึงโลก.....7

2.4 แหล่งพลังงานส่องสว่าง(Extraterrestrial Solar Irradiation).....10

2.4.1 การส่องสว่างเอคซทระเทริโทเรียลในพื้นผิวแนวราบ.....10

2.4.2 ชั่วโมงแห่งการส่องสว่างบนพื้นผิวแนวราบ.....11

2.5 ค่าความส่องสว่างท้องฟ้า.....14

2.5.1 อัตราส่วนท้องฟ้า (Sky Ratio).....14

2.5.2 ความสว่างตรงศรีษะ (Zenith Luminance).....16

2.6 ลักษณะภูมิประเทศ.....18

2.7 หลักการสมการถดถอย.....18

2.7.1 สมการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น.....19

2.7.2 สมการถดถอยเอ็กโปรเนลเชียล.....19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.7.3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์.....21

2.8 การออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่าง.....23

2.8.1 นิยามและศัพท์ของแสง.....23

2.8.2 ปริมาณการส่องสว่าง.....24

2.8.3 กฎกำลังสองผกผัน (Inverse – Square law).....24

2.8.4 กฎโคไซน์ของแลมเบริร์ต (Lambert's Cosine law).....24

2.8.5 สัมประสิทธิ์ของการใช้งาน (Coefficient of Utilization).....26

2.8.6 ค่าองค์ประกอบของการบำรุงรักษา.....26

2.8.7 อัตราส่วนของระยะห่างระหว่างดวงโคมกับความสูงของดวงโคม.....27

2.8.8 แหล่งกำเนิดแสง.....28

2.9 การออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคาร.....28

2.9.1 Zonal Cavity Method.....28

2.9.2 วิธีการแบ่งส่วนโพรง.....29

2.10 หลักการทั่วไปในการส่องสว่างอย่างมีประสิทธิภาพ.....33

2.11 การใช้แสงธรรมชาติส่องสว่าง (Daylighting).....34

2.12 เกณฑ์ขั้นสูงของค่ากำลังไฟฟ้าสำหรับการส่องสว่างในอาคาร.....35

2.13 การควบคุมไฟฟ้าแสงสว่าง.....36

2.14 การประยุกต์การส่องสว่าง.....37

2.15 การส่องสว่างโรงเรียน.....43

2.16 หลอดไฟฟ้า.....46

2.17 การคิดค่าไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ.....52

2.18 ตัวต้านทานไวแสง (Light Dependent Resistor).....55

2.18.1 คุณสมบัติทางแสง.....55

2.18.2 ผลตอบสนองทางไฟฟ้า.....55

2.18.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้า.....57

2.18.4 การวัดความต้านทานของ LDR.....57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.18.5 การนำ LDR ไปใช้งาน.....58

2.19 ไตรแอค(TRIAC).....59

2.19.1 การทำงานของไตรแอค.....60

2.19.2 กราฟลักษณะสมบัติของไตรแอค.....61

2.20 วงจรควบคุมมุมเฟส (Phase Control).....62

2.20.1 หลักการควบคุมเฟสกำลัง (Power Phase Control).....62

2.20.2 คุณสมบัติของการควบคุม.....65

2.20.3 การควบคุมมุมเฟสด้วยไตรแอค.....68

2.21 หลักการ Zero Crossing.....69

2.22 หลักการหรี่ไฟ.....70

2.22.1 Leading Edge Phase Control.....70

2.22.2 วงจรหรี่ไฟ.....71

บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....74

3.1 การศึกษาข้อมูล.....74

3.1.1 ที่ตั้งและภูมิศาสตร์.....74

3.1.2 พื้นที่และลักษณะของห้องกรณีศึกษา.....75

3.2 การสอบเทียบ LDR.....76

3.3 การเก็บข้อมูล.....77

3.3.1 Analog to Digital.....78

3.3.2 รูปแบบการติดต่อและรับส่งข้อมูล.....79

3.3.3 แหล่งจ่ายไฟของบอร์ด ADC.....79

3.3.4 วงจรADC.....80

3.3.5 โปรแกรมเก็บข้อมูล.....80

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล.....81

3.4.1 การหาความสัมพันธ์.....81

3.4.2 สัมประสิทธ์สหสัมพันธ์.....81

3.5 การวิเคราะห์พลังงานแสงธรรมชาติ.....84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.6 หลักการทำงาน และการออกแบบ.....87

3.6.1 การออกแบบวงจร.....89

3.6.1.1 วงจรหรี่ไฟ.....89

3.6.1.2 การออกแบบไมโครคอนโทรลเลอร์.....89

3.6.1.3 วงจรจุดตัดศูนย์.....91

3.6.2 การออกแบบโปรแกรมเมนู.....93

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....96

4.1 ลักษณะห้องกรณีศึกษา.....96

4.2 การคำนวณแสงสว่างห้องกรณีศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของเพดาน.....97

4.2.1 สีและชนิดของวัสดุ.....97

4.2.2 ขนาดห้อง.....97

4.2.3 รูมอินเด็กซ์ (Room Index).....97

4.2.4 การคำนวณหาค่า ρ_{cc} , ρ_{fc} และ CU.....98

4.2.5 หาค่า LLD , LDD และ $RSDD$.....99

4.2.6 การหาค่าตัวประกอบหลอดไฟฟ้าเสีย (Lamp Burn Out : LBO).....101

4.2.7 หาค่าปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างที่ต้องการทั้งหมด.....101

4.2.8 การจัดวางตำแหน่งของดวงโคมไฟฟ้า.....102

4.3 ผลการทดลอง.....103

4.4 การคำนวณค่าไฟฟ้า.....108

4.5 การคำนวณค่าไฟฟ้าเดือนธันวาคม 2551- เมษายน 2552.....109

4.6 การเปรียบเทียบระหว่างหลอดไส้กับหลอดประหยัดพลังงาน.....110

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....112

บรรณานุกรม.....115

ภาคผนวก.....116

ภาผนวก ก.....117

ภาผนวก ข.....127

ภาผนวก ค.....131

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

ภาผนวก ง.....135
ภาผนวก จ.....143
ภาผนวก ฉ.....146
ประวัติผู้เขียน.....150

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงค่าความเยื้องศูนย์กลางของโลกที่เคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์ตามสมการ 2.4 5

2.2 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของมุม δ ของการส่องสว่างเอคซทระเทริโทเรียลในพื้นผิวแนวราบ.....13

2.3 อัตราส่วนสภาพท้องฟ้า.....14

2.4 Atmospheric Extinction Coefficient 15

2.5 ค่าแฟกเตอร์ A, B และ C 16

2.6 ค่าแฟกเตอร์ความสว่างตรงศรียะ Z_L 17

2.7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์.....21

2.8 แสดงข้อมูลการสะท้อนแสงสว่างโดยทั่วไป.....32

2.9 แสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงสว่างของสีวัสดุ.....32

2.10 ระดับความส่องสว่างสำหรับงานต่างๆ.....33

2.11 ค่าประสิทธิภาพแสงหลอดไฟฟ้าชนิดต่างๆ.....34

2.12 เกณฑ์ขั้นสูงของค่ากำลังไฟฟ้าสำหรับการส่องสว่างในอาคาร.....35

2.13 การเทียบลดจำนวนจุดควบคุมที่ยอมให้สำหรับอุปกรณ์ควบคุมแต่ละชนิด.....37

2.14 ความส่องสว่างในพื้นที่ใช้งานต่างๆในบ้านอยู่อาศัย.....40

2.15 ความสมดุลระหว่างความส่องสว่างของพื้นที่ใช้งานและข้างเคียง.....40

2.16 รายการค่าต่อหน่วยของการใช้ไฟฟ้าแบบประเภท 1.1.....53

2.17 รายการค่าต่อหน่วยของการใช้ไฟฟ้าแบบประเภท 1.2.....54

2.18 รายการค่าต่อหน่วยของการใช้ไฟฟ้าแบบประเภท 1.3.....54

3.1 ค่าที่ได้จากการสอบเทียบ LDR กับ ลักซ์มิเตอร์.....76

3.2 การหาค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างค่าแสง (lux) และข้อมูล (Data).....82

3.3 ค่าความสว่าง (l u x) ที่ได้จากการเก็บข้อมูลระหว่างเดือนมกราคม 2 5 5 1-ธันวาคม 2551.....86

3.4 แสดงค่า k แฟกเตอร์ที่ได้จากความสัมพันธ์ของสมการ 3.4.....93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.1 การเลือกค่าต่างๆ ของดวงโคมเบอร์.....99
4.2 แสดงค่าการหาค่า *RSDD* 101
4.3 ผลการทดลองการหรี่แสงสว่างวันที่ 10 ธันวาคม 2551.....104
4.4 แสดงค่ามุมทริกของการหรี่ไฟต่อค่าพลังงานที่ลดลง.....108
4.5 การคำนวณค่าไฟฟ้า.....109
4.6 ค่าพลังงานไฟฟ้า.....110
4.7 การเปรียบเทียบพลังงานระหว่างหลอดไส้ที่ได้มีการควบคุมปริมาณแสงสว่างกับหลอดประหยัดไฟที่ไม่มีการควบคุมปริมาณแสง.....110
5.1 แสดงค่าใช้จ่ายที่ได้จากการประหยัดพลังงาน.....112
5.2 แสดงค่าใช้จ่ายที่ได้จากการประหยัดพลังงานโดยการประเมิน 2552.....113
5.3 แสดงค่าประเมินค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้เมื่อประยุกต์กับสถาบัน.....114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	กราฟของค่าเยื้องศูนย์กลางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์	5
2.2	การเคลื่อนที่ของโลกในรอบปี	6
2.3	รูปแกนโลกเอียงทำมุม 23.5 องศา	7
2.4	ระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ช่วงเดือนมกราคม	8
2.5	ระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ช่วงเดือนมีนาคม	8
2.6	ระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ช่วงเดือนพฤษภาคม	9
2.7	ระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ช่วงเดือนกันยายน	9
2.8	การเคลื่อนที่ของโลกเมื่อเทียบกับแนวระนาบ	10
2.9	ความสัมพันธ์ระหว่างการแผ่รังสีแบบโดยตรงบนแนวราบ	12
2.10	รูปแบบความสว่างของวัน	14
2.11	กราฟความสว่างพื้นระนาบขณะมีเมฆทุกวันที่ 15 ของเดือน	16
2.12	กราฟสมการถดถอย	19
2.13	การวัดค่าความสว่าง	23
2.14	แสดงลักษณะของแผ่นรองรับแสงสว่างที่เอียงออกไปรับแสงสว่างจากแนวตั้งฉาก	25
2.15	แสดงตำแหน่งต่างๆ ที่ต้องการหาค่าปริมาณแห่งการส่องสว่าง	25
2.16	การวัดค่าปริมาณแสง	30
2.17	การให้แสงสว่างจากหลืบ	42
2.18	การแก้ไขจากไฟหลืบหนึ่งเป้ามาเป็นแบบสองเป้าเพื่อให้แสงมากขึ้น	42
2.19	การให้แสงสว่างในห้องบรรยาย	43
2.20	รูปหลอด CFL	48
2.21	การต่อหลอด CFL กับบัลลาสต์	49
2.22	บัลลาสต์	49
2.23	ส่วนประกอบของหลอด	50
2.24	รูปแบบหลอด	50
2.25	ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.26	โครงสร้างและคุณลักษณะของ LDR	55
2.27	ผลของการเปลี่ยนความเข้มแสงในทันทีทันใดกับ LDR	56
2.28	แสดงความไวของ LDR ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ เทียบกับตาคน	56
2.29	วงจรแบ่งแรงดันของ LDR	57
2.30	แสดงการต่อ LDR กับโวล์ทมิเตอร์	58
2.31	การใช้ LDR เป็นส่วนประกอบของวงจรมิเตอร์วัดแสงอย่างง่าย	58
2.32	วงจรควบคุมแสงสว่าง	59
2.33	โครงสร้างทางสัญลักษณ์ของไตรแอค	59
2.34	สัญลักษณ์ของไตรแอค	60
2.35	กราฟคุณสมบัติของไตรแอค	61
2.36	วงจรหรี่ไฟฟ้าด้วยไตรแอค	61
2.37	แสดงการควบคุมเฟส	63
2.38	การควบคุมไฟกระแสสลับแบบเต็มคลื่น	63
2.39	แสดงรูปแบบการควบคุมเฟสแบบเบื้องต้น	64
2.40	การควบคุมเฟสเต็มคลื่นแบบสมมาตรของรูปคลื่นไซน์	64
2.41	แรงดันขาออกของการควบคุมมุมเฟสแบบเต็มคลื่น	65
2.42	วงจรไตรแอคแบบ Relaxation Oscillator	66
2.43	การชาร์ทประจุของตัวเก็บประจุด้วยไฟกระแสตรง	66
2.44	วงจรไตรแอคที่ใช้ควบคุมเฟส	68
2.45	ความสัมพันธ์ของแรงดันขาเข้ากับแรงดันทริกเกอร์	68
2.46	วงจรควบคุมเฟสแบบเต็มคลื่น	69
2.47	กราฟจุดตัดศูนย์	69
2.48	การทริกแบบ Leading Edge Control	71
2.49	รูปแบบการทำงานไอซีกระตุ้นให้ไตรแอคทำงาน	72
2.50	ไอซีกระตุ้นให้ไตรแอคทำงาน	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.1	แสดงตำแหน่งและทิศทางของอาคารกรณีศึกษา	74
3.2	แสดงตำแหน่งของห้องกรณีศึกษาในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน	75
3.3	แสดงพื้นที่และลักษณะของห้องกรณีศึกษา	75
3.4	การวางตำแหน่ง LDR เพื่อการเก็บข้อมูล	76
3.5	แสดงค่าความต้านทานของ LDR กับค่าลักซ์มิเตอร์	77
3.6	วงจรแบ่งแรงดัน	77
3.7	ฝังแสดงขั้นตอนการเก็บข้อมูล	78
3.8	วงจรจ่ายไฟ 5 โวลท์	79
3.9	วงจร ADC	80
3.10	ADC Module (QX-108)	80
3.11	โปรแกรมอินเตอร์เฟส	80
3.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแสง (lux) กับข้อมูลจากADC (Data)	81
3.13	Characteristics of Illuminance with Data	83
3.14	ลักษณะของความสว่างเป็นลักซ์ทุกช่วง 5 นาที ใน 1 วันของเดือนกุมภาพันธ์ 2551	83
3.15	ความสว่างของแสงเฉลี่ยตามระยะห่างจากหน้าต่างของเดือนกุมภาพันธ์ 2551	84
3.16	กราฟแสดงปริมาณข้อมูลแสงสว่างของเดือนกุมภาพันธ์ปี2551	85
3.17	กราฟแสดงปริมาณข้อมูลแสงสว่างของทุก 4 เดือน	85
3.18	กราฟแสดงปริมาณค่าความสว่างสูงสุด	87
3.19	บล็อกไดอะแกรมของการทำงาน	88
3.20	วงจรจุดตัดศูนย์ของไอซี TCA785	89
3.21	บล็อกไดอะแกรมของการทำงานของระบบ	90
3.22	ส่วนรับ-ส่งค่าพารามิเตอร์ของ PIC16F877	90
3.23	ส่วนรับ-ส่งค่าพารามิเตอร์ของ AVR	91
3.24	กราฟจุดตัดศูนย์	91
3.25	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ADC และ lux	93
3.26	โปรแกรมเมนู	94
3.27	การเชื่อมต่อทาง Port RS232	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.28	แสดงการทำงานของโปรแกรมขณะแสดงค่า	95
3.29	แสดงการการบันทึกเป็น Text ไฟล์	95
4.1	แสดงตำแหน่งการวางแนว LDR และติดตั้งหลอดไฟฟ้า	96
4.2	แสดงตำแหน่งการติดตั้ง LDR	97
4.3	รูมอินเด็กซ์	98
4.4	ความเสื่อมสภาพจากความสกปรกของดวงโคมเบอร์ 1	100
4.5	แสดงการหาเปอร์เซ็นต์ความสกปรกตามความคาดหวัง	100
4.6	แสดงการติดตั้งหลอดไฟสถานที่จริง	103
4.7	ค่าความสว่างของแสงแต่ละระยะความห่างของ LDR วันที่ 10 ธันวาคม 2551	107
4.8	แสดงแรงดันไฟฟ้าปกติ	107
4.9	แสดงแรงดันไฟฟ้าเมื่อทำการหรี่ไฟฟ้า	108
4.10	กราฟค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงสว่างเดือนตุลาคม 2551–เมษายน 2552	110
5.1	การประเมินค่าพลังงานไฟฟ้าของทั้งปี	112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานนั้นมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิต และมีความจำเป็นอย่างมากในการพัฒนาประเทศในยุคปัจจุบัน พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานหนึ่งที่มีการบริโภคมากในอันดับต้นๆ ดังนั้นจะต้องทำการหาพลังงานอื่นๆ มาทดแทนหรือเสริมการใช้พลังงานหลักลง และในการพัฒนานี้ประเทศจึงได้มีการนำเข้ามาของเชื้อเพลิงที่นำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าในปริมาณมากในแต่ละปี และถ้ามองรอบตัวก็จะพบว่ายังมีพลังอยู่อีกหนึ่งพลังงานที่น่าสนใจ นั่นก็คือพลังงานแสงสว่างที่ได้จากดวงอาทิตย์ และพลังงานนี้ยังมีความจำเป็นต่อการดำเนินชีวิตประจำวันอย่างมาก ดังนั้นการรู้จักที่จะนำเอาพลังงานในส่วนนี้มาใช้อย่างเหมาะสมและก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด สามารถทำให้เกิดการลดการใช้พลังงานในส่วนอื่นๆ ลงได้ และยังเป็นวิธีแก้ปัญหาโลกร้อนที่เกิดจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ โดยในสภาวะปัจจุบันจัดว่ามีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง การลดการใช้พลังงานหรือการใช้พลังงานอย่างจำกัด และถือว่าเป็นอีกวิธีหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว เพราะฉะนั้นในการลดการใช้พลังงานที่ควรเล็งเห็นก็คือการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และพลังงานดังกล่าวก็คือพลังงานไฟฟ้าจากแสงสว่าง จากการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจะสามารถช่วยประหยัดทรัพยากร ที่ใช้ในการผลิต กระแสไฟฟ้า (ถ่านหิน, น้ำมัน และ ก๊าซธรรมชาติ) และช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างจึงต้องคำนึงถึงระดับความสว่างบนพื้นที่ใช้งาน ทั้งนี้จึงขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและลักษณะของงานที่สอดคล้องกันโดยอ้างอิงจากมาตรฐานของ IES (Illuminating Engineering Society of North America) โดยในงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ค่าของความสว่างภายในห้องเรียน ให้มีความสว่างได้ตามมาตรฐานตลอดช่วงเวลาที่กำหนด โดยค่าความสว่างที่วิเคราะห์มาได้สามารถนำไปชดเชยแสงสว่างจากหลอดไฟ ซึ่งในที่นี้จะทำการควบคุมความสว่างให้อยู่ในช่วงระหว่าง 500-600 lux

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

จุดมุ่งหมายของการศึกษา ถ้าเราสามารถนำเอาพลังงานธรรมชาติที่มีมากมายไม่รู้จักหมดนี้มาปรับและนำมาประยุกต์เพื่อใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยมุ่งเน้นการลดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างโดยการศึกษาพฤติกรรมแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ เนื่องจากเป็นพลังงานทางเลือกขนาดใหญ่และเมื่อใดก็ตาม ที่จะทำการลดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างและให้แสงธรรมชาติที่ได้จากแสงสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ เป็นตัวชดเชยพลังงานแสงสว่างที่ลดลงไปเพื่อใช้ในกิจกรรมต่างๆ เช่น ห้องเรียนของมหาวิทยาลัย

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอวิธีการประหยัดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง ในรูปแบบการชดเชยพลังงานแสงสว่างที่ได้จากดวงอาทิตย์ หรือแสงธรรมชาติมาใช้งานในการให้แสงสว่างจากการสะท้อนของแสง ที่เข้ามาให้ความสว่างแก่พื้นงาน ดังนั้นเราจะได้นำทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหลักการสะท้อนแสง แสงสว่างจากการทำมุมต่างๆ กันนั้นอาจมีผลให้ปริมาณแสงที่จะใช้งานเปลี่ยนไปอย่างไร ข้อกำหนดต่างๆ มาเป็นมาตรฐานในการควบคุมพื้นที่ที่จะให้ความสว่างของแสงคงที่อยู่ตลอดเวลา โดยไม่ทำให้เรารู้สึกถึงการเปลี่ยนแปลงของแสงที่รับจากภายนอก และให้มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานสูงสุด

โดยปกติแล้วความสว่างที่ได้จากแสงของดวงอาทิตย์ในช่วงเวลาตลอดทั้งวันนั้น จะไม่คงที่ เนื่องจากการทำมุมของดวงอาทิตย์กับพื้นโลกและการถูกบดบังจากเมฆหรือหมอก หรือด้วยสภาพแวดล้อม

1.4 ขอบเขตการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเสนอวิธีการหาค่าความสว่างของแสงธรรมชาติ ในแต่ละช่วงเวลาที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ที่ได้จากการเก็บข้อมูลรวมทั้งการใช้อุปกรณ์อย่างง่าย ในการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาพิจารณาในการนำมาใช้งาน จากนั้นนำให้ข้อมูลที่ได้ทำการสังเคาะร์หาสมการความสัมพันธ์ระว่างตัวแปร เพื่อใช้ในการหาค่าความสว่างในแต่ละช่วงเวลานำมาใช้ในการชดเชยแสงสว่างที่ได้จากพลังงานไฟฟ้า จากนั้นทำการควบคุมความสว่างของห้องเรียนที่ใช้เป็นกรณีศึกษาให้อยู่ในค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ โดยการหรี่ไฟเมื่อมีแสงสว่างจากแสงอาทิตย์มากพอ และเพิ่มไฟเมื่อมีแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ไม่พอ โดยให้ค่าความสว่างอยู่ระหว่าง 500-600 lux

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ลำดับการศึกษาดังนี้

1. ศึกษาลักษณะของแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อโลก
2. ศึกษาลักษณะของแสงสว่างจากจากธรรมชาติที่สะท้อนเข้ามาในห้อง
3. ศึกษาวิธีการหาสมการถดถอยแบบเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น
4. ศึกษาหลักการส่องสว่างและออกแบบ
5. ศึกษาหลักการหรี่ไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ศึกษาหลักการจุดตัดศูนย์
7. ทดลองการหรี่ไฟ
8. เก็บผลการทดลองและวิเคราะห์การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 ความสัมพันธ์ของพลังงานแสงอาทิตย์กับโลก

วิทยานิพธ์นี้จำเป็นที่ต้องศึกษาเกี่ยวกับระบบโลกและดวงอาทิตย์ เพราะต้องการแสงจากธรรมชาติไปใช้ในการชดเชยแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ โลกนั้นมีวงโคจรรอบดวงอาทิตย์ในลักษณะเป็นวงรีหรือมีการหมุนแบบควงสว่านรอบดวงอาทิตย์ ปริมาณของแสงที่ส่องมาตกบนพื้นโลกนั้นเป็นสัดส่วนกำลังสองกันกับระยะทางจากดวงอาทิตย์ ดังนั้นการทราบระยะทางจากโลกถึงดวงอาทิตย์เป็นสิ่งสำคัญ

$$1AU = 1.496\times10^{8} \tag{2.1}$$

หรือมากกว่า $149,597,890 \pm 500\text{km}$ และที่ระยะทางที่น้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ $0.983\ AU$ และค่าประมาณที่มากที่สุดคือ $1.017\ AU$ โดยที่โลกอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุดอยู่ในช่วงวันที่ 3 มกราคม และวันที่ 4 เมษายน และโลกอยู่ไกลดวงอาทิตย์มากที่สุดประมาณวันที่ 4 กรกฎาคมและ 5 ตุลาคม ดังนั้นระยะทางนี้มีอิทธิพลส่งผลกระทบต่อโลก โดยลักษณะการเคลื่อนที่เข้าและออกของโลกและเป็นไปตามสมการ

$$E_o = (r_o / r)^2 = 1.000110 + 0.034221\cos\Gamma + 0.00280\sin\Gamma$$
$$+ 0.000719\cos 2\Gamma + 0.000077\sin 2\Gamma \tag{2.2}$$

E_o คือ ระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์

Γ คือ มุม Day Angle และแสดงโดย

$$\Gamma = 2\pi(d_n - 1)/365 \tag{2.3}$$

เมื่อ d_n คือ จำนวนวันของปี โดยนับจาก 1 ถึง 365 เริ่มจาก วันที่ 1 มกราคม ถึง 31 ธันวาคม และจำนวนวันในเดือนกุมภาพันธ์ คือ 28 วัน หรือจะทำการประมาณการณ์ สมการได้ดังนี้

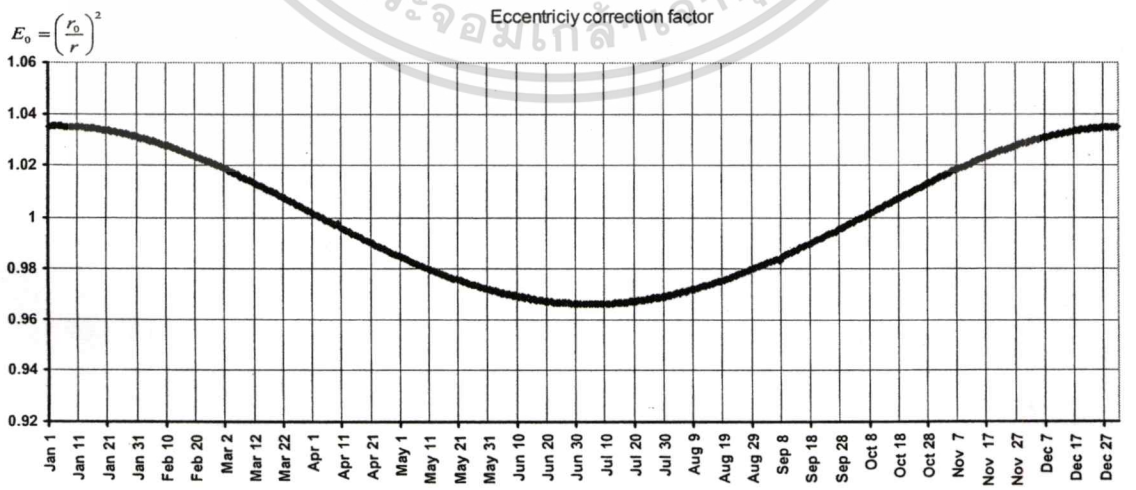
$$E_0 = (r_0 / r)^2 = 1 + 0.033\cos[(2\pi d_n / 365)] \tag{2.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความเยื้องศูนย์กลางของโลกที่เคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์ตามสมการ 2.4

Date	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	1.0350	1.0306	1.019	1.0014	0.9845	0.9717	0.9666	0.97	0.9814	0.9976	1.0155	1.0291
2	1.0351	1.0303	1.0185	1.0008	0.984	0.9714	0.9666	0.9703	0.9819	0.9982	1.0161	1.0295
3	1.0351	1.03	1.018	1.0002	0.9835	0.9712	0.9666	0.9705	0.9823	0.9988	1.0166	1.0298
4	1.0351	1.0297	1.0174	0.9997	0.983	0.9709	0.9666	0.9708	0.9828	0.9994	1.0171	1.0301
5	1.0351	1.0294	1.0169	0.9991	0.9825	0.9706	0.9666	0.9711	0.9833	0.9999	1.0177	1.0304
6	1.035	1.029	1.0164	0.9985	0.9821	0.9703	0.9666	0.9713	0.9838	1.0005	1.0182	1.0307
7	1.035	1.0287	1.0158	0.9979	0.9816	0.9701	0.9666	0.9716	0.9834	1.0011	1.0187	1.031
8	1.035	1.0283	1.0153	0.9973	0.9811	0.9698	0.9666	0.9719	0.9848	1.0017	1.0192	1.0313
9	1.0349	1.0279	1.0147	0.9976	0.9806	0.9696	0.9667	0.9722	0.9854	1.0023	1.0197	1.0316
10	1.0348	1.0276	1.0142	0.9961	0.9802	0.9694	0.9667	0.9726	0.9859	1.0029	1.0202	1.0319
11	1.0347	1.0272	1.0136	0.9956	0.9797	0.9692	0.9668	0.9729	0.9864	1.0035	1.0207	1.0321
12	1.0347	1.0268	1.0131	0.995	0.9793	0.969	0.9668	0.9732	0.9869	1.0041	1.0212	1.0324
13	1.0346	1.0264	1.0125	0.9944	0.9788	0.9687	0.9669	0.9736	0.9875	1.0047	1.0217	1.0326
14	1.0344	1.026	1.0119	0.9938	0.9784	0.9686	0.9697	0.9739	0.988	1.0053	1.0222	1.0328
15	1.0343	1.0256	1.0114	0.9932	0.978	0.9684	0.9671	0.9743	0.9885	1.0058	1.0226	1.033
16	1.0342	1.0251	1.0108	0.9927	0.9775	0.9682	0.9672	0.9746	0.9891	1.0064	1.0231	1.0332
17	1.034	1.0247	1.0102	0.9921	0.9771	0.968	0.9673	0.975	0.9896	1.007	1.0235	1.0334
18	1.0339	1.0243	1.0097	0.9915	0.9767	0.9679	0.9674	0.9754	0.9902	1.0076	1.024	1.0336
19	1.0337	1.0238	1.0091	0.991	0.9763	0.9677	0.9675	0.9758	0.9907	1.0082	1.0244	1.0338
20	1.0335	1.0234	1.0085	0.9904	0.9759	0.9676	0.9677	0.9762	0.9913	1.0088	1.0249	1.0339
21	1.0334	1.0229	1.0079	0.9899	0.9755	0.9675	0.9678	0.9766	0.9918	1.0093	1.0253	1.0341
22	1.0332	1.0224	1.0073	0.9893	0.9751	0.9673	0.968	0.977	0.9924	1.0099	1.0257	1.0342
23	1.033	1.022	1.0067	0.9888	0.9748	0.9672	0.9681	0.9774	0.993	1.0105	1.0261	1.0344
24	1.0327	1.0215	1.0062	0.9882	0.9744	0.9671	0.9683	0.9778	0.9935	1.0111	1.0265	1.0345
25	1.0325	1.021	1.0056	0.9877	0.974	0.967	0.9685	0.9782	0.9941	1.0116	1.0269	1.0346
26	1.0323	1.0205	1.005	0.9872	0.9737	0.9669	0.9687	0.9787	0.9947	1.0122	1.0273	1.0347
27	1.032	1.02	1.0044	0.9866	0.9733	0.9669	0.9689	0.9791	0.9953	1.0128	1.0277	1.0348
28	1.0318	1.0195	1.0038	0.9861	0.973	0.9668	0.9691	0.9795	0.9959	1.0133	1.0281	1.0349
29	1.0315	0	1.0032	0.9856	0.9727	0.9667	0.9693	0.98	0.9964	1.0139	1.0284	1.0349
30	1.0312	0	1.0026	0.9851	0.9724	0.9667	0.9695	0.9805	0.997	1.0144	1.0288	1.035
31	1.0309	0	1.002	0	0.972	0	0.9698	0.9809	0	1.015	0	1.035

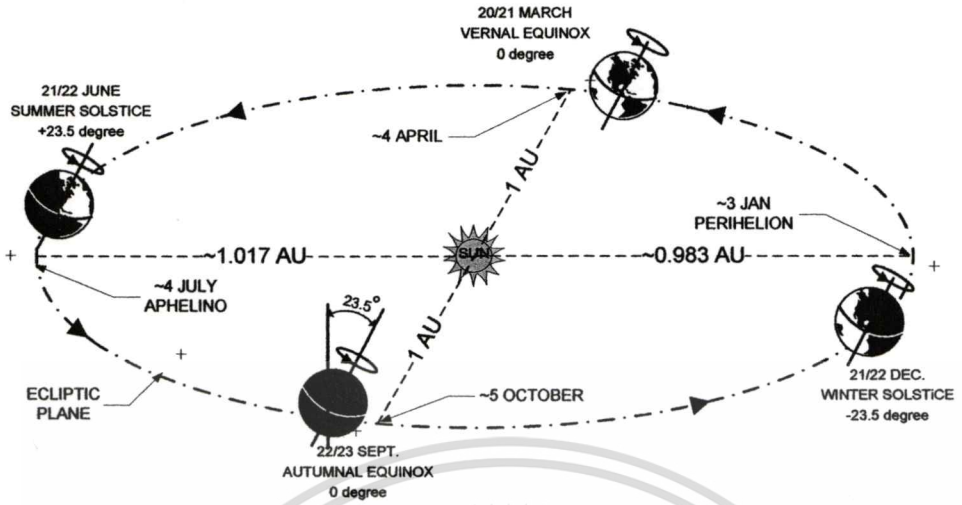
จากข้อมูลในตาราง ได้ว่าค่าความเยื้องศูนย์ของระยะห่างระหว่างดวงอาทิตย์และโลกในแต่ละวันจากการคำนวณได้จากสมการ (2.4) และสามารถคำนวณระยะห่างตำแหน่งของโลกกับดวงอาทิตย์ของแต่ละวันได้ ตามกราฟจะมีลักษณะที่เป็นการเคลื่อนที่ คล้ายกับวงรีแต่ในตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะไม่อยู่ที่ตำแหน่งกลางของวงรี จากนั้นนำข้อมูลในตารางมาทำการเขียนกราฟเพื่อดูการเปลี่ยนแปลง ได้ว่าในช่วงเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคมนั้นมีระยะห่างที่แคบที่สุด



รูปที่ 2.1 กราฟของค่าเยื้องศูนย์กลางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นการเคลื่อนตัวของโลกในหนึ่งปีสามารถเขียนได้เป็นดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การเคลื่อนที่ของโลกในรอบปี

2.2 พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ ถือว่าเป็นพลังงานที่ไม่มีวันหมดไป และความพยายามที่จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์จำเป็นที่จะต้องเริ่มต้นเข้าใจถึงแหล่งกำเนิดของพลังงาน คือ ดวงอาทิตย์ และเมื่อพลังงานแสงอาทิตย์เดินทางมาถึงโลกแล้วก็ต้องเข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงของพลังงานแสงอาทิตย์ เมื่อผ่านบรรยากาศของผิวโลก เนื่องจากสภาพอากาศจะมีความแปรปรวนมาก ซึ่งเป็นผลจากความหลากหลายของลักษณะภูมิประเทศที่ประกอบกันเป็นผิวโลก ข้อมูลสำคัญที่จะให้ภาพของดวงอาทิตย์สรุปได้ดังนี้

1. ดวงอาทิตย์เป็นดาวฤกษ์ ประกอบด้วยกลุ่มของก๊าซร้อน มีรูปทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น 110 เท่าของโลก (โลกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง = 12,700 กิโลเมตร) และเป็น 0.009 เท่าของระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์

2. ใจกลางของดวงอาทิตย์ที่มีขอบเขต 23% ของรัศมีมีมวลถึง 40% ของมวลทั้งหมด และประกอบด้วย มวลหนักที่มีความหนาแน่นสูงถึง 100 กรัมต่อซีซี อุณหภูมิสูงประมาณ 8 – 40 ล้านเคลวิน ร้อนมหาศาลจะทำให้เกิดปฏิกิริยารวมตัว (Fusion Reaction) ในระดับนิวเคลียส แก่นกลางของอะตอมของธาตุไฮโดรเจน 4 อะตอม เกิดอะตอมของธาตุฮีเลียมขึ้น มวลของนิวเคลียสที่สูญหายไปถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานมหาศาลแผ่ออกโดยรอบ ทำให้เกิดอุณหภูมิสูงมากดังกล่าวและพลังงานมหาศาลที่ได้ถือเป็นส่วน 90% ของพลังงานทั้งหมด ซึ่งถ่ายเทพลังงานออกสู่ผิวภายนอกโดยอาศัยการนำ,การพาและการแผ่รังสีในรูป X–Ray และแกมม่า

3. ถัดออกมาจากใจกลางกินขอบเขต 23%–70% ของรัศมี อุณหภูมิลดลงเหลือ 170,000 เคลวิน ความหนาแน่นเหลือ 0.07 กรัมต่อซีซี และความยาวคลื่นของรังสีจะยาวขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ถัดจาก 70% ของรัศมีถึงขอบของดวงอาทิตย์ ความหนาแน่นเบาบางลงถึง 0.01 มิลลิกรัมต่อซีซี ทำให้การถ่ายเทความร้อนเป็นแบบการพา อุณหภูมิลดเหลือ 5,000 เคลวิน

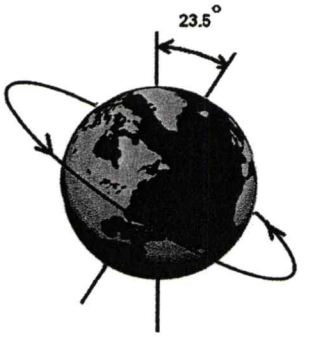
5. บรรยากาศชั้นที่ติดกับผิวดวงอาทิตย์เรียกว่า โฟโตสเฟียร์ (Photosphere) ซึ่งเป็นจุดกำเนิดของการแผ่รังสี คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามายังโลก ถัดออกไปอีกเป็นชั้นของชั้นสะท้อนกลับ (Reversing Layer) และโครโมสเฟียร์ (Chromospheres) จนชั้นนอกสุดที่เป็นชั้นพวยพุ่งของแสงเรียกว่า ชั้นโคโรนา (Corona)

2.3 พลังงานแสงอาทิตย์เมื่อเดินทางถึงโลก

เมื่อแสงอาทิตย์เดินทางโดยการแผ่ของคลื่น มายังโลกผ่านชั้นบรรยากาศที่มีคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ กัน กว่าที่แสงจะตกกระทบพื้นโลกซึ่งมีลักษณะภูมิศาสตร์ที่หลากหลายด้วย แสงอาทิตย์ย่อมมีปฏิสัมพันธ์กับก๊าซหลากชนิด ไอน้ำหรืออนุภาคของแข็งไม่ว่าเป็นฝุ่นละอองหรือหมอกควัน ทำให้เกิดการดูดกลืน หักเห และสะท้อนกลับออกนอกบรรยากาศ มีผลทำให้แสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลกถูกลดทอนและเปลี่ยนทิศทาง เกิดการกระจัดกระจายของพลังงานแสงอาทิตย์บางส่วน ดังนั้นเมื่อพิจารณาพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอยู่บนพื้นโลก จะพบว่า ณ ตำแหน่งใดๆ จะมีพลังงานแสงอาทิตย์ 2 แบบ คือ

1. พลังงานแสงอาทิตย์แบบตรง (Direct Radiation) มาจากการเดินทางของคลื่นที่นำพลังงานแสงอาทิตย์จากดวงอาทิตย์ตกกระทบ ณ ตำแหน่งนั้นๆ โดยตรง ดังจะปรากฏเงาขึ้นเมื่อมีการบังแสง

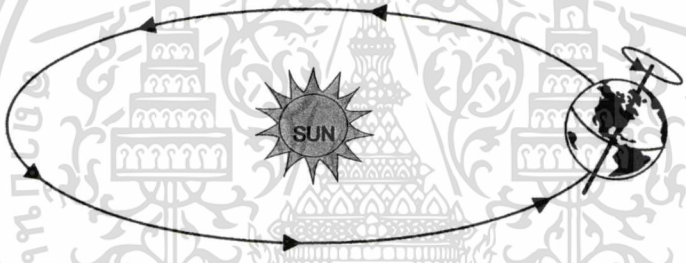
2. พลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจาย (Diffuse Radiation) เกิดจากพลังงานแสงอาทิตย์แนวตรงที่ถูกเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติโดยสภาพบรรยากาศและสภาพภูมิศาสตร์ นั้นจะทำให้พลังงานแสงอาทิตย์กระจัดกระจายทุกทิศทุกทาง ผลรวมของพลังงานแสงอาทิตย์แบบตรง และแบบกระจายจะเรียกว่าพลังงานแสงอาทิตย์รวม (Total Radiation หรือ Global Radiation) ดังนั้น ในวันที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทั่วบริเวณ องค์กระกอบของพลังงานแสงอาทิตย์แบบตรงจะมีค่าเป็นศูนย์ มีแต่องค์ประกอบของพลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจาย



รูปที่ 2.3 รูปแกนโลกเอียงทำมุม 23.5 องศา

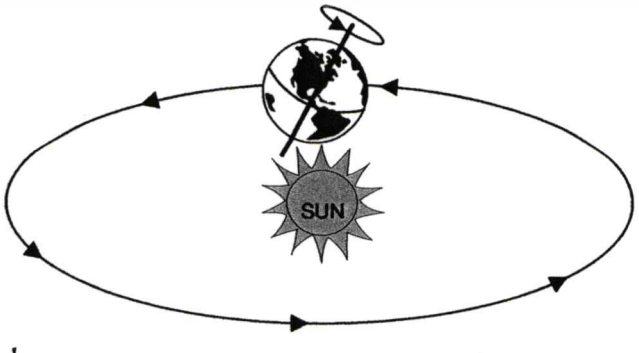
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากลักษณะการโครจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ และแกนโลกเอียงทำมุม 23.5 องศา ทำให้การเคลื่อนที่ของโลกโดยแกนของโลกจะชี้ไปยังจุดใดจุดหนึ่งบนท้องฟ้าเพียงจุดเดียว แกนของโลกด้านหนึ่งจะเอนเข้าหาดวงอาทิตย์ ส่วนแกนอีกด้านหนึ่งจะเอนออกห่างจากดวงอาทิตย์เสมอ ผลจากการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์จะทำให้เกิด ความผันแปรของระยะเวลากลางคืนและกลางวัน เมื่อโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ ในซีกโลกเหนือในฤดูหนาว ผลจากการเอียงของแกนโลกทำให้ขั้วโลกเหนือไม่ได้รับแสงดิ่งจากดวงอาทิตย์ มีผลทำให้ความยาวนานของระยะเวลากลางคืนมากขึ้น ในทางตรงกันข้ามช่วงดูร้อน จากการเอียงของแกนโลกขั้วโลกเหนือจะหันเข้าหาดวงอาทิตย์ ทำให้พื้นที่บริเวณดังกล่าวได้รับแสงดิ่งจากดวงอาทิตย์มากขึ้นจะเป็นเวลากลางวันตลอด 24 ชั่วโมง เป็นที่รู้จักกันทั่วไปว่า การเกิดฤดูกาลบนพื้นโลก แปรผันโดยตรงกับปริมาณของความร้อนที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์ จำนวนฤดูกาลที่เกิดบนพื้นโลกในส่วนต่างๆ กันมีระยะเวลาและจำนวนฤดูกาลแตกต่างกันไป ได้แก่ ช่วงเดือน ธันวาคม-กุมภาพันธ์ โลกหันซีกเหนือออกห่างจากดวงอาทิตย์ทำให้ได้รับแสงน้อยมาก ทำให้อุณหภูมิต่ำลง ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ช่วงเดือนมกราคม

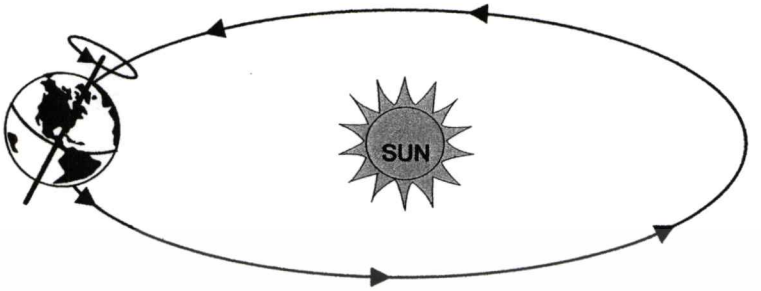
ส่วนซีกโลกใต้จะได้รับแสงดิ่งจากดวงอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นมากจึงเป็นช่วงฤดูร้อนหลังจากเดือนกุมภาพันธ์โลกจะค่อยๆ หันทางด้านข้างเข้าหาดวงอาทิตย์ทำให้บริเวณเส้นศูนย์สูตรได้รับแสงดิ่งจากดวงอาทิตย์ ช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคม พื้นที่บริเวณดังกล่าวจึงเป็นฤดูร้อน ส่วนพื้นที่ซีกโลกเหนือจะเริ่มเข้าฤดูใบไม้ผลิต



รูปที่ 2.5 ระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ช่วงเดือนมีนาคม

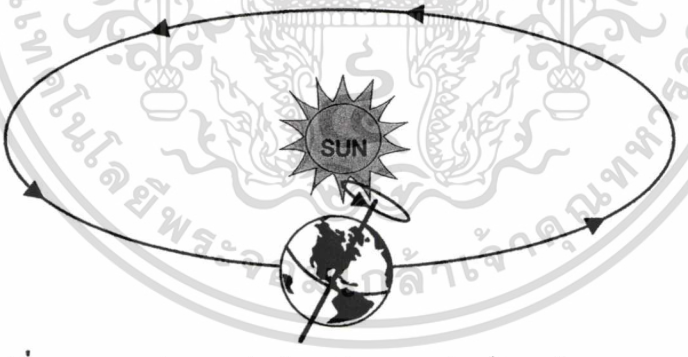
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงประมาณกลางเดือนพฤษภาคม เป็นระยะที่ขั้วโลกเหนือหันเข้าหาดวงอาทิตย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเดือนเมษายนประเทศไทยจะเป็นประเทศหนึ่งที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่ลำแสงของดวงอาทิตย์ จะตั้งฉากกับผิวพื้นโลกในเวลาเที่ยงวัน



รูปที่ 2.6 ระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ช่วงเดือนพฤษภาคม

ในช่วงระหว่างเดือนมิถุนายน-สิงหาคม ความสูงของดวงอาทิตย์เที่ยงวัน ตามความเป็นจริงแล้วแสงดิ่งของดวงอาทิตย์จะตกกระทบตามแนวเส้นศูนย์สูตรใน 1 ปี มี 2 วันเท่านั้น คือ ในวันที่ 21 มีนาคม และวันที่ 23 กันยายน เราเรียกสองวันนี้ว่า วันวิษุวัต (Equinox) โดยจะเป็นวันที่มีช่วงเวลากลางวันเท่ากับกลางคืน (วิษุวัต แปลว่า เท่ากัน) โดยวันที่ 21 มีนาคม (ช่วงฤดูฝน) เรียกว่า วัน วสันตวิษุวัต (Vernal Equinox) และวันที่ 23 กันยายน (ช่วงฤดูใบไม้ร่วง) เรียกว่าวัน ศารทวิษุวัต (Autumnal Equinox)



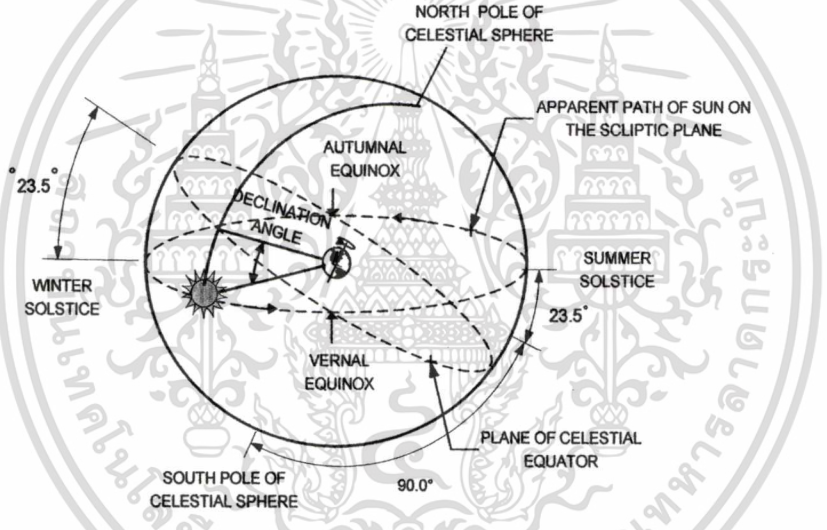
รูปที่ 2.7 ระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ช่วงเดือนกันยายน

ถ้าจะอธิบายความสูงของดวงอาทิตย์เที่ยงวัน เริ่มจากวันวสันต-วิษุ (วันที่ 21 มีนาคม) ซึ่งจากรูปที่ 2.7 จะเห็นว่าบริเวณเส้นศูนย์สูตรของโลกจะได้รับแสงดิ่งจากดวงอาทิตย์พอดี ทำให้เวลากลางวันเท่ากับเวลากลางคืน ถ้าพิจารณาเป็นช่วงวันที่แสงส่องตรงเส้นศูนย์สูตร (ที่ 0 องศา พอดี) หลังจากนั้นโลกจะค่อยๆ เคลื่อนที่ไปทางซ้าย ไปจนถึงวันที่ 21 มิถุนายน จะเห็นได้ว่าแกนโลกเอียงขั้วโลกเหนือหันเข้าหาดวงอาทิตย์มากทำให้ได้รับแสงดิ่งจากดวงอาทิตย์มากที่สุดเช่นกัน ซึ่งถ้าทำการสังเกตจากปรากฏการณ์บนท้องฟ้าในวันที่ 21 มิถุนายนนี้ ดวงอาทิตย์จะเคลื่อนที่ไปอยู่ทางซ้ายสุดของท้องฟ้า เราเรียกวันที่ 21 มิถุนายนนี้ว่า วันศรีษมายัน (Summer Solstice) ซึ่งปรากฏการณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังกล่าวในวันนี้ทางซีกโลกเหนือจะเป็นฤดูร้อน และมีชั่วโมงของกลางวันมากกว่ากลางคืน จนกระทั่งวันที่ 23 กันยายน จะเป็นวันที่โลกโคจรมายังตำแหน่งของวัน ศารทวิษุวัต (Autumnal Equinox) ซึ่งเป็นวันที่มีชั่วโมงของกลางวันเท่ากับกลางคืนอีกครั้ง โดยแสงอาทิตย์จะอยู่ในแนวดิ่งกับเส้นศูนย์สูตรพอดี จากนั้นวงโคจรของโลกจะไปทางขวามือหรือในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจนมาถึงวันที่ 22 ธันวาคม แสงดิ่งของดวงอาทิตย์จะเคลื่อนที่ลงไปทางใต้สุด เมื่อแกนโลกเอียงส่งผลให้ขั้วโลกใต้ ได้รับแสงดิ่งจากดวงอาทิตย์ ซึ่งช่วงวันดังกล่าวขั้วโลกเหนือจะมีชั่วโมงของกลางคืนมาก และขั้วโลกใต้จะมีชั่วโมงของกลางวันมาก

เมื่อนำระนาบของดวงอาทิตย์มาเทียบกันกับ ระนาบของโลกที่เคลื่อนตัวรอบดวงอาทิตย์ จะได้รูปแบบการเคลื่อนตัวของโลกรอบดวงอาทิตย์ ในหนึ่งปี ก็จะได้ว่าระนาบทั้งสองทำมุมกัน 23.5 องศา ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การเคลื่อนที่ของโลกเมื่อเทียบกับแนวระนาบ

2.4 แหล่งพลังงานส่องสว่าง (Extraterrestrial Solar Irradiation)

ในที่นี้จะกล่าวถึงการรวมค่าของแหล่งพลังงานส่องสว่าง เอคซทระเทริโทเรียล และเรื่องของขนาดความยาวคลื่นจะถูกหยิบยกขึ้นมาเพื่อพิจารณากัน โดยมีการพัฒนาสูตรทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้สื่อความหมายของการส่องสว่าง ที่เกิดขึ้นจากหลายชนิดของแต่ละพื้นผิวที่แต่ละการหักเหและต่างเวลากัน

2.4.1 การส่องสว่างเอคซทระเทริโทเรียลในพื้นผิวแนวราบ

การแสดงความหมายของการแผ่รังสีส่องสว่างบนพื้นผิวแนวราบนั้น สามารถที่จะกำหนดสูตรสำหรับที่เวลาที่แตกต่างกันได้โดยเป็น ชั่วโมง วัน เดือน และอื่นอีกในลำดับที่สี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ชั่วโมงแห่งการส่องสว่างบนพื้นผิวแนวราบ

ในวันปกตินั้นถ้าให้ $\dot{I}_{\text{on}}$ เป็นปริมาณรังสีส่องสว่างที่ตกกระทบต่อหน่วยพื้นที่เอคซทระเทริโทเรียล (อัตราของพลังงาน) บนพื้นผิวปกติที่ได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ โดยที่

$$\dot{I}_{\text{on}} = \dot{I}_{sc}(r_o / r)^2 = \dot{I}_{sc}E_o \tag{2.5}$$

และแสดงได้ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งปริมาณรังสีส่องสว่างที่ตกกระทบต่อหน่วยพื้นที่บนพื้นผิวแนวราบนั้น สามารถเขียนได้เป็น

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_{\text{on}} \cos\theta_Z, \tag{2.6}$$

โดยที่ $\cos\theta_Z$ ได้จากสมการ

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_{sc} E_0 (\sin\delta \sin\phi + \cos\delta \cos\phi \cos\omega) \tag{2.7}$$

จากสมการ (2.5) - (2.7) มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร

ปริมาณรังสีส่องสว่าง (จำนวนของพลังงาน) dI_0 ในช่วงเวลาสั้นๆนั้น dt จะเป็น

$$dI_0 = I_{sc}E_0 \cos\theta_Z dt, \tag{2.8}$$

ซึ่งที่ dt เป็นชั่วโมง และมีค่าคงที่พลังงานแสง (Solar constant) (I_{sc} จะไม่มีจุด) ในหน่วยพลังงาน, กิโลจูลต่อตารางเมตรชั่วโมง ในข้างขวามือของสมการ, $\cos\theta_Z$ จะประกอบไปด้วยมุมพลังงานแสงชั่วโมงเป็น ω เป็นองศาหรือเรเดียน โดยเวลาที่เป็นหน่วยชั่วโมงนั้นจะสามารถแปลงให้เป็น Hour Angle ดังนี้

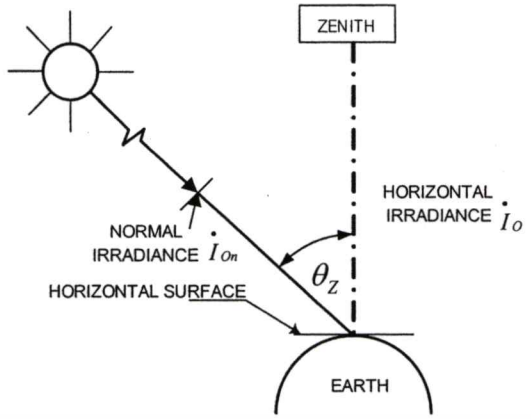
โดยให้

Ω คือ ความเร็วในการหมุนรอบแกนของโลก

$$= \frac{2\pi \text{ rad}}{24 \text{ h}} = \frac{d\omega}{dt}$$

จากสมการนี้จะได้ $dt = (12/\pi)\, d\omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างการแผ่รังสีแบบโดยตรงบนแนวราบ

จากสมการที่ 2.8 ลดรูปได้ดังนี้

$$dI_0 = (12/\pi) I_{sc} E_0 (\sin\delta \sin\phi + \cos\delta \cos\phi \cos\omega) d\omega \tag{2.9}$$

อันหนึ่งนั้นเราสามารถที่จะหา I_0 ที่เป็นการแผ่รังสีข้ามมาจากดวงอาทิตย์ในช่วงเวลาใน 1 ชั่วโมง โดยให้เราพิจารณา i th แต่ละชั่วโมงที่มีการแผ่รังสีมาจากดวงอาทิตย์ในเวลากลางวัน และ ω_i จะเป็น Hour angle ดังนั้นที่ช่วงกลางของชั่วโมง การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ของช่วงเวลาใน 1 ชั่วโมงจะเท่ากับ 1

$$I_0 = (\frac{12}{\pi}) I_{sc} E_0 \int_{\omega_i - \pi/24}^{\omega_i} (\sin\delta \sin\phi + \cos\delta \cos\phi \cos\omega) d\omega \tag{2.10}$$

หรือ

$$I_0 = I_{sc} E_0 (\sin\delta \sin\phi + (24/\pi) \sin(\pi/24) \cos\delta \cos\phi \cos\omega_i) \tag{2.11}$$

เมื่อ

$$(24/\pi) \sin(\pi/24) = 0.9972 \approx 1$$

เราอาจเขียนสมการ (2.11)ได้ว่า

$$I_0 = I_{sc} E_0 (\sin\delta \sin\phi + \cos\delta \cos\phi \cos\omega_i) \tag{2.12}$$

สมการ (2.12) สามารถเขียนในรูปที่ต่างกันได้ จากรูปเครื่องหมายของ โดยการเขียนในรูปของมุมที่แสงตกกระทบพื้นผิวโลกในช่วงเวลากลางวันดังสมการ (2.13)

$$\cos\omega_s = \frac{-\sin\phi \sin\delta}{\cos\phi \cos\delta} \tag{2.13}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan\phi\tan\delta) \tag{2.14}$$

และทำการลดรูป สมการที่ (2.12)

$$I_0 = I_{SC}E_0\cos\delta\cos\phi(\cos\omega_i - \cos\omega_s) \tag{2.15}$$

ตารางที่ 2.2 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของมุม δ ของการส่องสว่างเอคซทระเทริโทเรียลในพื้นผิวแนวราบ

Month	Date	δ(degrees)	Day number d_n
January	17	-20.84	17
February	14	-13.32	45
March	15	-2.40	74
April	15	+9.46	105
May	15	+18.78	135
June	10	+23.04	161
July	18	+21.11	199
August	18	+13.28	230
September	18	+1.97	261
October	19	-9.84	292
November	18	-19.02	322
December	13	-23.12	347

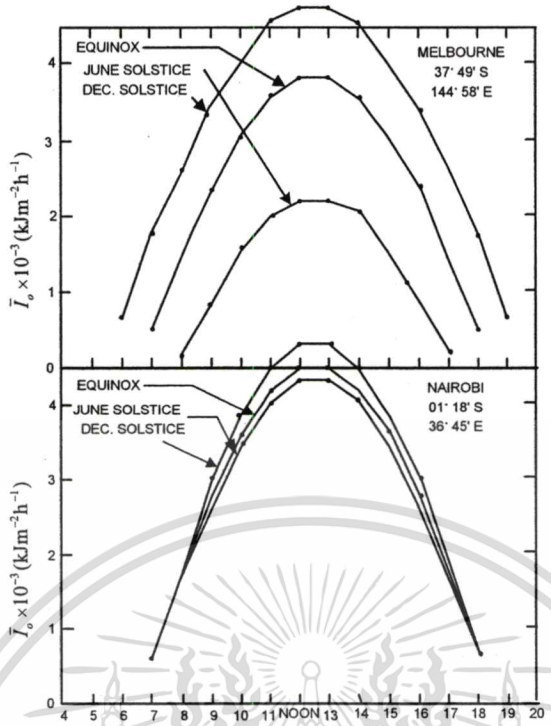
<u>หมายเหตุ</u> การเปลี่ยนแปลงของการส่องสว่างและเป็นค่าของ 35 องศาเหนือ

$\bar{I}_o$ เป็นค่าเฉลี่ยของชั่วโมงของการส่องสว่างที่ได้รับในช่วงของแต่ละเดือนและสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.16)

$$\bar{I}_o = \frac{1}{n_2 - n_1}\sum_{n_1}^{n_2} I_o \tag{2.16}$$

เมื่อ n_1 และ n_2 เป็นจำนวนวันเริ่มต้นและจบของแต่ละเดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 รูปแบบความสว่างของวัน

2.5 ค่าความส่องสว่างท้องฟ้า

ในความสำคัญบางประการที่จำเป็นต้องทราบค่าความส่องสว่างของท้องฟ้า เพื่อการหาความสว่างที่ได้จากแสงธรรมชาติ และที่ทำมุมตกกระทบกับพื้นโลกในระนาบ ทำให้ได้ทราบและเข้าใจว่าแสงจากธรรมชาติ มีอิทธิพลต่อความส่องสว่างที่จะได้นำไปใช้ประโยชน์ ตามมาตรฐาน CIE และ IESNA

2.5.1 อัตราส่วนท้องฟ้า (Sky Ratio)

อัตราส่วนท้องฟ้าคือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่บอกถึงสถาพบรรยากาศท้องฟ้าที่มีผลต่อแสงธรรมชาติ โดย CIE และ IESNA ได้กำหนดให้ค่าการปิดบังของเมฆ (Cloud Cover Index) มีค่าอยู่ในช่วง 0.0 – 1.0 โดย 1.0 เป็นช่วงที่ท้องฟ้ามีเมฆเต็มท้องฟ้า และยังได้จัดแยกออกเป็น 3 ระดับดังนี้

ตารางที่ 2.3 อัตราส่วนสภาพท้องฟ้า

สภาพท้องฟ้า	เมฆปิดบัง	อัตราส่วนท้องฟ้า
ท้องฟ้าแจ่มใส	0.0 -0.3	≤3
ท้องฟ้ามีเมฆ บางส่วน	0.4 – 0.7	0.3<, <0.8
ท้องฟ้ามีเมฆค่อนข้างมากถึงมาก	0.8 – 1.0	≥0.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อความสว่างจะต้องหาสมการของความสว่างบนพื้นผิวที่ได้รับแสงบนพื้นราบ โดยเริ่มจากสมการ

$$E_{st} = E_{sc}\left[1 + 0.034\cos\left(\frac{j_d - 2}{364}\right)\right] \tag{2.17}$$

E_{sc} คือ ค่า standard extra-terrestrial ที่พัฒนาโดย CIE เท่ากับ 128 klux

j_d คือ เป็นวันของ Julian day

สมการค่าฟลักซ์ของแสงจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านที่ชั้นบรรยากาศลงมาบนพื้นโลกค่าความสว่างบนพื้นราบปกติให้โดย

$$E_{Dn} = E_{st}\exp(-c \times m) \tag{2.18}$$

เมื่อ c = Atmospheric Extinction Coefficient

m = Optical Air Mass , $m = 1/\sin\alpha_s$

ตารางที่ 2.4 ค่า Atmospheric Extinction Coefficient

สภาพท้องฟ้า	c
ท้องฟ้าแจ่มใส	0.21
มีเมฆบ้าง	0.80

2.5.1.1 แสงแดด Sunlight

แสงแดดเป็นความสว่างจากแสงอาทิตย์ที่ส่องมาจากภายนอกชั้นบรรยากาศ ที่เป็นปริมาณส่องสว่าง ณ. ตำแหน่งเฉลี่ยระยะห่างระหว่างดวงอาทิตย์กับโลก โดยสามารถทำการคำนวณค่าความส่องสว่างได้ตามสมการดังต่อไปนี้

1) ค่าความส่องสว่างที่พื้นระนาบ

$$E_{Dh} = E_{Dn}\sin\alpha_s \tag{2.19}$$

α_s เป็นมุมตกกระทบของแสงแดดจากดวงอาทิตย์บนพื้นระนาบ

2) ค่าความส่องสว่างที่พื้นแนวตั้ง

$$E_{Dv} = E_{Dn}\cos\eta \tag{2.20}$$

η เป็นมุมตกกระทบระหว่างรังสีแสงอาทิตย์และพื้นปกติ

เอกสารนี้เป็นกรรมสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.2 แสงท้องฟ้า Skylight

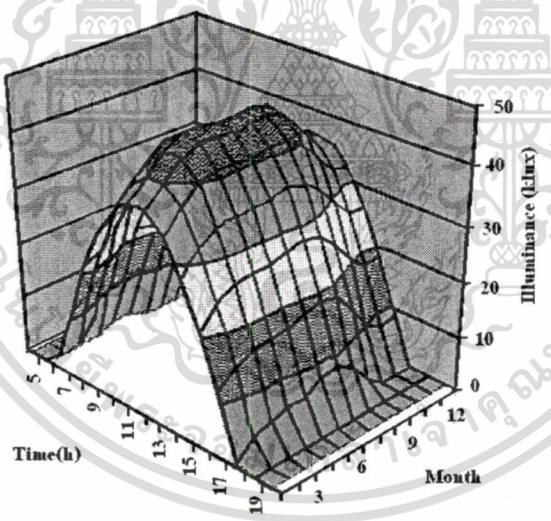
การสว่างจากท้องฟ้า ก็จะคล้ายกับกรณีของแสงแดด ซึ่งได้ดังสมการต่อไปนี้

$$E_{kh} = A + B(\sin\alpha_s)^C \tag{2.21}$$

โดยค่า A, B และ C หาได้จากตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่าแฟกเตอร์ A, B และ C

สภาพท้องฟ้า	A	B	C
ท้องฟ้าแจ่มใส	0.8	15.5	0.5
ท้องฟ้ามีเมฆ บางส่วน	0.3	45.0	1.0
ท้องฟ้ามีเมฆค่อนข้างมากถึงมาก	0.3	21.0	1.0



รูปที่ 2.11 กราฟความสว่างพื้นระนาบขณะมีเมฆทุกวันที่ 15 ของเดือน

จากรูปแสดงให้เป็นปริมาณความสว่างของท้องฟ้าขณะมีเมฆของทุกเดือนในทุกวันที่ 15 ของเดือน โดยระหว่างเดือน เมษายน-กันยายน จะมีค่าสูง

2.5.2 ความสว่างตรงศรีษะ (Zenith Luminance)

ค่าความสว่างตรงศรีษะคือค่าที่บอกถึงความส่องสว่างที่ได้จากแสงสว่างของทุกตำแหน่งบนท้องฟ้าที่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งอ้างอิงในทุกตำแหน่ง ความสว่างท้องฟ้าในพื้นระนาบ (Horizontal Sky Illuminance) ค่าความสว่างตรงศรีษะหาได้จากสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

$$L_Z = Z_L \times E_{kh} \tag{2.22}$$

L_Z คือ ค่าความสว่างตรงศรีษะ

Z_L คือ แฟกเตอร์ค่าความสว่างตรงศรีษะที่สัมพันธ์กันกับมุม α_s โดยค่าได้จากตาราง

ตารางที่ 2.6 ค่าแฟกเตอร์ความสว่างตรงศรีษะ Z_L

มุมตกกระทบแสงอาทิตย์ (องศา)	Z_L	
	ท้องฟ้าแจ่มใส	มีเมฆบางส่วน
90	1.034	0.637
85	0.825	0.567
80	0.664	0.501
75	0.541	0.457
70	0.445	0.413
65	0.371	0.375
60	0.314	0.343
55	0.2269	0.315
50	0.206	0.272
45	0.206	0.272
40	0.185	0.255
35	0.169	0.241
30	0.153	0.23
25	0.148	0.221
20	0.142	0.214
15	0.139	0.209
10	0.139	0.205
5	0.14	0.202
0	0.144	0.201

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
117117

2.6 ลักษณะภูมิประเทศ

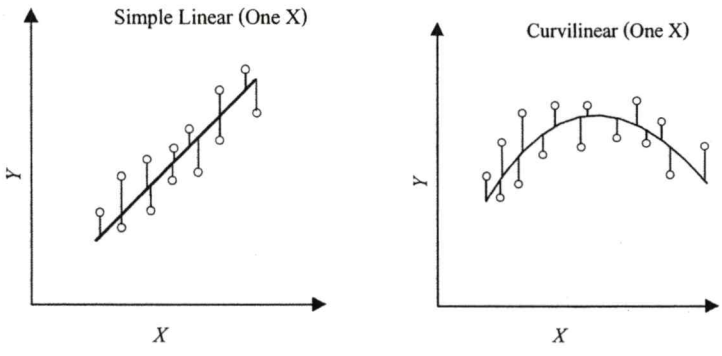
ประเทศไทยตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้งประมาณ 6 องศาเหนือ ที่อำเภอเบตง จังหวัดยะลา ถึงประมาณ 20 องศาเหนือที่อำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย และระหว่างเส้นแวงประมาณ 98 องศา ที่อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน ถึงประมาณ 106 องศา ที่อำเภอโขงเจียม จังหวัดอุบลราชธานี โดยทั่วประเทศมีเนื้อที่ประมาณ 514,000 ตารางกิโลเมตร

จากผลการศึกษาพบว่าศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ตามบริเวณต่างๆ ทั่วประเทศของแต่ละเดือนและการกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์นั้น จะได้รับอิทธิพลสำคัญมาจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยรับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายน และเดือนพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 24 เมกะจูล/ตารางเมตร-วัน เมื่อทำการพิจารณาแผนที่ศักยภาพแผนที่พลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยครอบคลุมบางส่วนของ จังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และอุดรธานี และบางส่วนของภาคกลาง ที่จังหวัด สุพรรณบุรี ชัยนาท อยุธยา และลพบุรี โดยได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี 19 ถึง 20 เมกะจูล/ตารางเมตร-วัน พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็น 14.3% ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ นอกจากนี้ยังพบว่า 50.2% ของพื้นที่ทั้งหมดที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีในช่วง 18-19 เมกะจูล/ตารางเมตร-วัน และมีเพียง 0.5% ของพื้นที่ทั้งหมดที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์ต่ำกว่า 16 เมกะจูล/ตารางเมตร-วัน จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศ พบว่ามีค่าเท่ากับ 18.2 เมกะจูล/ตารางเมตร-วัน จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง

2.7 หลักการสมการถดถอย

จากการค้นคว้า ลักษณะของสิ่งทดลองที่ต้องการที่จะทำการบันทึกเพื่อศึกษาดูค่าที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของปัจจัยหนึ่งและโดยปัจจัยนั้นเป็นตัวแปรแบบที่มีความแตกต่าง ซึ่งมีความต่อเนื่องกันนั้น จะใช้หลักการของสมการถดถอย กรณีที่มีตัวแปรอิสระ (Independent variable) x ที่มีอิทธิพลทำให้ y ซึ่งเป็นตัวแปรตามมีความแตกต่างเกิดขึ้น โดยจากการเก็บข้อมูลระหว่างข้อมูลที่ได้จาก ADC (Analog to Digital) ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1024 นั้นมีความสัมพันธ์กับค่าความสว่างที่ได้จาก การสอบเทียบจากลักซ์มิเตอร์อย่างไร โดยในที่นี้มี y เป็นค่าความสว่าง และ x เป็นค่าที่ได้จาก ADC ชนิดของ สมการถดถอยนั้นมีอยู่หลายชนิดแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับค่าตัวแปรอิสระ x นั้นเอง โดยในที่นี้ได้นำเอาหลักการสมการถดถอย มาใช้สองชนิดได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก) ข)

รูปที่ 2.12 ก) กราฟสมการถดถอยแบบเชิงเส้น (Linear)
ข) กราฟสมการถดถอยแบบโค้ง (Non linear)

ประโยชน์ของสมการถดถอยจะทำให้ได้ความสัมพันธ์เชิงสมการระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม โดยสมการถดถอยจะบอกให้ทราบเกี่ยวกับสมการแนวโน้มระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม ทำให้เราสามารถพยากรณ์พฤติกรรมของความสัมพันธ์และนำไปสู่การใช้งานในด้านการประยุกต์ใช้สมการถดถอย โดยการจัดการทางด้านสมการถดถอยนั้นเราสามารถแยกลักษณะของสมการออกเป็นได้สองแบบคือ สมการถดถอยแบบเชิงเส้น (Linear Regression) และสมการถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non Linear Regression)

2.7.1 สมการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น

จากหลักการเบื้องต้น เราได้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัว ดังสมการ

$$\log(P) = A + \frac{B}{T} \tag{2.23}$$

เมื่อ A และ B เป็นค่าพารามิเตอร์ ซึ่งสมการข้างบนนี้เป็นสมการไม่เป็นเชิงเส้น

2.7.2 สมการถดถอยเอ็กโปรเนลเชียล

สมการถดถอยมีคุณสมบัติดังนี้ให้ $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \ldots (x_n, y_n)$ จากนั้นนำสมการเอ็กโปรเนลเชียลลากผ่านจุดข้อมูล $y = ae^{bx}$ พารามิเตอร์ a และ b เป็นค่าคงที่ของฟังก์ชันเอ็กโปรเนลเชียล และ x_i คือข้อมูล

$$E_i = y_i - ae^{bx_i} \tag{2.24}$$

ผลรวมกำลังสอง (Sum of the square) ของส่วนที่เหลือคือ

$$S_r = \sum_{i=1}^{n} E_i^2 \tag{2.25}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \sum_{i=1}^{n} \left(y_i - ae^{bx_i} \right)^2 \tag{2.26}$$

ทำการหาค่าคงที่ a และ b ของสมการเอ็กโปรเนลเชียล เราหาค่าที่น้อยที่สุดของ S_r โดยการดิฟเฟอเรนเชียลเพื่อให้ได้ค่าของ a และ b และให้เท่ากับศูนย์

$$\frac{\partial S_r}{\partial a} = \sum_{i=1}^{n} 2\left(y_i - ae^{bx_i} \right)\left(-e^{bx_i} \right) = 0$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial b} = \sum_{i=1}^{n} 2\left(y_i - ae^{bx_i} \right)\left(-ax_i e^{bx_i} \right) = 0 \tag{2.27}$$

หรือ

$$-\sum_{i=1}^{n} y_i e^{bx_i} + a\sum_{i=1}^{n} e^{2bx_i} = 0$$

$$\sum_{i=1}^{n} y_i x_i e^{bx_i} - a\sum_{i=1}^{n} x_i e^{2bx_i} = 0 \tag{2.28}$$

สมการ (2.27) และ (2.28) เป็นสมการไม่เป็นเชิงเส้นใน a และ b ให้ทำการหาแก้สมการเพื่อหารสมการถดถอยเชิงเส้น โดยทั่วไปจะต้องทำการหาค่าของตัวแปรทั้งสองจากนั้นทำการแทนค่าลงสมการก็จะได้สมการถดถอยสมบูรณ์ (Such as Gauss-Newton iteration method, Method of Steepest Descent, Marquardt's Method, Direct search, etc)

อย่างไรในสมการ (2.27), a สามารถเขียนออกมาในรูปของเทอม b ได้ดังนี้

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i e^{bx_i}}{\sum_{i=1}^{n} e^{2bx_i}} \tag{2.29}$$

แทนสมการ (2.29) ลงในสมการ (2.30) จะได้

$$\sum_{i=1}^{n} y_i x_i e^{bx_i} - \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i e^{bx_i}}{\sum_{i=1}^{n} e^{2bx_i}} \sum_{i=1}^{n} x_i e^{2bx_i} = 0 \tag{2.30}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการนี้ยังคงเป็นสมการไม่เป็นเชิงเส้นใน b และเราสามารถหาค่าที่ดีที่สุดของวิธีจำนวนนับซึ่งแบ่งครึ่ง หรือวิธี Secant

2.7.3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

สหสัมพันธ์ (Correlation) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป (หรือข้อมูล 2 ชุดขึ้นไป) ซึ่งการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรว่ามีมากน้อยเพียงใดนั้น จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) เป็นค่าที่วัดความสัมพันธ์

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ โดยทั่วไปนิยมใช้สัญญลักษณ์ R แทนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่าง (บางชนิดจะใช้สัญญลักษณ์ C, W หรืออื่นๆ) และ ρ แทนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของประชากร ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ที่ใช้วัดขนาดของความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปร มี 2 ลักษณะ คือ $-1 \leq R \leq 1$ และ $0 \leq R \leq 1$

การบอกระดับหรือขนาดของความสัมพันธ์ จะใช้ตัวเลขของค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ หากค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์มีค่าเข้าใกล้ -1 หรือ 1 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง แต่หากมีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับน้อย หรือไม่มีเลย สำหรับการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ โดยทั่วไปอาจใช้เกณฑ์ดังนี้ (Hinkle D. E. 1998, p.118)

ตารางที่ 2.7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ค่า R	ระดับของความสัมพันธ์
0.90 - 1.00	มีความสัมพันธ์กันสูงมาก
0.70 - 0.90	มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง
0.50 - 0.70	มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง
0.30 - 0.50	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ
0.0 - 0.30	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำมาก

เครื่องหมาย +,- หน้าตัวเลขสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ จะบอกถึงทิศทางของความสัมพันธ์ โดยที่หาก

R มีเครื่องหมาย +	หมายถึง การมีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางเดียวกัน (ตัวแปรหนึ่งมีค่าสูง อีกตัวหนึ่งจะมีค่าสูงไปด้วย)
R มีเครื่องหมาย -	หมายถึง การมีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางตรงกันข้าม (ตัวแปรหนึ่งมีค่าสูง ตัวแปรอีกตัวหนึ่งจะมีค่าต่ำ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยกเว้นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางชนิดที่มีลักษณะ $0 \leq R \leq 1$ ซึ่งจะบอกได้เพียงขนาดหรือระดับของความสัมพันธ์เท่านั้น ไม่สามารถบอกทิศทางของความสัมพันธ์ได้ โดยเราสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ได้ตามสมการ (2.31) เป็นสมการเส้นค่าประมาณของเอ็กโปเนนเชียล

$$\hat{y}_t = b_0 b_1^t 10^{e_t} \tag{2.31}$$

ทำการแปลงสมการได้เป็น

$$\log \hat{y}_t = \log b_0 + (\log b_1)t + e_t \tag{2.32}$$

เราสามารถหา $\log b_0$ c และ $\log b_1$ จาก

$$\log b = \begin{bmatrix} \log b_0 \\ \log b_1 \end{bmatrix} = (t^T t)^{-1} \cdot t^T \log y_t \tag{2.33}$$

$$t^T t = \begin{bmatrix} n & \sum t \\ \sum t & \sum t^2 \end{bmatrix} \tag{2.34}$$

และ

$$t^T \log y_t = \begin{bmatrix} \sum \log y_t \\ \sum t \cdot \log y_t \end{bmatrix} \tag{2.35}$$

จากสมการ (2.31) – (2.35) ได้ค่า Indetermination coefficient

$$\varphi^2 = \frac{\sum (\log y_t - \log \hat{y}_t)^2}{\sum (\log y_t - \log \bar{y}_t)^2} \tag{2.36}$$

สมการ (2.37) ได้ค่า R^2

$$R^2 = 1 - \varphi^2 \tag{2.37}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

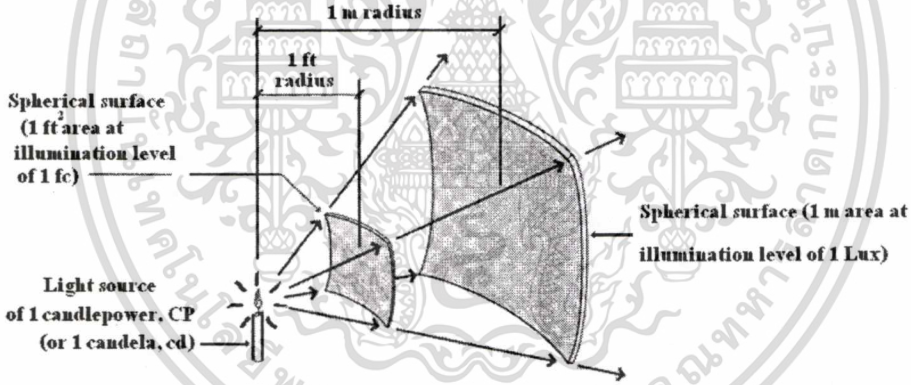
2.8 การออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

โดยปกติทั่วๆ ไปแล้วแหล่งกำเนิดแสงจะมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ดังนั้นในการที่จะออกแบบระบบแสงสว่างภายในจึงขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ออกแบบเอง ในการที่จะเลือกดวงโคมและอุปกรณ์ประกอบต่างๆ ที่จะใช้ร่วมกับระบบแสงสว่างนั้นๆ แต่หลักการง่ายๆ ที่จะออกแบบระบบแสงสว่างนั้นจะสามารถศึกษาได้จากบทนี้

2.8.1 นิยามและศัพท์ของแสง

นิยามแสง แสงเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่เคลื่อนที่ได้ การเคลื่อนที่ของพลังงานแสงจะอยู่ในรูปของคลื่น ซึ่งมีช่วงความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 380-760 นาโนเมตร (Nanometers) ช่วงความยาวคลื่นของพลังงานแสงดังกล่าวช่วยทำให้เกิดการเห็น ส่วนพลังงานรูปอื่นเช่น รังสีอัลตร้าไวโอเลต, รังสีเอ็กซ์ ที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่า 380 นาโนเมตร หรือคลื่นวิทยุ, คลื่นโทรทัศน์และพลังงานไฟฟ้า ที่มีช่วงความยาวคลื่นยาวกว่า 760 นาโนเมตร พลังงานเหล่านี้มิได้ช่วยให้เกิดการมองเห็น

รูปของจำนวนเส้นแรงของปริมาณแสง (Luminous Flux) ที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงมีหน่วยเป็นลูเมน (Lumen)



รูปที่ 2.13 การวัดค่าความสว่าง

ถ้านำแหล่งกำเนิดแสง ที่มีค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างสม่ำเสมอรอบทุกทิศทุกทางเท่ากัน 1 แคนเดลามาวางไว้ ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมที่มีรัศมี 1 หน่วย ปริมาณแสงที่พุ่งไปตกลงบนทุก ๆ หนึ่งตารางหน่วยพื้นที่บนพื้นผิวของทรงกลมนี้มีค่าเท่ากับ 12.57 ตารางหน่วยพื้นที่ ดังนั้นความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 แคนเดลา จะมีปริมาณเส้นแรงของแสง = 12.57 ลูเมน รูปของปริมาณลูเมนต่อตารางหน่วยพื้นที่ จากรูป 2.13 เมื่อเรานำแหล่งกำเนิดแสงที่มีค่าความเข้มการส่องสว่างเท่ากับ 1 แคนเดลา ไปวางไว้ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมที่มีรัศมี 1 ฟุต ปริมาณแสง 1 ลูเมน จะไปตกลงบนทุกๆหนึ่งตารางฟุตบนพื้นผิวของทรงกลม ปริมาณแห่งการส่องสว่างที่เกิดขึ้น = 1 ฟุตแคนเดิลหรือ 1 ลูเมนต่อตารางฟุต ในทำนองเดียวกันถ้ารัศมีของทรงกลมดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 1 เมตร ปริมาณแห่งการส่องสว่างที่เกิดขึ้นบนพื้นที่ตารางเมตรบนพื้นผิวของทรงกลมจะมีค่าเท่ากับ 1 ลักซ์ หรือ 1 ลูเมนต่อตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 ฟุตแคนเดิล (ft-cd) = 1 ลูเมน / ตารางฟุต = 10.76 ลักซ์

1 ลักซ์ (lux) = 1 ลูเมน / ตารางเมตร = 0.0929 ft-cd

2.8.2 ปริมาณการส่องสว่าง

ปริมาณการส่องสว่างจะแปรผันตรงกับความเข้มแห่งการส่องสว่าง ได้ว่า หากความเข้มของการส่องสว่างมาก ค่ากำลังส่องสว่างจะมากตามไปด้วย หรือถ้าความเข้มของการส่องสว่างน้อย กำลังส่องสว่างก็จะน้อยตามไปด้วย จากสมการพื้นฐานดังนี้

$$E \alpha I \tag{2.38}$$

E คือ ปริมาณแห่งการส่องสว่าง (ฟุตแคนเดิล)

I คือ ความเข้มแห่งการส่องสว่าง (แคนเดลลา)

2.8.3 กฎกำลังสองผกผัน (Inverse – Square law)

กฎกำลังสองผกผัน คือกฎที่ทำให้ทราบว่าค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างจะแปรผกผันกับกำลังสองของระยะทางจากแหล่งกำเนิดแสงสว่างถึงจุดที่แสงสว่างตกกระทบ

$$I \alpha \frac{1}{r^2} \tag{2.39}$$

r คือ ระยะทางจากแหล่งกำเนิดแสงสว่างถึงจุดหรือพื้นผิวของวัตถุรองรับแสงสว่าง (ฟุต)

2.8.4 กฎโคไซน์ของแลมเบริร์ต (Lambert's Cosine law)

กล่าวไว้ว่า " ปริมาณแห่งการส่องสว่างจะแปรผันไปตามค่า cos ของมุม ที่เปลี่ยนจากแนวตั้งฉาก" พิจารณาจากรูป และสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

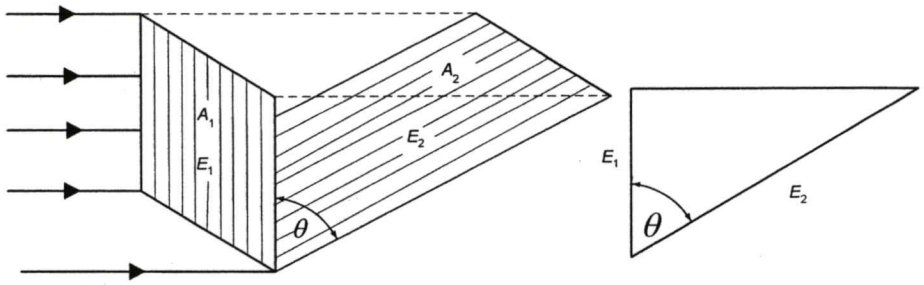
$$E_2 = E_1 \cos\theta \tag{2.40}$$

E_2 คือ ปริมาณแห่งการส่องสว่าง ณ จุดเริ่มแรก

E_1 คือ ปริมาณแห่งการส่องสว่างเมื่อ ฉากเอียงออกไปรับแสงสว่าง

$\cos\theta$ คือ ค่า cos ของมุมที่เอียงจากแนวตั้งฉากเพื่อไปรับแสงสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 แสดงลักษณะของแผ่นรองรับแสงสว่างที่เอียงออกไปรับแสงสว่างจากแนวตั้งฉาก

การหาค่าปริมาณแห่งการส่องสว่าง ณ จุดที่มีระยะทางจากแหล่งกำเนิดแสงสว่างต่างกันไปโดยตำแหน่งของแสงกำเนิดแสงสว่างยังอยู่ที่เดิม สามารถพิจารณาได้จากรูป ที่ 2.14

การพิจารณาค่าปริมาณแห่งการส่องสว่าง ณ จุดต่างๆ ดังนี้

1. พิจารณาค่าปริมาณแห่งการส่องสว่างที่จุด A

$$E_{\mathrm{A}} = \frac{I}{h^2} \tag{2.41}$$

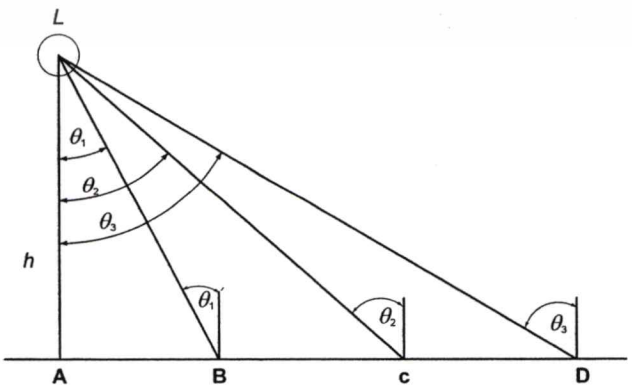
2. พิจารณาค่าปริมาณแห่งการส่องสว่างที่จุด B

$$E_{\mathrm{B}} = \frac{I}{{L_B}^2}\cos\theta_1 \tag{2.42}$$

หากทราบค่าปริมาณแห่งการส่องสว่างที่จุด A แล้วสามารถหาค่า ปริมาณแห่งการส่องสว่าง ณ จุด C และ D จากสมการด้านล่าง

$$E_{\mathrm{C}} = E_{\mathrm{A}}\cos^3\theta_2 \tag{2.43}$$

$$E_{\mathrm{D}} = E_{\mathrm{A}}\cos^3\theta_3 \tag{2.44}$$



รูปที่ 2.15 แสดงตำแหน่งต่างๆ ที่ต้องการหาค่าปริมาณแห่งการส่องสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบเราใช้การดูจากกราฟปริมาณการส่องสว่างโดยการใช้เส้นโค้ง การกระจายกำลังการส่องสว่างของดวงโคมไฟฟ้าหรือหลอดไฟฟ้า

2.8.5 สัมประสิทธิ์ของการใช้งาน (Coefficient of Utilization)

สัมประสิทธิ์ของการใช้งาน (*CU*) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างค่าฟลักซ์การส่องสว่างที่จะตกกระทบลงบนพื้นผิวงานต่อค่าลูเมนทั้งหมดที่เปล่งออกจากแหล่งกำเนิดแสงโดยค่านี้จะขึ้นอยู่กับ

- ประสิทธิภาพและการกระจายของแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะของ ดวงโคม เช่น แสงอาจจะถูกดูดกลืนโดยดวงโคมเป็นจำนวนกี่เปอร์เซ็นต์
- ระยะความสูง ความสูงของดวงโคมที่อยู่เหนือพื้นผิวงานจะเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่งในการพิจารณา ทั้งนี้เพราะว่าความสว่างจะเป็นสัดส่วนผกผันกับกำลังสองของระยะทางจากดวงโคมไปยังพื้นผิวงาน เช่น ถ้าระยะทางเพิ่มขึ้น 2 เท่า จะทำให้ค่าความสว่างลดลงไปถึง 4 เท่า
- ขนาด รูปร่าง ความกว้าง ความยาวของห้อง และระยะความสูงของดวงโคมจะเป็นสิ่งที่สำคัญต่อความสว่างที่ปรากฏบนพื้นผิวงานอย่างยิ่ง เช่น ถ้าลักษณะของห้องเป็นแบบสี่เหลี่ยมจตุรัส ฝาผนังและเพดานเป็นแบบชนิดที่ไม่สะท้อนแสง ถ้านำดวงโคมมาติดในตำแหน่งจุดศูนย์กลางของห้อง จะเห็นได้ว่าในบริเวณพื้นจะได้รับแสงอย่างสม่ำเสมอ แต่ถ้าขนาดความยาวของห้องเพิ่มขึ้นอีก 50% ในส่วนที่เป็นพื้นที่ของที่เพิ่มขึ้นก็จะได้รับแสงได้น้อยกว่าพื้นผิวเดิมเพราะว่าลำแสงจะมีการลาดลงสู่พื้นอย่างมาก ดังนั้นค่าเฉลี่ยของความสว่างที่ปรากฏบนห้องที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า จะมีค่าน้อยกว่าห้องที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัส
- การสะท้อนของแสงที่มาจากเพดานและฝาผนังจะทำให้มีผลต่อการใช้งาน และถ้าฝาผนังหรือเพดานที่มีคุณสมบัติสะท้อนแสงได้ดีก็จะมีค่าการใช้งานแตกต่างจากฝาผนังที่มีคุณสมบัติไม่ช่วยสะท้อนแสงอย่างมาก

ซึ่งจะสามารถสรุปได้ว่าทุกๆ องค์ประกอบที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้นจะเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องนำไปพิจารณาในการคำนวณเกี่ยวกับแสง

2.8.6 ค่าองค์ประกอบของการบำรุงรักษา

ค่าองค์ประกอบของการบำรุงรักษา เนื่องจากในการคำนวณเกี่ยวกับการออกแบบระบบแสงสว่างนั้นค่าต่างๆ ที่คำนวณออกมาเป็นการคิดในหลักการที่ว่าจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบต่างๆ เลย หรืออาจจะพิจารณาเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่โดยปกติทั่วๆ ไปแล้วในความเป็นจริงจะมีค่าเสื่อมต่างๆ ซึ่งจะทำให้มีผลลัพธ์จากการปฏิบัติในการคำนวณปกติ แล้วค่าเสื่อมนั้นๆ จะสามารถจำแนกออกได้ดังนี้

- กรณีของหลอดหรือดวงโคมที่ใช้เป็นเวลานาน จะทำให้ค่าฟลักซ์การส่องสว่าง มีค่าลดน้อยลงเรื่อยๆ จึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนหลอดหรือแหล่งกำเนิดแสงเสียใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กรณีการสะสมของฝุ่นละอองบนแหล่งกำเนิดแสง หรือบนแผ่นสะท้อนแสงของดวงโคมสิ่งเหล่านี้ก็จะทำให้ค่าของลูเมนลดน้อยลง
- กรณีการสะสมฝุ่นละอองที่บริเวณฝาผนังและเพดาน ซึ่งจะลดค่าการสะท้อนของพื้นผิวนั้นๆ ลง

โดยปกติแล้ว ค่าตัวประกอบบำรุงรักษานั้นบริษัทผู้ทำการผลิตดวงโคมจะเป็นผู้กำหนดออกมาและนอกจากนี้ก็จะแสดงถึงในกรณีที่มีดวงโคมหลายๆ ชุด ประสิทธิภาพของดวงโคมที่ออกมาจะเกี่ยวข้องกับตัวประกอบบำรุงรักษาด้วย เช่น

ก. ตัวประกอบบำรุงรักษาดี (Good Maintenance Factor) หมายถึงในสภาวะบรรยากาศที่ดีแล้ว ดวงโคมจะมีความสะอาดและหลอดที่ใช้ได้ทำการเปลี่ยนตามอายุใช้งานที่แท้จริง

ข. ตัวประกอบบำรุงรักษาปานกลาง (Medium Maintenance Factor) หมายถึงในบรรยากาศที่มีเงื่อนไข ดวงโคมอาจจะไม่มีความสะอาดมากนัก และหลอดที่ใช้ก็ทำการเปลี่ยนหลังจากที่หลอดเดิมหมดสภาพแล้ว

ค. ตัวประกอบบำรุงรักษาเลว (Poor Maintenance Factor) หมายถึงในบรรยากาศที่สกปรกและอุปกรณ์ทุกอย่างของดวงโคมไม่ได้รับการดูแลรักษาเลย

2.8.7 อัตราส่วนของระยะห่างระหว่างดวงโคมกับความสูงของดวงโคม

อัตราส่วนของระยะห่างระหว่างดวงโคมกับความสูงของดวงโคม จะเป็นสิ่งจำเป็นต่อการจัดวางตำแหน่งของดวงโคม เพราะการออกแบบระบบแสงสว่างที่ดีไม่เพียงแต่จะต้องได้ปริมาณแสงเฉลี่ยทั้งพื้นผิวที่ของงานตามค่ากำหนดไว้เท่านั้น แต่จะต้องพยายามไม่ให้ปริมาณแสงบนพื้นงานที่จุดต่างๆ มีค่าแตกต่างกันมากเกินไปอีกด้วย ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงเรื่องนี้ซึ่งจะมีผลต่อจำนวนเงาหรือการกระจายแสงที่ไม่เพียงพอเหมาะหรือค่าแกลร์ (Glare) ที่อาจจะเกิดขึ้น ซึ่งทำให้ระยะห่างของดวงโคมเป็นสิ่งสำคัญโดยจะขึ้นอยู่กับ

- สำหรับโคมชนิดที่มีการกระจายแสงขึ้นสู่ข้างบน (Upward direction) ระยะห่างระหว่างแถวของดวงโคมควรจะมีค่าประมาณ 1.2 ถึง 1.5 เท่า ของความสูงจากพื้นผิวงานไปยังดวงโคม
- สำหรับโคมชนิดที่กระจายแสงขึ้นสู่ข้างบนและกระจายแสงลงสู่เบื้องล่าง (Upward and downward) ระห่างประมาณ 0.9 ถึง 1.1 เท่าของความสูง
- สำหรับโคมชนิดที่กระจายแสงสู่เบื้องล่าง ระยะห่างของดวงโคมไม่ควรเกิน 0.7 ถึง 0.9 เท่าของความสูง
- ในกรณีที่ดวงโคมมีลักษณะการติดตั้งเป็นแถว เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ระยะห่างของดวงโคมอาจจะเพิ่มได้อีกประมาณ 20% ของหัวข้อข้างบน
- ระยะห่างจากฝาผนังถึงดวงโคมจะประมาณ ½ ของระยะห่างระหว่างดวงโคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.8 แหล่งกำเนิดแสง

หลอดที่เป็นแบบมีไส้ นั้นจะทำงาน โดยอาศัยหลักการของกระแสไหลผ่านไส้หลอด ซึ่งเป็นค่าความต้านทานและเกิดความร้อนทำให้เกิดเป็นแสงเปล่งจากไส้หลอดนั้น นอกจากนี้ยังถือว่าหลอดชนิดนี้ทำงานที่ค่าประกอบกำลังเท่ากับ 1

2.9 การออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคาร

แหล่งกำเนิดแสงมักจะใช้กันเพื่อจุดประสงค์ในการส่องสว่าง การออกแบบแสงสว่างโดยทั่วไปแล้วจะมีอยู่ 2 วิธีใหญ่ๆ ด้วยกัน วิธีแรกเรียกกว่า Zonal Cavity Method และ Point-by-Point Method

2.9.1 Zonal Cavity Method

แนวคิดคือ การพิจารณาว่าปริมาณแสงที่ออกมาจากดวงโคมจะกระจัดกระจายลงไปทั่วพื้นห้องหรือพื้นงาน ค่าระดับความสว่างที่คำนวณจะเป็นค่าเฉลี่ย และจากนิยามฟุตแคนเดิล ได้ว่า

$$E = L / A \tag{2.45}$$

L คือ ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างที่ออกมาจากดวงโคม (lm)

A คือ พื้นที่ที่ต้องการความสว่าง

ในความเป็นจริงแสงที่ออกมาจากดวงโคมได้กระจัดกระจ่ายลงไปทั่วห้อง ไปตกกระทบเพดาน พื้น ผนัง และเฟอร์นิเจอร์ จากนั้นได้สะท้อนออกไป บางส่วนถูกดูดกลืน ดังนั้นปริมาณแสงที่ออกมาจากดวงโคม ในสมการที่ 2.45 จึงต้องขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ของการใช้ประโยชน์หรือค่า CU ค่านี้บอกให้ทราบว่าแสงที่ออกจากดวงโคมไปตกลงบนพื้นที่ใช้งานเท่าไร่ ดังนั้นเราได้สมการที่ 2.46 เป็น

$$E = \frac{L \times CU}{A} \tag{2.46}$$

ค่า CU ขึ้นอยู่กับความกว้าง ความยาว ความสูง และความสามารถในการสะท้อนแสงของเพดาน ผนัง และพื้นของห้อง ดังนั้น การหาค่า CU จะทำได้โดยการเปิดจากตารางซึ่งจะกล่าวในตอนต่อไป

และจากการศึกษาพบว่าแหล่งกำเนิดแสงทุกชนิด เมื่อใช้งานไปนานๆ ย่อมมีการเสื่อมลงมาของหลอดไฟคือ LLD โดยจะให้แสงสว่างมีปริมาณน้อยลง และค่าเสื่อมจากความสกปรกตามสภาพแวดล้อมคือ LDD เราจะได้สมการที่พิจารณาค่าเสื่อมดังนี้

$$E = L \times CU \times LLD \times \frac{[LDD]}{A} \tag{2.47}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า *CU* , *LLD* และ *LDD* ก็สามารถเปิดจากตารางได้ทำให้พอเป็นแนวทางในการออกแบบการส่องสว่าง และเขียนสมการ 2.48 ใหม่ โดยการเปลี่ยนค่า *L* เป็น *TL* เป็นค่าปริมาณแสงทั้งหมด (Total Lumen) ที่ต้องการ เพื่อส่องสว่างห้องให้มีระดับความสว่างตามที่กำหนด ต่อจากนั้นให้คำนวณจำนวนดวงโคมจากสมการนี้

$$TL = \frac{E \times A}{CU \times LLD \times LDD} \tag{2.48}$$

เมื่อหลอดไฟฟ้าและดวงโคมไฟฟ้าถูกติดตั้งไว้เรียบร้อยแล้ว ไม่ว่าในห้องนั้นจะถูกใช้งานหรือไม่ก็ตาม เมื่อทิ้งไปเรื่อยๆ ก็จะมีการสะสมฝุ่นละอองเกาะตามพื้นห้อง ผนัง และเพดาน และส่วนอื่นๆ ภายในห้อง ซึ่งจะทำให้ความสามารถในการสะท้อนแสงสว่างภายในห้องลดลงไป ดังนั้นจะต้องคูณด้วยค่าความเสื่อมสภาพจากพื้นผิวห้องสกปรก (Room Surface Dirt Depreciation) ดังสมการดังนี้

$$TL = \frac{E \times A}{CU \times LLD \times LDD \times RSDD} \tag{2.49}$$

RSDD คือ ค่าความเสื่อมสภาพจากพื้นผิวห้องสกปรก

เมื่อหลอดไฟฟ้าถูกใช้ไปเรื่อยๆ สักระยะเวลาหนึ่งจะมีหลอดไฟฟ้าจำนวนหนึ่งดับก่อน ทำให้ปริมาณแสงที่ออกแบบไว้ในทีแรกนั้นลดลง ดังนั้นจึงต้องคูณด้วยตัวประกอบหลอดเสีย (Lamp Burn Out : *LBO*)

$$TL = \frac{E \times A}{CU \times LLD \times LDD \times RSDD \times LBO} \tag{2.50}$$

LBO คือ ค่าตัวประกอบหลอดเสีย

จากสมการ 2.50 เป็นสมการที่ใช้คำนวณค่าปริมาณเส้นแรงแห่งการส่องสว่าง จากนั้นพิจารณาว่าต้องติดตั้งหลอดดวงโคม เมื่อ *N* คือจำนวนดวงโคมที่ต้องใช้

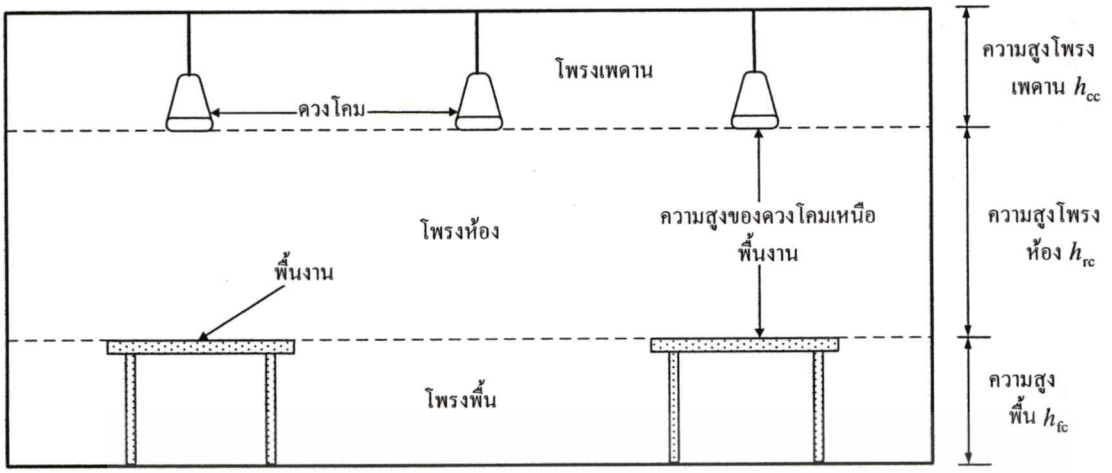
$$N = TL \,/\, \text{ปริมาณแสงต่อหนึ่งดวงโคม} \tag{2.51}$$

ก่อนที่เราจะนำสูตรในสมการที่ 2.51 นำคำนวณหาจำนวณโคมที่จะต้องใช้ในการออกแบบระบบแสงสว่าง

2.9.2 วิธีการแบ่งส่วนโพรง

เป็นการคำนวน โดยการแบ่งสัดส่วนของพื้นห้องออกเป็นส่วนๆ ทั้งหมด 3 ส่วนดังรูปที่ 2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 การวัดค่าปริมาณแสง

1. โพรงเพดาน (Ceiling Cavity) หมายถึง บริเวณนับตั้งแต่เพดานลงมาถึงระดับของดวงโคมไฟฟ้า ความสูงระยะนี้เรียกว่าความสูงโพรงเพดาน ย่อว่า h_{cc}

2. โพรงห้อง (Room Cavity) หมายถึง บริเวณนับตั้งแต่ระดับของดวงโคมไฟฟ้าถึงระดับพื้นงาน เรียกว่าความสูงของโพรงพื้น ย่อว่า h_{rc}

3. โพรงพื้น (Floor Cavity) หมายถึง บริเวณนับตั้งแต่ระดับ พื้นงานรองลงมาถึงระดับพื้นห้อง เรียกว่าความสูงของโพรงพื้น ย่อว่า h_{fc}

2.9.2.1 อัตราส่วนโพรง (Cavity Ratio)

คือ การพิจารณาเป็นอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ที่อยู่ในแนวดิ่งของห้อง ซึ่งหมายถึงผนังห้องทั้ง 4 ด้านต่อพื้นที่ในแนวระดับซึ่งหมายถึงเพดานและพื้นรวมกัน

ค่าของอัตราส่วนโพรงมีค่าอยู่สามค่าด้วยกันคือ

1. ค่าอัตราส่วนโพรงเพดาน (Ceiling Cavity Rratio: *CCR*)

2. ค่าอัตราส่วนโพรงห้อง (Room Cavity Ration : *RCR*)

3. ค่าอัตราส่วนโพรงพื้น (Floor Cavity Ration : *FCR*)

กำหนดให้

W คือ ความกว้างของพื้นที่ที่ต้องการหาปริมาณแห่งการส่องสว่าง

L คือ ความกว้างของพื้นที่ที่ต้องการหาปริมาณแห่งการส่องสว่าง

ค่าอัตราส่วนโพรงแต่ละค่าก็คำนวณมาจากความสูงของโพรง (Cavity Height) แต่ละค่าที่ความสัมพันธ์กันดังสูตรต่อไปนี้

อัตราส่วนโพรงเพดาน $\quad CCR = 5h_{cc}\dfrac{(W+L)}{W\times L}$ (2.52)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนโพรงห้อง $RCR = 5h_{\mathrm{rc}} \dfrac{(W+L)}{W \times L}$ (2.53)

อัตราส่วนโพรงพื้น $FCR = 5h_{\mathrm{fc}} \dfrac{(W+L)}{W \times L}$ (2.54)

2.9.2.2 ค่าประสิทธิผลการสะท้อนแสงสว่างของโพรง (Effective Cavity Reflectance)

เนื่องจากแสงสว่างที่ออกมาจากดวงโคมไฟฟ้า ไม่ได้ตกพุ่งลงบนพื้นงานอย่างเดียวแต่แสงสว่างจะพุ่งกระจายออกไปรอบๆ ด้าน บางส่วนถูกดูดกลืนบางส่วนจะสะท้อนออกมา ทำให้ยุ่งยากในการคำนวณ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาวิธีคำนวณขึ้นใหม่ และได้นำเอาค่าความสามารถในการสะท้อนเพดาน ρ_{c} พื้น ρ_{f} และผนัง ρ_{w} เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปหา ค่าสัมประสิทธิการผลสะท้อนแสงสว่างของโพรงเพดาน ρ_{cc} และค่าสัมประสิทธิผลการสะท้อนแสงสว่างของโพรงพื้น ρ_{fc} ซึ่งต้องใช้ค่า CCR และ FCR เข้ามาช่วยโดยเปิดได้จากตาราง (Percent Effective Ceilling and Floor Reflectance for Various Reflectance Combination)

ความสามารถในสะท้อนของส่วนต่างๆ นั้นจะแตกต่างกันออกไป เนื่องจากความแตกต่างของสีที่ทา ดังนั้นการหาค่าความสะท้อนแสงสว่างเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Average Reflectance) โดยใช้ใช้สูตรดังนี้

$$\rho_w = \frac{A_1\rho_1 + A_2\rho_2 + A_3\rho_3 .... + A_N\rho_N}{A_1 + A_2 + A_3 ..... + A_N} \quad (2.55)$$

ρ_w คือ ค่าความสามารถในการสะท้อนแสงสว่างเฉลี่ย

$\rho_1 ... \rho_N$ คือ ค่าความสามารถในการสะท้อนแสงสว่างของส่วนต่างๆ ที่ต้องการหาค่า

$A_1 ... A_N$ คือ พื้นที่ของส่วนต่างๆ ที่ต้องการหาค่า

ในกรณีที่ $h_{\mathrm{cc}} = 0$ เราจะได้ค่า $CCR = 0$ ด้วยและค่า ρ_{cc} จะมีค่าเท่ากับ ρ_c และในทำนองเดียวกันเมื่อค่า $h_{fc} = 0$ จะได้ว่าค่า $FCR = 0$ และค่า $\rho_{fc} = \rho_f$

ดังนั้นถ้าดวงโคมไฟฟ้าถูกติดแนบกับเพดาน หรือ ระดับพื้นงานเท่ากับระดับพื้นห้อง หรือเป็นระดับเดียวกันแล้วก็ไม่จำเป็นที่จะต้องไปหาค่าประสิทธิผลการสะท้อนแสงสว่างของโพรงเพดาน ρ_{cc} หรือค่าประสิทธิผลการสะท้อนแสงสว่างของโพรงพื้น ρ_{fc} ใหม่ สามารถใช้ค่าสะท้อนแสงสว่างของเพดาน ρ_c และ ρ_f แทนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 แสดงข้อมูลการสะท้อนแสงสว่างโดยทั่วไป

บริเวณ	% การสะท้อนแสงสว่าง	
	สำนักงาน โรงเรียน โรงงาน	ที่อยู่อาศัย
เพดาน	70 - 90	60 - 90
กำแพง	40 - 60	35 – 60
อุปกรณ์ หรือ ตู้ โต๊ะ เก้าอี้	25 - 45	25 - 48
เครื่องใช้สำนักงาน	25 - 45	25 - 48
พื้นทั่วไป	20 - 45	15 – 35
พื้นงาน	10 - 30	

ตารางที่ 2.8 ใช้สำหรับพิจารณาสำหรับการทาสีภายในห้องในอาคารและเลือกสีของเครื่องใช้ให้เหมาะสม เช่น ในการทาสีเพดาน มาตรฐานการสะท้อนแสงสว่างจากตาราง 2.8 มีค่า 70-90% ดังนั้นจะต้องเลือกสีทาเพดานให้เป็นสีที่สามารถสะท้อนแสงสว่างได้ 70 – 90% ซึ่งจะสามารถดูการสะท้อนแสงสว่างของสีวัสดุในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 แสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงสว่างของสีวัสดุ

สีของวัสดุ	% การสะท้อนแสงสว่าง
ดำ	2 – 5
เทาแก่	10 – 15
ไม้สีเข้ม	10 – 15
อิฐมอญเผา	10 – 15
แดงเข้ม	15 – 20
น้ำเงินเข้ม	15 – 20
เขียวเข้ม	15 – 20
น้ำตาล	20 – 30
คอนกรีต	20 – 30
ไม้สีอ่อน	25 – 35
หินอ่อน	30 – 70
น้ำเงินอ่อน	40 – 50
เท่าอ่อน	40 – 60
แดงอ่อน	45 – 55
เขียวอ่อน	45 – 55
เหลืองอ่อน	60- 70
ขาว	75 - 85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 แสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงสว่างของสีวัสดุ เพื่อใช้ในการพิจารณาการสะท้อนแสงในส่วนต่างๆ ของห้อง ซึ่งห้องกรณีศึกษาใช้สีของเพดานเป็นสีขาว เพดานจะมีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงสว่างประมาณ 75 – 85 % และใช้สีฟ้าอ่อนเป็นสีห้อง ดังนั้นจึงมีเปอร์เซ็นต์การสะท้องเท่ากับ 40 – 50%

2.10 หลักการทั่วไปในการส่องสว่างอย่างมีประสิทธิภาพ

การส่องสว่างด้วยไฟฟ้า นอกจากจะเป็นภาระไฟฟ้าที่สูงในอาคารหนึ่งๆ แล้วยังส่งผลกระทบต่อภาระไฟฟ้ารวมของอาคาร โดยไปเพิ่มภาระการทำความเย็นแก่ระบบปรับอากาศอีกด้วย ดังนั้นจึงควรออกแบบและเลือกระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่ให้ประสิทธิผลในการส่องสว่าง ก่อให้เกิดความสบายแก่สายตามีความยืดหยุ่น และสอดคล้องกับจุดมุ่งหมายในการใช้พื้นที่ ในขณะเดียวกันมีประสิทธิภาพดีในเชิงพลังงาน ทั้งหมดนี้สามารถสัมฤทธิผลได้โดยการจำกัดกำลังไฟฟ้าแสงสว่าง การให้แสงสว่างอย่างเพียงพอเฉพาะในพื้นที่ที่มีการส่องสว่าง และการใช้แสงธรรมชาติร่วมด้วยในเวลากลางวัน

2.10.1 การจัดการส่องสว่าง ควรจัดการส่องสว่างให้ได้ระดับไม่น้อยกว่าค่าที่แนะนำโดยสากล หรือไม่น้อยกว่าค่าที่แสดงในตารางที่ ตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 ระดับความส่องสว่างสำหรับงานต่างๆ

งาน	ลักซ์ (ลูเมน ม.$^{-2}$)	ตัวอย่าง
I การให้แสงสว่างสำหรับบริเวณไม่ค่อยได้ใช้งาน	20 50 100	ความสว่างต่ำสุดที่ใช้การได้ ทางเดินภายใน ที่จอดรถและห้องเก็บของ ห้องนอนในโรงแรมและห้องน้ำ
II การให้แสงสว่างสำหรับบริเวณที่ทำงานภายในอาคาร	150 200 300 400	งานที่ไม่ต้องการความละเอียด งานอ่านและเขียนนาน ๆครั้ง สำนักงานทั่ว ๆไป ห้องควบคุมในอาคาร ร้านขายของ และร้านค้าต่าง ๆงานอ่านและงานเขียน ห้องเขียนแบบ
III การให้แสงสว่างเฉพาะที่สำหรับงานละเอียด	750 1,000	งานอ่านตรวจทาน งานเขียนแบบที่ต้องการความละเอียดแน่นอน งานละเอียดละออ ประณีต

2.10.2 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการส่องสว่างอาจลดทอนให้น้อยลงได้ โดยการลดกำลังไฟฟ้า และ/หรือ ระยะเวลาใช้งาน การลดกำลังไฟฟ้าโดยยังคงประสิทธิผลการส่องสว่างกระทำได้โดยใช้ชุดหลอดไฟฟ้า (ซึ่งอาจรวมบัลลาสต์) และโคมไฟที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น พิสัยประสิทธิภาพเชิงแสงของหลอดไฟฟ้าบางชนิดได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.11 ค่าประสิทธิภาพแสงหลอดไฟฟ้าชนิดต่างๆ

ชนิดหลอดไฟ	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	อายุใช้งาน (ชั่วโมง)	พิสัยของประสิทธิภาพแสง (ลูเมน วัตต์$^{-1}$)
1. หลอดไส้รวมถึงทังสเตนฮาโลเจน	15-1,500	750-12,000	15-25
2. หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาดเล็ก	7-40	5,000-24,000	55-100
3. หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบไอปรอทความดันสูง (หลอดแสงจันทร์)	40-1,000	6,000-15,000	50-60
4. หลอดเมตัลฮาไลด์	175-1,000	1,500-15,000	80-100
5. หลอดไอโซเดียมความดันสูง	70-1,000	24,000	50-130
6. หลอดไอโซเดียมความดันต่ำ	18-180	18,000	ถึง 180

2.10.3 ไม่ควรใช้หลอดไส้ในการให้แสงสว่างทั่วไป ควรใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์และถ้าเป็นไปได้ควรใช้อุปกรณ์ประกอบที่มีการสูญเสียต่ำ ในการติดตั้งไฟส่องลง (Down Light) ให้ใช้หลอดไฟฟ้าปล่อยประจุชนิดความดันสูง ในห้องโถงใหญ่ควรใช้หลอดปล่อยประจุชนิดความดันสูงเป็นต้นกำเนิดแสงหลัก

2.10.4 การให้แสงสว่างอย่างสม่ำเสมอโดยบริเวณสถานที่ทำงาน เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพต่ำเพราะกิจกรรมที่แตกต่างกันในพื้นที่ทำงาน มีความต้องการแสงสว่างไม่เท่ากัน เช่นในห้องเขียนแบบจะต้องให้แสงสว่างเฉพาะที่ เพื่อผู้เขียนแบบสามารถจะทำงานรอบโต๊ะเขียนแบบได้สะดวก โดยมีความต้องการแสงทั่วไปในห้องลดลง การทำเช่นนี้ทำให้เกิดการลดภาระไฟฟ้าแสงสว่างต่อพื้นที่ห้องลงได้มาก

2.10.5 ในการออกแบบไฟฟ้าแสงสว่าง โดยใช้หลักของการส่องสว่างอย่างเพียงพอเฉพาะบริเวณที่มีงานส่องสว่าง สถาปนิกและวิศวกรควรมีการหารือกันอย่างใกล้ชิด เพื่อกำหนดงานส่องสว่างที่ต้องการในแต่ละบริเวณในพื้นที่หนึ่งๆ เพื่อว่าจะสามารถลดกำลังไฟฟ้า แสงสว่างในบริเวณอื่นๆ ที่ไม่มีงานส่องสว่างในพื้นที่นั้น ถ้าหากพิจารณาว่าในพื้นที่ใด อาจมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะการใช้พื้นที่ในภายหลัง ก็ควรจะมีการออกแบบระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าแสงสว่างที่เผื่อการเปลี่ยนแปลงนั้นไว้ล่วงหน้า

2.11 การใช้แสงธรรมชาติส่องสว่าง (Daylighting)

2.11.1 การใช้แสงธรรมชาติร่วมกับไฟฟ้าแสงสว่าง เพื่อการส่องสว่างสำหรับบริเวณที่มีแสงธรรมชาติในกลางวัน เป็นวิธีที่สำคัญที่สุดวิธีหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร และเพิ่มคุณภาพของสภาพแวดล้อมในอาคาร แสงธรรมชาติมีประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงและยังให้สีสันที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.2 ในการใช้แสงธรรมชาติเพื่อส่องสว่าง ควรจะคำนึงถึงองค์ประกอบต่อไปนี้

1) จะต้องใช้รังสีกระจายของรังสีอาทิตย์เท่านั้น และควรใช้อุปกรณ์บังแดดปิดกั้นไม่ให้รังสีตรงเข้าสู่อาคารโดยตรง รังสีตรงให้พลังงานความร้อนสูง และยังก่อให้เกิดแสงจ้า (Glare) ได้ง่าย การเลือกและติดตั้งอุปกรณ์บังแดดที่ดี อาจช่วยลดแสงจ้าจากส่วนของท้องฟ้าที่สว่างมากเกินไป หรือจากการสะท้อนแสงของวัตถุ

2) ระดับความสว่างของท้องฟ้าแปรเปลี่ยนได้มากจากเวลาหนึ่งสู่เวลาหนึ่ง ดังนั้นควรใช้แสงธรรมชาติร่วมกับไฟฟ้าแสงสว่าง โดยออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างในลักษณะที่สามารถปรับได้ เพื่อให้ความสว่างรวมอยู่ในระดับที่ใช้งานได้ ในกรณีเช่นนี้ระบบไฟฟ้าแสงสว่างจะต้องควบคุมโดยปรับหรี่ได้อย่างต่อเนื่อง หรือปรับหรี่เป็นขั้น และควรปรับหรี่ได้โดยอัตโนมัติ

2.11.3 การออกแบบเพื่อใช้แสงธรรมชาติส่องสว่าง สามารถใช้ค่าองค์ประกอบแสงธรรมชาติ (Daylight Factor) ที่หาได้สำหรับบริเวณหนึ่งๆ ภายในอาคาร ร่วมกับค่าความสว่างจากรังสีกระจายบนแนวระนาบ (Exterior Diffuse Horizontal Illumination) ของท้องถิ่น

2.12 เกณฑ์ขั้นสูงของค่ากำลังไฟฟ้าสำหรับการส่องสว่างในอาคาร

ภาระไฟฟ้าแสงสว่างสำหรับพื้นที่ภายในอาคาร จะต้องมีค่าไม่เกินค่าที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.12 เกณฑ์ขั้นสูงของค่ากำลังไฟฟ้าสำหรับการส่องสว่างในอาคาร

อาคาร ประเภท / ลักษณะพื้นที่	ค่ากำลังไฟฟ้าแสงสว่างสูงสุด วัตต์ ม.$^{-2}$
ขายอาหาร	15
สำนักงาน	
- บริเวณที่ทำงาน	16
ร้านขายของ ซุปเปอร์มาเก็ต และศูนย์การค้า (*)	23
ที่จอดรถ	2
สถานศึกษา	18
โกดังเก็บของ/คลังพัสดุ	5
โรงพยาบาล/สถานพักฟื้น	18
โรงแรม	
- ห้องพัก/เฉลียงทางเดินในอาคาร	15
- บริเวณที่ใช้ร่วมกันมาก ๆ	17
- สถานที่จัดเลี้ยง/แสดงนิทรรศการ	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 การควบคุมไฟฟ้าแสงสว่าง

2.13.1 ระบบไฟฟ้าแสงสว่างทุกบริเวณยกเว้นที่ใช้ในกรณีฉุกเฉิน จะต้องสามารถควบคุมโดยใช้คน หรือโดยอัตโนมัติ หรือโดยการตั้งเวลาได้

2.13.2 การควบคุมระบบไฟฟ้าแสงสว่างให้เป็นไปในลักษณะดังต่อไปนี้

1) จะต้องจัดให้มีสวิตช์ควบคุมอย่างน้อย 1 ตัว สำหรับงานส่องสว่างแต่ละประเภทหรือหลายประเภทรวมกันสำหรับ

- พื้นที่ 30 ตารางเมตร หรือน้อยกว่า หรือภายในแต่ละห้อง
- เมื่อภาระไฟฟ้าแสงสว่างในบริเวณหนึ่งมีค่าถึง 1,000 วัตต์

2) สำหรับอาคารควบคุมพิเศษ ไฟฟ้าแสงสว่างนอกอาคารที่ไม่ได้ใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง จะต้องมีระบบปิด-เปิดอัตโนมัติ โดยวิธีตั้งเวลาหรือโดยอุปกรณ์ที่ควบคุมการทำงานโดยระดับแสงสว่าง

3) ห้องพักแขกในโรงแรมจะต้องมีสวิตช์รวมซึ่งควบคุมการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดในห้อง ซึ่งอาจควบคุมโดยใช้กุญแจประตูก็ได้

4) ในบริเวณที่มีแสงธรรมชาติพอเพียง จะต้องจัดให้มีสวิตช์ปิด-เปิดดวงไฟ หรือแถวของดวงไฟที่อยู่ใกล้และขนานกับแนวหน้าต่างหรือผนังด้านที่มีแสงธรรมชาติ สวิตช์ดังกล่าวอาจควบคุมโดยคน หรืออัตโนมัติ หรืออาจปรับหรี่ได้โดยอัตโนมัติ

2.13.3 ความสะดวกในการเข้าถึงอุปกรณ์ควบคุม

ระบบควบคุมไฟฟ้าแสงสว่างทั้งหมด ควรจัดอยู่ในตำแหน่งที่ผู้ใช้ห้องหรือผู้ใช้สถานที่สามารถเข้าถึงได้ง่าย

สวิตช์ที่ใช้กับบริเวณงานเฉพาะอย่างในกรณีที่เข้าถึงได้ง่าย อาจติดตั้งให้เป็นส่วนหนึ่งของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างสำหรับงานนั้นได้ สวิตช์ที่ใช้ควบคุมภาระไฟฟ้าแสงสว่างตัวเดียวกันจากตำแหน่งมากกว่า 1 แห่ง ไม่อาจถือได้ว่าเข้าข่ายการเพิ่มจำนวนสวิตช์ควบคุม

ข้อยกเว้น :

1. ในการควบคุมไฟฟ้าแสงสว่างสำหรับบริเวณที่ต้องการใช้งานเป็นส่วนรวม ควรที่จะดำเนินการควบคุมให้สอดคล้องกับลักษณะของงาน และตำแหน่งการควบคุม อาจจัดรวมอยู่ในที่เดียวกันในสถานที่ซึ่งไกลจากบริเวณดังกล่าวได้ (บริเวณเหล่านี้นับรวมถึงห้องโถงที่ใช้ร่วมกันในอาคารสำนักงาน โรงแรม โรงพยาบาล ร้านขายปลีก ห้างสรรพสินค้า โรงเก็บสินค้า ห้องเก็บของเฉลียงทางเดินติดต่อ ภายใต้การดูแลจากศูนย์ควบคุมเดียวกัน)

2. อุปกรณ์ควบคุมทั้งชนิดใช้คนและแบบอัตโนมัติ อาจช่วยลดจำนวนตัวควบคุมตามข้อกำหนดลงได้ ดังที่แสดงในตารางที่ 2.13

3. อุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติ

4. อุปกรณ์ควบคุมที่สามารถตั้งการทำงานได้ล่วงหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. อุปกรณ์ควบคุมที่ต้องใช้ผู้ปฏิบัติการที่ผ่านการฝึกฝนมาแล้ว
6. อุปกรณ์ควบคุมสำหรับป้องกันอันตรายและเพื่อความปลอดภัย

ตารางที่ 2.13 การเทียบลดจำนวนจุดควบคุมที่ยอมให้สำหรับอุปกรณ์ควบคุมแต่ละชนิด

ชนิดของอุปกรณ์ควบคุม	ถือว่าเทียบเท่ากับจำนวนแห่งของจุดควบคุม
อุปกรณ์ที่ทำงานโดยการรับสัญญาณจากผู้ใช้สถานที่	2
อุปกรณ์ปิด-เปิดไฟเป็นเวลา สามารถกำหนดการทำงานล่วงหน้าได้ตามตารางการใช้สถานที่	2
อุปกรณ์ควบคุมแบบเป็นขั้นๆ 3 ระดับ (รวมการปิดไฟด้วย) หรืออุปกรณ์การหรี่ไฟที่สามารถตั้งการทำงานล่วงหน้าได้ 3 ระดับ	2
อุปกรณ์ควบคุมแบบเป็นขั้นๆ 4 ระดับ (รวมการปิดไฟด้วย) หรืออุปกรณ์การหรี่ไฟที่สามารถตั้งการทำงานล่วงหน้าได้ 4 ระดับ	3
อุปกรณ์การหรี่ไฟที่ทำงานตลอดเวลา (อัตโนมัติ)	3
สวิตช์ปิด-เปิด ใช้คนควบคุม	1

2.14 การประยุกต์การส่องสว่าง

การส่องสว่างภายในอาคารสำนักงาน บ้านอยู่อาศัย โรงแรม โรงพยาบาล โรงเรียน สามารถประหยัดพลังงานแสงสว่างได้มากเมื่อเทียบกับการส่องสว่างภายในอย่างอื่น การส่องสว่างภายในอาคารมีความสำคัญสองประการ คือ การให้แสงสว่างเพื่อใช้งานได้สะดวกสบาย และ การให้แสงเพื่อให้เกิดความสวยงาม ไม่ว่าจะเป็นการส่องสว่างแบบใดก็ตามก็ต้องคำนึงถึงการประหยัดพลังงานแสงสว่างด้วยสำหรับในยุคปัจจุบันที่พลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นและหายากยิ่ง

เนื้อหาที่กล่าวถึงในบทนี้ มีความประสงค์ให้ศึกษาแสงสว่างเพื่อการใช้งานแต่ละสถานที่ว่าประกอบด้วยแสงสว่างเพื่อการใช้งานแต่ละประเภทอย่างไร เพื่อจะได้นำไปประยุกต์ใช้หรือเลือกใช้เพื่อการประหยัดพลังงานอย่างถูกต้อง เพราะการประหยัดพลังงานแสงสว่างที่ถูกต้อง ต้องไม่ให้เกิดความสูญเสียทางด้านอื่นด้วย เช่น ประหยัดพลังงานแล้วทำให้ธุรกิจสูญเสียรายได้จำนวนมาก หรือประหยัดพลังงานแล้วทำให้เกิดความเสี่ยงสูงในการทำงานที่ทำให้เกิดอันตรายสูง เป็นต้น ดังนั้นเนื้อหาการประยุกต์ใช้งานในบทนี้ เปรียบเสมือนการกล่าวถึงการให้แสงสว่างที่มีทั้งการให้ความส่องสว่างมากพอสำหรับการทำงาน การให้แสงสว่างเพื่อความสวยงามด้วย ดังนั้นผู้ที่จะนำไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประยุกต์ใช้ เพื่อให้เกิดความประหยัดพลังงานก็ต้องพิจารณาเลือกใช้เพื่อให้เข้ากับการงานของตนเอง

การส่องสว่างภายในเพื่อให้ใช้งานได้นั้น หมายถึง ต้องให้ได้ระดับความส่องสว่างอยู่ในเกณฑ์ที่ทำงานได้โดยไม่ต้องทำให้เพ่งสายตามากเกินไป ส่วนการส่องสว่างให้เกิดความสวยงามนั้นก็ต้องอาศัยความมีศิลป์ในตัวเพื่อพิจารณาในแง่การให้แสงแบบเอฟเฟค (Effect Lighting) หรือการให้แสงแบบส่องเน้น (Accent Lighting)

ระบบการให้แสงสว่างนั้นขึ้นอยู่กับการใช้งานของห้อง ผู้อยู่ในห้อง การมองเห็น และสไตล์การตกแต่ง ระบบการให้แสงสว่างโดยพื้นฐานประกอบด้วย ระบบการให้แสงหลัก (Primary Lighting System) และระบบการให้แสงรอง (Secondary Lighting System)

ระบบการให้แสงหลัก ซึ่งหมายถึงแสงสว่างพื้นฐานที่ต้องใช้เพื่อการใช้งานซึ่งแยกออกได้เป็นระบบต่างๆดังนี้

ก) แสงสว่างทั่วไป (General Lighting) คือ การให้แสงกระจายทั่วไปเท่ากันทั้งบริเวณพื้นที่ใช้งาน ซึ่งใช้กับการให้แสงสว่างไม่มากเกินไป แสงสว่างดังกล่าวไม่ได้เน้นเรื่องความสวยงามมากนัก ดังนั้นการประหยัดพลังงานสามารถทำได้ในแสงสว่างทั่วไปนี้

ข) แสงสว่างเฉพาะที่ (Localized Lighting) คือ การให้แสงสว่างเป็นบางบริเวณเฉพาะที่ทำงานเท่านั้น เพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยไม่ต้องให้สม่ำเสมอเหมือนแบบแรก เช่น การให้แสงสว่างจากฝ้าเพดานโดยติดตั้งเฉพาะเหนือโต๊ะ หรือบริเวณใช้งานให้ได้ความส่องสว่างตามต้องการ การให้แสงสว่างลักษณะนี้ประหยัดกว่าแบบ ก) ข้างต้น

ค) แสงสว่างเฉพาะที่และทั่วไป (Local Lighting + General Lighting) คือ การให้แสงสว่างทั้งแบบทั่วไปทั้งบริเวณ และเฉพาะที่ที่ทำงาน ซึ่งมักใช้กับงานที่ต้องการความส่องสว่างสูงซึ่งไม่สามารถให้แสงแบบแสงสว่างทั่วไปได้เพราะเปลืองค่าไฟฟ้ามาก เช่น การให้แสงสว่างจากฝ้าเพดานเพื่อส่องบริเวณทั่วไป และที่โต๊ะทำงานติดโคมตั้งโต๊ะส่องเฉพาะต่างหากเพื่อให้ได้ความส่องสว่างสูงมากตามความต้องการของงาน

ดังนั้นระบบการให้แสงสว่าง คือ การออกแบบระบบแสงสว่างให้มีความสองสว่างเพียงพอตามมาตรฐานเพื่อการใช้งานในแต่ละพื้นที่นั้นๆ

ระบบการให้แสงรอง หมายถึงการให้แสงนอกเหนือจากการให้แสงหลักเพื่อให้เกิดความสวยงามเพื่อความสบายตา ซึ่งแยกออกได้ดังนี้

ก) แสงสว่างแบบส่องเน้น (Accent Lighting) เป็นการให้แสงแบบส่องเน้นที่วัตถุใดวัตถุหนึ่งเพื่อให้เกิดความสนใจ

ข) แสงสว่างแบบเอฟเฟค (Effect Lighting) หมายถึงแสงเพื่อสร้างบรรยากาศที่น่าสนใจแต่ไม่ได้ส่องเน้นวัตถุเพื่อเรียกร้องความสนใจ เช่นโคมที่ติดตั้งที่เพดานเพื่อสร้างรูปแบบของแสงที่กำแพง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค) แสงสว่างตกแต่ง (Decorative Lighting) เป็นแสงที่ได้จากโคมหรือหลอดที่สวยงาม เพื่อสร้างจุดสนใจในการตกแต่งภายใน

ง) แสงสว่างงานสถาปัตย์ (Architectural Lighting) บางทีก็เรียก Structural Lighting ให้แสงสว่างเพื่อให้สัมพันธ์กับงานทางด้านสถาปัตยกรรม เช่น การให้แสงไฟจากหลืบ การให้แสงจากบังตา หรือการให้แสงจากที่ซ่อนหลอด

จ) แสงสว่างตามอารมณ์ (Mood Lighting) แสงสว่างประเภทนี้ไม่ใช่เทคนิคการให้แสงพิเศษแต่อย่างใด แต่อาศัยการใช้สวิตช์หรือตัวหรี่ไฟเพื่อสร้างบรรยากาศของแสงให้ได้ระดับความส่องสว่างตามการใช้งานที่ต้องการ

ดังนั้นระบบการให้แสงสว่างรองคือ การออกแบบให้มีแสงสว่างให้เกิดความสวยงามหรือเน้นเพื่อให้เกิดความสนใจ สบายตา และอารมณ์

ระบบการให้แสงสว่างหลัก หมายถึงการให้แสงสว่างให้เพียงพอเพื่อการใช้งาน เช่นห้องทำงานต้องให้ความสว่างที่โต๊ะทำงานให้มีความส่องสว่างอย่างน้อยไม่น้อยกว่า 500 ลักซ์ เป็นต้น เมื่อได้ความส่องสว่างที่โต๊ะทำงานแล้วบริเวณที่เหลือ เช่นการส่องสว่างที่ผ้าม่านเพื่อให้เกิดวงแสงหรือรูปแบบของแสง

การส่องสว่างภายในบ้านอยู่อาศัย อพาร์ตเมนต์ และโรงแรม ไม่จำเป็นต้องให้มีแสงสว่างสม่ำเสมอ การให้แสงสว่างต้องระวังในเรื่องของความสวยงามประกอบด้วย เพราะบางครั้งการเน้นในเรื่องของการประหยัดพลังงานอาจทำให้เกิดการสูญเสียในเรื่องของความสวยงามด้วย

หลอดคอมแพคท์ฟลูออเรสเซนต์ ถือว่าเป็นหลอดประหยัดพลังงานแสงสว่างแทนหลอดอินแคนเดสเซนต์ หรือฮาโลเจนได้ แต่อาจต้องระวังคือ หลอดคอมแพคท์ไม่สามารถทำเป็นไฟส่องเน้นได้ดีเหมือนหลอดอินแคนเดสเซนต์ เพราะแหล่งกำเนิดแสงมีขนาดใหญ่

กรณีที่เป็นทางเดินหรือใช้ภายนอกซึ่งต้องมีการเปิด ไฟแสงสว่างทิ้งไว้ทั้งคืนก็ควรใช้หลอดคอมแพคท์ฟลูออเรสเซนต์หรือฟลูออเรสเซนต์ เพราะอายุการใช้งานนานกว่าหลอดมีไส้ถึง4-8 เท่า

ความส่องสว่างโดยทั่วไปที่ใช้ในบ้านอยู่อาศัย อพาร์ตเมนต์ และ โรงแรมใช้ประมาณ 100-200 ลักซ์สำหรับพื้นที่ทั่วๆไป

ความส่องสว่างพื้นที่ต่างๆในบ้านอยู่อาศัยและ พื้นที่ข้างเคียงกำหนดไว้เพื่อใช้เป็นแนวทางในการให้แสงสว่างดังแสดงในตารางที่ 2.14 และ ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างในพื้นที่ทำงาน และ พื้นที่ข้างเคียงได้กำหนดไว้ในตารางที่ 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.14 ความส่องสว่างในพื้นที่ใช้งานต่างๆในบ้านอยู่อาศัย

พื้นที่ต่างๆ	ความส่องสว่างที่พื้นที่(ลักซ์)	ความส่องสว่างรอบข้าง(ลักซ์)
ทางเข้า	150/500	60/100
ห้องครัว	500/750	250/350
ห้องรับประทานอาหาร	300	100
ห้องนั่งเล่น	60/300	60
ห้องทำงาน	300	150
ห้องน้ำ	500	200
ห้องรับแขก	250	100
ห้องเปลี่ยนเสื้อผ้า	500	200
ห้องนอนใหญ่	300/500	100/150
ห้องนอนเล็ก	300	150
ทางเดิน	150	50
บันได	200	60
ถนนทางเข้าบ้าน	300	100

ตารางที่ 2.15 ความสมดุลระหว่างความส่องสว่างของพื้นที่ใช้งานและข้างเคียง

รายการ	ค่าที่ต้องการ	ค่าต่ำสุด
พื้นที่ติดกับพื้นที่ใช้ทำงาน	1/3 ของพื้นที่ใช้งาน	1/5 ของพื้นที่ใช้งาน
พื้นที่รอบข้าง	1/5 ของพื้นที่ใช้งาน	1/10 ของพื้นที่ใช้งาน

เทคนิคการให้แสงสว่างในบ้าน อพาร์ตเมนท์ โรงแรมในพื้นที่ต่างๆ เพื่อการประหยัดพลังงานสามารถสรุปได้ดังนี้

ก) การใช้โคมไฟส่องลง

ข) การให้แสงสว่างจากไฟหลืบ

ค) การให้แสงสว่างในห้องน้ำ

ง) การให้แสงสว่างในห้องครัว

จ) การให้แสงในห้องนอน

ฉ) การให้แสงสว่างทางเดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก) การใช้โคมไฟส่องลง สำหรับความสูงฝ้า 2.5 เมตร ถ้าเป็นงานที่ต้องการแสงสีที่ไม่เพี้ยนก็ใช้อินแคนเดสเซนต์ใช้ประมาณ 10 วัตต์/ตารางเมตร/100 ลักซ์ แต่ถ้าเป็นงานที่ต้องการประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยเฉพาะโคมไฟที่ต้องเปิดทิ้งไว้นาน ใช้โคมไฟส่องลงหลอดคอมแพคท์ใช้ไฟฟ้าประมาณ 3 วัตต์/ตารางเมตร/100 ลักซ์

ถ้าต้องการติดตั้งโคมไฟส่องลงหลอดคอมแพคท์ฟลูออเรสเซนต์ ต้องระวังเรื่องความใหญ่ของโคมด้วย ตัวอย่างเช่น หลอดคอมแพคท์ที่ให้แสงปริมาณเดียวกับหลอดอินแคนเดสเซนต์ 100 วัตต์ GLS คือ หลอด 18 วัตต์ ซึ่งโคมสำหรับหลอดคอมแพคท์ 18 วัตต์ มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อใช้หลอดมีไส้มาก ดังนั้นอาจต้องลดขนาดวัตต์ลงมาเพื่อไม่ให้โคมดูใหญ่ และอาจได้วัตต์ที่เหมาะสมกับขนาดของโคมที่ต้องการคือ 10, 13, 2 x 7, 2 x 9 เป็นต้น แต่ทั้งนี้ควรเช็คขนาดของเสียก่อน

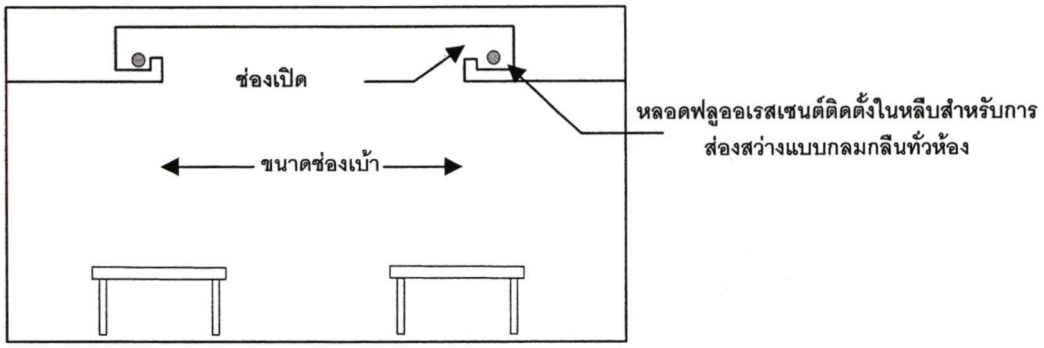
สำหรับการเลือกขนาดวัตต์ของโคมเพื่อการใช้งานอาจใช้หลักการง่ายๆ สำหรับพื้นที่ไม่สำคัญ เช่น ทางเดิน โดยใช้ 3 วัตต์/ตารางเมตร/100ลักซ์ สำหรับความสูงฝ้า 2.5 เมตร เช่น ทางเดินขนาด 2 x 12 เมตรถ้าเลือกหลอดขนาด 10 วัตต์ และต้องการความส่องสว่างที่ประมาณ 50 ลักซ์ ก็ใช้วัตต์โดยประมาณ 2 x 12 x 1.5 = 36 วัตต์ ดังนั้นใช้โคมไฟส่องลงหลอดคอมแพคท์ 10 วัตต์ 4 โคม เป็นต้น

การเลือกโคมไฟส่องลงหลอดคอมแพคท์นั้นมีทั้งชนิดหลอดติดตั้งในแนวนอน และหลอดติดตั้งในแนวตั้ง โคมที่มีหลอดติดตั้งในแนวนอนมักไม่ค่อยมีปัญหาเรื่องแสงบาดตา แต่มักมีปัญหาเรื่องขนาดของโคมจะใหญ่ แต่ถ้าเป็นโคมที่หลอดติดตั้งในแนวตั้ง ขนาดของโคมไม่ใหญ่มากนัก แต่มักมีปัญหาเรื่องแสงบาดตาที่ต้องพิถีพิถันในการเลือกโคมพอสมควร

ความสูงฝ้าที่ใช้ในการคำนวณที่ผ่านมาอยู่ประมาณ 2.4 - 2.7 เมตร เท่านั้น ถ้าใช้ความสูงฝ้ามากกว่านี้ก็ต้องมาคำนวณ หรืออาจใช้ตารางสำเร็จรูปที่กำหนดโดยผู้ผลิต เช่น ห่างจากโคมระยะเท่าใดได้ความส่องสว่างเท่าใด ความส่องสว่างเพื่อการใช้งานนั้นเป็นค่าที่กำหนดเพื่อให้เหมาะกับการใช้งานโดยประมาณเท่านั้น เช่นต้องการ 100 ลักซ์ตามมาตรฐานแต่ในทางปฏิบัติอาจได้ 80 หรือ 120 ลักซ์ก็ถือว่ายังใช้ได้ ยกเว้นพื้นที่ที่ต้องการความส่องสว่างสูงที่ต้องระวังต้องไม่ให้น้อยเกินไปเพราะความส่องสว่างไม่พอใช้งาน หรือความส่องสว่างมากเกินไปก็ทำให้เกิดความสิ้นเปลือง

ข) การให้แสงสว่างจากไฟหลืบ เป็นการให้แสงที่ต้องการแสงนิ่มนวล แต่การให้แสงแบบนี้ไม่ประหยัดพลังงานเพราะแสงที่เล็ดลอดออกมาค่อนข้างน้อย หลืบควรมีช่องเปิดที่ไม่เล็กเกินไป ถ้าต้องการประหยัดพลังงานไม่ควรใช้การให้แสงแบบนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 การให้แสงสว่างจากหลืบ

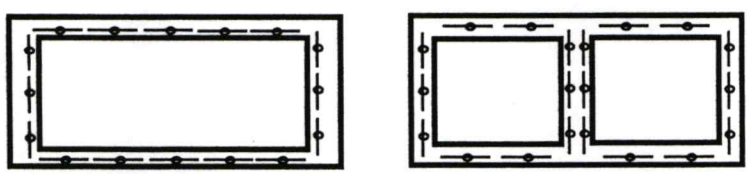
ช่องเปิดต้องให้มีขนาดสัมพันธ์กับขนาดเบ้าเพื่อเพดานที่เบ้าสว่างทั้งหมดแทนที่จะเป็นที่ขอบเบ้าเท่านั้น ช่องเปิดโดยทั่วไปควรมีขนาดอย่างน้อย 1/10 ของขนาดเบ้า

เนื่องจากการให้แสงสว่างจากไฟหลืบไม่ได้เน้นการให้แสงที่มีความส่องสว่างสูง แต่ต้องการให้แสงที่นุ่มนวล การคำนวณแสงสว่างจากไฟหลืบเป็นเรื่องที่ไม่ง่าย ทั้งนี้เพราะขึ้นอยู่กับหลายองค์ประกอบ โดยทั่วไปความส่องสว่างจากไฟหลืบมากที่สุดมีค่าอยู่ประมาณ 100-200 ลักซ์

การหาจำนวนหลอดไฟเพื่อให้มีความส่องสว่างประมาณขนาดนี้สำหรับห้องที่มีความสูง 2.5 - 3 เมตร สามารถคำนวณได้โดยวิธีวัตต์ต่อตารางเมตรได้ดังนี้

กรณีที่หลืบมีช่องเปิดไฟกว้างกว่า 1 ใน 10 ของขนาดเบ้า ก็ใช้เท่ากับ 8 วัตต์ต่อตารางเมตร ถ้าหลืบมีช่องเปิดแคบกว่า 1/10 ของขนาดเบ้าก็ใช้ 12 วัตต์ต่อตารางเมตร บางครั้งคำนวณแล้วปรากฏว่าต้องใส่หลอดจำนวนมากและเกินกว่าที่จะมีใส่ไว้ในช่องหลืบทั้งหมดได้ ก็แสดงว่าหลืบมีจำนวนหลุมน้อยไป อาจต้องปรึกษากับสถาปนิก หรือมัณฑนากรเพื่อร่วมกันแก้ไขเพื่อให้ได้จำนวนหลอดตามที่ต้องการหรือแก้ไขอย่างอื่น การแก้ไขเพื่อให้ใส่จำนวนหลอดได้มากขึ้นโดยการเปลี่ยนเบ้าให้มากขึ้นได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.18

การให้แสงสว่างจากไฟหลืบดังกล่าวข้างต้นนี้ เพดานของหลืบต้องมีสีขาวหรือสีอ่อนมาก แสงในหลืบจึงสามารถสะท้อนแสงออกมาให้ความสว่างกับห้องได้ ถ้าเพดานหลืบเป็นสีทึบ เช่น สีน้ำเงิน หรือสีโทนมืด แสงสว่างจากไฟหลืบก็ต้องคิดเป็นแสงสว่างเพื่อการตกแต่งเท่านั้น ดังนั้นแสงสว่างสำหรับพื้นที่ในห้องก็ต้องมาจากแหล่งจ่ายแสงอื่นแทนที่จะมาจากหลืบ



หลอดทั้งหมด 16 หลอด หลอดทั้งหมด 20 หลอด

รูปที่ 2.18 การแก้ไขจากไฟหลืบหนึ่งเบ้ามาเป็นแบบสองเบ้าเพื่อให้แสงมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

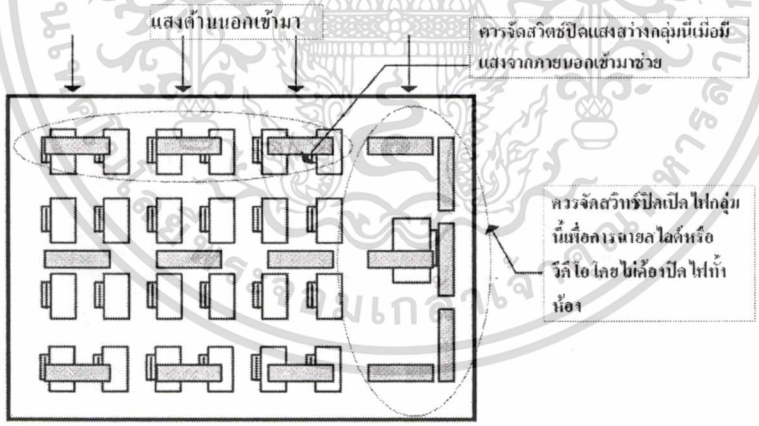
2.15 การส่องสว่างโรงเรียน

การส่องสว่างภายในโรงเรียนต่างจากการให้แสงสว่างในสำนักงานตรงที่ว่า การใช้สายตาในโรงเรียนมีทั้งการมองที่โต๊ะเรียนและการมองในแนวระดับเพื่อดูกระดานหรือผู้สอน ดังนั้นการให้แสงสว่างภายในโรงเรียนจึงต้องระวังเรื่องแสงบาดตามากกว่าการให้แสงสว่างในสำนักงาน

โคมไฟที่ใช้ในโรงเรียนโดยทั่วไปเป็นโคมฟลูออเรสเซนต์ตะแกรงคือ มีตะแกรงเพื่อไม่ให้เกิดแสงบาดตาเมื่อต้องใช้สายตาในแนวระดับมาก โคมมีตะแกรงหรือเซลล์ประมาณ 11 - 14 เซลล์ต่อหลอดเพื่อลดแสงบาดตา และใช้แขวนจากเพดานในกรณีที่เพดานสูงโดยมีแสงออกทางด้านบนของโคมด้วยทั้งนี้เพื่อทำให้เพดานสว่างดูไม่อึดอัด โคมไฟฟลูออเรสเซนต์ควรติดตั้งแนวยาวของโคมตามทิศทางการมอง เพื่อไม่ให้เกิดเงาระหว่างโคมที่โต๊ะเรียน โคมที่ใช้ตัวสะท้อนแสงอาจใช้อะลูมิเนียมที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ดีเพื่อการประหยัดพลังงาน

2.15.1 ห้องบรรยาย

ห้องบรรยายควรมีแสงสว่างให้เพียงพอทั่วทั้งห้อง เพื่อการใช้สายตาของผู้ที่ฟังการบรรยายความส่องสว่างในห้องบรรยายประมาณ 500 ลักซ์ และให้แสงสว่างที่หน้ากระดานมากพอสมควรเพื่อให้การมองเห็นได้ชัดจากผู้ฟัง ความส่องสว่างที่หน้ากระดานประมาณ 700 ลักซ์และแสงสว่างที่กระดานต้องไม่ให้เกิดแสงบาดตากับผู้ฟังการบรรยาย



รูปที่ 2.19 การให้แสงสว่างในห้องบรรยาย

นอกจากความส่องสว่างดังกล่าว การปิดเปิดสวิตช์ไฟค่อนข้างสำคัญสำหรับงานให้แสงสว่างในโรงเรียนเพราะการใช้งานในห้องเรียนมีหลายรูปแบบ และมักใช้งานในเวลากลางวันคือมีทั้งการบรรยาย การฉายสไลด์ เป็นต้น ดังนั้นควรมีสวิตช์แยกปิดเปิดไฟด้านหน้าห้องเรียนโดยเฉพาะเมื่อต้องการฉายสไลด์ และมีสวิตช์ไฟเพื่อปิดโคมที่อยู่ใกล้หน้าต่างเพื่อประหยัดพลังงานเพราะมีแสงจากภายนอกมาช่วยเมื่อตอนกลางวัน และเปิดสวิตช์เฉพาะบริเวณด้านในที่ไม่อยู่ใกล้หน้าต่างเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้า

เอกสารนี้ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.15.2 ห้องปฏิบัติการ

ห้องปฏิบัติการ การให้แสงในห้องปฏิบัติการควรให้แสงสว่างสม่ำเสมอทั้งห้อง ความส่องสว่างในห้องปฏิบัติการประมาณ 500 ลักซ์ สำหรับบริเวณที่ต้องการแสงสว่างมากเพราะชิ้นส่วนมีขนาดเล็กต้องมีการให้แสงเพิ่มมากขึ้น การให้แสงมากขึ้นกว่า 500 ลักซ์ควรเป็นการให้แสงที่มาจากโคมที่ติดตั้งตามโต๊ะปฏิบัติการ ในกรณีที่ต้องการความส่องสว่างมาก เพื่อใช้ในการเรียนการสอนที่ต้องใช้สายตามาก เพื่อการมองเห็นวัตถุขนาดเล็กก็ควรติดตั้งโคมไฟใกล้ๆกับชิ้นงาน เพื่อไม่ให้เกิดความสิ้นเปลืองมากเกินไป นอกจากนี้การวางโคมก็ใช้หลักการเหมือนในห้องเรียน คือวางโคมขนานกับหน้าต่างเพื่อสามารถแบ่งการปิดเปิดสวิตช์ได้เพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าเพราะบริเวณที่อยู่ใกล้หน้าต่างอาจไม่จำเป็นต้องเปิดไฟในเวลากลางวัน ยกเว้นวันที่ฟ้ามืดครึ้มหรือมีการเรียนการสอนในเวลากลางคืน

2.15.3 ห้องประชุมใหญ่

การให้แสงในห้องประชุมใหญ่ของโรงเรียนมีด้วยการหลายวัตถุประสงค์ นอกจากใช้ในการประชุมแล้วก็ยังอาจใช้ห้องประชุมสำหรับการแสดงที่ต้องมีการให้แสงหน้าเวทีด้วย ความส่องสว่างโดยทั่วไปในห้องประชุมประมาณ 200 ลักซ์ ส่วนความส่องสว่างที่หน้าเวทีก็เหมือนกับการให้แสงสว่างเพื่อใช้ในการแสดงทั่วไปที่อาจใช้ความส่องสว่างขนาด 1000 - 2000 ลักซ์ แต่ทั้งนี้ก็ต้องระวังเรื่องแสงบาดตาที่อาจเกิดแก่เด็กด้วย นอกจากนี้ควรมีระบบการหรี่ไฟด้วยเพื่อให้มีระดับการส่องสว่างได้หลายระดับ

ห้องประชุมใหญ่ดังกล่าวถ้าใช้เพื่อการบรรยายและการเรียนด้วย ความส่องสว่างก็ต้องมากถึง 500 ลักซ์โดยใช้โคมฟลูออเรสเซนต์ ส่วนโคมไฟส่องลงหลอดอินแคนเดสเซนต์ก็ควรมีเพื่อการหรี่ไฟด้วยเมื่อต้องการฉายสไลด์หรือวีดีโอ

2.15.4 ห้องสมุด

การให้แสงห้องสมุดมีที่ต้องการแสงสว่างเพื่อการมอง อ่าน หรือเขียนประมาณ 3 ที่ คือ ที่หิ้งหนังสือ โต๊ะอ่านหนังสือ และบริเวณตู้ค้นดัชนีหนังสือ ความส่องสว่างในห้องสมุดประมาณ 300 ลักซ์ และตำแหน่งของดวงโคมต้องให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมด้วย เช่น หิ้งวางหนังสือต้องวางดวงโคมให้แสงส่องให้เห็นตัวหนังสือที่ชั้นวางหนังสือทุกชั้น ดังนั้นการติดตั้งโคมควรให้อยู่ระหว่างชั้นหนังสือ ส่วนบริเวณโต๊ะอ่านหนังสือก็ต้องติดตั้งโคมให้มีความส่องสว่างมากพอประมาณ 300 ลักซ์

บางครั้งบริเวณห้องสมุดบางพื้นที่ อาจมีการติดตั้งคอมพิวเตอร์เป็นบริเวณใหญ่เพื่อการค้นข้อมูลหรือการติดต่ออินเตอร์เนตหรือการค้นหาดัชนีหนังสือผ่านคอมพิวเตอร์ ก็ต้องพิถีพิถันในเรื่องโคมที่เลือกใช้ด้วยเพื่อไม่ให้มีแสงสะท้อนตัวโคมไปปรากฏที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ โคมที่จะใช้ในกรณีนี้ก็เหมือนโคมที่ติดตั้งในสำนักงานที่มีการใช้คอมพิวเตอร์กันมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่มีการพิถีพิถันมากในเรื่องของแสงในห้องสมุดก็ต้องพิจารณา ในเรื่องของการกระพริบของแสงเนื่องจากความถี่หรือที่เรียกว่า สโตรโบสโคปิกเอฟเฟค (Stroboscopic Effect) ก็อาจแก้ไขในเรื่องการจ่ายไฟสามเฟสเข้าโคมเดียวที่มีสามหลอดโดยจ่ายหลอดละหนึ่งเฟส แต่แบบนี้ค่อนข้างยุ่งยาก ปัญหาดังกล่าวอาจทำให้ลดลงได้ด้วยการใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งให้ผลทางด้านสโตรโบสโคปิกเอฟเฟคน้อยกว่าการใช้บัลลาสต์แกนเหล็กธรรมดา เพราะบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ให้ความถี่สูงประมาณ 23-30 kHz เข้าหลอดทำให้ปัญหาดังกล่าวไม่เกิดกับการใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

2.15.5 อาคารเอนกประสงค์

อาคารเอนกประสงค์ หมายถึงอาคารที่สามารถใช้งานได้หลายอย่างซึ่งมักมีในเกือบทุกโรงเรียน การใช้งานของอาคารเอนกประสงค์มีตั้งแต่ การจัดงานเลี้ยง การเล่นกีฬา การประชุม ดังนั้นการให้แสงสว่างในอาคารดังกล่าวจึงต้องสามารถรองรับการใช้งานแบบต่างๆ ได้ซึ่งอาจต้องประกอบด้วยระบบไฟฟ้าแสงสว่างตัวอย่างดังต่อไปนี้

แสงสว่างทั่วไปทั้งจากไฟฟ้าธรรมดาหรือไฟฟ้าสำรอง
แสงสว่างหรี่ได้เพื่อการฉายวีดีโอ สไลด์
แสงสว่างฉุกเฉิน
แสงสว่างหน้าเวทีสำหรับการบรรยาย
แสงสว่างหน้าเวทีสำหรับการจัดงานเลี้ยง
แสงสว่างสำหรับการเล่นกีฬา

อาคารเอนกประสงค์โดยทั่วไปมีเพดานสูง ดังนั้นจึงควรใช้โคมที่ใส่หลอดดีสชาร์จประเภทปรอทความดันสูง หรือเมทัลฮาไลด์ เพื่อเป็นการให้แสงทั่วไป นอกจากนี้ควรมีโคมหลอดฮาโลเจนเพื่อสามารถหรี่แสงได้ตามต้องการเมื่อต้องการใช้งานบางอย่าง เช่นการฉายวีดีโอ หรือสไลด์ นอกจากนั้นเมื่อไฟจากการไฟฟ้าดับและมีไฟจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาจ่ายให้ หรือเมื่อไฟจากการไฟฟ้ากลับมา หลอดฮาโลเจนจะสว่างเพื่อให้มองเห็นก่อนเพราะหลอดดีสชาร์จยังไม่สามารถติดได้ ซึ่งต้องใช้เวลาหลายนาที นอกจากนี้ควรมีไฟแสงสว่างฉุกเฉินที่จ่ายไฟมาจากแบตเตอรี่เพื่อให้สามารถมองเห็นได้เมื่อไฟฟ้าดับ เพราะอาคารดังกล่าวมีคนเป็นจำนวนมาก ดังนั้นไม่ควรให้มีไฟดับสนิทเป็นเวลานานสำหรับอาคารดังกล่าว

ไฟฟ้าแสงสว่างที่เวทีควรประกอบด้วยโคมไฟฟ้า เพื่อการส่องสว่างที่เวทีเพื่อการบรรยายสัมมนา และกลุ่มโคมไฟแสงสว่างสำหรับการจัดงานเลี้ยงซึ่งอาจเตรียมในรูปของรางไฟแสงสว่าง (Light Track) การจัดเตรียมไฟแสงสว่างที่เวทีอาจต้องเตรียมไว้หลายวงจรเพื่อสามารถควบคุมการปิดเปิดไฟบางกลุ่มในระหว่างการแสดงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16 หลอดไฟฟ้า

หลอดไฟฟ้ามีด้วยกันหลายแบบดังที่ได้กล่าวมาแต่ต้น หลอดที่เหมาะที่จะใช้ในศูนย์การค้าควรพิจารณาถึงเรื่องแสงสี การใช้งานและอายุการใช้งานด้วย หลอดอินแคนเดสเซนต์ GLS และทังสเตนฮาโลเจนไม่เหมาะที่จะใช้เนื่องจากอายุการใช้งานค่อนข้างสั้นมาก ส่วนหลอดฮาโลเจนแรงดันต่ำเหมาะที่จะใช้สำหรับการส่องสว่างสินค้าให้เด่นในจุดที่ต้องการเน้น ถึงแม้หลอดประเภทนี้จะอยู่ในตระกูลอินแคนเดสเซนต์แต่การพัฒนาของหลอดในปัจจุบันทำให้อายุการใช้งานของหลอดยาวได้ถึง 3000 ชั่วโมง

หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีขายทั่วไปในตลาด ได้แก่ หลอดคูลไวท์ วอร์มไวท์ และเดย์ไลท์ อาจไม่เหมาะที่จะใช้เนื่องจากค่า CRI ค่อนข้างต่ำ ควรหาหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ให้แสงสีออกมาครบและมีค่า CRI สูงซึ่งสามารถหาได้แต่ต้องแจ้งผู้ขายหลอดเพราะเป็นหลอดที่ไม่ได้มีขายทั่วไป แต่เนื่องจากหลอดที่มี CRI สูงมีราคาแพงด้วย ดังนั้นการใช้หลอดคูลไวท์ วอร์มไวท์ หรือเดย์ไลท์ก็ยังมีใช้กันทั่วไปในห้างสรรพสินค้า และหาซื้อได้ง่ายด้วย การพัฒนาและการเลือกใช้หลอดในอนาคตถ้าหากพิถีพิถันมากขึ้นและราคาหลอดที่มี CRI สูงถ้าไม่สูงเกินไปก็เป็นสิ่งที่น่าสนใจมากขึ้น

หลอดดีสชาร์จอย่างอื่นตั้งแต่ หลอดโซเดียมความดันสูงทั่วไปไม่ค่อยมีใช้เนื่องจากค่า CRI ค่อนข้างต่ำยกเว้นหลอดโซเดียมความดันสูงที่ได้รับการพัฒนาให้มี CRI สูง ส่วนหลอดปรอทความดันสูงไม่เหมาะกับร้านค้าขนาดเล็กทั่วไปเพราะมักให้แสงมากและ CRI ค่อนข้างต่ำด้วย ส่วนหลอดเมทัลฮาไลด์มีค่า CRI สูงกว่าหลอดดีสชาร์จอย่างอื่นแต่ไฟแสงสว่างมักมีความเข้มสูงยกเว้นจะใช้หลอดที่มีขนาดวัตต์ต่ำในขนาด 50 70 หรือ 150 วัตต์

2.16.1 หลอดตะเกียบ

หลอดตะเกียบหรือที่เราเรียกว่า Compact Fluorescent (CFL) เป็นหลอดก๊าซดีสชาร์จความดันต่ำเหมือนกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั่วไป ที่มีแสงสว่างเกิดจากการยิงอิเล็กตรอนผ่านก๊าซและไอปรอททำให้เกิดรังสีตกกระทบบนสารเรืองแสงที่เคลือบอยู่บนผิวหน้าด้านในของหลอด จึงทำให้เกิดการเรืองแสงเป็นแสงสว่างที่นำมาใช้งานได้ โดยมีการใช้ไฟฟ้าต่ำกว่าหลอดไส้ ประมาณ 70-80 % ในขณะที่มีปริมาณแสงสว่างออกมาจากตัวหลอดเท่ากัน นี้คือสาเหตุที่เราต้องใช้หลอดตะเกียบเพราะประหยัดไฟกว่ากันมาก

ก) ควรเลือกใช้แสงสว่างแบบใดจึงจะเหมาะสมกับลักษณะที่อยู่อาศัย หลอดตะเกียบมีแสงให้เลือก 3 สี คือ

1. Day Light มีแสงที่เหมาะสำหรับพื้นที่มีอุณหภูมิสูงต้องการแสงสว่างสีขาวให้ความรู้สึกเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Cool White มีแสงสีขาวนวล เหมาะสำหรับงานเอกสาร แต่ส่วนใหญ่จะนิยมใช้ในพื้นที่สำนักงาน
3. Warm White มีแสงสีค่อนข้างเหลืองใกล้เคียงกับหลอดไส้ เหมาะสำหรับพื้นที่พักผ่อนที่มีอุณหภูมิเย็นชอบแบบไหนก็พิจารณาใช้ตามความเหมาะสม

ข) อยากทราบถึงชนิดของหลอด CFL ที่มีชนิดของบัลลสต์ภายนอกและบัลลาสต์ภายใน ว่าต่างกันอย่างไร และควรเลือกแบบไหนจึงจะปลอดภัยที่สุด

หลอด CFL ชนิดบัลลาสต์ภายนอก โดยมากมักใช้บัลลาสต์แกนเหล็กที่มีขนาดเหมาะสมกับหลอด สามารถเปลี่ยนหลอดได้เมื่อหมดอายุการใช้งาน แต่มีขั้วหลอดแตกต่างจากขั้วของหลอดไส้เดิม หากต้องการใช้หลอดชนิดนี้จำเป็นต้องเปลี่ยนขั้วหลอดในโคมไฟฟ้าให้ เหมาะสมกับหลอดที่ต้องการใช้ สำหรับหลอด CFL ชนิดบัลลาสต์ภายในตัวหลอดมีขั้วหลอด เป็นเกลียวชนิด E27 เป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ซึ่งสามารถใช้เข้าทดแทนหลอดไส้ในโคมไฟฟ้าเดิมได้โดยสะดวก ส่วนอายุการใช้งานของหลอด CFL จะอยู่ที่ประมาณ 8,000- 12,000 ชั่วโมง ปัจจุบันมีราคา คุณภาพ และอายุการใช้งานให้เลือกได้หลายชนิด เวลาไปเลือกซื้อความมั่นใจในประสิทธิภาพและอายุการใช้งานควรตรวจสอบว่ามีฉลากเบอร์ 5 จะสามารถช่วยให้ประหยัดพลังงาน ส่วนเรื่องของความปลอดภัยหมอไฟฟ้าขอแนะนำให้เลือกใช้หลอด CFL ที่มีโครงสร้างและวัสดุที่สามารถป้องกันการเกิดอัคคีภัยได้ และสามารถให้ความปลอดภัยในการใช้งานที่แรงดันไฟฟ้าถูกต้อง เวลาเลือกซื้อควรดูเครื่องหมายรับรองความปลอดภัย คือเครื่องหมาย S แต่หากเลือกใช้หลอดที่ไม่มีเครื่องหมาย S ก็ควรตรวจดูว่าเป็นวัสดุที่ไม่ลามไฟ และควรติดตั้งในพื้นที่ห่างจากเชื้อเพลิง

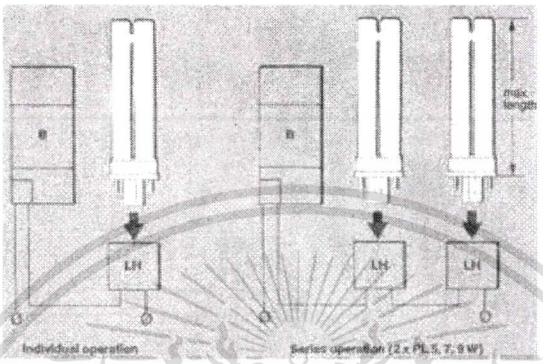
ค) ที่บ้านกำลังจะเปลี่ยนมาใช้หลอดตะเกียบประหยัดไฟหรือที่เรียกว่า CFL อยากทราบว่าการติดตั้งหลอด CFL แทนหลอดไส้ มีข้อห้ามหรือข้อควรพิจารณาปัจจัยใดบ้าง

การติดตั้งหลอด CFL ควรพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานดังนี้

1. แสงสว่าง เมื่อนำหลอด CFL ประกอบลงในโคมไฟฟ้าเดิมที่ใช้หลอดไส้ อาจให้แสงสว่างแตกต่างจากเดิม จึงควรพิจารณาปัจจัยด้านแสงสว่างด้วย ทิศทางการกระจายของแสงพอเพียงหรือไม่ แสงต้องไม่บาดตา
2. การระบายความร้อนของโคม โดยทั่วไปหลอด CFL จะมีขนาดใหญ่กว่าหลอดไส้ โดยเฉพาะบริเวณใกล้กับขั้วหลอดเมื่อนำไปติดตั้งในโคมชนิดส่งลงอาจปิดกั้นการระบายอากาศบริเวณตัวหลอด ทำให้เกิดอุณหภูมิสูงกว่าภาวะที่เหมาะแก่การใช้งาน เป็นผลให้มีอายุการใช้งานสั้นลงและได้รับแสงสว่างออกมาได้ไม่เต็มที่ โดยทั่วไปหลอด CFL ไม่สามารถใช้ในโคมไฟฟ้าชนิดปิดที่มีการระบายอากาศไม่เพียงพอ นอกจากนี้ในโคมไฟส่องลงชนิดที่ติดตั้งหลอด CFL ในแนวนอนต้องมีระยะห่างระหว่างหลอด และแผ่นสะท้อนแสงที่พอเหมาะ หลอด CFL จึงสามารถใช้งานได้เต็มประสิทธิภาพ

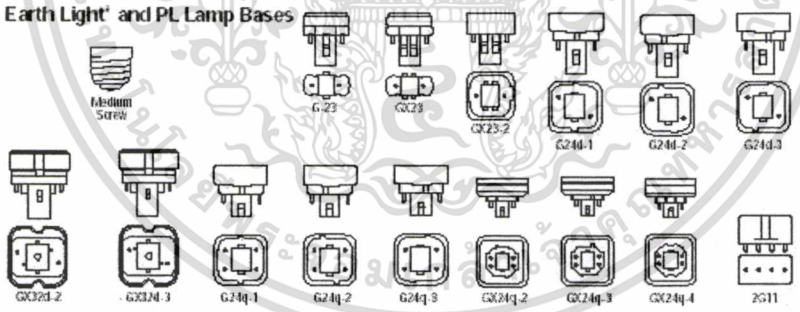
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานต้องต่อร่วมกับบัลลาสต์ดังรูป โดยใช้กับบัลลาสต์สำหรับหลอดประเภทนี้โดยเฉพาะ รูปร่างของบัลลาสต์โดยทั่วไป จะเหมือนกับบัลลาสต์แบบ Preheat แต่มีขนาดเล็กกว่า อาจใช้บัลลาสต์ 1 ตัวกับหลอด 1 หลอด หรือใช้บัลลาสต์ 1 ตัวกับหลอด 2 หลอดที่ต่ออนุกรมกันดังรูป ทั้งนี้สามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมที่ระบุมากับบัลลาสต์นั้นๆ



รูปที่ 2.21 การต่อหลอด CFL กับบัลลาสต์

หมายเหตุ LH = Lamp Holder (ขั้วหลอด) ขั้วหลอดคอมแพกต์ฟลูออเรสเซนต์ สำหรับหลอดแบบใช้บัลลาสต์ภายนอก ซึ่งแตกต่างกันออกไปในแต่ละรุ่นและยี่ห้อ



รูปที่ 2.22 บัลลาสต์

2.16.2 ข้อควรรู้เกี่ยวกับการใช้หลอดที่มีบัลลาสต์แยกกับหลอด

1. บัลลาสต์ที่ใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบตรง ไม่ควรนำมาใช้กับหลอดคอมแพกต์ฟลูออเรสเซนต์ เพราะจะทำให้อายุการใช้งานสั้นลง

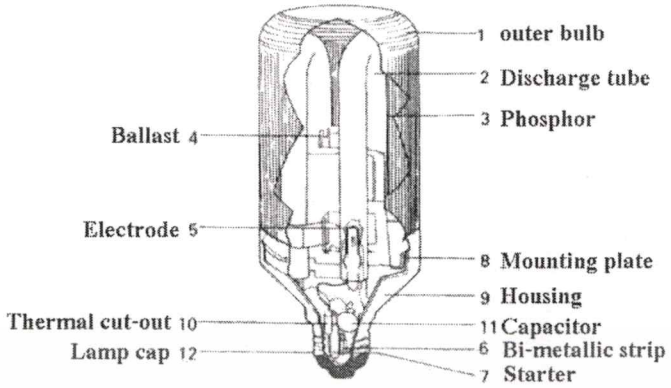
2. บัลลาสต์ที่ใช้กับหลอดแต่ละขนาดต้องเป็นไปตามคำแนะนำของผู้ผลิต มิฉะนั้นจะทำให้หลอดอายุสั้น

3. เมื่อบัลลาสต์เสีย สามารถเปลี่ยนเฉพาะบัลลาสต์ได้

4. ราคาถูกกว่าแบบมีบัลลาสต์ในตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบมีบัลลาสต์ในตัว มีโครงสร้างภายในดังรูป ประกอบด้วย



รูปที่ 2.23 ส่วนประกอบของหลอด

มีให้เลือกทั้งแบบหลอดแก้วใส (Prismatic) และขาวขุ่น (Opal) รูปร่างอาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับรุ่นและยี่ห้อที่ใช้ ทั้งนี้สามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมได้จาก Catalog ของแต่ละบริษัท

รูปที่ 2.24 รูปแบบหลอด

2.16.3 ข้อควรรู้เกี่ยวกับการใช้หลอดที่มีบัลลาสต์ในตัว

1. ราคาแพง และถ้ามีชิ้นส่วนเสียต้องทิ้งทั้งหลอด
2. มีทั้งใช้บัลลาสต์แบบแกนเหล็กและอิเล็กทรอนิกส์ ถ้าแบบแกนเหล็กจะมีน้ำหนักมาก และราคาถูก
3. แบบใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำ ราคาแพง
4. แบบใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ มีฮาร์มอนิกมาก

2.16.4 การนำหลอดคอมแพกต์ฟลูออเรสเซนต์ไปใช้งาน

การใช้งานหลอดคอมแพกต์ฟลูออเรสเซนต์จะมีลักษณะการวางหลอด 2 แบบ คือการวางหลอดในแนวตั้งและการวางหลอดในแนวนอน การวางหลอดในแนวตั้งนั้นเมื่อเปิดใช้งานปริมาณแสงจากหลอด จะลดลงอยู่ในช่วง 5-10 เปอร์เซนต์ เพราะอากาศร้อน จะถูกพัดขึ้นไปด้านบน และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกจากโคมไป แต่ถ้าเป็นหลอดที่วาง ในแนวนอนนั้น ปริมาณแสงจะลดลงถึง 40 เปอร์เซนต์ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างตำแหน่งติดตั้งหลอด และผนังด้านบนของโคม ว่ามีค่ามากน้อยเพียงใด ยิ่งระยะห่างน้อยปริมาณแสงยิ่งลดลงมาก สำหรับการใช้งานหลอดคอมแพกต์ฟลูออเรสเซนต์ ที่มีบัลลาสต์อิเลคทรอนิกส์ภายในตัวนั้น ในการทดสอบได้ใช้หลอดคอมแพกต์ฟลูออเรสเซนต์ในโคมสำหรับหลอด GLS 100 วัตต์ซึ่งผลที่ได้ไม่ต่างจาก การใช้หลอดคอมแพกต์ฟลูออเรสเซนต์วางในแนวตั้งเท่าใดนัก โดยปริมาณแสงที่ลดลงจะอยู่ในช่วง 5-10 เปอร์เซนต์เท่านั้น แต่ถ้าเปรียบเทียบระหว่างโคมสำหรับหลอด GLS 100 วัตต์ ที่มีช่องระบายอากาศด้านบนกับโคม สำหรับหลอด GLS ที่ปิดช่องระบายอากาศทั้งหมดแล้วจะพบว่า โคมที่ปิดช่องระบายอากาศทั้งหมดจะมีปริมาณแสงลดลง มากกว่า ซึ่งบางครั้งอาจมีค่าลดลงมากกว่าโคมที่ไม่ปิดช่องระบายอากาศถึง 6 เปอร์เซนต์

2.16.5 ข้อแนะนำในการใช้หลอดคอมแพกต์ฟลูออเรสเซนต์

1. ใช้กับโคมไฟส่องลงในกรณีให้แสงทั่วไปถือว่าประหยัดพลังงานแสงสว่างได้มาก เมื่อเทียบกับการใช้หลอด อินแคนเดสเซนต์ ในโคมไฟส่องลง

2. ใช้แทนหลอดอินแคนเดสเซนต์และฮาโลเจนได้กรณีที่เป็นทางด้านการส่องสว่างทั่วไป

3. การเลือกใช้ชนิดสีของหลอดมีความสำคัญสำหรับงานแต่ละชนิด ถ้าเป็นความส่องสว่างต่ำก็ควรใช้หลอดที่มีอุณหภูมิสีต่ำ คือสีเหลือง หรือหลอดวอร์มไวท์ ถ้าเป็นความส่องสว่างสูงก็ควรใช้หลอดที่มีอุณหภูมิสีสูง เช่นหลอดคูลไวท์

4. การเปลี่ยนหลอดคอมแพกต์ฟลูออเรสเซนต์ แทนที่หลอดอินแคนเดสเซนต์ในโคมไฟส่องลง ให้ระวังเรื่องการระบาย ความร้อนซึ่งทำให้ อายุการใช้งานของหลอดสั้นลงมากและระวังเรื่องแสงบาดตา

5. บริเวณที่จำเป็นต้องปิดไฟไว้นานๆ เช่น ไฟรั้ว ไฟทางเดิน อาจใช้หลอดคอมแพกต์ฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งมีอายุการใช้งาน นานกว่าหลอดอินแคนเดสเซนต์

6. แบบที่มีบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในตัวจะมีฮาร์มอนิกส์สูง กรณีที่ต้องใช้หลอดจำนวนมากให้ระวังปัญหาเรื่องฮาร์มอนิก

7. หลอดคอมแพกต์ฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้ในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงเกินไปหรือต่ำเกินไป ทำให้ปริมาณแสงสว่าง จากหลอดลดลงมาก ดังนั้นถ้าใช้หลอดประเภทนี้ต้องพิจารณาเรื่องนี้โดยเฉพาะโคมที่มีการระบายอากาศไม่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.17 การคิดค่าไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ

ค่าไฟฟ้าปัจจุบัน ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่าไฟฟ้าผันแปร + ภาษีมูลค่าเพิ่ม

2.17.1 ค่าไฟฟ้าฐาน

กำหนดจากค่าลงทุนก่อสร้างโรงไฟฟ้า สายส่งไฟฟ้า สถานีจ่ายไฟฟ้า และค่าเชื้อเพลิง ค่าไฟฟ้าฐานมีอัตราแน่นอน โดยแบ่งตามผู้ใช้ไฟฟ้า 7 ประเภทอัตราค่าไฟฟ้าฐานมีการปรับปรุงครั้งล่าสุดเมื่อปี 2534 และได้แยกภาษีมูลค่าเพิ่มออกเมื่อเดือนมกราคม 2540 ปัจจุบันยังไม่มีการปรับ ซึ่งหากมีการปรับอัตราค่าไฟฟ้าฐาน ต้องได้รับความเห็นชอบจากคณะรัฐมนตรี ทั้งนี้ค่าไฟฟ้าฐานจะแสดงในรายการค่าไฟฟ้าในใบเสร็จรับเงิน

2.17.2 ค่าค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft)

ค่า(Ft) จากความหมายดั้งเดิม Ft ย่อมาจากคำว่า Float time มีความหมายว่า การลอยค่าของต้นทุนการผลิตไฟฟ้าที่การไฟฟ้าไม่สามารถควบคุมได้ เช่น ราคาเชื้อเพลิง อัตราเงินเฟ้อ อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ เป็นต้น ตามช่วงเวลาต่างๆ ที่ใช้เป็นกรอบในการคำนวณ

เนื่องจากตั้งแต่เดือนตุลาคม 2548 เป็นต้นมา ได้มีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ใช้ในการคำนวณสูตร Ft ให้คงเหลือเพียง ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าของ กฟผ. และค่าซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตเอกชนและประเทศเพื่อนบ้าน เท่านั้นที่ กฟผ. ไม่สามารถควบคุมได้ และสามารถนำไปคำนวณในสูตร Ft

ดังนั้น สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) จึงได้ประสานงานกับการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่งเพื่อเปลี่ยนคำย่อของค่า Ft ให้สอดคล้องกับสูตรปัจจุบัน ดังนี้

Ft ย่อมาจากคำว่า Fuel Adjustment Charge (at the given time)

ดังนั้นค่า Ft คือ ค่าไฟฟ้าที่ปรับเปลี่ยนตามต้นทุนการผลิต ระบบส่ง และระบบจำหน่าย เนื่องมาจากปัจจัยที่อยู่นอกเหนือการควบคุมของการไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเดือน ปัจจุบันจะทำการปรับ 4 เดือนต่อครั้ง การปรับค่าไฟฟ้าผันแปรดำเนินการโดยคณะอนุกรรมการกำกับสูตรการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ ภายใต้การกำกับดูแลของคณะกรรมการพิจารณานโยบายพลังงาน ทั้งนี้ค่าไฟฟ้าผันแปรจะแสดงในช่อง Ft ส่วนเพิ่ม/ส่วนลด ในใบเสร็จค่าไฟฟ้าหรือใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.17.3 ภาษีมูลค่าเพิ่ม

คิดเป็นร้อยละ 7 ของค่าไฟฟ้าฐานรวมกับค่าไฟฟ้าผันแปร

ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า

รูปที่ 2.25 ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า

สำหรับการคิดค่าไฟฟ้าตามอัตราค่าไฟฟ้าในปัจจุบันทั้งหมด 7 ประเภท สามารถแสดงเป็นตัวอย่างการคิดค่าไฟฟ้า โดยตัดวิธีคิดที่เหมือนกัน แบ่งได้ดังนี้

2.17.4 ประเภทที่ 1 : บ้านอยู่อาศัย

ลักษณะการใช้ สำหรับการใช้ไฟฟ้าในบ้านเรือนที่อยู่อาศัย วัดและโบสถ์ของศาสนาต่างๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

1. <u>ประเภท1.1</u> ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน

อัตรารายเดือน : ค่าพลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ 2.16 รายการค่าต่อหน่วยของการใช้ไฟฟ้าแบบประเภท 1.1

5 หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) แรก (หน่วยที่ 1- 5)	**เป็นเงิน**	**0**	**บาท**
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 6 - 15)	**หน่วยละ**	**1.3576**	**บาท**
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 16 - 25)	**หน่วยละ**	**1.5445**	**บาท**
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 26 - 35)	**หน่วยละ**	**1.7968**	**บาท**
65 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 36 - 100)	**หน่วยละ**	**2.18**	**บาท**
50 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 101 - 150)	**หน่วยละ**	**2.2734**	**บาท**
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 - 400)	**หน่วยละ**	**2.7781**	**บาท**
เกินกว่า 400 หน่วย (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	**หน่วยละ**	**2.978**	**บาท**

ค่าบริการ : เดือนละ 8.19 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ประเภท 1.2 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเกินกว่า 150 หน่วยต่อเดือน

อัตรารายเดือน : ค่าพลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ 2.17 รายการค่าต่อหน่วยของการใช้ไฟฟ้าแบบประเภท 1.2

150 หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) แรก (หน่วยที่ 1 – 150)	หน่วยละ	1.8047	บาท
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 - 400)	หน่วยละ	2.7781	บาท
เกินกว่า 400 หน่วย (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	หน่วยละ	2.978	บาท

ค่าบริการ : เดือนละ 40.90 บาท

3. ประเภท 1.3 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff : TOU Tariff)

ตารางที่ 2.18 รายการค่าต่อหน่วยของการใช้ไฟฟ้าแบบประเภท 1.3

	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On peak	Off peak	
1.3.1 แรงดัน 12-24 กิโลโวลท์	หน่วยละ	2.7781	บาท
1.3.2 แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลท์	หน่วยละ	2.978	บาท

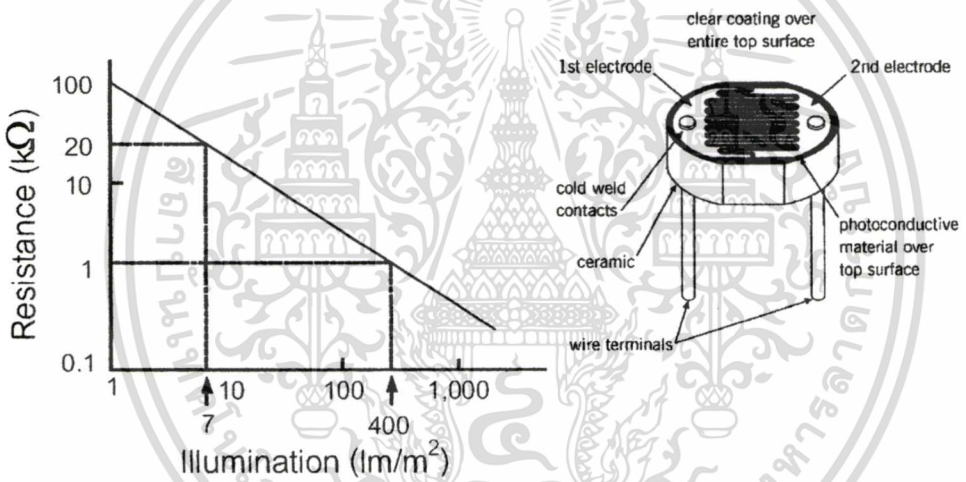
หมายเหตุ

1. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ติดตั้งเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า ขนาดไม่เกิน 5 แอมแปร์ 220 โวลต์ 1 เฟส 2 สายจะถูกจัดให้อยู่ในอัตรา ข้อ 1.1 แต่ถ้ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าเกินกว่า 150 หน่วยต่อเดือน ติดต่อกัน 3 เดือนในเดือนถัดไป จะจัดเข้าอยู่ในอัตรา ข้อ 1.2 และถ้ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน ติดต่อกัน 3 เดือนในเดือนถัดไป จะจัดเข้าอยู่ในอัตรา ข้อ 1.1 ตามเดิม
2. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ติดตั้งเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า ขนาดเกินกว่า 5 แอมแปร์ 220 โวลต์ 1 เฟส 2 สาย จะถูกจัดให้อยู่ในอัตรา ข้อ 1.2 ตลอดไป
3. ผู้ใช้ไฟฟ้าในอัตรา ข้อ 1.2 สามารถเลือกใช้อัตรา ข้อ 1.3 ได้ และจะต้องชำระค่าเครื่องวัดฯ TOU หรือ ค่าบริการด้านเครื่องวัดฯ TOU เพิ่มขึ้นจากค่าบริการปกติ และหากเลือกใช้ไปแล้วไม่น้อยกว่า 12 เดือน จะขอเปลี่ยนกลับไปใช้อัตรา ข้อ 1.2 ตามเดิมอีกก็ได้
4. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ประสงค์จะเลือกใช้อัตรา ข้อ 1.3 จะต้องแจ้งความประสงค์กับการไฟฟ้านครหลวงก่อน และการไฟฟ้านครหลวงจะติดตั้งเครื่องวัดฯ TOU ให้ ตั้งแต่เดือนมกราคม 2545 เป็นต้นไป
5. สถานที่ที่ใช้ประกอบศาสนกิจ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้องสามารถเลือกใช้อัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 6 ได้ ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าบริการรายเดือน ถึงแม้จะไม่มีการใช้ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.18 ตัวต้านทานไวแสง (Light Dependent Resistor)

ในวิทยานิพนธ์ได้ใช้ LDR เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มแสงสว่าง เนื่องจากอุปกรณ์ชนิดนี้มีผลตอบสนองเร็วต่อการเปลี่ยนแปลงของแสงสว่าง มีความเป็นเชิงเส้นที่ดีต่อพิสัยการใช้งาน ราคาถูก และสามารถประยุกต์ใช้งานร่วมกับวงจรอิเลคทรอนิกส์ได้ LDR นั้นจัดเป็นอุปกรณ์ทราสดิวส์เซอร์แบบเฉื่อยงาน (Passive Transducer) ซึ่งต้องใช้แหล่งจ่ายภายนอกมากระตุ้น โดยมีหลักการทำงานคือค่าความต้านทานภายในของ LDR จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีแสงมาตกกระทบในลักษณะที่เป็นสัดส่วนผกผันกับแสงสว่าง ซึ่งระบบมีความไวในการควบคุมที่ 5 วินาที LDR ซึ่งทำมาจากสารแคดเมียมซัลไฟล์ (Cds) หรือแคดเมียมซีลิไนด์ (Cdsc) ซึ่งเป็นสารประกอบชนิดกึ่งตัวนำมาฉาบบนแผ่นเซรามิคที่ใช้เป็นฐานรอง แล้วต่อขาจากสารที่ฉาบเอาไว้ออกมาดังโครงสร้างในรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 โครงสร้างและคุณลักษณะของ LDR

2.18.1 คุณสมบัติทางแสง

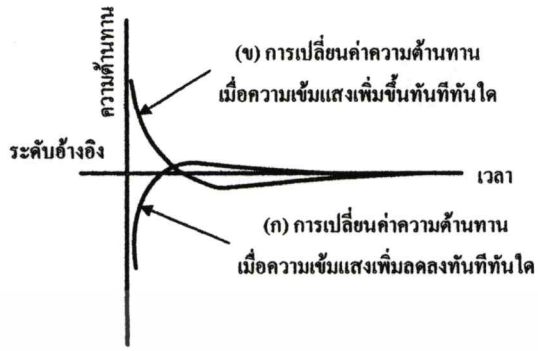
LDR นั้นไวต่อแสงในช่วงคลื่น 400-1000 นาโนเมตร (1 นาโนเมตร = 10^{-9} เมตร) ซึ่งครอบคลุมช่วงคลื่นที่ไวต่อตาคน (380-700 นาโนเมตร) นั่นคือ LDR ไวต่อแสงอาทิตย์ และแสงจากหลอดไส้ หรือ หลอดเรืองแสง และยังไวต่อแสงอินฟาเรดที่ตามองไม่เห็นอีกด้วย (ช่วงคลื่นตั้งแต่ 700 นาโนเมตรขึ้นไป)

2.18.2 ผลตอบสนองทางไฟฟ้า

อัตราส่วนระหว่างความต้านทานของ LDR ในขณะที่ไม่มีแสงกับขณะที่มีแสงอาจจะเป็นได้ตั้งแต่ 100 เท่า 1,000 เท่า หรือ 10,000 เท่า แล้วแต่รุ่น แต่โดยทั่วไปแล้วค่าความต้านทานในขณะที่ไม่มีแสงจะอยู่ในช่วงประมาณ 0.5 เมกะโอห์ม ขึ้นไปในที่มืดสนิทอาจขึ้นไปได้มากกว่า 2 เมกะโอห์มและในขณะที่มีแสงจะเป็นประมาณ10 – 20 กิโลโอห์มลงไปอาจจะเหลือเพียงไม่กี่

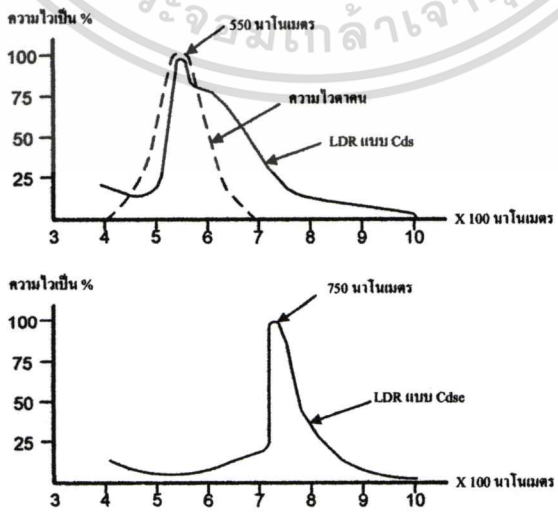
เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โอห์มหรืออาจจะไม่ถึงโอห์มก็ได้ และทนแรงดันสูงสุดได้ไม่ต่ำกว่า 100 โวลท์ และกำลังสูญเสียอย่างต่ำประมาณ 50 มิลิวัตต์



รูปที่ 2.27 ผลของการเปลี่ยนความเข้มแสงในทันทีทันใดกับ LDR

นอกเหนือจากคุณลักษณะสมบัติต่างๆ เหล่านี้แล้วยังมีอีกคุณลักษณะอีกประการหนึ่งที่สำคัญคือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน ซึ่งจะดูตัวอย่างได้ในรูปที่ 2.27 ถ้า LDR ได้รับแสงที่มีความเข้มสูงดังเส้น (ก) ความต้านทานจะมีค่าต่ำและในทันทีที่ความเข้มของแสงถูกลดลงหลือเพียงระดับอ้างอิงความต้านทานก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นไปจนถึงค่าความต้านทานที่ควรจะเป็นในระดับอ้างอิง แต่แทนที่จะไปหยุดอยู่ระดับอ้างอิงกลับเพิ่มเลยขึ้นไปเรื่อยๆ อีก แล้วจึงจะลดลงมาอยู่ในระดับอ้างอิงและในทำนองเดียวกันถ้าเก็บ LDR ไว้ในที่ความเข้มแสงน้อยๆ แล้วเปลี่ยนความเข้มเป็นระดับอ้างอิงทันทีดังในกราฟ (ข) ความต้านทานก็จะลดต่ำลงมาจากระดับอ้างอิงแล้วจึงเพิ่มขึ้นไปใหม่ ยิ่งความเข้มของแสงเท่ากัน LDR แบบแคดเมียมซีนิไนด์นั้นจะใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะที่มันควรจะเป็นน้อยกว่าแบบแคดเมียมซัลไฟต์ แต่ก็จะวิ่งเลยไปไกลกว่าด้วยและอีกอย่างหนึ่งความเร็วในการเปลี่ยนระดับความต้านทานจากค่าหนึ่งไปอีกค่าหนึ่งช้ามากซึ่งจะอยู่ในช่วงของมิลลิวินาทีหรือบางทีก็เป็นวินาที จึงทำให้ LDR ใช้ได้กับงานความถี่ต่ำๆ เท่านั้น



รูปที่ 2.28 แสดงความไวของ LDR ที่ความยาวคลื่นต่างๆ เทียบกับตาคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.18.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้า

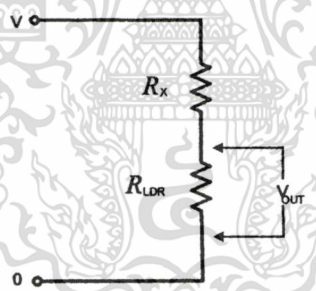
อัตราส่วนของความต้านทาน LDR ขณะที่ไม่มีแสงกับในขณะที่มีแสงอาจมีค่าต่างกัน 100, 1,000, 10,000 เท่า แล้วแต่แบบหรือรุ่นค่าความต้านทานในขณะไม่มีแสงจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.5 เมกะโอห์มขึ้นไป และความต้านทานขณะที่มีแสงจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ กิโลโอห์มลงมา ทนแรงดันสูงสุดได้มากกว่า 100 โวลท์ และทนกำลังไฟได้ประมาณ 50 มิลลิวัตต์

ค่าความต้านทานของ LDR เวลามืดมีค่าเป็นแสนโอห์มและเวลาได้รับแสงก็ลดลงตั้งแต่ระดับ 100-1000 โอห์ม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสว่างของแสงและขนาดของ LDR แต่ละย่านด้วย LDR ตัวใหญ่สำหรับต้องการให้ความต้านทานลดลงมากๆ การวัดค่าความต้านทานนั้นให้นำเอามิเตอร์วัดความต้านทาน LDR แล้วปรับแสงไปตามค่าความสว่างในระดับต่างๆ

2.18.4 การวัดความต้านทานของ LDR

เนื่องจาก LDR ทนกำลังไฟฟ้าได้เพียงประมาณ 50 มิลลิวัตต์ ดังนั้นถ้าใช้โอห์มมิเตอร์สเกล $R\times1$ วัดความต้านทานของ LDR อาจทำความเสียหายให้กับ LDR ได้ เราอาจวัดความต้านทานของ LDR ได้โดยอ้อมดังนี้

โดยอาศัยวงจรแบ่งแรงดัน เราได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันดังนี้



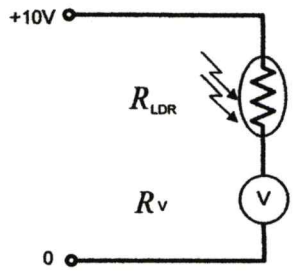
รูปที่ 2.29 วงจรแบ่งแรงดันของ LDR

$$V_{out} = \left(\frac{R_{LDR}}{R_{LDR} + R_X}\right)V_{in} \tag{2.57}$$

$$R_X = R_{LDR}\left\{\left(\frac{V_{in}}{V_{out}}\right) - 1\right\} \tag{2.58}$$

และสามารถใช้หลักการนี้ในการวัดความต้านทานของ LDR ได้ โดยการต่อ LDR อนุกรมกับโวลท์มิเตอร์แล้วต่อกับแหล่งจ่ายไฟ ดังรูปที่ 2.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 แสดงการต่อ LDR กับโวลท์มิเตอร์

ความต้านทาน R หาได้จากสมการที่ 2.59

$$R_{LDR} = R_V\left\{\left(\frac{V_{in}}{V_{Meter}}\right)-1\right\} \qquad (2.59)$$

โดยที่ให้แหล่งจ่ายแรงดัน = 10 โวลท์

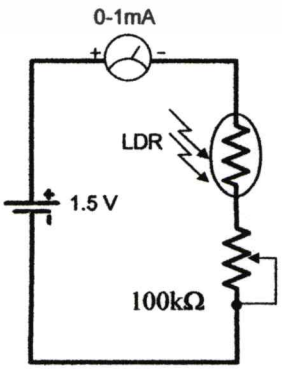
V คือ แรงดันที่อ่านได้จากโวลท์มิเตอร์

R_V คือ ความต้านทานของโวลท์มิเตอร์ซึ่งมีค่าเป็น 20 กิโลวัตต์โอห์ม/โวลท์

ดังนั้นถ้าตั้งสเกลของโวลท์มิเตอร์ไว้ที่ 10 โวลท์ ความต้านทานของโวลท์มิเตอร์จะเป็น (10) x (20กิโลโอห์ม) = 200 กิโลวัตต์ หรือตั้งสเกล 5 โวลท์ จะได้ R_V เป็น (5) x (20กิโลโอห์ม) = 100 กิโลวัตต์ เป็นต้น เมื่อไปซื้อ LDR มาใช้งาน อาจไม่รู้ค่าความต้านทานของ LDR

2.18.5 การนำ LDR ไปใช้งาน

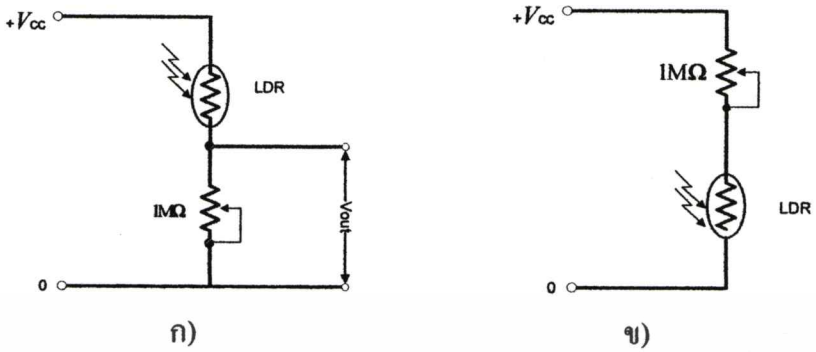
จากหลักการดังกล่าวแล้วจะเห็นได้ว่าเมื่อมีแสงสว่างมาตกที่ตัว LDR กระแสที่ไหลผ่านตัว LDR จะสูง เนื่องจากมีความต้านทานต่ำและเมื่อไม่มีแสงความต้านทานของ LDR มีค่าสูงทำให้กระแสไหลได้น้อย เราจึงอาจนำ LDR ไปเป็นส่วนประกอบของมิเตอร์วัดความเข้มแสงได้ดังนี้



รูปที่ 2.31 การใช้ LDR เป็นส่วนประกอบของวงจรมิเตอร์วัดแสงอย่างง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้เราอาจใช้ LDR ในวงจรควบคุมด้วยแสงได้ดังนี้

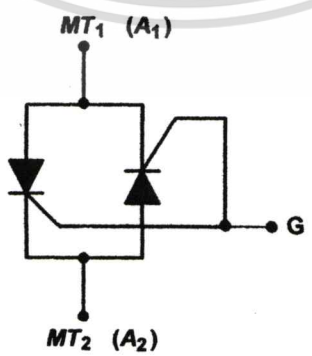


รูปที่ 2.32 วงจรควบคุมแสงสว่าง

ในรูปที่ 2.32 LDR และความต้านทานปรับค่าได้ 1 MΩ เป็นวงจรแบ่งแรงดันรูปที่ 2.32 ก) แรงดัน V_{out} จะมีค่าเกือบเท่ากับ V_{cc} เมื่อมีแสงมาตกกระทบและจะมีค่าน้อยเมื่อไม่มีแสงมาตกกระทบ ส่วนรูปที่ 2.32 ข) เป็นแบบตรงกันข้าม คือ เมื่อมีแสงมาตกกระทบ แรงดันเอาท์พุทจะมีค่าต่ำ และจะมีค่าสูงเมื่อไม่มีแสงมาตกกระทบ

2.19 ไตรแอค (TRIAC)

ในวิทยานิพนธ์จะได้นำอุปกรณ์ที่จะใช้สำหรับการปรับหรี่ไฟด้วยไตรแอค โดยลักษณะโครงสร้างของไตรแอคนี้เหมือนกับการนำเอาเอสซีอาร์ 2 ตัวมาต่อขนานกันในลักษณะกลับขั้ว ส่วนขาเกตต่อร่วมเข้าด้วยกัน ดังนั้นไตรแอคจะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม ระบบไฟได้ทั้งแบบไฟตรงและไฟสลับ นั้นคือความสามารถในการนำกระแสได้ทั้งสองทิศทาง โดยการทริกที่เกตนั้นก็สามารถกระทำได้ทั้งสองทิศทางเช่นกัน รูปแสดงการใช้เอสซีอาร์ 2 ตัวต่อเป็นไตรแอค



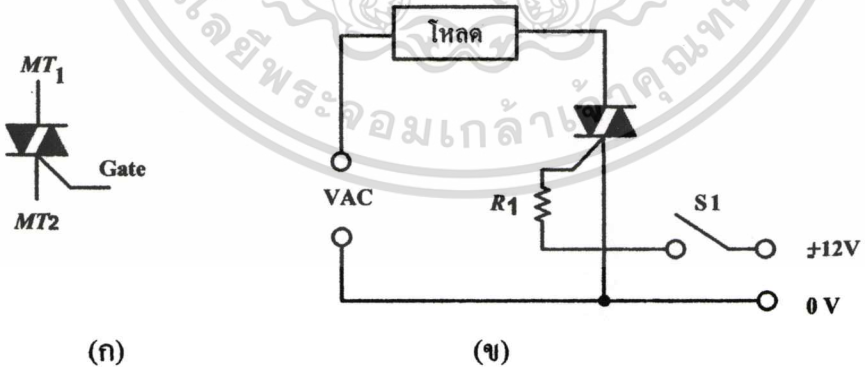
รูปที่ 2. 33 โครงสร้างทางสัญลักษณ์ของไตรแอค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.19.1 การทำงานของไตรแอค

คุณสมบัติพื้นฐานของไตรแอคมีดังนี้

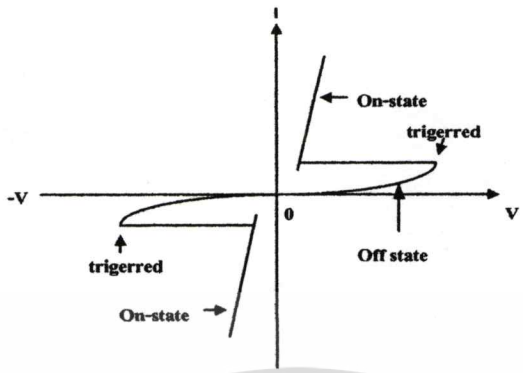
1. โดยปกติ ถ้าไม่มีสัญญาณทริกที่เกต ไตรแอคจะไม่ทำงานโดย จะมีลักษณะเหมือนกับสวิตช์ที่ถูกเปิดวงจร
2. ถ้าในกรณีที่ MT_2 และ MT_1 ถูกป้อนด้วยแรงดันบวกและลบตามลำดับไตรแอคจะถูกกระตุ้นให้ทำงานได้โดยการป้อนสัญญาณพัลส์เพียงสั้นๆ ที่เกตของมัน โดยจะมีแรงดันตกคร่อมตัวมัน มีค่าประมาณ 1 หรือ 2 โวลท์ เท่านั้น และก็เช่นกันคือเมื่อไตรแอคเริ่มทำงานแล้ว ก็จะสามารถคงสภาพการทำงานอยู่เช่นนั้นต่อไปเรื่อยๆ ตราบเท่าที่ยังมีกระแสไหลผ่านตัวมันอย่างต่อเนื่อง
3. หลังจากที่ไตรแอคคงสภาพการทำงานอยู่นั้น ทางเดียวที่จะหยุดการทำงานลงได้ ก็โดยการลดปริมาณกระแสที่ไหลผ่านตัวมันลง ให้มีค่าต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้งของมัน ในกรณีที่ใช้ไตรแอคในการจ่ายกระแส AC การหยุดทำงานจะเกิดขึ้นอย่างอัตโนมัติ เมื่อแรงดันของไฟสลับเข้าใกล้จุดตัดศูนย์ที่เกิดขึ้น ทุกๆ ครึ่งคลื่น นั่นคือกระแสจะลดลงเป็นศูนย์
4. ไตรแอคถูกกระตุ้นให้ทำงานได้ ทั้งสัญญาณแบบบวกและลบที่ป้อนให้แก่ขาเกต โดยไม่คำนึงถึงขั้วที่ต่ออยู่ที่ MT_2 และ MT_1
5. ไตรแอคสามารถทนการกระชากของกระแสได้สูง เช่นโดยปกติสำหรับไตรแอคที่ทนกระแสปกติได้ 10 แอมแปร์ สามารถทนการกระชากของกระแสในช่วงหนึ่งคาบเวลาของไฟ 60 Hz ได้สูงถึง 100 แอมแปร์เป็นต้น
6.



รูปที่ 2.34 (ก) สัญลักษณ์ของไตรแอค
(ข) การใช้งานพื้นฐาน

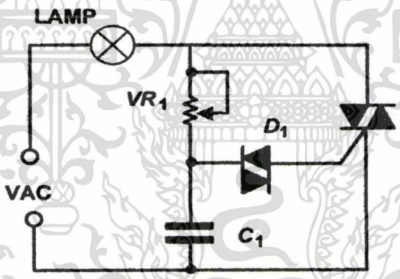
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.19.2 กราฟลักษณะสมบัติของไตรแอค



รูปที่ 2.35 กราฟคุณสมบัติของไตรแอค

เนื่องจากไตรแอค สามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ทั้งสองทาง จึงเหมาะกับการนำไปใช้กับไฟสลับมากกว่า SCR และสำหรับกระแสไฟสลับจะมีอยู่ช่วงเวลาหนึ่งช่วงกระแสตัดกับเส้นศูนย์ของกราฟที่กระแสตกต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้ง ดังนั้นจึงมีค่ากระแสลดลงต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้ง



รูปที่ 2.36 วงจรหรี่ไฟฟ้าด้วยไตรแอค

ในวงจรรูปที่ 2.36 จะเห็นว่าเมื่อทำการป้อนไฟสลับให้แก่วงจรแล้ว C_1 จะถูกประจุขึ้นด้วยกระแสที่ไหลผ่าน VR_1 ทำให้แรงดันคร่อม C_1 มีค่าเพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึง 35 โวลท์ ที่จุดนั้นไดแอคจะนำกระแสจากการคายประจุของ C_1 ซึ่งเป็นการทริกให้ไตรแอคเริ่มทำงาน และจะคงสภาพอยู่เช่นนั้น จนกว่าสัญญาณไฟสลับมีแรงดันเข้าใกล้จุดตัดศูนย์ ที่จุดนี้ C_1 จะเริ่มถูกประจุขึ้นอีกครั้งหนึ่ง จนกระทั่งเกิดการทริกให้แก่ไตรแอคอีกครั้ง เป็นเช่นนี้เรื่อยๆ ไป

ค่าของ R_1 และ C_1 จะต้องมีค่าเหมาะสมที่จะทำให้ช่วงเวลาในการประจุให้ C_1 มีแรงดันสูงถึงค่า 35 โวลท์ ในช่วงเวลาที่ไม่เกินครึ่งคาบเวลาของสัญญาณไฟสลับที่ให้ การเปลี่ยนแปลงเฟสของการทริก สามารถทำได้โดยปรับค่าของ VR_1 จากการทำงานของวงจรนี้จะทำให้เราสามารถควบคุมกำลังไฟที่ป้อนให้แก่โหลดได้ตามต้องการ ซึ่งถ้าโหลดเป็นหลอดไฟก็จะสามารถควบคุมความสว่างได้ตามต้องการนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.20 วงจรควบคุมมุมเฟส (Phase Control)

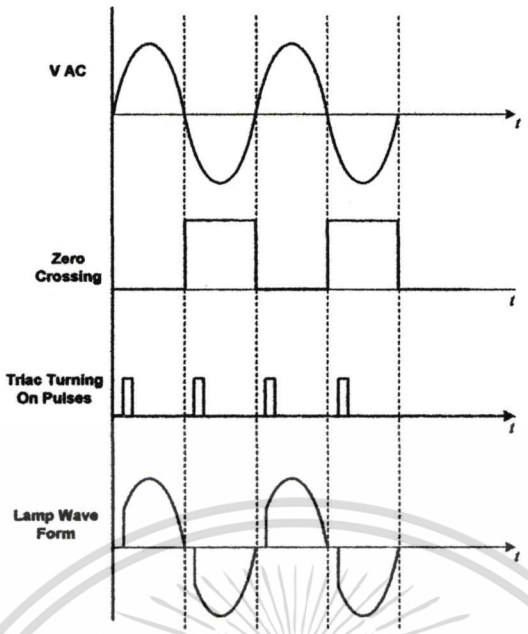
วงจรควบคุมมุมเฟสคือ วงจรที่มีอุปกรณ์ประเภทไทริสเตอร์ (Phase-Control Thyristors) จำพวกไตรแอค, เอสซีอาร์หรือจีทีโอ เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ทำหน้าที่เป็นสวิตซ์กำลังและใช้กันในวงจรควบคุมแสง, วงจรควบคุมความร้อน เป็นต้น วงจรเฟสคอนโทรลนี้จะใช้วิธีการปรับเปลี่ยนพลังงานระหว่างทางด้านอินพุตและเอาท์พุตให้เป็นไปในตามที่ต้องการ โดยอาศัยการปรับเปลี่ยนช่วงเวลาการนำกระแส และไม่นำกระแสไฟฟ้าบนแหล่งจ่ายแรงดันสายกำลังไฟฟ้า ซึ่งพลังงานไฟฟ้าทางด้านเอาท์พุตนั้น จะมีค่าเท่ากับแรงดันตลอดช่วงที่นำกระแสคูณด้วยปริมาณกระแสที่โหลดต้องการ (พิจารณาที่อุปกรณ์สวิตซ์กำลังขณะนำกระแสเป็นอุดมคติ) ซึ่งการนำกระแสของอุปกรณ์สวิตซ์กำลังนั้น จะถูกต้องแม่นยำ และมีประสิทธิภาพมากน้อยเท่าใดนั้น จะขึ้นอยู่กับการออกแบบวงจรควบคุมเป็นส่วนใหญ่ ตัวอย่างเช่นในวงจรควบคุมคอมพิวเตอร์ หรือวงจรสำหรับการสวิตซ์ชิ่งสูงๆ แต่ทั้งนี้ในบางครั้งก็ไม่จำเป็นจะต้องใช้วงจรควบคุมที่ซับซ้อนมากนัก เช่น วงจรปรับแสงสว่างของหลอดไฟแบบไส้ ส่วนการหรี่ไฟนั้นจะเป็นพื้นฐานในการควบคุมมุมเฟสด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งอาศัยความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์ในการคำนวณมุมเฟสที่จะควบคุม การแสดงผลการทำงาน ทั้งนี้ก็เนื่องจากการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถควบคุมการทำงานได้มากกว่าวงจรแบบพื้นฐานทั่วไป และยังง่ายต่อการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เพื่อการควบคุมเป็นระบบที่ซับซ้อนมากขึ้น แต่ในวงจรที่ไม่ต้องการคุณภาพในการควบคุมมากนักและสามารถใช้วงจรแบบพื้นฐานได้เพราะจะช่วยให้เราประหยัดค่าใช้จ่าย และการออกแบบได้รวดเร็วกว่าการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ จากหลักการเบื้องต้น

2.20.1 หลักการควบคุมเฟสกำลัง (Power Phase Control)

หลักการจากรูปคลื่นรูป Sine Wave กำลังงานที่ จ่ายมาจากการไฟฟ้านั้นเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าเป็นระบบ AC ดังนั้นรูปคลื่นนี้เป็นแบบ Sine Wave จึงทำให้ค่ากำลังงานมีการเพิ่มขึ้นและลดต่ำลง โดยทุกๆ ช่วงเวลาที่ค่าแรงดันลดลงต่ำกว่าศูนย์ และทุกๆ ช่วงเวลาที่มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าศูนย์ จะมีค่าช่วงที่เป็นศูนย์อยู่ตลอดเวลา ตามที่ได้กล่าวไว้ในเรื่องจุดตัดศูนย์ไว้ข้างต้น

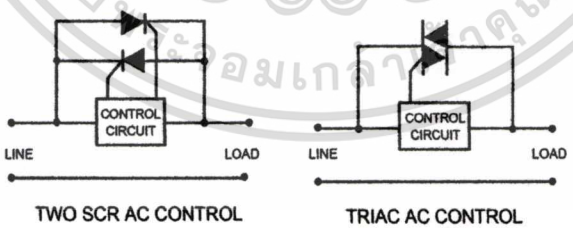
ดังนั้นในการหรี่ไฟโดยหลักการของการควบคุมเฟสนั้นก็คือการควบคุมมุมของสัญญาณซายน์นั้นเอง เพราะฉะนั้นเราต้องควบคุมสัญญาณควมคุมที่จะนำมาควบคุมมุมของเฟส โดยอาศัยการควบคุมลักษณะการทริกของไตรแอค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.37 แสดงการควบคุมมุมเฟส

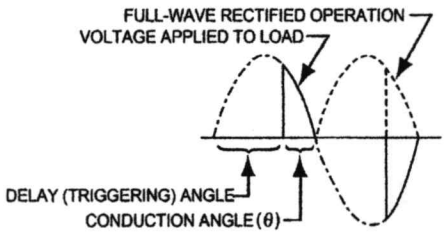
การควบคุมเฟสนั้น มักจะเป็นรูปแบบทั่วไปส่วนมากเป็นการควบคุมพลังงานจากการควบคุม ไตรแอค โดยไตรแอคจะอยู่ในสภาวะ หยุดนำกระแสคือเงื่อนไข "ปิด" (กระแสที่ไหลเข้าในวงจรถูกบล็อคโดยไตรแอค ยกเว้นในกรณีที่มีกระแสรั่ว) ไตรแอคจะมีการทริกเพื่อทำให้มีการนำกระแสในสภาวะ เปิด "On" โดยกระแสทริกเกอร์ได้จากวงจรควบคุมอีกชั้นหนึ่ง ในขณะเต็มคลื่นของไฟฟ้ากระแสสลับไตรแอคหรือ SCR โดยการต่อกลับด้านกันและเป็นที่นิยมใช้กันมาก สำหรับสองรูปแบบนี้ถูกใช้ในการควบคุมกระแสตรงแบบเต็มคลื่น และทั้งสองรูปแบบนี้ใช้กับวงจรบริดท์เรกทิไฟเออร์



รูปที่ 2.38 การควบคุมไฟกระแสสลับแบบเต็มคลื่น

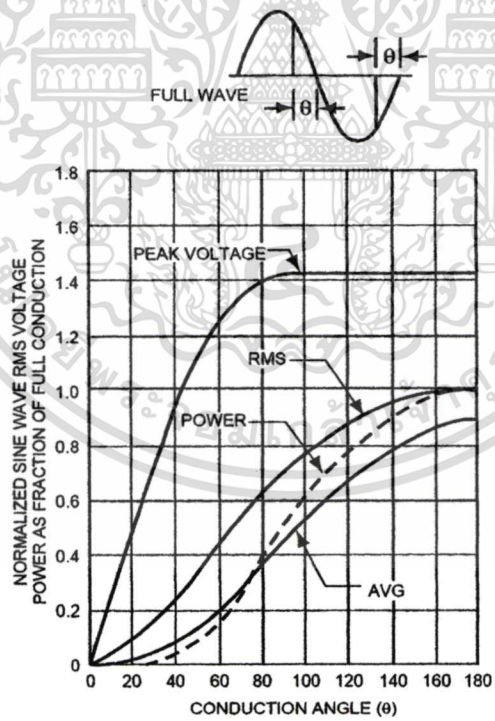
รูปแรงดันแบบเต็มคลื่นและรูปแบบที่เหมือนกันของรูปคลื่นใช้ในการอธิบาย ดังในรูปที่ 2.38 โดยมุมของการหน่วงเป็นเวลาที่ ไตรแอคทำการต่อวงจร ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะกำหนดว่าโหลดแบบใดจะใช้วงจรชนิดใด เช่นถ้าเป็นโหลดหลอดไฟ ก็ต้องมีการกำหนดรูปคลื่นทั้งแรงดันและกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



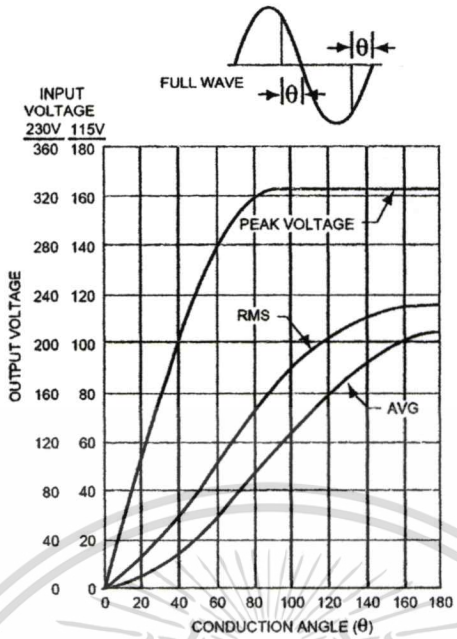
รูปที่ 2.39 แสดงรูปแบบการควบคุมเฟสแบบเบื้องต้น

ความแตกต่างของการตอบสนองของโหลด ของรูปแบบคลื่นของไฟฟ้ากระแสสลับ อย่างเช่นความไวของแรงดันเฉลี่ย, แรงดันอาร์เอ็มเอส และแรงดันของแรงดันสูงสุด การขึ้นลงของกระแสสลับนั้นจะถูกปรับเปลี่ยนไปทำให้แรงดันมีค่าเปลี่ยนไปเช่นกัน ดังนั้นมุมของรูปคลื่นจะเป็นสิ่งที่สามารถนำมาควบคุมได้ โดยการปรับแรงดันให้เป็นรูปแบบครึ่งคลื่นและแบบเต็มคลื่น ในที่นี้จะศึกษาแบบเต็มคลื่น



รูปที่ 2.40 การควบคุมเฟสเต็มคลื่นแบบสมมาตรของรูปคลื่นไซน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.41 แรงดันขาออกของการควบคุมมุมเฟสแบบเต็มคลื่น

รูปที่ 2.41 ให้รูปแบบของแรงดันขาออกที่เป็นแบบกระแสตรง สำหรับแรงดันอินพุต 115/230 โวลท์ ดังนั้นเส้นโค้งเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบวงจรที่เป็นโหลดของความต้านทานได้อย่างดี

สำหรับรูปที่ 2.40 แสดงเส้นโค้งสัมพันธ์กับพลังงานสำหรับโหลดที่มีอิมพีแดนซ์แบบคงที่อย่างเช่น ขดลวดความร้อน (Heaters) สัมพันธ์กับอิมพีแดนซ์ของหลอดไฟ แบบอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent) และมอเตอร์แบบที่มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ ดังนั้นจึงไม่ได้เป็นไปตามเส้นโค้งนี้ ดังนั้นในการใช้เส้นโค้งเพื่อการหาพิกัดกำลังของโหลด โดยการคูณด้วยมุมทริกอย่างเช่น มุม 180° ในวงจรแบบครึ่งคลื่นให้นำ 0.5 คูณด้วยกำลังที่สภาวะแบบเต็มคลื่น

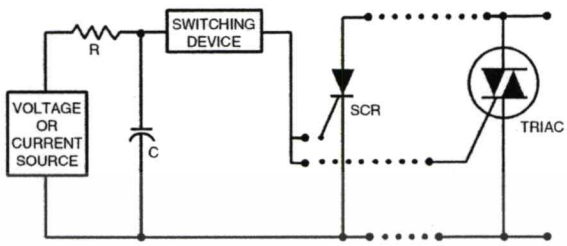
ในวงจรแบบเต็มคลื่นที่มุมเท่ากับ 150 ° จะให้พลังงานเต็มที่เท่ากับ 97% และในขณะที่เป็นมุม 30 ° จะได้เพียง 3% ของการพลังงานที่ควบคุม นั้นจึงไม่มีความจำเป็นสำหรับการควบคุมมุมที่น้อยกว่า 30 ° หรือมากกว่า 150 °

2.20.2 คุณสมบัติของการควบคุม

การ Oscillator แบบ Relaxation เป็นการควบคุมที่ง่ายที่สุด และพบได้บ่อยที่สุดสำหรับตัวควบคุมแต่ละเฟส ดังรูปที่ 2.42 แสดงให้เห็นถึงวงจรที่ใช้กับไตรแอค และคาปาซิเตอร์ชาร์ทประจุจากตัวต้านทานจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า หรือแหล่งจ่ายกระแสไปจนถึงแรงดันพังทลายของอุปกรณ์ Switching ที่ถูกแรงดันเบรกดาวน์ จากนั้นอุปกรณ์ Switching ก็จะเปลี่ยนไปเป็นสถานะเปิด "On" ต่อจากนั้นคาปาซิเตอร์ก็คายประจุให้ไตรแอคทางขาเกต ฉะนั้นที่ได้จากอุปกรณ์ทริกเกอร์ที่ใช้หลอดนีออน ของ Unijunction และสาม-สี่-หรือห้าชั้น อุปกรณ์ทริกเกอร์ของสารกึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

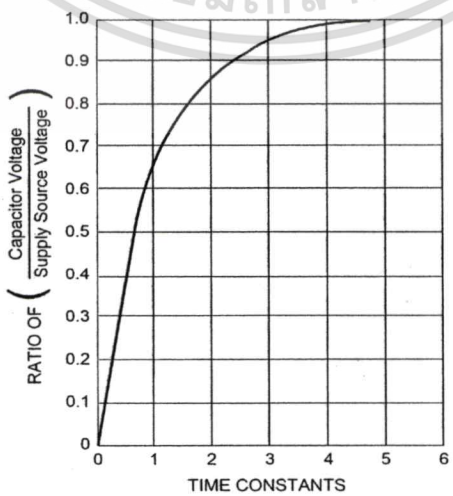
ตัวนำ โดยการปรับเวลาที่ค่า R และ C ซึ่งเป็นค่าคงที่ของวงจรชาร์จประจุ ดังนั้นการแบ่งรายละเอียดของอุปกรณ์ทริกเกอร์ ที่แตกต่างของมุมเฟส ภายในการควบคุมแบบครึ่งคลื่นหรือแบบเต็มคลื่น ก็จะได้รูปแบบคลื่นของเอาท์พุตของการควบคุมเฟส



รูปที่ 2.42 วงจรไตรแอคแบบ Relaxation Oscillator

จากรูปที่ 2.42 แสดงลักษณะของแรงดันไฟฟ้า-เวลาของตัวเก็บประจุ ถ้า Oscillator แบบ Relaxation จะถูกใช้ทำเป็นสัญญาณไฟตรงที่สมบูรณ์ได้

โดยปกติจุดเริ่มต้นของการออกแบบคือ การเลือกของค่าคาปาซิแตนซ์ ซึ่งจะใช้งานได้กับการทริกของไทริสเตอร์ เมื่อคาปาซิเตอร์คายประจุ โดยอุปกรณ์ทริกเกอร์และลักษณะของการทริกที่ขาเกตของไทริสเตอร์ ก็จะถูกนำมาพิจารณาในการเลือกใช้งาน ซึ่งลักษณะทั้งหมดที่ให้มานั้นไม่ครอบคลุมการใช้งานในส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงขึ้นอยู่กับประสบการณ์การใช้งานที่ต้องการ และในงานบางงานต้องการเลือกคาปาซิเตอร์ก็ต้องใช้กราฟดังรูปที่ 2.43 ในบางครั้งต้องการกำหนดค่าความต้านทานที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบที่ต้องการคุณลักษณะที่ต้องการของการควบคุม ซึ่งจากวงจรจำนวนมากที่เริ่มต้นด้วยการออกแบบของสัญญาณที่เป็นแบบครึ่งไซเคิล โดยดูแรงดันไฟฟ้าของคาปาซิเตอร์หรือมีค่าใกล้เคียงกับศูนย์



รูปที่ 2.43 การชาร์ทประจุของตัวเก็บประจุด้วยไฟกระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามในวงจรส่วนใหญ่ปล่อยแรงดันไฟฟ้าส่วนที่เกินของคาปาซิเตอร์ มีขนาดที่ค่อนข้างมากหลังจากการคายประจุ และการชาร์ทประจุให้ความต้านทานจะต้องถูกกำหนดในการเลือกลักษณะที่จำเป็นของการเพิ่มของขาขึ้นของสัญญาณการชาร์ทคาปาซิเตอร์ เพื่อทำการสร้างสัญญาณทริกเกอร์ กระบวนการนี้จะแสดงได้ด้วยตัวอย่างดีที่สุด ถ้ากำหนดให้มีการทริกของ SCR เบอร์ S2010L ที่แรงดัน 32 โวลท์ ไตรแอค โดยการกำหนดให้ ตัวเก็บประจุเท่ากับ 0.1 μF ทำการจ่ายสัญญาณทริกเกอร์ที่ 50 โวลท์ ที่มุมทริกที่ 30° องศาและ150° องศา และที่แรงดันเท่ากับ 32 โวลท์ ไตรแอคสร้างแรงดัน ที่ 2 ใน 3 ของแรงดัน V_{BO} ของแรงดันไตรแอคที่จ่ายโดยคาปาซิเตอร์เพื่อจ่ายเป็นแรงดันทริกให้ไตรแอค และที่ 22 โวลท์ ที่ต้องทำการจ่ายให้กับคาปาซิเตอร์ในขั้นแรกและที่ 40 โวลท์ โดยตัวเก็บประจุจะต้องชาร์ทประจุประมาณ 22/40 โวลท์ หรือประมาณ 0.55 เท่า

ในการชาร์ทแรงดันตามเวลาที่ได้ทำการออกแบบไว้ด้วยรูปที่ 2.43 ด้วยการชาร์ทแรงดันที่เวลาคงตัวเท่ากับ 0.8 (Time Constant) ที่มุมทริกที่ 30° และที่ 150° ที่ 6.92 มิลลิวินาที (ที่ 8.33 มิลลิวินาทีเท่ากับ ครึ่งรอบที่ 60 เฮิรต์ท) และเมื่อต้องการเวลาหน่วงที่ 6.92 มิลลิวินาทีคือ 0.8 RC, RC = 8.68 มิลลิวินาที เมื่อค่า $C = 0.10\,\mu$ F เมื่อค่าความต้านทานเท่ากับ

$$6.92\text{ms} = 0.8\,RC$$

$$RC = 8.68\,\text{ms}$$

$$C = 0.1\,\mu\text{F}$$

$$R = \frac{8.68\times10^{-3}}{0.1\times10^{-6}} = 86{,}800\ \ \Omega$$

โดยค่าความต้านทานน้อยที่สุดที่เป็นได้ที่การทำงานที่มุมเท่ากับ 150° หรือที่มุม 30° คือ

$$(\frac{30}{180})\times8.33 = 1.39\text{ms}$$

$$1.39\text{ms} = 0.8\,RC$$

$$RC = 1.74\,\text{ms}$$

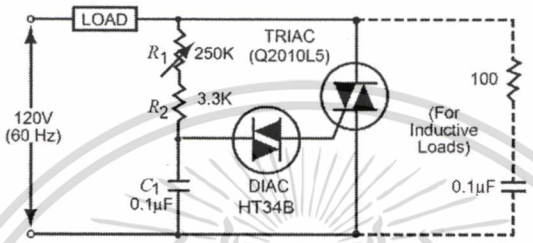
$$R = \frac{1.74\times10^{-3}}{0.1\times10^{-6}} = 17{,}400\ \ \Omega$$

ในการปฏิบัติเราสามารถใช้ค่าความต้านทานแบบปรับค่าเท่ากับ 100 kΩ โดยตั้งค่าอย่างต่ำเท่ากับ 17 kΩ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

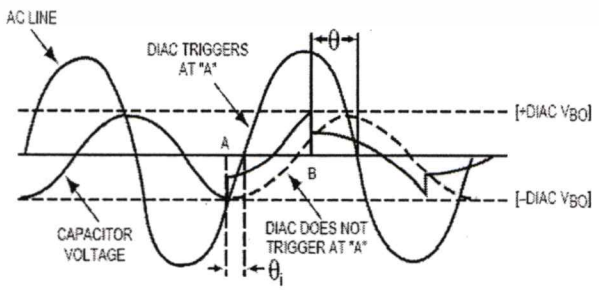
2.20.3 การควบคุมมุมเฟสด้วยไตรแอค

การควบคุมแบบเต็มคลื่นของวงจรไตรแอคแสดงดังรูปที่ 2.44 โดยใช้อุปกรณ์เพียง 4 ตัว ได้แก่ตัวต้านทานแบบปรับค่า R_1 และ C_1 นั้นเป็นระบบที่ทำการเลื่อนเฟส เมื่อมีแรงดันตกคร่อม C_1 จนถึงแรงดันเบรกดาวน์, V_{BO}ของไตรแอค และ C_1 จะเป็นอุปกรณ์ที่ทำการชาร์ทให้กับไตรแอคเพื่อเป็นทริกให้กับขาเกทของไตรแอค โดยไตรแอคจะทำงานจ่ายกำลังให้กับโหลดด้วยการทำงานในแต่ละครึ่งไซเคิล และในวงจรการทริกในควร์อแดนที่ 1 และ 3 และเพื่อง่ายต่อการควบคุม



รูปที่ 2.44 วงจรไตรแอคที่ใช้ควบคุมเฟส

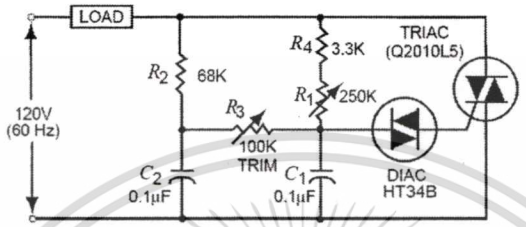
ฮีสเตอรีซิสหรือ (Snap Back) จะมีผลกระทบต่อ Kerosene Lantern เมื่อต้องการควบคุม Knob เป็นการเปลี่ยนจากสภาวะปิด ทำให้หลอดไฟเริ่มหรี่ลงจนเกือบคล้ายกับการจุดไส้หลอด เพราะว่าความสว่างสามารถที่จะหรี่ลงไปได้จนถึงจุดที่เรียกว่า จุดดับหรือว่าหรี่มาจนแค่พอเลี้ยงไส้หลอดไม่ให้ดับ ทำให้หลอดไฟสามารถปรับให้สว่างขึ้นมาได้อีกอย่างง่าย เฮสเตอรีซิส จะส่งผลต่อคาปาซิเตอร์ที่ทริกให้ไตรแอคดังแสดงในรูปที่ 2.44 จากค่าของความต้านทานที่ลดลงมาจากค่าที่มากที่สุด และแรงดันที่ตกคร่อมคาปาซิเตอร์ก็จะเพิ่มขึ้นจนถึงตำแหน่ง A และที่ครึ่งไซเคิลหลัง (ที่สภาวะของมุม θ_i) หลังจากขาเกตได้ทำการทริกนั้นอย่างไรก็ตามแรงดันตกที่เกิดที่คาปาซิเตอร์ทันทีทันใดที่ขณะครึ่งของแรงดัน ทริกเกอร์และทำให้คาปาซิเตอร์ที่สภาวะที่แตกต่าง คาปาซิเตอร์ทำการชาร์ทประจุเพื่อเป็นสัญญาณทริกให้กับไตรแอคที่ตำแหน่ง B ในครึ่งไซเคิลลูกต่อไป และให้สภาวะคงตัวที่มุม θ ดังแสดงให้เห็นดังรูป



รูปที่ 2.45 ความสัมพันธ์ของแรงดันขาเข้ากับแรงดันทริกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

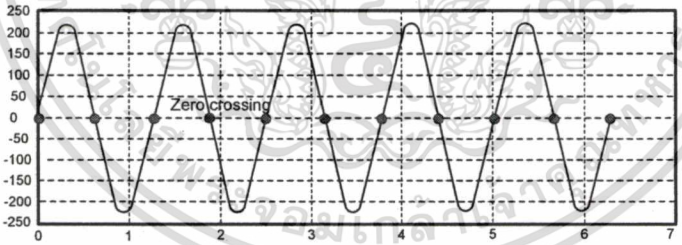
ในรูปที่ 2.46 ได้ทำการเพิ่มวงจร RC เข้าไปอีกทีเพื่อการควบคุมและลดผลกระทบจากฮีสเตอรีซิส วงจรควบคุมนี้จะทำควบคุมตั้งแต่ 5% - 95% ของภาระโหลดเต็มที่ เมื่อค่าเต็มที่ของ R_1 และ C_1 ถูกชาร์ทประจุโดย R_3 จากแรงดันของการเลื่อนเฟสที่ตกคร่อม C_2 โดยการรองรับการเลื่อนเฟสของ C_1 และการทำงานของ C_2 ที่ได้รับการชาร์ทประจุจาก C_1 หลังจากที่ไตรแอคได้รับการทริกแล้ว ส่วนการลดฮีสเตอรีซิสนั้นควรจะทำการปรับค่าของ R_3 ดังนั้นวงจรจะลดค่าลงมาเมื่อ R_1 มีค่าสูงสุด



รูปที่ 2.46 วงจรควบคุมเฟสแบบเต็มคลื่น

2.21 หลักการ Zero Crossing

โดยปกตินั้นไฟฟ้าที่ประเทศไทยใช้อยู่นั้น เป็นไฟฟ้ากระแสสลับมีระดับแรงดันที่ 220 โวลท์ และมีความถี่ 50 Hz (กระแสไฟฟ้าไหล 50 ไซน์เคิลในหนึ่งวินาที) ดังนั้น หลักการทำงานคือต้องรู้ให้ได้ว่า ณ เวลาใด ที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าเท่ากับศูนย์ ขอให้พิจารณาภาพต่อไปนี้



รูปที่ 2.47 กราฟจุดตัดศูนย์

จากรูปจะพบว่าระดับแรงดันของกระแสสลับจะเป็นศูนย์นั้น เมื่อเฟสมีค่าเท่ากับเมื่อมุมเฟสเท่ากับ 0°, 120° และ 180° เมื่อได้ทราบว่าสัญญาณ Zero Crossing เกิดที่ตำแหน่งใดนั้น จะสามารถทำการหน่วงเวลาในการทริกสัญญาณที่ ณ ตำแหน่งใดก็ได้ โดยเวลาที่หน่วงคำนวณได้จากสูตร

$$t = \frac{1}{f} \tag{2.60}$$

เมื่อ $f = 50$ ดังนั้น $t = 20$ ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะต้องทำการหน่วงเวลาในช่วง 0 ถึง 10 ไมโครวินาทีซึ่งเป็นคาบเวลาซึ่งมีผลต่อระดับแรงดันซึ่งแปลผันในช่วง 0 ถึง 220 โวลท์ และจะต้องหน่วงเวลาให้คงที่ทุก ๆ รอบของการเกิด Zero Crossing ดังนั้น Micro Controller ที่ใช้งานจะต้องมีความเร็วมากกว่า 50 Hz ขึ้นไป ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้เราใช้ PIC16F877 และ Crystal 11 MHz ซึ่งมีความเร็วเพียงพอต่อการตรวจจับตำแหน่ง Zero Crossing โดยการควบคุมมุมเฟสจากการทริกของไตรแอก จากวงจรเฟสคอนโทรล โดยการควบคุมมุมเฟส เป็นการปรับเปลี่ยนพลังงานทางด้านอินพุตให้ได้สัญญาณที่เอาท์พุทเป็นไปตามที่ต้องการ การที่ทริกไตรแอคเป็นการกำหนดให้ไตรแอคนำกระแสตามช่วงเวลาและไม่นำกระแสตามช่วงเวลาที่ต้องการ

ในสร้างพัลซ์การหน่วงเวลานั้นจะใช้พัลซ์ที่มีแรงดันเท่ากับ 5 โวลท์ ที่ได้ส่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ผ่านทางอ็อปโต้ เพื่อมาทริกไตรแอคให้ทำงานตามมุมต่างๆ เพื่อทำการหรี่ และวิธีนี้ง่ายต่อการทำการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

เมื่อมีหน่วงเวลาสักระยะหนึ่งจึ่งจะได้ดึงสัญญาณลงมาเป็น 0 โวลท์ เป็นเวลา 10 ไมโครวินาที เมื่อหน่วงแล้วให้กลับเป็น 5 โวลท์ ตามเดิม สัญญาณนี้จะถูกป้อนให้กับอ็อปโต้ เพื่อเหนี่ยวนำทางแสงให้ไตรแอคทำงาน หลักการทำงานของ อ็อปโต้และไตรแอค

2.22 หลักการหรี่ไฟ

หลักการพื้นฐาน ก็คือ ถ้าทำการจ่ายไฟฟ้าให้กับหลอดไฟ หรือ LOAD จะได้แสงสว่างจากหลอดไฟ และถ้าทำการลดขนาดของแรงดันไฟฟ้าลง ก็จะได้ระดับแสงสว่างที่ลดลง

ดังนั้น อุปกรณ์หรี่ไฟก็คืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่สามารถปรับระดับแสงสว่างที่ได้จากหลอดไฟฟ้า ให้เหมาะสมตามความต้องการ ในมุมมองของพลังงาน การหรี่แสงให้ลดลงโดยการลดพลังงานที่ให้กับหลอดไฟ

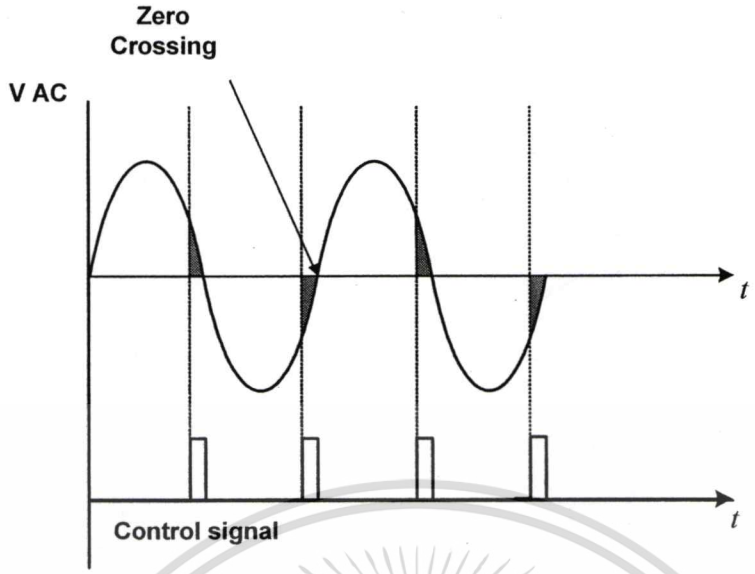
โดยวิธีการหรี่ไฟในปัจจุบันที่ใช้กันแพร่หลายมี 3 วิธีได้แก่

1. Voltage Level Control การลดระดับแรงดัน
2. Tailing Edge Phase Control
3. Leading Edge Phase Control

2.22.1 Leading Edge Phase Control

โดยเทคนิคการหรี่ไฟนี้ได้ใช้ในวิทยานิพนธ์ โดยการปรับขนาดของรูปคลื่นไฟฟ้า ก่อนที่จะส่งผ่านไปให้หลอดไฟฟ้า โดยใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภท SCR/TRIAC ในการควบคุมการเปิด-ปิดที่เกิดขึ้นในแต่ละลูกคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.48 การทริกแบบ Leading Edge Control

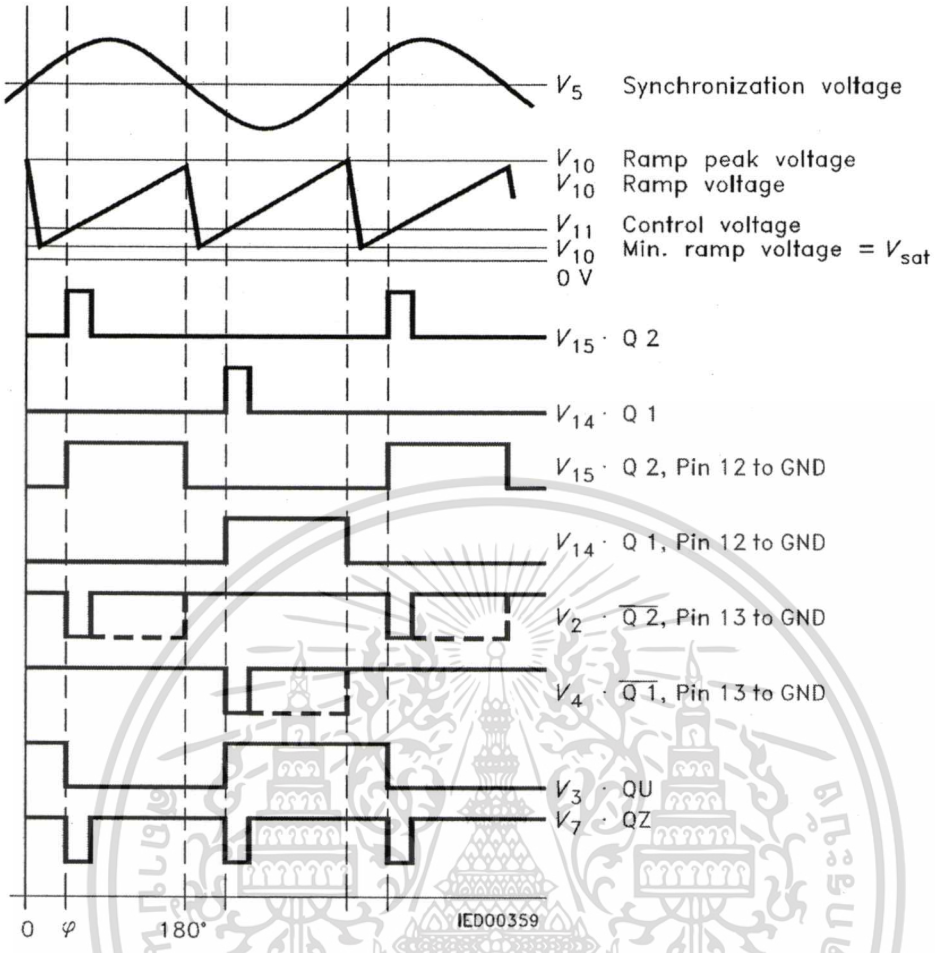
2.22.2 วงจรหรี่ไฟ

วงจรหรี่ไฟก็เป็นการใช้งานที่สำคัญอีกแบบหนึ่งของไตรแอค โดยอาศัยการกระตุ้นที่ตำแหน่งเฟสที่คงที่ของสัญญาณไฟสลับ ที่ให้เพื่อเป็นการควบคุมปริมาณกำลังไฟที่ป้อนให้แก่โหลดที่เป็นหลอดไฟในวงจรประเภทนี้ จำเป็นต้องมีวงจรกรองความถี่แบบ *LC* เพื่อลดผลของ RFI ที่เกิดขึ้น

เทคนิคของการกระตุ้นที่ตำแหน่งเฟสคงที่นั้นที่นิยมใช้มีอยู่ 3 วิธีคือ การใช้ไดแอคร่วมกับวงจร *RC*, การใช้ UJT และการใช้ไอซีที่สร้างขึ้นเฉพาะในการกระตุ้นให้ไตรแอคทำงาน

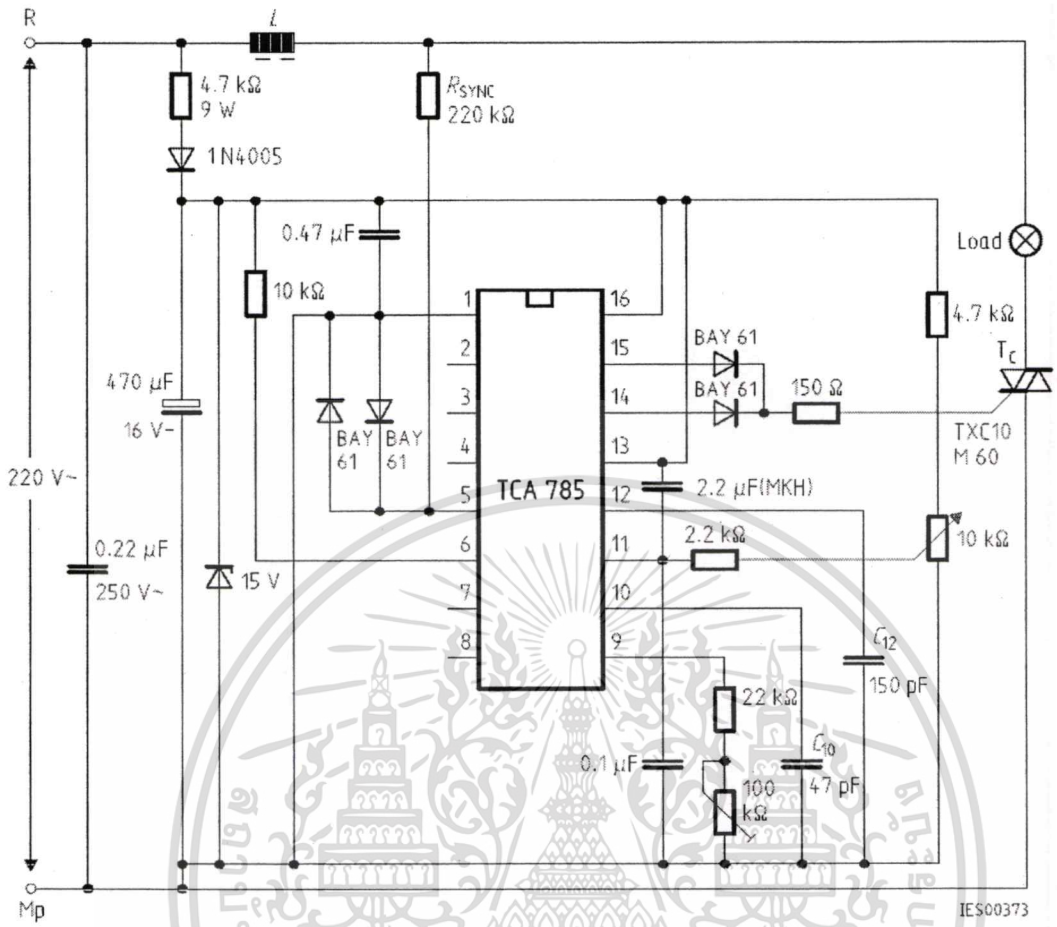
โดยการทำงานของไอซี TCA785 มีรูปแบบการทำงานในการกระตุ้นไตรแอค ดังรูปที่ 2.49 ในการวัดความต่างเฟสที่นำเสนอ เป็นการวัดมุมเฟสของสัญญาณอินพุตที่เป็นไซน์สองสัญญาณมีความถี่เท่ากันแต่มีมุมต่างเฟสกัน ซึ่งจะประกอบด้วยสัญญาณซิงโครไนซ์ โดยผ่านทางความต้านทานสูงจากแรงดันไลน์ (แรงดัน V_5) ในการตรวจสอบจุดตัดศูนย์อาศัยการซิงโครไนซ์จากรีจีสเตอร์ภายใน รีจีสเตอร์ซิงโครไนซ์ควบคุมเป็น Ramp generator กับ คาปาซิเตอร์ C_{10} ซึ่งถูกประจุโดยกระแสคงที่ด้วย R_9 ถ้า แรงดัน Ramp V_{10} มีค่าเพิ่มขึ้น แรงดันควบคุม V_{11} (Triggering angle φ) ดังนั้นสัญญาณก็จะถูกส่งออกมาในรูปลอจิก โดยจะขึ้นอยู่กับค่าแมกนิจูดของ V_{11} ซึ่งมุมในการทริก φ สามารถเลื่อนเฟสจาก 0 – 180° สำหรับทุกๆ ครึ่งคลื่นจะมีสัญญาณทริกบวกประมาณ 30 μs ในขณะที่เกิดสัญญาณที่เอาท์พุต Q_1 และ Q_2 ความยาวของพัลซ์สามารถที่จะทอดยาวไปถึง 180° ได้ด้วยค่าของ C_{12} และถ้าขาที่ 12 ถูกต่อลงกราวด์จะได้ว่าความกว้างของพัลซ์จะอยู่ระหว่าง φ ถึง180 °

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.49 รูปแบบการทำงานไอซีกระตุ้นให้ไตรแอคทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.50 ไอซีกระตุ้นให้ไตรแอกทำงาน

ตามรูปที่ 2.50 เป็นวงจรควบคุมมุมเฟสด้วยการควบคุมการทริกที่ไตรแอคโดยตรง โดยการทริกของไตรแอคสามารถปรับมุมทริกได้อย่างต่อเนื่อง ระหว่างตั้งแต่ 0 – 180 องศา เนื่องจากการปรับค่าความต้านทาน ในขณะที่ครึ่งคลื่นด้านบวกของแรงดันไตรแอคก็จะรับสัญญาณพัลซ์บวกจากขาเกตจากไอซี TAC785 ที่ขา 15 ส่วนในขณะที่ครึ่งคลื่นด้านลบของแรงดันไตรแอคก็จะได้สัญญาณทริกที่เป็นลบจากขา 14 ของไอซี ซึ่งความกว้างพัลซ์ประมาณ 100 μs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.1 การศึกษาข้อมูล

ขั้นตอนในการศึกษาข้อมูลเป็นขั้นตอนที่สองถัดจากการวางแผนดำเนินงาน เป็นขั้นตอนที่จำเป็นที่ต้องกระทำโดยการศึกษารายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้เพื่อให้ได้แนวคิดเบื้องต้นและแนวทางการสร้างโครงงานขึ้นมา ซึ่งจะกล่าวถึงลำดับขั้นตอนการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของโครงงานนี้ ดังต่อไปนี้

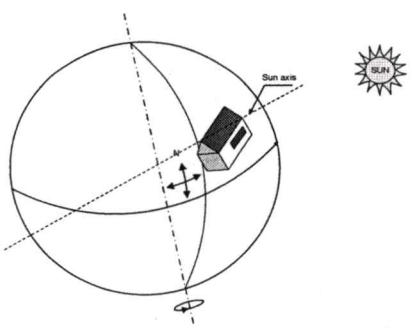
ขั้นตอนแรกต้องศึกษาข้อมูลว่า ลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่มีผลต่อแสงสว่างที่ต่อที่ตั้ง จนสามารถนำมาใช้ประยุกต์ในการประหยัดพลังงานไฟฟ้า จากการใช้แสงสว่างภายในอาคารที่ต้องการศึกษาวิจัยเป็นอย่างไรบ้าง และต้องการข้อมูลอย่างไรเพื่อนำไปขั้นตอนในการการวิเคราะห์ข้อมูล และนำไปสู่การใช่ข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ

3.1.1 ที่ตั้งและภูมิศาสตร์

ลักษณะทางภูมิศาสตร์ของประเทศไทยนั้นตั้งอยู่ที่ระหว่างเส้นรุ้งประมาณ 6 องศาเหนือที่อำเภอเบตง จังหวัดยะลา ถึงประมาณ 20 องศาเหนือที่อำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย และระหว่างเส้นแวงประมาณ 98 องศา ที่อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน ถึงประมาณ 106 องศา ที่อำเภอโขงเจียม จังหวัดอุบลราชธานี โดยทั่วประเทศมีเนื้อที่ประมาณ 514,000 ตารางกิโลเมตร

จากผลการศึกษา พบว่าศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ตามบริเวณต่าง ๆ ทั่วประเทศของแต่ละเดือน กระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศ พบว่ามีค่าเท่ากับ 18.2 เมกกะจูลน์ต่อตารางเมตร จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง

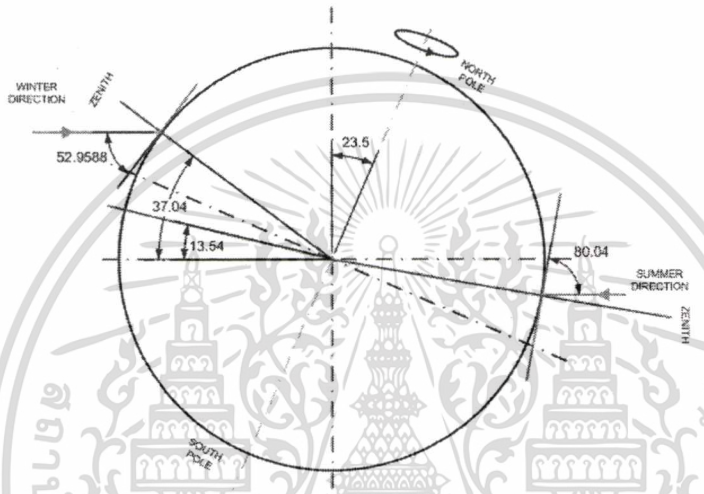
อาคารกรณีศึกษาได้ตั้งอยู่ที่ตำแหน่ง ละติจูด 13.54 ลองติจูด 100.67 และมีหน้าต่างที่รับแสงสว่างหันหน้าไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้



รูปที่ 3.1 แสดงตำแหน่งและทิศทางของอาคารกรณีศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

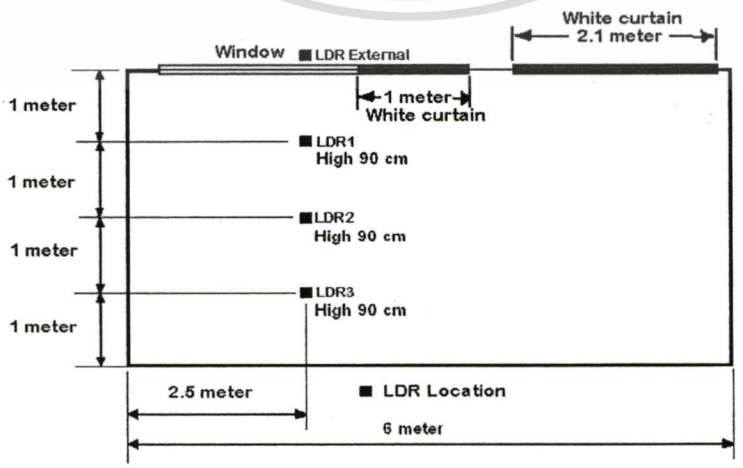
จากรูปที่ 3.1 สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของแสงสว่างที่ส่องผ่านช่องหน้าต่างเป็นของแต่ละเดือน ซึ่งได้จากความสัมพันธ์ของการโคจรรอบดวงอาทิตย์ของโลก และการเอียงทำมุมของแกนโลก โดยในบทที่ 2 ได้แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ ทำให้ในช่วงเดือน พฤษภาคม และ มิถุนายน จะได้รับแสงแดดที่ส่องเข้ามาทางหน้าต่างมากกว่า ทั้งในช่วง มีนาคม และ เมษายน และในช่วง ตุลาคม และ กันยายน เนื่องจากใน 2 ช่วงหลังแสงอาทิตย์ จะไม่ส่องผ่านเข้ามาทางหน้าต่างโดยตรง และในช่วง พฤศจิกายน – มกราคม ดวงอาทิตย์จะพาดผ่านเหนือหลังคา



รูปที่ 3.2 แสดงตำแหน่งของห้องกรณีศึกษาในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน

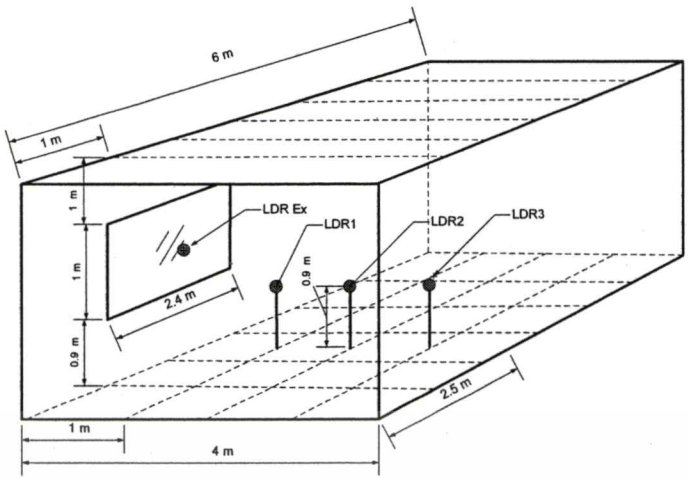
3.1.2 พื้นที่และลักษณะของห้องกรณีศึกษา

ห้องกรณีศึกษาเป็นห้องที่หันหน้าไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ โดยได้รับแสงอาทิตย์ ที่ส่องเข้ามาทางด้านหน้าทางหน้าต่าง โดยมีพื้นที่ขนาด 24 ตารางเมตร มีความสูงของฝ้าเพดานเท่ากับ 2.2 เมตร เป็นห้องก่ออิฐถือปูนที่ทาสีฟ้าอ่อนและมีขนาดของช่องหน้าต่างเป็นดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงพื้นที่และลักษณะของห้องกรณีศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 การวางตำแหน่ง LDR เพื่อการเก็บข้อมูล

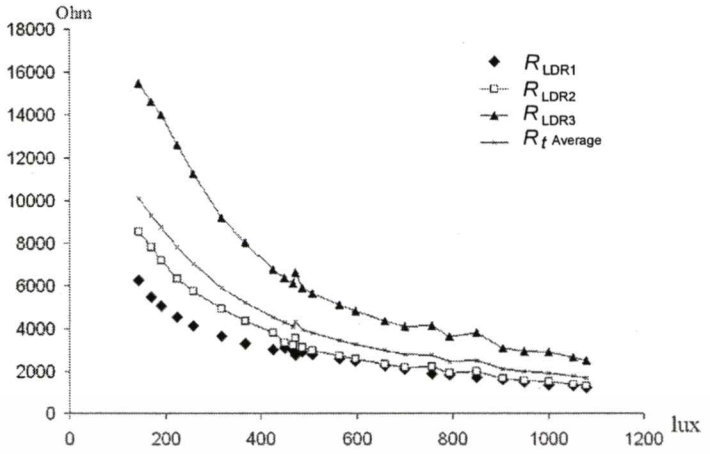
3.2 การสอบเทียบ LDR

ก่อนการนำ LDR มาวัดค่าแสงจะต้องทำการสอบเทียบ LDR กับลักซ์มิเตอร์ก่อนว่าค่าที่ได้นั้นมีค่าแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด และต้องปรับค่าความต้านทานของ วงจรแบ่งแรงดัน โดยให้ค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัว LDR ส่งค่าให้ ADC อย่างถูกต้อง ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าที่ได้จากการสอบเทียบ LDR กับ ลักซ์มิเตอร์

Illumiation (lm/m^2)	R_{LDR1} (ohm)	R_{LDR2} (ohm)	R_{LDR3} (ohm)	$R_{4\,(c\text{-}bar)}$ (ohm)
144	626	8534	15519	10104
171	5472	7805	14636	9304
191	5056	7211	14014	8760
225	4513	6338	12607	7819
259	4133	5750	11271	7051
318	3646	4916	9185	5916
368	3278	4353	8050	5227
425	3016	3807	6756	4526
449	3072	3334	6367	4257
468	2977	3217	6121	4105
473	2763	3540	6639	4314
487	2888	3105	5898	3963
508	2798	2986	5652	3812
564	2517	2708	5091	3456
597	2449	2566	4800	3272
659	2243	2324	4350	2972
701	2113	2182	4082	2792
756	1895	2223	4142	2753
793	1849	1919	3608	2459
850	1698	2006	3805	2503
904	1593	1648	3095	2112
949	1497	1552	2931	1993
1000	1349	1536	2907	1931
1052	1286	1385	2636	1769
1080	1247	1317	2490	1685

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

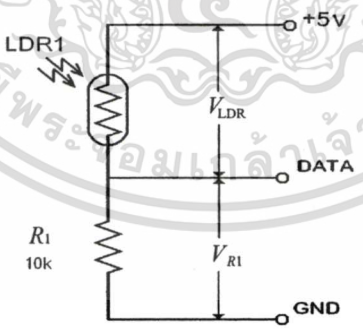


รูปที่ 3.5 แสดงค่าความต้านทานของ LDR กับค่าลักซ์มิเตอร์

3.3 การเก็บข้อมูล

ในการเก็บของมูลของแสงสว่างนั้น ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเอาอุปกรณ์ อิเลคทรอนิกส์ ได้แก่ LDR นำมาเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลทางด้านแสง

โดยจากวงจรแบ่งแรงดัน โดยทำการต่อความต้านทาน 10 กิโลโอห์ม (R_1) เป็นตัวอ้างอิง ซึ่งเมื่อ LDR มีความต้านทานเพิ่มขึ้นก็ต่อเมื่อมีแสงมาตกกระทบมาก และจะทำให้ค่าแรงดันที่ขาข้อมูลมีค่ามากตามไปด้วย และแรงดันจะลดลงเมื่อมีแสงตกกระทบน้อย และใช้วงจรนี้ในการเก็บข้อมูล



รูปที่ 3.6 วงจรแบ่งแรงดัน

จากวงจรในรูปที่ 3.6 จะสามารถหาแรงดันที่ขาข้อมูล V_{R1} ได้จากสมการ (3.1) สมการ

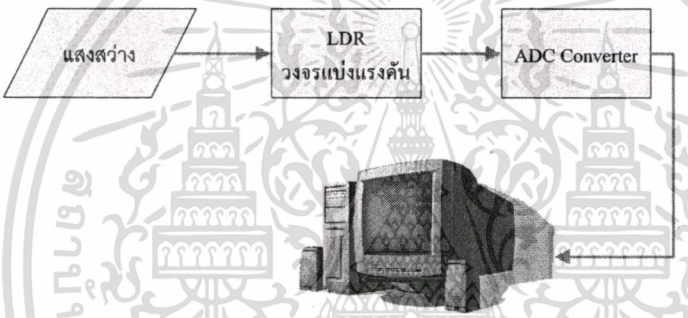
$$V_{R1} = \frac{R_1}{R_{LDR} + R_1} \times V_S \tag{3.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจากโมดูลที่แปลงจากอะนาลอกเป็นดิจิตอล ADC ที่เป็น 10 บิต ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลที่ได้จากแรงดันที่ขาข้อมูล V_{R1} โดยมีแรงดันแหล่งจ่ายเป็น 0-5 โวลท์ และทำการแบ่งเป็นตัวเลขอยู่ระหว่าง 0 – 1023 ซึ่งทำการคำนวณหาได้จากสมการ (3.2)

$$\text{Data} = \frac{1023 \times V_{R1}}{5} \tag{3.2}$$

การแปลงอะนาลอกเป็นดิจิตอล นั้นเราใช้อุปกรณ์ ACD Converter บอร์ด ACD ขนาด 8 ช่อง ความละเอียด 10 บิต เชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์เพื่อทำการบันทึกข้อมูล โดยการใช้วงจรแบ่งแรงดันในรูปที่ 3.7 และนำค่าแรงดันที่ตกคร่องความต้านทาน *R1* ซึ่งเท่ากับ 10 กิโลโอห์ม นำไปต่อเป็นอินพุตของวงจร ADC



รูปที่ 3.7 ฝังแสดงขั้นตอนการเก็บข้อมูล

3.3.1 Analog to Digital

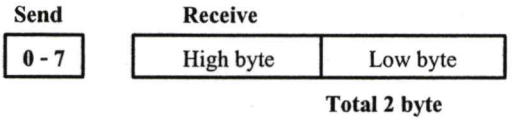
ในการใช้บอร์ด ADC ขนาด 8 ช่อง ที่ความละ 10 บิต เชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลของแสงภายในห้องกรณีศึกษาโดยบอร์ด ADC ได้มีพอร์ตอนุกรมเพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ โดยมีวงจรแปลงระดับแรงดันสัญญาณมาตรฐาน RS-232 ในตัวด้วย ความเร็วบอด 19200 บิตต่อวินาที, 8 บิตข้อมูล, ไม่มีบิต parity, 1 บิตหยุด โดยแปลงสัญญาณอะนาลอก 8 ช่องความละเอียดการแปลงสัญญาณ 10 บิต ที่ระดับแรงดัน 0 - 5 โวลท์ ซึ่งใช้ไฟเลี้ยงจากอะแดปเตอร์ภายนอก 9 - 12 โวลท์ พร้อมวงจรเรกูเลตแปลงระดับแรงดันคงที่ +5 โวลท์ สำหรับเลี้ยงวงจรและไฟ LED แสดงการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 รูปแบบการติดต่อและรับส่งข้อมูล

รูปแบบทั้งหมดมี 4 รูปแบบ

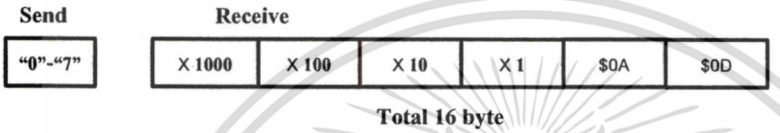
1. คำสั่งอ่านค่าแบบไปนารีขนาด 2 ไบต์จากช่องสัญญาณ



2. อ่านค่าแบบรหัสแอสกี 6 ไบต์ จากช่องสัญญาณ

Single channel conversion

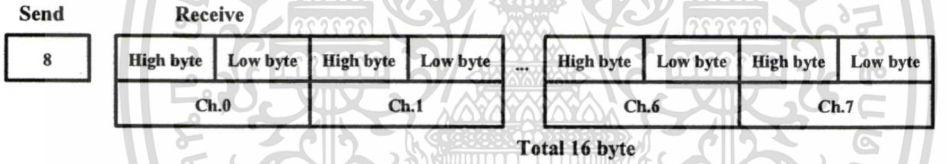
Return: 6 byte value as decimal 4 digit (ASCII) with line feed and carriage return code



3. คำสั่งอ่านค่าแบบไบนารี 2 ไบต์ จาก 8 ช่องสัญญาณ

All 8 channel conversion

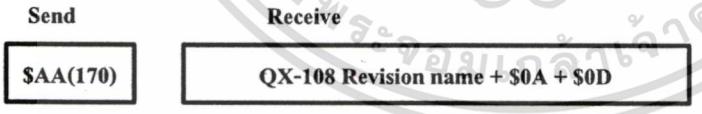
Return : 16 byte immediate value



คำสั่งอ่านชื่อและรุ่นของบอร์ดที่ใช้งาน

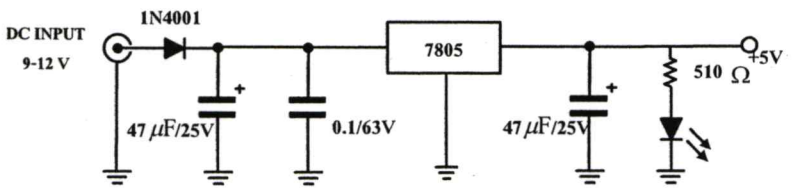
Check signature

Return: Model name with line feed and carriage return code



3.3.3 แหล่งจ่ายไฟของ บอร์ด ADC

เป็นวงจรที่ทำหน้าที่จ่ายไฟเลี้ยงให้วงจรในบอร์ด ADC โดยต้องการระบบแรงดันที่ต้องจ่ายให้กับบอร์ดคือ 5 โวลท์ โดยใช้ไอซีเร็กกูเลตเบอร์ 7805 ปรับแรงดันจากไป DC อินพุต 9-12 โวลท์

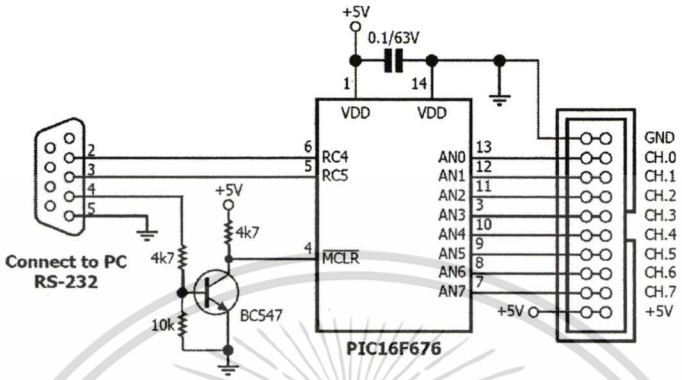


รูปที่ 3.8 วงจรจ่ายไฟ 5 โวลท์

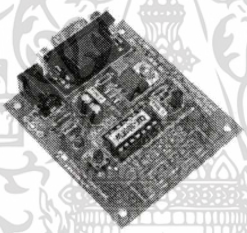
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 วงจร ADC

วงจร ADC ใช้ไมโครคอนโทรเลอร์รุ่น PIC16F676 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการรับสัญญาณทางพอร์ตอินพุตจากนั้นก็จะทำการแปลงข้อมูลให้เป็นตัวเลข และทำการแปลสัญญาณเป็นแบบมาตรฐาน RS-232



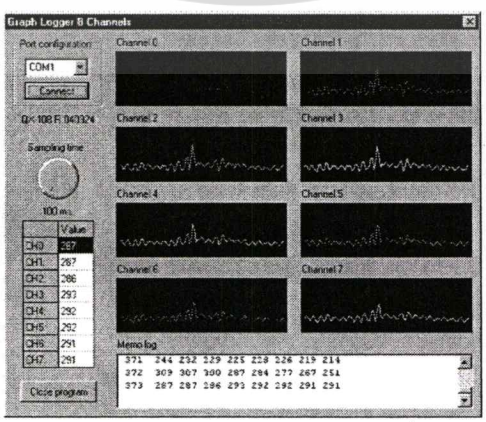
รูปที่ 3.9 วงจร ADC



รูปที่ 3.10 ADC Module (QX-108)

3.3.5 โปรแกรมเก็บข้อมูล

โปรแกรมที่ใช้เก็บข้อมูลนั้นเราใช้โปรแกรมสำเร็จรูปของบริษัท Innovative Experiment ที่ใช้รับสัญญาณจากบอร์ด QX-108 โดยผ่านทาง RS-232 โดยโปรแกรมวินโดน์เป็นดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 โปรแกรมอินเตอร์เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

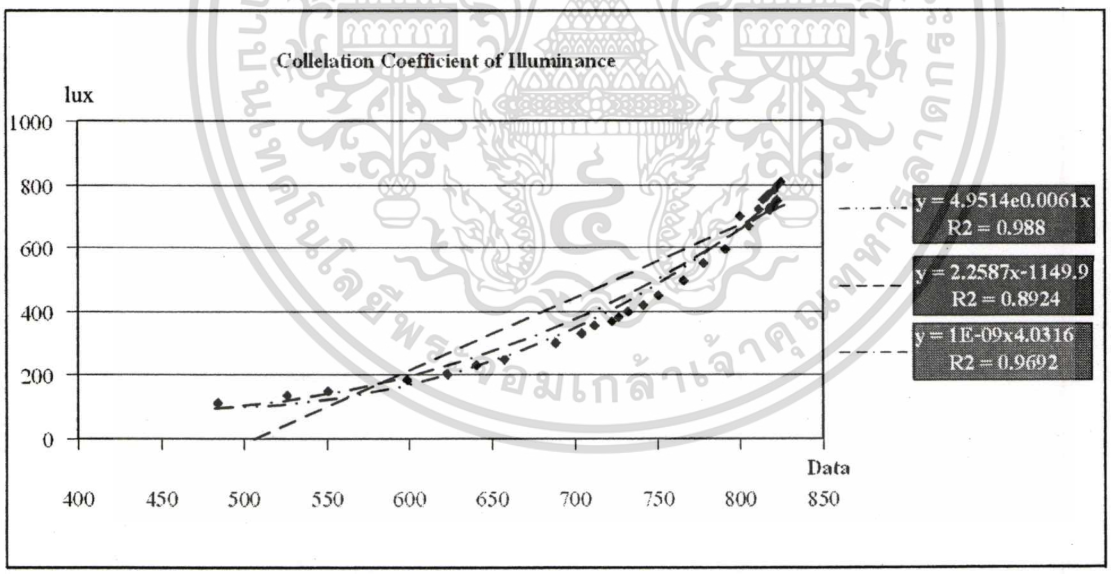
ข้อมูลที่ได้จากเก็บจากโปรแกรมอินเตอร์เฟส สามารถทำการบันทึกเป็นเท็กไฟล์และนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.1 การหาความสัมพันธ์

ข้อมูลที่ได้มาจากโปรแกรมอินเตอร์เฟส ต้องนำมาทำการหาความสัมพันธ์ทางสถิติด้วยการหาสมการถดถอย หรือการหาความสัมพันธ์ว่าแสงที่เราได้ค่ามากับเวลาที่ทำการบันทึกข้อมูลนั้นมีความสัมพันธ์กัน

ข้อมูลที่ได้มา ต้องนำมาทำการหาความสัมพันธ์ทางสถิติด้วยการหาสมการถดถอย หรือการหาความสัมพันธ์ว่าแสงที่ได้ค่ามา กับเวลาที่ทำการบันทึกข้อมูลนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างไร โดยนำค่าที่ได้มาพล็อตกราฟในโปรแกรมเอ็กเซลและให้โปรแกรมแสดงค่าสมการถดถอย โดยให้ค่า R^2 มีค่าใกล้เคียงหนึ่งก็แสดงว่าสมการที่ได้นั้นเป็นสมการที่สามารถคาดการณ์สิ่งที่จะเกิดขึ้นได้ในอนาคตได้อย่างถูกต้องแม่นยำ



รูปที่ 3.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแสง (lux) กับข้อมูลจากADC (Data)

3.4.2 สัมประสิทธ์สหสัมพันธ์

ดังรูปที่ 3.12 พบว่าความสัมพันธ์ของค่าแสงกับข้อมูลจาก ADC มีความสัมพันธ์ในลักษณะเส้นโค้ง กล่าวคือค่าแสงเพิ่มขึ้นก็ทำให้ค่าของข้อมูลเพิ่มขึ้นเช่นกัน จากนั้นทำการวิเคราะห์ทางสถิติ หาความสัมพันธ์ของสมการกับการทดลองโดยเลือกใช้ ค่า R^2 (The Coefficient of determination) ที่มีค่าสูงสุด และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการกะประมาณ ที่มีค่าต่ำสุด ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตัดสิน จากการทดสอบพบว่าสมการในรูปแบบ Exponential สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแสง และข้อมูลได้จากการเก็บข้อมูล โดยให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.988 นั้นคือจะสามารถอธิบายค่าแสงมีอิทธิพลต่อข้อมูลได้ถึง 98.8 % โดยการคำนวณหาดังตารางที่ 3.2 ด้วยสมการดังต่อไปนี้

จากสมการ(3.3) เป็นสมการเส้นค่าประมาณของเอ็กโปแนลเชียล

ตารางที่ 3.2 การหาค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างค่าแสง (lux) และข้อมูล (Data)

Data=t	Lux=Yt	log Y_t	t^2	t * log Y_t	fitted log Y_t	logY_t-fitted log Y_t	(logY_t-fitted log Y_t)^2	(logY_t-mean log Y_t)^2
484	110	2.041	234256	988.03	1.975	0.066	0.004384103	0.357018984
522	130	2.114	272484	1103.48	2.076	0.038	0.001461695	0.27558299
525	133	2.124	275625	1115.02	2.084	0.040	0.00161634	0.265278254
552	150	2.176	304704	1201.20	2.155	0.021	0.000441561	0.214195023
599	180	2.255	358801	1350.91	2.279	-0.024	0.000583054	0.147172618
623	200	2.301	388129	1433.54	2.343	-0.042	0.001754132	0.114158398
640	230	2.362	409600	1511.51	2.388	-0.026	0.000684291	0.076826261
658	250	2.398	432964	1577.84	2.436	-0.038	0.001411264	0.058063328
688	300	2.477	473344	1704.26	2.515	-0.038	0.00142523	0.026173443
704	330	2.519	495616	1773.03	2.557	-0.039	0.001496794	0.014493608
710	350	2.544	504100	1806.29	2.573	-0.029	0.000841444	0.008993734
722	370	2.568	521284	1854.24	2.605	-0.037	0.001341071	0.004998719
726	380	2.580	527076	1872.92	2.615	-0.036	0.001268855	0.003495144
732	400	2.602	535824	1904.71	2.631	-0.029	0.000853687	0.001357432
741	420	2.623	549081	1943.83	2.655	-0.032	0.001013698	0.000245049
750	450	2.653	562500	1989.91	2.679	-0.026	0.00065974	0.000204752
765	500	2.699	585225	2064.71	2.719	-0.020	0.000384601	0.003608004
790	600	2.778	624100	2194.74	2.785	-0.007	4.31503E-05	0.01938998
805	669	2.825	648025	2274.47	2.824	0.001	1.0458E-06	0.034790746
813	685	2.836	660969	2305.42	2.846	-0.010	9.7562E-05	0.038725214
815	700	2.845	664225	2318.75	2.851	-0.006	3.3189E-05	0.042516254
800	700	2.845	640000	2276.08	2.811	0.034	0.001150725	0.042516254
811	720	2.857	657721	2317.30	2.840	0.017	0.000290896	0.047711296
818	724	2.860	669124	2339.27	2.859	0.001	8.88998E-07	0.048768197
820	730	2.863	672400	2347.92	2.864	-0.001	5.8362E-07	0.05036412
821	743	2.871	674041	2357.08	2.867	0.004	1.81173E-05	0.053863667
822	750	2.875	675684	2363.30	2.869	0.006	3.23004E-05	0.055770564
814	750	2.875	662596	2340.30	2.848	0.027	0.000720804	0.055770564
815	760	2.881	664225	2347.86	2.851	0.030	0.000897276	0.05852057
817	770	2.886	667489	2358.26	2.856	0.030	0.000920551	0.061299513
817	770	2.886	667489	2358.26	2.856	0.030	0.000920551	0.061299513
820	780	2.892	672400	2371.52	2.864	0.028	0.000784436	0.064105815
823	800	2.903	677329	2389.24	2.872	0.031	0.000965128	0.069794584
824	806	2.906	678976	2394.82	2.875	0.032	0.001002736	0.071519715
							0.029501501	2.448592306

t^Tt	34	24986	$t^T\log y_t$	89.723	
	24986	18707406		66850.0369	
det t^Tt	11751608				
$(t^Tt)^{-1}$	1.591902	-0.002126	log b	0.695 ← log b0	
	-0.002126	2.893E-06		0.003 ← log b1	

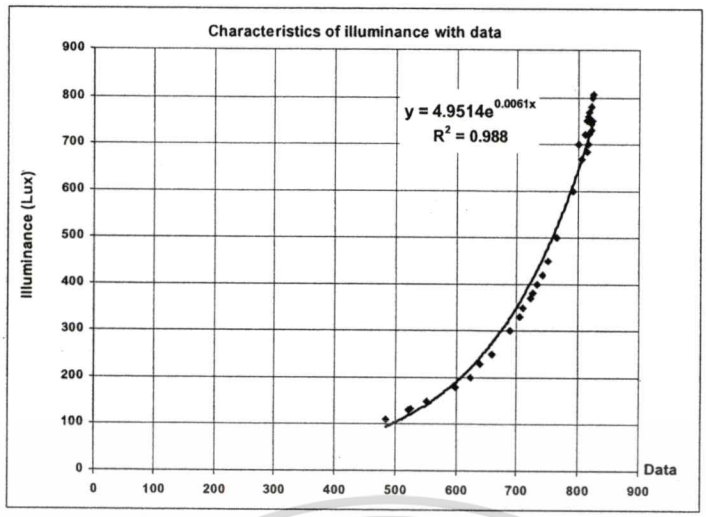
mean log y_t
2.639

indetermination coeff.	0.0120
determination coeff.	0.9880

จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้เป็นตัวเลขที่ได้จากการเก็บข้อมูล จากวงจร ADC ขนาด 8 บิทโดยมีค่าสเกลเท่ากับ 1023 ค่า กับค่าที่ได้จากการสอบเทียบกับลักซ์มิเตอร์ เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าความสว่างที่มีหน่วยเป็นลักซ์จากการสเกนค่าทุกๆ 5 วินาที จะได้ความสัมพันธ์แบบ เอ็กโปเนลเซียล ระหว่างข้อมูลที่ได้จาก ADC กับค่าความสว่าง (Illuminance) ซึ่งมีสมการเป็นสมการ (3.3)

$$y = ae^{bx} \tag{3.3}$$

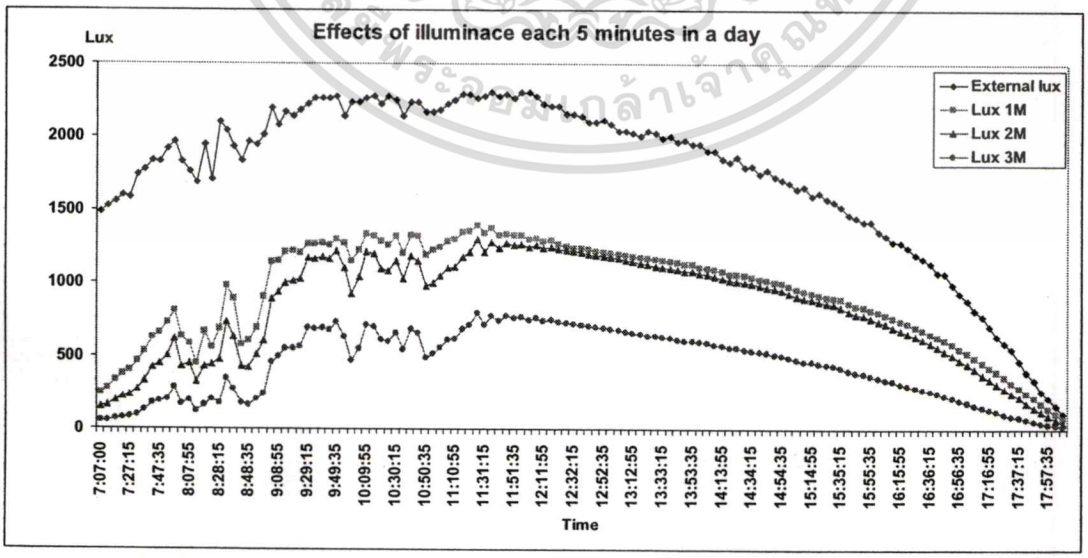
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 Characteristics of Illuminance with Data

โดยที่ x เป็นค่าที่ได้จากข้อมูล, y เป็นค่าความสว่าง เมื่อ a =4.9514 และ b =0.0061 ดังนั้นจะได้ค่าความสว่างตามสมการที่ 3.3 เป็น Illuminace $=4.9514e^{0.0061(data)}$ และได้นำไปคำนวณเป็นค่า Illuminance ของกราฟรูปที่ 3.13 และ รูปที่ 3.14

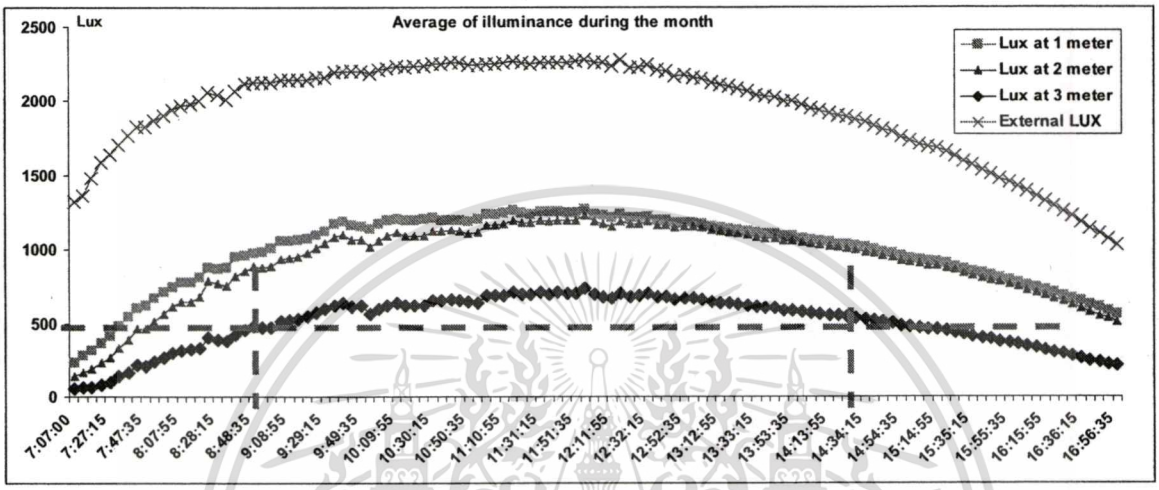
จากการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณแสง จากภายในห้องทำให้ทราบว่าแสงที่ได้จากดวงอาทิตย์ในแต่ละช่วงของเวลาที่มีการสะท้อนเข้ามาทางหน้าต่างนั้นเป็นอย่างไร โดยลักษณะของแสงจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในช่วงเช้าและจะเริ่มคงที่เมื่อเข้าช่วงเที่ยงจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงในช่วงหลังบ่ายไปโดยแสดงให้เห็นดังรูปกราฟที่ 3.14 เป็นค่าเฉลี่ยโดยการวิเคราะห์ข้อมูลจากข้อมูลที่เก็บทุกช่วง 5 วินาที ให้เป็น 5 นาที ใน 1 วัน



รูปที่ 3.14 ลักษณะของความสว่างเป็นลักซ์ทุกช่วง 5 นาที ใน 1 วันของเดือนกุมภาพันธ์ 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการพิจารณาดูรูปที่ 3.14 เราจะเห็นการเปลี่ยนค่าของปริมาณแสงสว่างอย่างขึ้นๆ ลงๆ เนื่องจากสภาพเมฆบนท้องฟ้าที่มาบดบังแสงแดดแต่ก็มีลักษณะที่ไปแบบระฆังคว่ำแบบป้าน คือแสงจะเริ่มสว่างขึ้นในย่ามเช้าและจะค่อยสูงขึ้นจนในช่วงบ่ายแสงก็เริ่มลดต่ำลง จนยามเย็นแสงก็จะหมดลง และจะเห็นว่าในช่วงกลางวันนั้นมีเมฆน้อย



รูปที่ 3.15 ความสว่างของแสงเฉลี่ย ตามระยะห่างจากหน้าต่าง ของเดือนกุมภาพันธ์ 2551

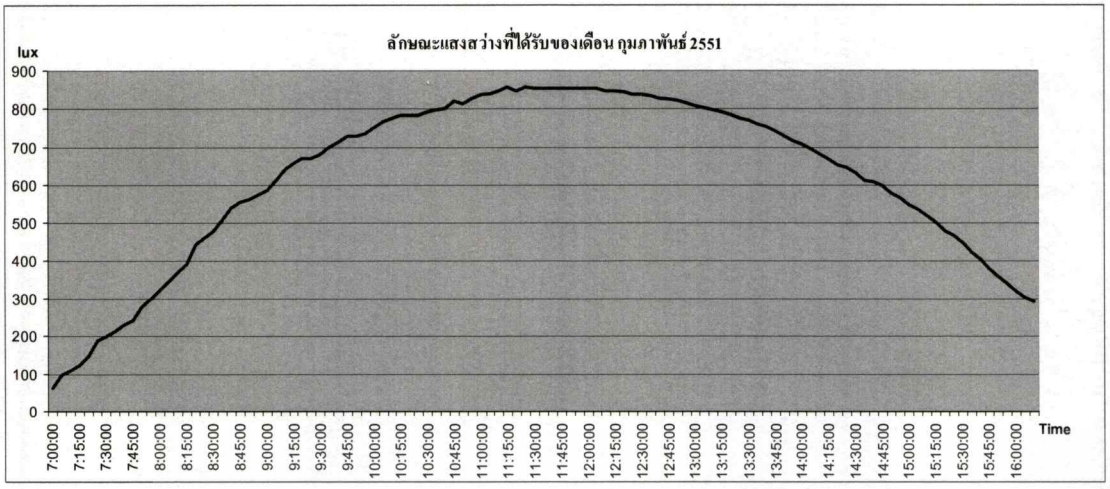
แต่ถ้าดูข้อมูลตลอดทั้งเดือนเราจะได้ว่าแสงโดยส่วนใหญ่จะมีค่าคงที่อยู่ระหว่าง เวลา 9:00 – 14:00 น. โดยค่าความสว่างพอเหมาะแก่การนำไปชดเชยกับค่าความสว่างภายในห้อง จากการวิเคราะห์ข้อมูล ต้องการให้มีแสงสว่างที่คงที่ตลอดทั้งวันที่ 500 ลักซ์ โดยพิจารณาในพื้นที่ที่ต้องใช้งานหรือความสว่างโดยเฉลี่ย และพิจารณาว่าที่ระยะ 3 เมตร จากช่องหน้าต่างมีค่าความสว่างที่ 500 ลักซ์ เมื่อเวลาประมาณ 9 นาฬิกา หลังจากนี้หลอดไฟจะทำการหรี่โดยอัตโนมัติ

จากสมการ 2.57 ในบทที่ 2 จะได้ว่าค่าความต้านทานของ LDR ต่อค่าความสว่างของแสงธรรมชาติ แรงดันที่แรงดันเอาท์พุต จากวงจรแบ่งแรงดันสามารถนำมาวิเคราะห์การตอบสนองของ LDR ของแต่ละจุดของห้องกรณีศึกษาได้ ตามตารางที่ 3.3

3.5 การวิเคราะห์พลังงานแสงธรรมชาติ

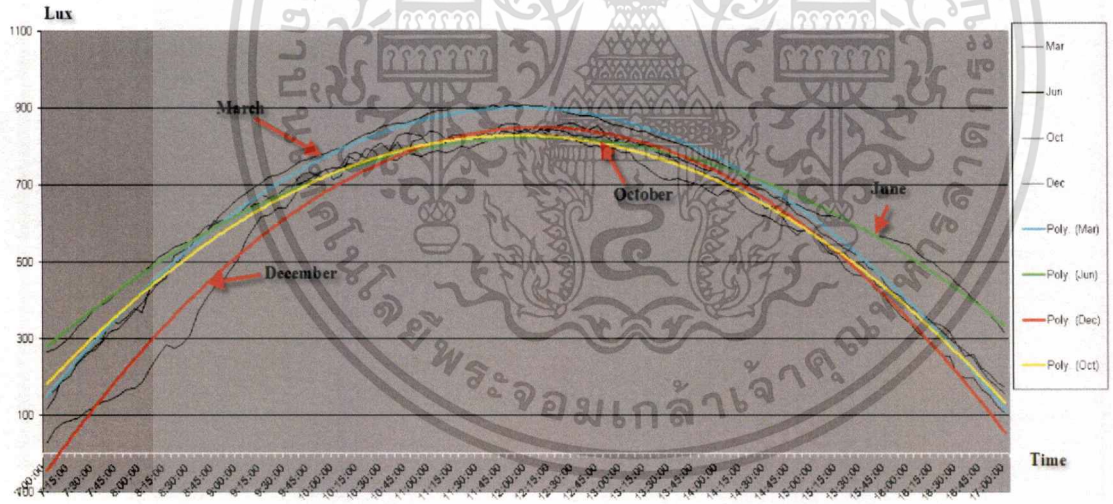
จากข้อมูลที่ได้ทำการบันทึกมา นำมาสรุปและวิเคราะห์ถึงปรากฏการณ์ของแสงที่ส่งผลมาจากแสงจากธรรมชาติที่สะท้อนมาจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในรอบปี ว่ามีพฤติกรรมเป็นแบบใดเพื่อนำไปคำนวณหาวิธีในการประหยัดพลังงาน ในการชดเชยพลังงานของแสงสว่างที่จำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 กราฟแสดงปริมาณข้อมูลแสงสว่างของเดือนกุมภาพันธ์ ปี2551

จากรูปที่ 3.16 แสดงลักษณะของปริมาณแสงสว่างจากการเก็บข้อมูลของห้องกรณีศึกษา โดยกราฟมีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ โดยแสงมีค่าสูงสุดตั้งแต่เวลาเที่ยงวันเป็นต้นไป โดยแสงที่เก็บได้จากการวาง LDR ไว้ตามตำแหน่งต่างๆ ของห้องดังรูปที่ 3.3 จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ยของทุกๆ 5 นาที



รูปที่ 3.17 กราฟแสดงปริมาณข้อมูลแสงสว่างของทุก 4 เดือน

รูปที่ 3.17 ให้มองเห็นภาพว่าปริมาณของแสงสว่างของทุก 4 เดือนมีการเปลี่ยนแปลงไปเช่นไร และจะได้ว่าแสงในหนึ่งปีนั้นมีพฤติกรรมเป็นอย่างไร โดยจะสังเกตว่าในเดือนธันวาคม นั้นแสงที่ได้นั้นจะค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบที่เวลาเดียวกันของเดือนมีนาคม มิถุนายน และ ตุลาคม

จากการเก็บข้อมูลตลอดปี สามารถสรุปได้ว่าค่าความสว่างของแต่ละเดือนมีความสอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของโลกที่หมุนรอบดวงอาทิตย์ในหนึ่งปี และหมุนรอบตัวเองในแต่ละวัน และยังมีผลต่อตำแหน่งที่ตั้งว่าอาคารมีด้านที่มีหน้าต่างหันไปทางทิศใด

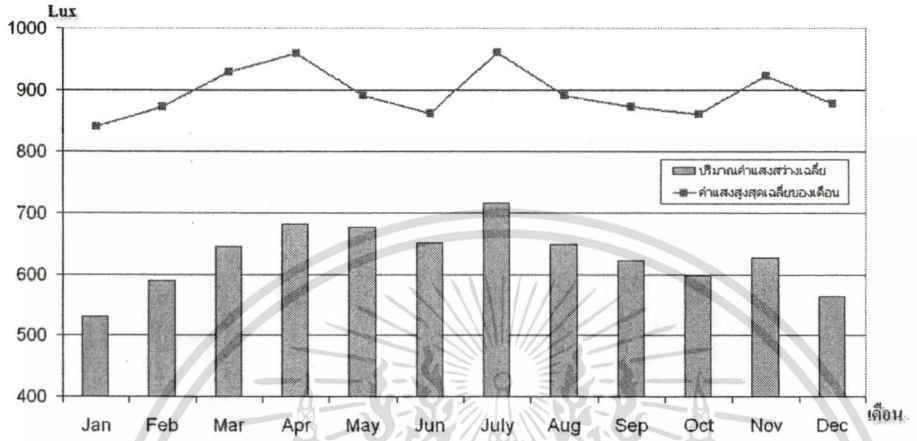
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ค่าความสว่าง (lux) ที่ได้จากการเก็บข้อมูลระหว่างเดือนมกราคม-ธันวาคม 2551

Time	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
7:00:00	38	66	156	181	205	275	264	244	213	120	83	30
7:05:00	41	96	165	201	226	277	288	245	216	146	107	65
7:10:00	49	111	190	210	240	287	290	243	233	195	136	76
7:15:00	60	124	204	231	256	313	306	260	244	218	154	82
7:20:00	59	146	238	247	271	319	339	296	273	234	185	98
7:25:00	83	190	264	276	295	353	360	318	292	257	208	112
7:30:00	97	193	264	286	312	375	369	320	303	284	221	116
7:35:00	103	214	291	311	355	388	420	340	314	293	262	132
7:40:00	117	237	328	344	385	406	465	356	342	357	299	139
7:45:00	128	244	328	351	390	429	449	373	362	336	305	146
7:50:00	136	283	356	397	420	445	473	392	365	349	328	174
7:55:00	145	289	361	394	417	453	500	414	369	367	336	168
8:00:00	155	323	389	439	451	465	512	417	382	366	374	187
8:05:00	187	343	413	445	466	486	527	424	416	436	397	223
8:10:00	238	371	446	477	509	521	534	450	412	442	433	257
8:15:00	262	403	476	515	538	523	548	463	434	443	473	279
8:20:00	278	446	485	532	571	554	585	477	455	516	493	276
8:25:00	334	471	521	566	576	567	628	518	496	538	542	282
8:30:00	350	480	536	586	592	557	629	520	501	535	575	306
8:35:00	396	522	574	599	606	574	663	584	512	554	564	372
8:40:00	423	563	595	649	632	594	617	552	516	575	620	420
8:45:00	446	549	594	640	626	590	681	560	545	621	592	431
8:50:00	448	555	618	647	651	601	681	573	538	594	606	447
8:55:00	475	573	639	642	637	605	686	585	560	602	628	477
9:00:00	523	592	671	697	712	623	712	613	562	645	654	508
9:05:00	531	620	684	707	713	637	688	616	602	637	673	563
9:10:00	547	648	700	714	729	655	708	635	606	654	707	596
9:15:00	564	651	699	718	719	647	746	643	616	672	688	623
9:20:00	616	675	727	741	729	671	752	652	623	673	688	626
9:25:00	646	678	733	755	739	675	766	694	642	665	704	634
9:30:00	648	687	742	765	743	675	785	693	662	686	728	646
9:35:00	648	709	760	783	756	707	777	699	667	708	754	656
9:40:00	657	713	762	772	750	704	793	725	676	721	752	701
9:45:00	664	721	759	778	752	707	809	723	684	726	763	690
9:50:00	665	736	785	801	772	739	811	746	702	730	772	716
9:55:00	680	743	790	811	773	746	806	782	733	713	796	749
10:00:00	708	760	800	814	783	752	800	769	731	726	804	708
10:05:00	698	778	805	828	791	753	827	783	753	744	837	731
10:10:00	698	769	801	815	780	748	846	802	793	789	831	766
10:15:00	727	791	830	842	802	764	827	794	748	776	860	753
10:20:00	763	791	842	850	811	761	838	803	778	763	855	801
10:25:00	758	786	840	859	810	771	845	825	787	800	849	795
10:30:00	747	805	863	876	829	784	861	812	797	798	884	776
10:35:00	745	794	851	861	811	761	867	829	800	785	838	780
10:40:00	759	797	856	868	828	762	859	818	807	833	854	816
10:45:00	759	819	859	885	831	783	864	825	828	834	893	779
10:50:00	766	806	859	880	823	772	860	803	825	824	867	807
10:55:00	776	836	885	911	840	782	878	810	826	836	878	812
11:00:00	780	845	895	913	854	793	900	863	830	792	883	831
11:05:00	792	847	903	921	845	797	885	842	819	807	868	846
11:10:00	788	855	901	933	853	790	914	841	818	817	886	811
11:15:00	783	859	904	931	849	793	910	838	848	818	901	834
11:20:00	800	851	905	935	850	803	897	847	855	820	871	833
11:25:00	813	846	885	920	838	786	927	871	835	834	880	831
11:30:00	820	841	885	914	833	794	909	853	824	806	896	840
11:35:00	838	872	916	953	877	830	909	856	863	812	873	853
11:40:00	826	873	929	953	885	837	947	857	840	847	916	851
11:45:00	817	851	897	927	867	836	921	860	872	823	874	860
11:50:00	817	833	887	910	854	819	918	890	856	828	870	878
11:55:00	834	845	896	928	865	825	948	869	849	847	874	850
12:00:00	841	871	927	959	890	863	919	863	830	820	922	825
12:05:00	826	865	918	955	875	861	932	875	834	861	879	848
12:10:00	840	858	916	950	884	857	957	878	860	833	903	856
12:15:00	827	858	911	950	882	854	960	891	852	814	867	830
12:20:00	814	852	906	942	874	851	944	877	853	836	849	863
12:25:00	801	855	906	947	877	857	917	874	867	801	835	876
12:30:00	835	852	899	943	865	843	916	872	837	803	890	876
12:35:00	812	839	884	926	845	833	928	875	847	805	870	856
12:40:00	783	836	888	925	861	831	944	866	859	809	860	851
12:45:00	782	828	879	915	842	826	926	872	845	801	865	857
12:50:00	782	830	875	920	855	836	925	869	838	781	819	827
12:55:00	798	823	865	916	854	821	940	861	850	805	838	836
13:00:00	759	816	863	913	844	829	914	853	823	777	858	795

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่าความสว่างจากตารางที่ 3.4 ของแสงอาทิตย์ของทุกเดือนในหนึ่งปี มานำเสนอเป็นแผนภูมิได้ดังรูปที่ 3.18 กราฟแท่งเป็นค่าความสว่างเฉลี่ยของแต่ละเดือน ส่วนกราฟเส้นเป็นค่าเฉลี่ยของความสว่างสูงสุดของแต่ละเดือน ในรูปที่ 3.18 จะได้ลักษณะความของแสงที่เกิดขึ้นทั้งปี

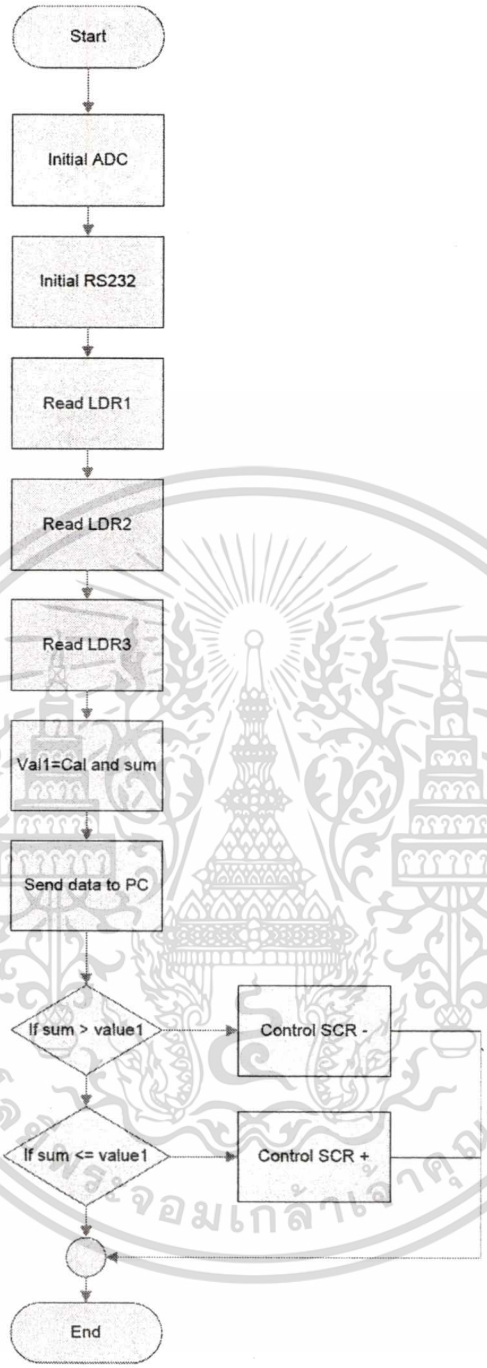


รูปที่ 3.18 กราฟแสดงปริมาณค่าความสว่างสูงสุด

3.6 หลักการทำงาน และการออกแบบ

การออกแบบนั้นต้องการหรี่ไฟแบบหลอดไส้ โดยอัตโนมัติดังนั้นเราต้องการหรี่ที่มุมเฟสของแรงดันไฟฟ้า โดยจะทำให้ค่าความสว่างของหลอดไฟนั้นหรี่ลงดังนั้นจะต้องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อคำนวณมุมเฟส ที่จะต้องทำการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 บล็อกไดอะแกรมของการทำงาน

จากรูปที่ 3.19 แสดงการทำงานของแต่ละหน่วย โดยเริ่มจากแหล่งจ่ายแรงดันที่ใช้เท่ากับ 5 โวลท์ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย ให้กับไอซีเรกูเลต IC PIC16F877 ได้ทำการรับข้อมูลจาก LDR ที่ทำการวัดค่าแสงจากวงจรแบ่งแรงดัน จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะได้ทำการคำนวณ ถ้าแสงมีค่าสูงกว่า 500 ลักซ์ ก็จะทำการสั่งให้ไอซี AT90S2313 ทำการควบคุมการหรี่แสงสว่าง โดยได้มีการตรวจสอบจุดตัดศูนย์จากวงจร

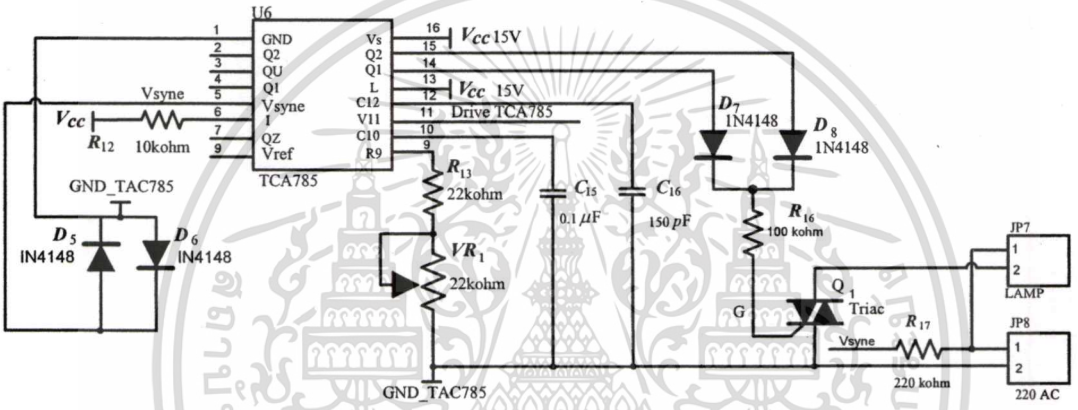
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Zero Crossing โดยไอซี TCA785 เพื่อทำหน้าที่ควบคุมมุมเฟส จากนั้นสัญญาณจะส่งผ่านไปควบคุมไตรแอคอีกทีหนึ่ง โดยในการปรับมุมเฟสของสัญญาณรูป Sine ของโหลด

3.6.1 การออกแบบวงจร

3.6.1.1 วงจรหรี่ไฟ

หลักการทำงานของไตรแอคเพื่อนำไปหรี่ไฟ แต่ต้องมีสัญญาณทริกไตรแอคจึงจะสามารถทำงานได้ โดยการใช้ไอซี TCA785 เป็นตัวกำเนิดสัญญาณทริก โดยจะมีสัญญาณควบคุมที่ส่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์จากนั้นให้ทำการขยายโดยใช้ไอซี MCP41050 ซึ่งทำหน้าที่เป็น *VR* ดิจิตอล และทำการขยายสัญญาณที่ขยายจาก 0-5V ไปเป็น 0-15V ก่อนส่งให้ ไอซี TCA785

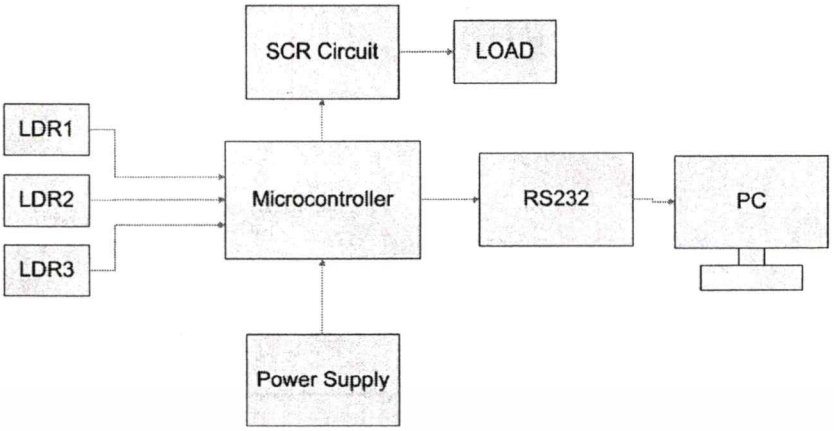


รูปที่ 3.20 วงจรจุดตัดศูนย์ของไอซี TCA785

3.6.1.2 การออกแบบไมโครคอนโทรลเลอร์

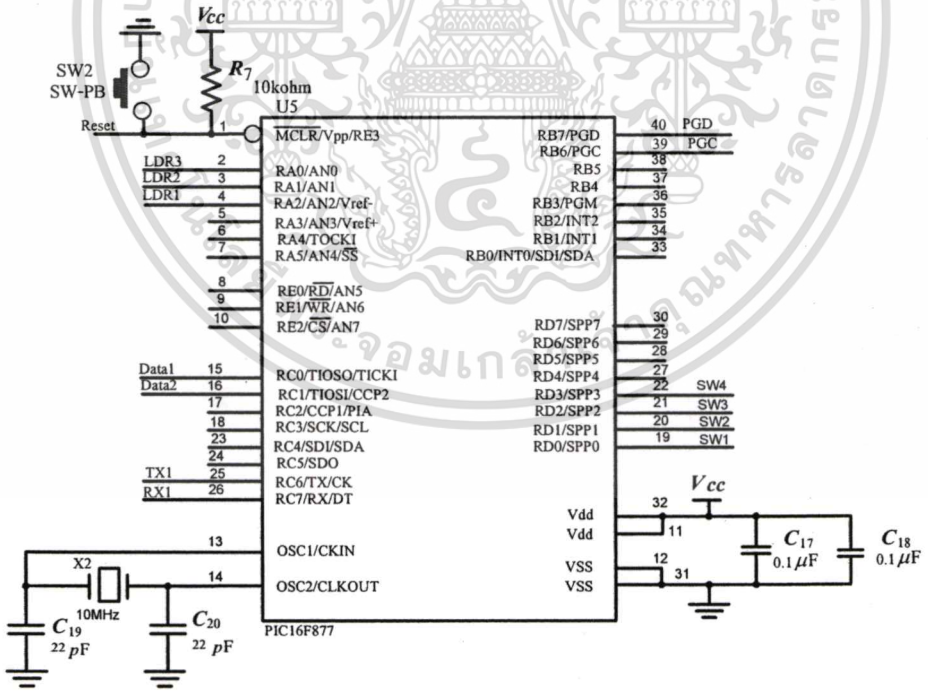
จากการออกแบบด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการ อินพุตของการรับข้อมูลของแสงจาก LDR ทั้ง 2 ตัวเพื่อรับข้อมูลทางด้านแสงและนำมาคำนวณเพื่อให้ได้ค่าแสงสว่างที่เป็นค่าเฉลี่ย อินพุตของการรับสัญญาณ (Zero Crossing) เอาพุตสำหรับการส่งสัญญาณหรี่ไฟ เพื่อไปให้ทรานซิสเตอร์ชนิด (NPN) สร้างสัญญาณซิงค์ให้กับไอซีออปโต้ไอโซเลตเพื่อไปทริกไตรแอค ชุดส่งสัญญาณ RS232 เพื่อติดต่อกับทางคอมพิวเตอร์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อีกหนึ่งตัวเพื่อทำการรับค่าและส่งข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 บล็อกไดอะแกรมของการทำงานของระบบ

รูปที่ 3.21 เป็นการแสดงค่าการทำงานของระบบโดยรวม โดยชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ทำการประมวลผลจากค่าแรงดันที่ได้จากการแปลงค่าของ LDR และทำการประมวลผลที่ได้จาก LDR ให้เป็นค่าแสงที่มีหน่วยเป็นลักซ์ จากนั้นก็จะทำการตรวจค่าที่ได้มาจาก LDR อีกครั้งว่ามีค่าแสงที่เท่าเดิมหรือเปลี่ยนไป เพื่อทำการส่งสัญญาณควบคุมให้กับชุดหรี่ไฟโดยการควบคุมมุมทริกของไตรแอค เพื่อจ่ายให้โหลดต่อไป

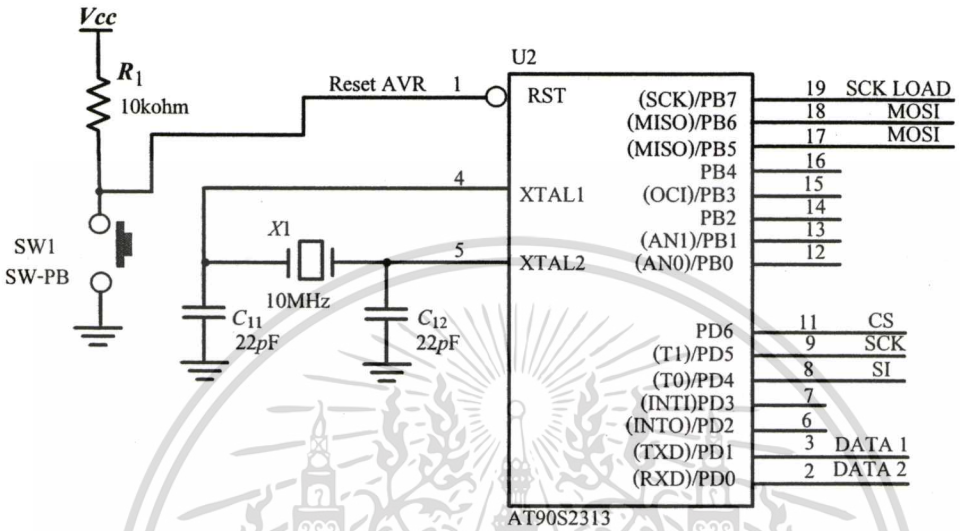


รูปที่ 3.22 ส่วนรับ-ส่งค่าพารามิเตอร์ของ PIC16F877

จากรูปที่ 3.22 เป็นรูปแสดงพอร์ตต่างของ PCI16F877 ที่ทำการรับค่าแรงดันจาก LDR ทั้ง 3 ตัว โดย LDR1-2 เป็น LDR ที่ทำการวัดค่าแสงภายในห้องโดยทำการวางไว้ 2 จุดและทำการวางห่างกันจุดละ 1 เมตร โดยจุดแรกเป็นตำแหน่งที่ว่าห่างจากหน้าต่าง 1 เมตร ส่วนจุดที่สองวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

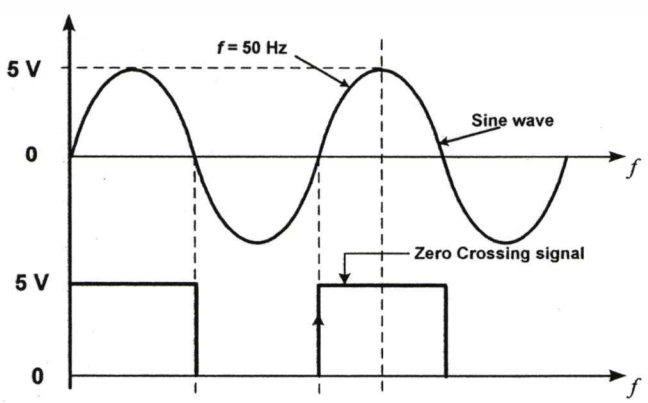
ห่างจากหน้าต่างที่ระยะ 2 เมตร จากนั้นไมโครจะทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ย และนำค่าลักซ์ ที่ได้มาทำการตั้งเป็นค่าของแสงสว่างภายในห้องเพื่อทำการกำหนดการหรี่หรือเพิ่มไฟเมื่อค่าไฟต่ำกว่า 300 ลักซ์ ก็จะทำเพิ่มไฟให้ค่าความสว่างภายในห้องเท่ากับ 500 ลักซ์ และเมื่อแสงเฉลี่ยภายในห้องมีค่ามากกว่า 500 ลักซ์ เครื่องก็จะทำหรี่ไฟแสงสว่างลงมาเพื่อให้ค่า



รูปที่ 3.23 ส่วนรับ-ส่งค่าพารามิเตอร์ของ *AVR*

3.6.1.3 วงจรจุดตัดศูนย์

จากวงจรจุดตัดศูนย์นั้นสามารถทำการตรวจจับได้ เนื่องจากสัญญาณที่ทำการตรวจจับของแรงดันในสายกำลังไฟฟ้าที่ใช้นั้นเท่ากับ 50 Hz ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นมีความเร็วมากกว่ามาก ดังนั้นจึงไม่เป็นปัญหาสำหรับการควบคุม และโดยปกติจะใช้ความเร็วจากคริสตอลประมาณ 4-20 Hz มากพอในการประมวลผล และการใช้สัญญาณ Zero Crossing เพื่อเป็นสัญญาณอ้างอิงในการบอกความถี่ และสถานะของเฟสที่เกิดขึ้นอยู่ในปัจจุบัน ด้วยการเปลี่ยนความถี่ (50 Hz) นั้นให้เป็นคาบเวลาซึ่งจะได้ว่า 20 mS จาก $T = \frac{1}{50\text{Hz}}$



รูปที่ 3.24 กราฟจุดตัดศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าต้องการให้มีการตรวจจับขั้วของเฟสที่เกิดขึ้นว่าปัจจุบันเป็นขั้วใด ซึ่งเป็นช่วงบวกหรือช่วงลบ ดังรูปที่ 3.24 โดยจะแสดงให้เห็นว่าช่วงบวกเป็นลอจิก 1 และเฟสช่วงลบเป็นลอจิก 0 เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ โดยการเขียนโปรแกรมให้มีการตรวจจับขอบขาขึ้น (ตำแหน่งที่เปลี่ยนไปจากลอจิก 0 ไปเป็น 1) ของสัญญาณ Zero Crossing จากนั้นนำค่าหน่วงเวลาไปให้โปรแกรมทำการปรับหน่วง และเมื่อทำการปรับหน่วงโดยสิ้นสุดแล้ว ให้ไปหยุดการทำงาน หรือหยุดจ่ายสัญญาณขับ

วงจรที่สร้างสัญญาณ Zero Crossing นี้ได้รับสัญญาณอินพุตจากหม้อแปลง ในลักษณะไซน์เวฟ โดยผ่านความต้านทาน 2 กิโลโอห์ม กับ ความต้านทาน 5.6 กิโลโอห์ม และสัญญาณก็จะถูกเรกติไฟร์ด้วยไดโอดในลักษณะฮาล์ฟบริดจ์ และสัญญาณนี้จะถูกปรับขนาดให้เหมาะสมด้วยออปแอมป์ เพื่อทำการส่งสัญญาณให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลต่อ ด้วยการพิจารณาช่วงของคาบเวลาของความถี่ 50 Hz ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงที่เป็นขั้วบวกและขั้วลบอีกช่วงละเท่ากับ 10 ms

ในการสร้างวงจรนี้เราต้องสามารถปรับมุมเฟสได้ตั้งแต่ 0 - 360° ดังนั้นที่ 1° เราจะต้องใช้เวลาที่เท่ากับ $\frac{20\text{ms}}{360} = 55.555\mu\text{s}$ ในทางความเป็นจริงนั้นเราจะสังเกตเห็นการควบคุมมุมเฟสที่มีความแตกต่างของแต่ละช่วงให้มากขึ้นเป็น 5° ดังนั้นเราก็จะได้ช่วงเวลาในแต่ละระดับเท่ากับ $55.555\mu\text{s} \times 5 = 277.777\mu\text{s}$ ในการปรับมุมเฟสที่ต้องการ เมื่อได้ช่วงระยะเวลาในแต่ละระดับเป็นค่าคงที่แล้ว หลังจากนั้นเราก็สามารถเขียนโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงาน ณ ตำแหน่งมุมเฟสที่ต้องการได้ โดยถ้าควบคุมที่ตำแหน่ง 0° ก็จะได้แรงดันที่จ่ายให้กับโหลดเต็มที่และถ้ามีการควบคุมที่ 90° ก็จะไม่มีแรงดันตกคร่อมโหลดทำให้ไม่เสียพลังงานไฟฟ้า

ค่าจาก *ADC* ที่ได้มานำมาปรับทำการสอบเทียบกับค่าแสงจากลักซ์มิเตอร์ เพื่ออ่านให้กับกราฟในโปรแกรม จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ 3.4

$$Lx = \frac{(ADC)}{k} \tag{3.4}$$

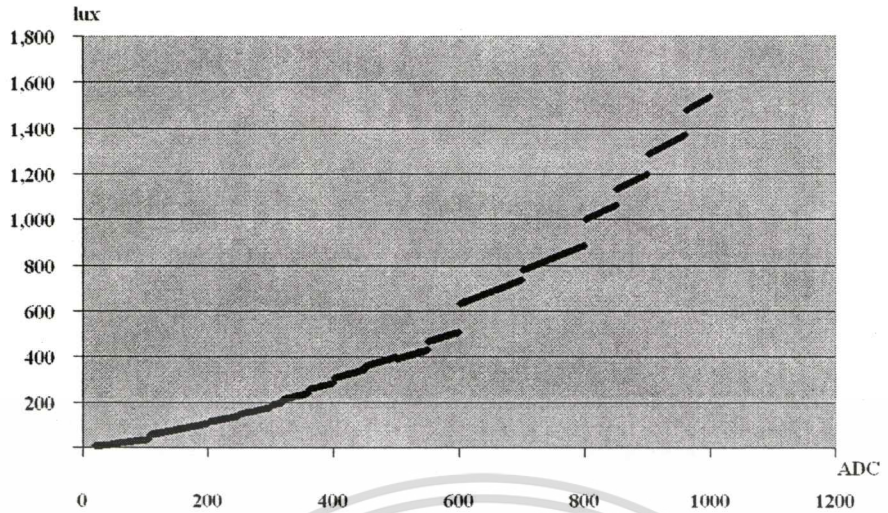
Lx คือค่าความสว่างมีค่าเป็น lux

ADC คือค่าตัวเลขจากข้อมูล Analog to Digital

k คือค่าคงที่

จากความสัมพันธ์จากสมการ สามารถนำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 3.25 เพื่อนำไปแปลค่าความสว่างให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง *ADC* และ lux

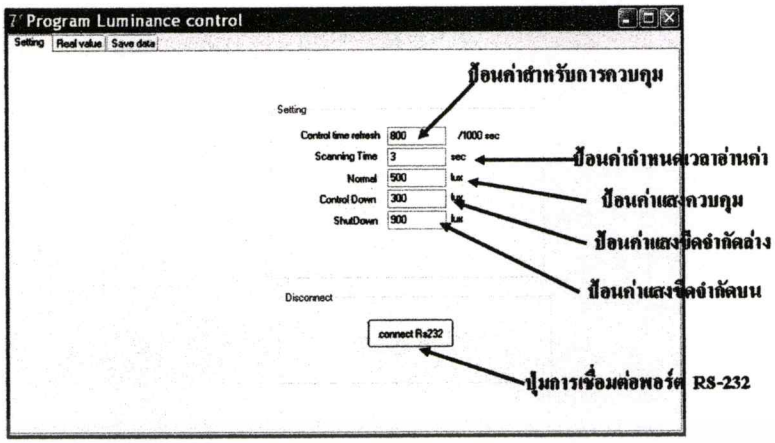
ตารางที่ 3.4 แสดงค่า *k* แฟกเตอร์ที่ได้จากความสัมพันธ์ของสมการ 3.4

ADC	*k*
19-50	3.4
51-105	2.9
106-200	1.9
201-250	1.8
251-300	1.7
301-320	1.6
321-360	1.5
361-400	1.4
401-450	1.3
451-500	1.25
501-550	1.28
551-600	1.18
601-700	0.95
701-800	0.9
801-850	0.8
851-900	0.75
901-960	0.7
961-1000	0.65

3.6.2 การออกแบบโปรแกรมเมนู

โปรแกรมเมนูนั้นมีความสัมคัญในการรับข้อมูลของผู้ใช้งานและการแสดงผลการทำงานของโปรแกรมในการอ่านค่าแสงที่เป็นแบบ Real time โดยมีการเขียนเมนู เพื่องานต่อการค้นหา ให้เป็นขั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 โปรแกรมเมนู

จารรูปที่ 3.26 เพื่อทำการเลือกให้โปรแกรมทำงานตามแบบที่ต้องการตามขั้นตอนดังนี้

กำหนดค่าเริ่มต้นของการเริ่มรันโปรแกรม

Scanning time เป็นเวลาในการบันทึกข้อมูล มีหน่วยเป็นวินาที

Normal ค่า Lux มาตรฐานในการควบคุมการหรี่ไฟ

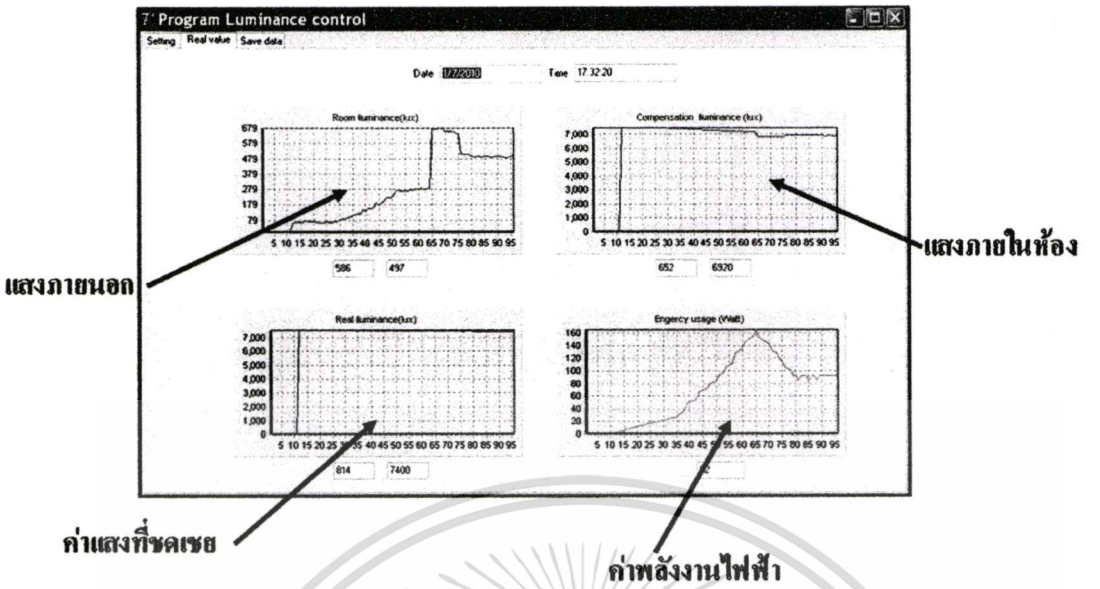
Control Down ค่าที่ต้องการจะทำการหรี่ไฟขึ้นเมื่อค่าแสงสว่างต่ำกว่าค่านี้

Shutdown ค่าที่ต้องการจะปิดไฟเลย เมื่อถึงค่านี้

รูปที่ 3.27 การเชื่อมต่อทาง Port RS-232

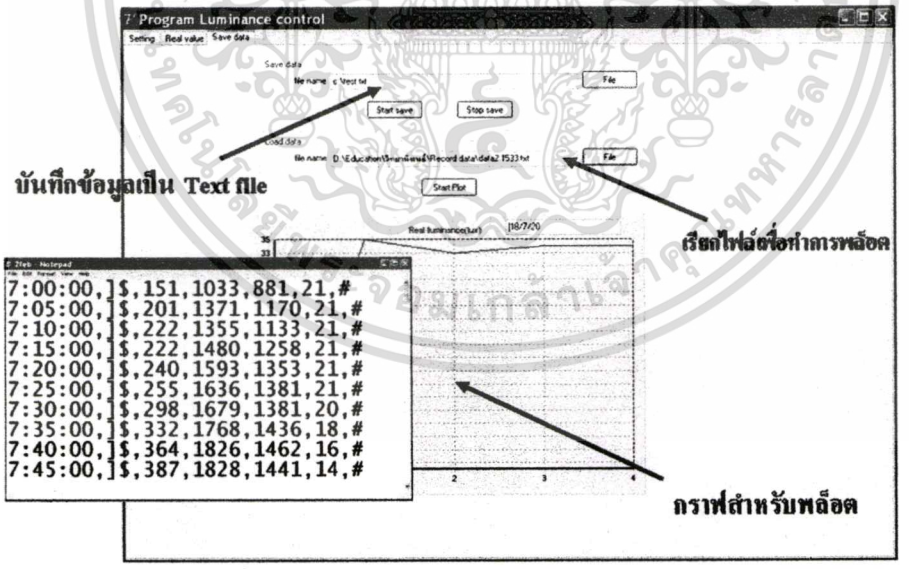
ปุ่ม Connect RS-232 คือการกำหนดการเชื่อมต่อของ Port RS-232 จากเครื่องไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อการใส่ค่าดังรูปที่ 3.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 แสดงการทำงานของโปรแกรมขณะแสดงค่า

จากรูปที่ 3.28 โดยกราฟจะมีการแสดงค่าวันที่และเวลาในการอ่านค่าไว้ด้วย ส่วนด้านล่างเป็นกราฟที่แสดงผลรวมของค่าแสงและค่าพลังงานทั้งหมด โดยสามารถอ่านค่าของค่าแสงหรือพลังงานได้ในภาพรวม



รูปที่ 3.29 แสดงการการบันทึกเป็น Text ไฟล์

จากรูปที่ 3.29 เป็นการบันทึกค่าข้อมูลที่ได้นำมาเก็บไว้เป็น Text ไฟล์ และสามารถโหลดไฟล์ ออกมาเพื่อทำการพล็อตเป็นกราฟได้

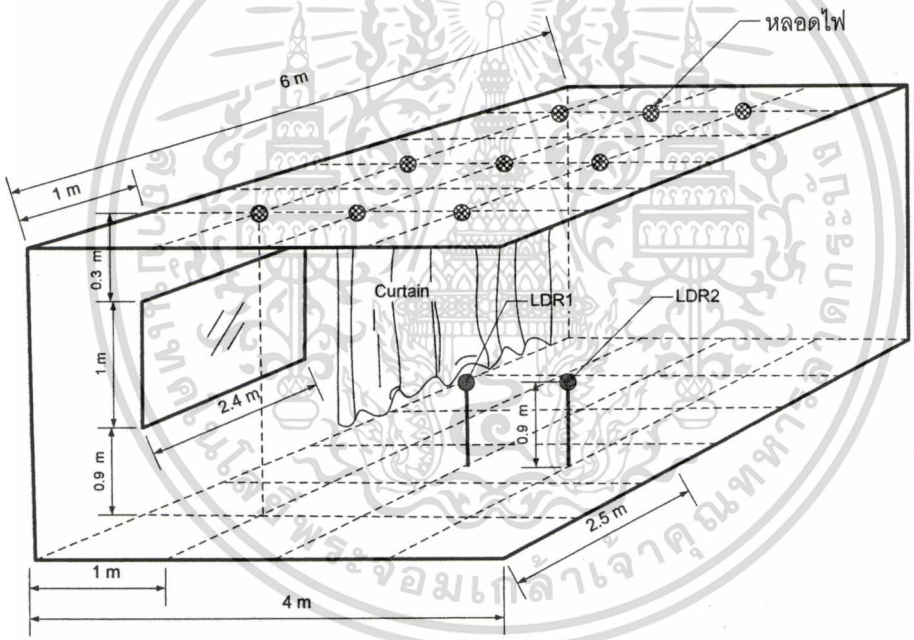
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลที่ได้จากการทดลอง โดยในขั้นตอนแรกจะต้องทำการออกแบบแสงสว่างในห้องกรณีศึกษา เพื่อเป็นตัวอย่างในการประยุกต์ใช้เสียก่อน

4.1 ลักษณะห้องกรณีศึกษา

ขั้นตอนแรกจะต้องทำการออกแบบแสงสว่างในห้องกรณีศึกษา เพื่อติดตั้งหลอดไฟและตำแหน่ง LDR เพื่อใช้ในการทดลอง ดังรูปที่ 4.1

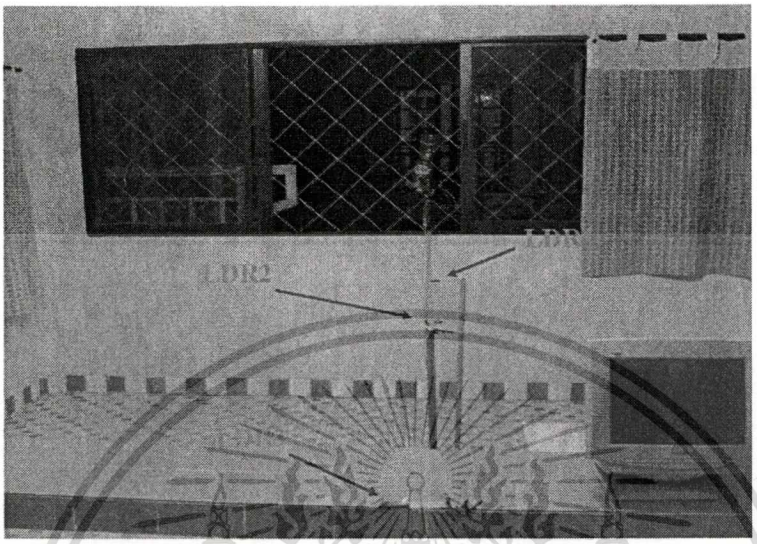


รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งการวางแนว LDR และติดตั้งหลอดไฟฟ้า

จากห้องกรณีศึกษา ในรูปที่ 4.1 ได้มีการการวางตำแหน่ง LDR ไว้ที่ตำแหน่ง 2 เมตร คือ LDR1 และที่ตำแหน่ง 3 เมตรห่างจากขอบหน้าต่างคือ ตำแหน่ง LDR2 ส่วนในระยะห่าง 1 เมตร จากขอบหน้าต่าง ไม่ต้องวาง LDR เนื่องจากค่าแสงสว่างที่ตำแหน่ง 1 และ 2 เมตร จากขอบหน้าต่างมีปริมาณแสงสว่างเท่ากัน ห้องกรณีศึกษานั้นอยู่ที่ตำแหน่ง 13.54 °N และที่ตำแหน่ง 100.67 °E หันหน้าไปทิศตะวันออกเฉียงใต้ ห้องมีความสูง 2.2 เมตร กว้าง 4 เมตร ยาว 6 เมตร มีช่องหน้าต่างขนาด สูง 1 เมตร กว้าง 2.4 เมตร พื้นห้องปูกระเบื้องสีฟ้าอ่อนลายหมากรุก ผนังห้องมีสีฟ้าอ่อน มีม่านฟ้าอยู่ทางด้านขวามือของห้อง และเพดานสีขาว วิทยานิพนธ์ต้องทำการออกแบบห้องให้มีแสงสว่างที่ได้มาตรฐาน และทำการควบคุมไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อการประหยัดพลังงาน ด้วยการชดเชย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงสว่างจากธรรมชาติด้วย แสงสว่างของหลอดไฟอินเคนเดสเซ็นต์ 30 วัตต์ 1,700 ลูเมน 56 ลูเมนต่อวัตต์ จำนวน 9 หลอด



รูปที่ 4.2 แสดงตำแหน่งการติดตั้ง LDR

4.2 การคำนวณแสงสว่างห้องกรณีศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของเพดาน

4.2.1 สีและชนิดของวัสดุ ประกอบด้วยเพดาน ผนัง พื้น ของห้อง เปิดตารางพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง เป็น 70%, 50% และ 20%

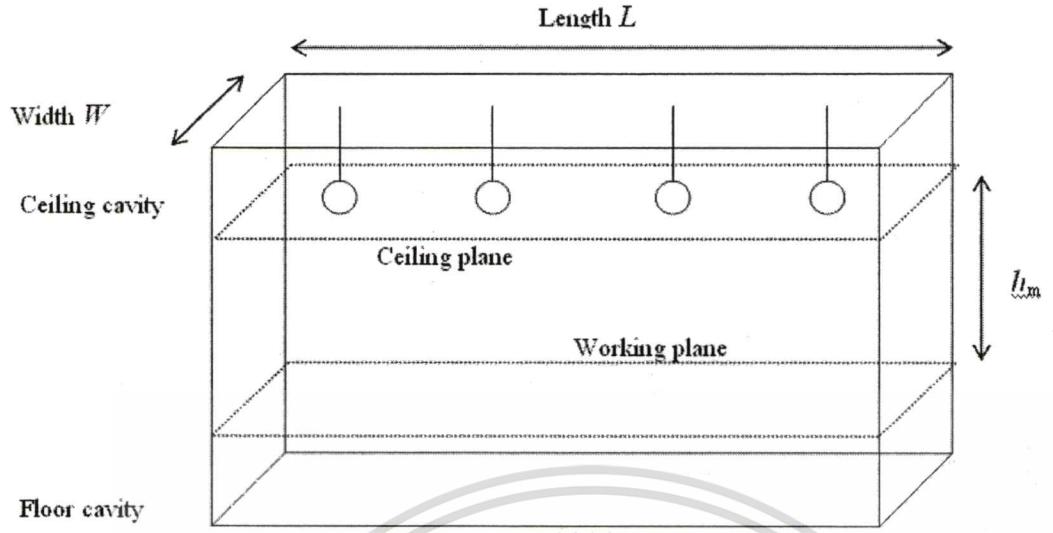
4.2.2 ขนาดห้อง

ความกว้างของห้อง (W)	= 4 เมตร
ความยาวของห้อง (L)	= 6 เมตร
พื้นที่ที่จะวิเคราะห์ (A)	= 24 ตารางเมตร
ความสูงของดวงโคม (h_m)	= 1.3 เมตร
ค่าบำรุงรักษาดวงโคม (MF)	= 0.7

4.2.3 รูมอินเด็กซ์ (Room Index)

ในการหาค่าสัมประสิทธ์การสะท้อนแสงของเพดาน ผนัง และพื้นตามมาตรฐาน CIE จะใช้ค่ารูมอินเด็กซ์ เพื่อใช้ในการหาค่าตัวประกอบการใช้งานจากตารางสัมประสิทธ์การใช้งานของโคมไฟฟ้า โดยค่ารูมอินเด็กซ์สามารถหาได้จากสมการที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 รูมอินเด็กซ์

$$K = \frac{L \times W}{h_m \times (L + W)} \tag{4.1}$$

เมื่อ K คือ ค่ารูมอินเด็กซ์

L คือ ความยาวของห้อง (เมตร)

W คือ ความกว้างของห้อง (เมตร)

h_m คือ ระยะห่างจากระนาบใช้งานถึงตำแหน่งโคม (เมตร)

สามารถนำสมการที่ 4.1 มาคำนวณหาค่ารูมอินเด็กซ์

$$K = \frac{6 \times 4}{1.3 \times (6 + 4)} = 1.846$$

4.2.4 การคำนวณหาค่า ρ_{cc} , ρ_{fc} และ *CU*

หาค่าอัตราส่วนโพรงเพดาน *CCR*, อัตราส่วนโพรงห้อง *RCR* และอัตราส่วนโพรงพื้น *FCR*

1. หาค่า ρ_{cc} ในกรณีที่ดวงโคมถูกยึดติดกับเพดานของห้อง (Surface Mounting) ค่า h_{cc} จะเท่ากับศูนย์ ซึ่งจะมีผลทำให้ค่า *CCR*=0 ค่า $\rho_{cc} = \rho_c$

$h_{rc} = 1.3$, $h_{fc} = 0.9$

$$RCR = \frac{5(1.3)(4+6)}{(4 \times 6)} = 2.7$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$FCR = \frac{5(0.9)(4+6)}{(4\times 6)} = 1.875$$

- ค่าความสามารถในการสะท้อนแสงจากเพดาน (ρ_c) = 70%

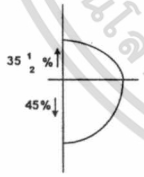
- ค่าความสามารถในการสะท้อนแสงจากผนังหรือเพดาน (ρ_w) = 50%

- ค่า $\rho_{cc} = \rho_c = 0.7$ หรือ 70% เนื่องจาก $h_{cc} = 0$

2. หาค่า ρ_{fc} สามารถเปิดได้จากตารางค่าแสดงเปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลการสะท้อนแสงสว่างของโพรงเพดานและพื้น ในภาคผนวก จ. เมื่อกำหนดให้ ρ_f = 20% , ρ_w= 50% และ FCR = 1.875 จะได้ค่า ρ_{fc} = 18%

3. หาค่าสัมประสิทธิ์การใช้ (Coefficient of Utilization, CU) ของโคมไฟ โดยดูจากตารางของโคมเบอร์ 1 ใช้สำหรับดวงโคมประเภทหลอดใส้ และทำการเลือกสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของเพดาน ผนัง และพื้น เป็น 70%, 50% และ 20% จากนั้นทำการเปิดตารางหาค่าสัมประสิทธิ์การการใช้งาน (CU) ของโคมไฟชนิดแขวนทรงกลมสำหรับหลอดใส้ พบว่ามีค่า CU = 0.504 โดยได้จากหลักการสอดแทรก (Interpolation) (หมายเหตุ ค่า Room Cavity Ratio (RCR) = 5/ K)

ตารางที่ 4.1 การเลือกค่าต่างๆ ของดวงโคมเบอร์ 1

ลักษณะของดวงโคม	ลักษณะการกระจายความเข้มแสงและอัตราส่วนผลของหลอดไฟ	ρ_{cc}	80			70			50			30			10			0
		ρ_w	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
	ประเภทของดวงโคม SC	RCR	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิผลของการสะท้อนแสงของโพรงพื้นมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ ρ_{fc} = 20															
โคมแขวนทรงกลมสำหรับหลอดไส้	V 1.5 	0	.87	.87	.87	.81	.81	.81	.70	.70	.70	.59	.59	.59	.49	.49	.49	.45
		1	.71	.67	.63	.66	.62	.59	.56	.53	.50	.47	.45	.42	.38	.37	.35	.31
		2	.60	.54	.49	.56	.50	.45	.47	.43	.39	.39	.36	.33	.32	.29	.27	.23
		3	.52	.45	.39	.48	.42	.37	.41	.36	.31	.34	.30	.26	.27	.24	.22	.18
		4	.46	.38	.33	.42	.36	.30	.36	.33	.26	.30	.26	.22	.24	.21	.18	.16
		5	.40	.33	.27	.37	.30	.25	.31	.26	.22	.26	.22	.18	.21	.18	.15	.12
		6	.36	.28	.23	.33	.26	.21	.28	.23	.19	.23	.19	.16	.19	.15	.13	.10
		7	.32	.25	.20	.29	.23	.18	.25	.20	.16	.21	.16	.13	.17	.13	.11	.09
		8	.29	.22	.17	.26	.20	.16	.23	.17	.14	.19	.15	.12	.15	.12	.09	.07
		9	.26	.19	.15	.24	.18	.14	.20	.15	.12	.17	.13	.10	.14	.11	.08	.06
		10	.23	.17	.13	.22	.16	.12	.19	.14	.10	.16	.12	.09	.13	.09	.07	.05

4.2.5 หาค่า *LLD* , *LDD* และ *RSDD*

ก. หาค่าความเสื่อมสภาพของหลอดไฟฟ้า (*LLD*)

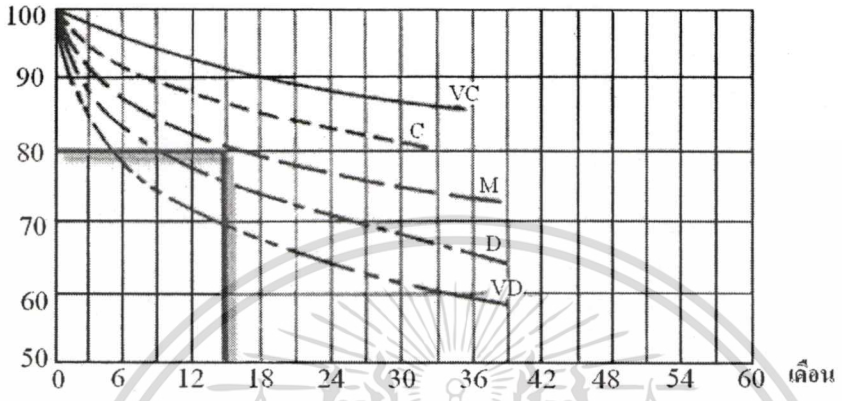
$$LLD = \frac{\text{ค่าปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างเฉลี่ยที่ออกมาจากหลอดไฟฟ้า (Mean Lumen Output)}}{\text{ค่าปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างเริ่มแรกที่ออกมาจากหลอดไฟฟ้า (Initial Lumen Output)}} \qquad (4.2)$$

กำหนดให้ ค่า *LLD* มีค่าเท่ากับ 80%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. หาค่าความเสื่อมสภาพจากความสกปรกของดวงโคมไฟฟ้า (*LDD*)

ดวงโคมไฟฟ้าเบอร์ที่ 1 เป็นดวงโคมชนิดที่ 5 ดวงโคมไฟฟ้าถูกติดตั้งอยู่ในห้องที่มีความสะอาดปานกลาง และทำความสะอาดทุกๆ 15 เดือน

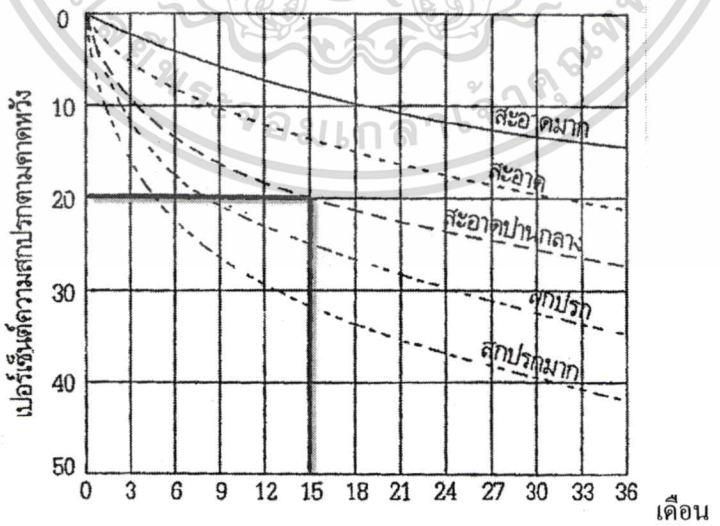


รูปที่ 4.4 ความเสื่อมสภาพจากความสกปรกของดวงโคมเบอร์ 1

จากรูปกราฟที่ 4.4 เป็นกราฟของดวงโคมประเภทที่ 5 เมื่อกำหนดระยะเวลาในการทำความสะอาดจะได้ค่า *LDD* = 80%

ค. การหาค่าความเสื่อมสภาพของแสงสว่างจากพื้นผิวห้องสกปรก (*RSDD*)

ดวงโคมไฟฟ้าถูกติดตั้งอยู่ห้องที่มีความสะอาดปานกลาง และทำความสะอาดทุกๆ 15 เดือน



รูปที่ 4.5 แสดงการหาเปอร์เซ็นต์ความสกปรกตามความคาดหวัง

จากกราฟรูปที่ 4.5 จะได้เปอร์เซ็นต์ของความสกปรกตามคาดหวังเท่ากับ 20 % เมื่อกำหนดให้มีการทำความสะอาดที่ ทุกๆ 15 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าเปอร์เซ็นต์สกปรกตามความคาดหวัง = 20% , ค่า *RCR* = 2.7 และดวงโคมเป็นชนิดกระจายแสงสว่างลง หาค่า *RSDD* ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการหาค่า *RSDD*

เปอร์เซ็นต์ความสกปรกตามคาดหวัง	ชนิดของการกระจายแสงสว่าง																			
	กระจายแสงสว่างลง				กระจายแสงสว่างกึ่งลง				กระจายแสงสว่างขึ้น-ลง				กระจายแสงสว่างกึ่งขึ้น				กระจายแสงสว่างขึ้น			
	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40
อัตราส่วน 1	.98	.96	.94	.92	.97	.92	.89	.84	.94	.87	.80	.76	.94	.87	.80	.73	.90	.80	.70	.60
โพรงของ 2	.98	.96	.94	.92	.96	.92	.88	.83	.94	.87	.80	.75	.94	.87	.79	.72	.90	.80	.69	.59
ห้อง (RCR) 3	.98	.95	.93	.90	.96	.91	.87	.82	.94	.86	.79	.74	.94	.86	.78	.71	.90	.79	.68	.58
4	.97	.95	.92	.90	.95	.90	.85	.80	.94	.86	.79	.73	.94	.86	.78	.70	.89	.78	.67	.56
5	.97	.94	.91	.89	.94	.90	.84	.79	.93	.86	.78	.72	.93	.86	.77	.69	.89	.78	.66	.55
6	.97	.94	.91	.88	.94	.89	.83	.78	.93	.85	.78	.71	.93	.85	.76	.68	.89	.77	.66	.54
7	.97	.94	.90	.87	.93	.88	.82	.77	.93	.84	.77	.70	.93	.84	.76	.68	.89	.76	.65	.53
8	.96	.93	.89	.86	.93	.87	.81	.75	.93	.84	.76	.69	.93	.84	.76	.68	.88	.76	.64	.52
9	.96	.92	.88	.85	.93	.87	.80	.74	.93	.84	.76	.68	.93	.81	.75	.67	.88	.75	.63	.51
10	.96	.92	.87	.83	.93	.86	.79	.72	.93	.84	.75	.67	.92	.83	.75	.67	.88	.75	.62	.50

จากตารางที่ 4.2 ได้ค่า *RSDD* จากการใช้หลักการสอดแทรกจะได้ค่า *RSDD* มีค่าเท่ากับ 0.947

4.2.6 การหาค่าตัวประกอบหลอดไฟฟ้าเสีย (Lamp Burn Out : *LBO*)

การหาค่าตัวประกอบหลอดไฟฟ้าเสีย โดยหาได้จากอัตราส่วนของหลอดไฟฟ้าที่ยังคงทำงานอยู่ต่อหลอดไฟฟ้าที่ติดตั้งหรือที่ต้องการทั้งหมด ซึ่งเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$\text{ค่าตัวประกอบหลอดไฟฟ้าเสีย } (LBO) = \frac{\text{จำนวนหลอดไฟฟ้าที่ยังคงทำงานอยู่ (Lumen Remaining-On)}}{\text{จำนวนหลอดไฟฟ้าที่ติดตั้งทั้งหมด (Total Lumen-used)}} \qquad (4.3)$$

4.2.7 หาค่าปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างที่ต้องการทั้งหมด

เมื่อกำหนดให้หลอดไฟใช้งานได้ 100% คือใช้งานได้ทุกหลอด ดังนั้น $LBO = 1$

$$L_T = \frac{15300 \times 24}{0.504 \times 0.8 \times 0.8 \times 0.947 \times 1}$$

$$L_T = 1{,}202{,}104 \text{ ลูเมน}$$

ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างที่ต้องการทั้งหมด (L_T) = 1,202,104 ลูเมน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.8 การจัดวางตำแหน่งของดวงโคมไฟฟ้า

เมื่อทราบแล้วว่าจะต้องใช้ดวงโคมไฟฟ้าทั้งหมดกี่ชุดแล้ว เพื่อให้การจัดว่าตำแหน่งของดวงโคมไฟฟ้าเหมาะสม จะต้องทำการจัดดวงโคมไฟฟ้าให้อยู่ในตำแหน่งที่สมมาตรกัน ดูเป็นระเบียบเรียบร้อยและได้ระดับความสว่างที่สม่ำเสมอ โดยวิธีดังนี้

1. ระยะทางระหว่างดวงโคมไฟฟ้า (S)

$$S = \sqrt{\frac{A_T}{N_T}} \tag{4.4}$$

$$\text{พื้นที่ต่อหนึ่งดวงโคมไฟฟ้า } (A) = \frac{A_T}{N_T} \tag{4.5}$$

กำหนดให้ S คือ ระยะห่างระหว่างดวงโคมไฟฟ้า

A คือ พื้นที่ต่อหนึ่งดวงโคมไฟฟ้า

A_T คือ พื้นที่ทั้งหมด

N_T คือ จำนวนดวงโคมไฟฟ้าทั้งหมด

จากสมการที่ 4.5 หาพื้นที่ต่อหนึ่งหน่วยดวงโคม ได้เท่ากับ

$$\frac{24}{9} = 2.67 \quad \text{ตารางเมตร}$$

และจากสมการที่ 4.4 สามารถหาระยะห่างระหว่างดวงโคมไฟฟ้า

$$S = \sqrt{2.67} = 1.64 \quad \text{เมตร}$$

2. อัตราส่วนระหว่างระยะห่างของดวงโคมไฟฟ้ามากที่สุด ที่ต่อความสูงของดวงโคมไฟฟ้าเหนือพื้นงาน (Maximum Space Per Mounting Height Ratio)

เป็นค่ากำหนดระยะความสูงของดวงโคมไฟฟ้า จากพื้นงานและระยะห่างมากที่สุดของดวงโคมไฟฟ้าแต่ละดวงโคมไฟฟ้า ซึ่งค่านี้ทางบริษัทผู้ผลิตดวงโคมไฟฟ้าจะเป็นผู้กำหนดมาให้เอง ซึ่งจะรวมอยู่ในตารางหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ หรือเป็นอัตราส่วนระหว่างระยะห่างของดวงโคมไฟฟ้าต่อความสูงของดวงโคมไฟฟ้าเหนือพื้นงาน (S/MH)

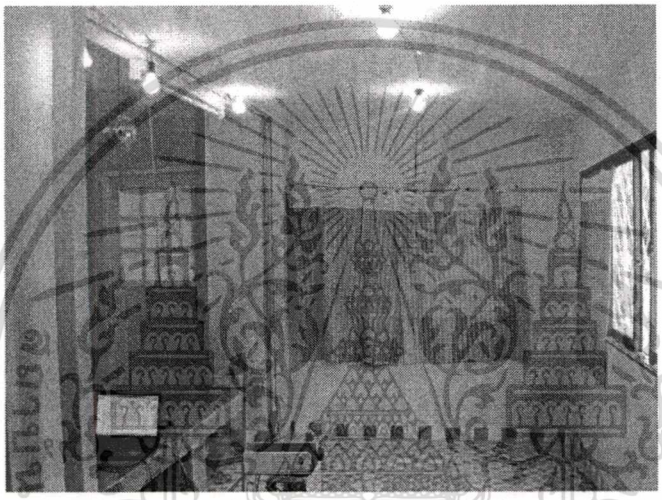
เมื่อ MH คือความสูงของดวงโคมเหนือพื้นงาน ห่างระหว่างดวงโคมไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวิทยานิพนธ์นี้ ค่าความสูงของดวงโคมคือ 1.3 เมตร และ ค่า *S/MH* = 1.5 ได้จากตารางค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยช์ โดยดวงโคมไฟเบอร์ 1 นี้มีค่า 1.5

$$S = MH \times 1.5 = 1.3 \times 1.5 = 1.95 \quad \text{เมตร}$$

เพราะฉะนั้น ระยะห่างระหว่างดวงโคมตามแนวขวางของดวงโคมจะต้องไม่เกิน 1.95 เมตร จากรูปที่ 4.1 การวางดวงไฟฟ้าเป็นไปตามมาตรฐานดังรูปที่ 4.5 ที่เป็นการติดตั้งจริง



รูปที่ 4.6 แสดงการติดตั้งหลอดไฟสถานที่จริง

4.3 ผลการทดลอง

ทำการเปิดเครื่องเพื่อทำการควบคุมการหรี่ไฟฟ้าเพื่อการประหยัดพลังงาน กับห้องกรณีศึกษา ที่โดยใช้หลอดไฟฟ้าหลอดไส้ขนาด 30 วัตต์ ความสว่าง 1,700 ลูเมน 56 ลูเมนต่อวัตต์ จำนวน 9 หลอด ค่าความสว่างสูงสุดรวม 637.5 ลักซ์ ด้วยวิธีการควบคุมแบบต่อเนื่องเพื่อให้ความสว่างภายในห้องคงที่ 500 ลักซ์ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 8.00 - 16.00 น. โดยทำการปรับตั้งให้ความสว่างที่ต้องการควบคุมเท่ากับ 300–600 ลักซ์ และเมื่อความสว่างมีค่าต่ำกว่า 300 ลักซ์ ให้หลอดไฟฟ้าทำการเปิดตลอด และเมื่อค่าความสว่างมีค่ามากกว่า 600 ลักซ์ ให้หลอดไฟฟ้าหรี่ให้ได้ค่าพลังงานที่จ่ายให้กับหลอดไฟฟ้าต่ำที่สุด และมีเพียงพลังงานการจุดไส้หลอดเท่านั้น และวงจรทำงานเมื่อมีค่าลักซ์ อยู่ในช่วง 300 – 600 ลักซ์ โดยได้ผล ดังตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการหรี่แสงสว่างวันที่ 10 ธันวาคม 2551

	Position of Lux meter									
Time	1M	2M	3M	Current (Amp.)	Time min.	Hour	Watt.hour	Power before	Power after	Saving
7:00	672	180	129	1.1	5	0.083	20.2	20.2	242	0.0
7:05	720	202	136	1.1	5	0.083	20.2	20.2	242	0.0
7:10	760	203	146	1.1	5	0.083	20.2	20.2	242	0.0
7:15	796	223	150	1.1	5	0.083	20.2	20.2	242	0.0
7:20	832	223	160	1.1	5	0.083	20.2	20.2	242	0.0
7:25	867	243	163	1.1	5	0.083	20.2	20.2	242	0.0
7:30	880	236	169	1.1	5	0.083	20.2	20.2	242	0.0
7:35	900	253	170	1.1	5	0.083	20.2	20.2	242	0.0
7:40	910	244	175	1.1	5	0.083	20.2	20.2	242	0.0
7:45	930	261	175	1.1	5	0.083	20.2	20.2	242	0.0
7:50	857	230	165	1.1	5	0.083	20.2	20.2	242	0.0
7:55	900	253	170	1.1	5	0.083	20.2	20.2	242	0.0
8:00	940	300	180	1.1	5	0.083	20.2	20.2	242	0.0
8:05	1300	375	230	1	5	0.083	18.3	20.2	220	1.8
8:10	1120	372	218	0.9	5	0.083	16.5	20.2	198	3.7
8:15	1795	400	246	0.8	5	0.083	14.7	20.2	176	5.5
8:20	1760	460	259	0.6	5	0.083	11.0	20.2	132	9.2
8:25	1825	477	250	0.6	5	0.083	11.0	20.2	132	9.2
8:30	2230	515	253	0.5	5	0.083	9.2	20.2	110	11.0
8:35	2350	552	270	0.5	5	0.083	9.2	20.2	110	11.0
8:40	2650	577	300	0.5	5	0.083	9.2	20.2	110	11.0
8:45	2830	618	335	0.3	5	0.083	5.5	20.2	66	14.7
8:50	2990	682	346	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
8:55	2900	673	300	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
9:00	330	693	328	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
9:05	2610	648	328	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
9:10	3150	747	374	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
9:15	3500	725	340	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
9:20	3460	820	370	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
9:25	3580	840	360	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
9:30	3370	813	355	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
9:35	3400	866	445	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
9:40	3960	850	370	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
9:45	4000	880	457	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
9:50	3500	860	420	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
9:55	3540	865	463	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
10:00	3750	870	428	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
10:05	3640	895	415	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
10:10	3460	864	415	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
10:15	3530	870	428	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
10:20	3700	1066	476	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
10:25	3910	1010	446	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
10:30	4100	1090	480	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
10:35	4150	1100	500	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
10:40	4000	1075	540	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
10:45	3500	920	450	0.06	5	0.083	1.1	20.2	13.2	19.1
10:50	2600	376	350	1	5	0.083	18.3	20.2	220	1.8
10:55	4150	1150	580	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
11:00	3900	1146	538	0.06	5	0.083	1.1	20.2	13.2	19.1
11:05	3950	1131	533	0.06	5	0.083	1.1	20.2	13.2	19.1
11:10	3910	1120	565	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการหรี่แสงสว่างวันที่ 10 ธันวาคม 2551 (ต่อ)

	Position of Lux meter									
Time	1M	2M	3M	Current (Amp.)	Time min.	Hour	Watt.hour	Power before	Power after	Saving
11:15	3850	1255	518	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
11:20	3680	1200	540	0.07	5	0.083	1.3	20.2	15.4	18.9
11:25	3700	1214	510	0.07	5	0.083	1.3	20.2	15.4	18.9
11:30	3800	1247	550	0.06	5	0.083	1.1	20.2	13.2	19.1
11:35	3850	1219	556	0.06	5	0.083	1.1	20.2	13.2	19.1
11:40	3670	1162	560	0.06	5	0.083	1.1	20.2	13.2	19.1
11:45	3720	1070	546	0.06	5	0.083	1.1	20.2	13.2	19.1
11:50	3870	1113	551	0.06	5	0.083	1.1	20.2	13.2	19.1
11:55	3910	1216	566	0.06	5	0.083	1.1	20.2	13.2	19.1
12:00	3960	1232	680	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
12:05	3790	733	578	1	5	0.083	18.3	20.2	220	1.8
12:10	2540	491	270	1.1	5	0.083	20.2	20.2	242	0.0
12:15	2820	815	402	1	5	0.083	18.3	20.2	220	1.8
12:20	3960	1144	559	0.5	5	0.083	9.2	20.2	110	11.0
12:25	3850	1075	661	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
12:30	3800	1061	540	0.06	5	0.083	1.1	20.2	13.2	19.1
12:35	2600	376	310	1	5	0.083	18.3	20.2	220	1.8
12:40	2460	525	290	0.9	5	0.083	16.5	20.2	198	3.7
12:45	3100	977	438	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
12:50	3400	1072	513	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
12:55	3310	910	470	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
13:00	2880	792	340	0.07	5	0.083	1.3	20.2	15.4	18.9
13:05	3270	904	385	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
13:10	3400	940	534	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
13:15	3100	853	468	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
13:20	2910	805	414	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
13:25	2560	708	302	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
13:30	2290	630	270	0.1	5	0.083	1.8	20.2	22	18.3
13:35	1990	550	313	0.1	5	0.083	1.8	20.2	22	18.3
13:40	1730	476	213	0.9	5	0.083	16.5	20.2	198	3.7
13:45	1530	421	217	0.2	5	0.083	3.7	20.2	44	16.5
13:50	2330	644	275	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
13:55	2600	850	350	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
14:00	1175	500	270	1.1	5	0.083	20.2	20.2	242	0.0
14:05	2300	800	380	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
14:15	2330	687	300	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
14:20	2030	700	335	0.05	5	0.083	0.9	20.2	11	19.3
14:25	1980	689	267	0.08	5	0.083	1.5	20.2	17.6	18.7
14:30	2000	645	300	0.06	5	0.083	1.1	20.2	13.2	19.1
14:35	1950	672	322	0.08	5	0.083	1.5	20.2	17.6	18.7
14:40	1600	508	255	0.5	5	0.083	9.2	20.2	110	11.0
14:45	1700	529	257	0.5	5	0.083	9.2	20.2	110	11.0
14:50	1680	579	226	0.09	5	0.083	1.7	20.2	19.8	18.5
14:55	1660	527	249	0.1	5	0.083	1.8	20.2	22	18.3
15:00	1620	510	258	0.5	5	0.083	9.2	20.2	110	11.0
15:05	1600	552	255	0.4	5	0.083	7.3	20.2	88	12.8
15:10	1580	502	239	0.6	5	0.083	11.0	20.2	132	9.2
15:15	1550	530	300	0.6	5	0.083	11.0	20.2	132	9.2
15:20	1700	548	280	0.7	5	0.083	12.8	20.2	154	7.3
15:25	1465	500	290	0.6	5	0.083	11.0	20.2	132	9.2
15:30	1430	489	228	0.8	5	0.083	14.7	20.2	176	5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการหรี่แสงสว่างวันที่ 10 ธันวาคม 2551 (ต่อ)

	Position of Lux meter									
Time	1M	2M	3M	Current (Amp.)	Time min.	Hour	Watt.hour	Power before	Power after	Saving
15:35	1400	539	232	0.7	5	0.083	12.8	20.2	154	7.3
15:40	1395	476	270	0.8	5	0.083	14.7	20.2	176	5.5
15:45	1375	514	240	1.1	5	0.083	20.2	20.2	242	0.0
15:50	1290	497	255	0.9	5	0.083	16.5	20.2	198	3.7
15:55	1266	470	230	1.1	5	0.083	20.2	20.2	242	0.0
16:00	1225	458	203	1	5	0.083	18.3	20.2	220	1.8
16:05	1157	482	213	1.1	5	0.083	20.2	20.2	242	0.0
16:10	1110	412	194	1	5	0.083	18.3	20.2	220	1.8
16:15	980	410	200	1.1	5	0.083	20.2	20.2	242	0.0
16:20	950	396	173	1.1	5	0.083	20.2	20.2	242	0.0
16:25	945	351	157	1.1	5	0.083	20.2	20.2	242	0.0
16:30	930	345	171	1.1	5	0.083	20.2	20.2	242	0.0
16:35	897	333	157	1.1	5	0.083	20.2	20.2	242	0.0
16:40	864	321	176	1.1	5	0.083	20.2	20.2	242	0.0
16:45	830	308	151	1.1	5	0.083	20.2	20.2	242	0.0
16:50	788	293	131	1.1	5	0.083	20.2	20.2	242	0.0
16:55	743	276	137	1.1	5	0.083	20.2	20.2	242	0.0
17:00	675	251	118	1.1	5	0.083	20.2	20.2	242	0.0
						Total	1028	2420		1392.1

โดยจากการเก็บข้อมูลดิบของวันที่ 10 ธันวาคม 2551 ตั้งแต่เวลา 7:00 – 17:00 น. และทำการทดลองใช้การหรี่ไฟแสงสว่างเพื่อการประหยัดพลังงาน โดยตารางที่ 4.3 แบ่งเป็นแถวแนวตั้ง

แถวแนวตั้งแถวที่ 1 เวลาที่บันทึกค่า

แถวที่ 2 เป็นค่าแสงสว่างจากลักซ์มิเตอร์ที่ระยะห่าง 1 เมตรจากแนวขอบหน้าต่าง

แถวที่ 3 เป็นค่าแสงสว่างจากลักซ์มิเตอร์ที่ระยะห่าง 2 เมตรจากแนวขอบหน้าต่าง

แถวที่ 4 เป็นค่าแสงสว่างจากลักซ์มิเตอร์ที่ระยะห่าง 3 เมตรจากแนวขอบหน้าต่าง

แถวที่ 5 เป็นค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านจากมัลติมิเตอร์

แถวที่ 6 เป็นค่าระยะเวลาที่ใช้จ่ายพลังงานมีหน่วยเป็นนาที

แถวที่ 7 เป็นค่าระยะเวลาที่ใช้จ่ายพลังงานมีหน่วยเป็นชั่วโมง

แถวที่ 8 เป็นค่าพลังงานมีหน่วยเป็นวัตต์-ชั่วโมง

แถวที่ 9 เป็นค่าพลังงานหลังการหรี่ไฟฟ้ามีหน่วยเป็นวัตต์-ชั่วโมง

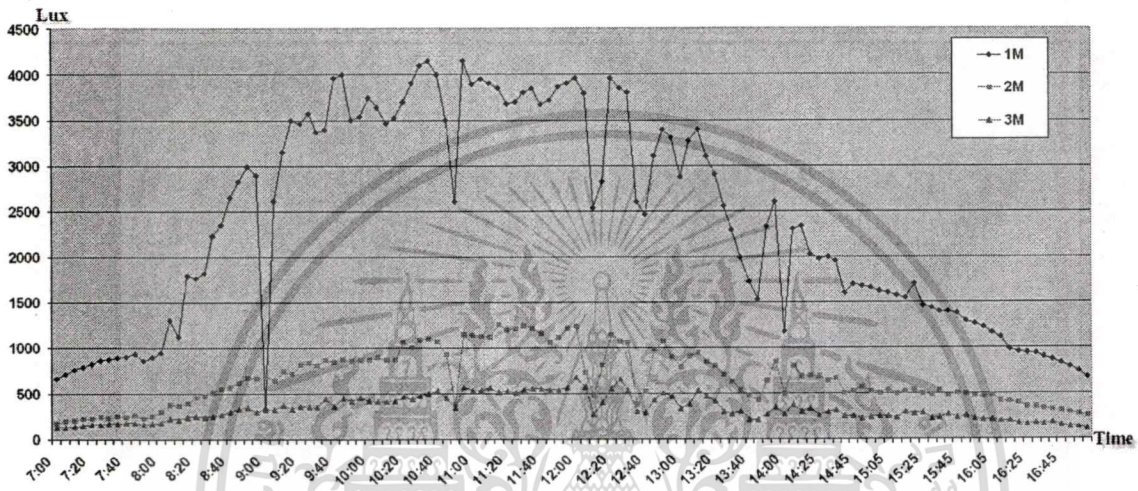
แถวที่ 10 เป็นค่าพลังงานก่อนการหรี่ไฟฟ้ามีหน่วยเป็นวัตต์-ชั่วโมง

แถวที่ 11 เป็นค่าพลังงานที่ประหยัดได้จากการหรี่ไฟฟ้า ณ เวลานั้น มีหน่วยเป็นวัตต์-ชั่วโมง

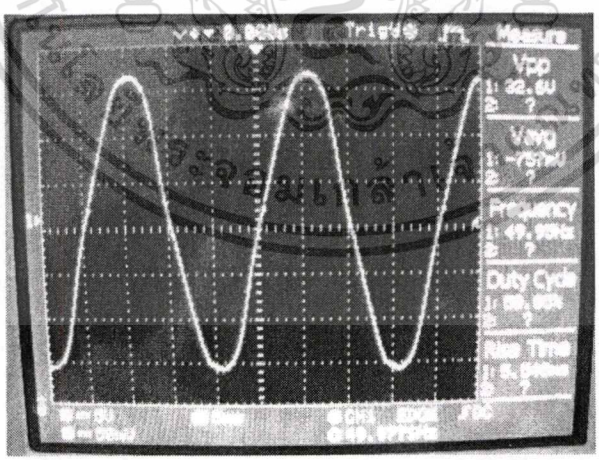
จากการทำการหรี่ไฟฟ้าแสงสว่างได้ว่าเราได้ทำการให้พลังงานไปทั้งหมด 1028 วัตต์-ชั่วโมง จากพลังงานทั้งหมดที่ต้องใช้ถ้าไม่มีการหรี่ไฟฟ้าแสงสว่าง เท่ากับ 2120 วัตต์-ชั่วโมง จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองนี้ทำให้เราประหยัดพลังงานไปได้ถึง 1392 วัตต์-ชั่วโมง แต่เมื่อพิจารณาถึงขอบเขตของวิทยานิพนธ์ โดยให้มีการประหยัดพลังงานตั้งแต่ช่วงเวลา 8:00 – 16:00 น. จากตารางที่ 4.3 ทำการลดชั่วโมงการทำงานลง 2 ชั่วโมงจะได้ว่า พลังงานที่ใช้ไปคือ 545.8 วัตต์-ชั่วโมง จากพลังงานทั้งหมดที่ต้องใช้ถ้าไม่มีการหรี่ไฟฟ้าแสงสว่าง เท่ากับ 1936 วัตต์-ชั่วโมง จากการทดลองนี้ทำให้เราประหยัดพลังงานไปได้ถึง 1390 วัตต์-ชั่วโมง โดยใช้พลังงานไปเพียง 28 %

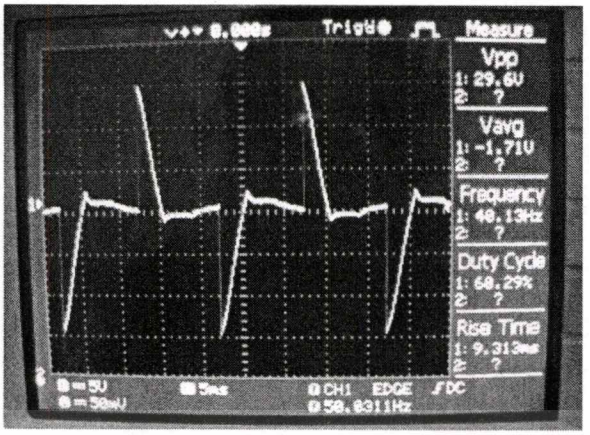


รูปที่ 4.7 ค่าความสว่างของแสงแต่ละระยะความห่างของ LDR วันที่ 10 ธันวาคม 2551



รูปที่ 4.8 แสดงแรงดันไฟฟ้าปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงแรงดันไฟฟ้าเมื่อทำการหรี่ไฟฟ้า

การปรับแสงสว่างเป็นการปรับที่มุมเฟสของแรงดัน โดยการปรับมุมแรงดันตั้งแต่ 0-180 องศา เมื่อแรงดันตกคร่อมโหลด ก็จะมีกระแสไหลผ่าน เมื่อมุมเปลี่ยนไปก็จะทำให้แรงดันอาร์เอ็มเอสนั้นมีค่าน้อยลงทำให้กระแสมีค่าน้อยลงตามค่าแรงดัน และมีผลทำให้ค่าพลังงานที่เป็นค่าอาร์เอ็มเอสเช่นกันมีค่าน้อยลง ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่ามุมทริกของการหรี่ไฟต่อค่าพลังงานที่ลดลง

มุมหรี่	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
พลังงาน (วัตต์)	398.7	398.5	397.1	393.0	385.9	374.5	358.5	337.0	312.8	283.5	243.1	190.1	133.6	82.5	42.9
แรงดัน (โวลท์)	230.0	229.7	228.9	226.6	222.4	215.9	206.7	194.8	180.3	163.4	142.3	116.6	88.9	62.1	38.5
กระแส (แอมแปร์)	1.23	1.23	1.22	1.21	1.19	1.15	1.10	1.04	0.96	0.87	0.76	0.62	0.48	0.33	0.21
เปอร์เซ็นต์มุมหรี่	0	6	11	17	22	28	33	39	44	50	56	61	67	72	78
เปอร์เซ็นต์แรงดัน	0	0.1	0.5	1.5	3.3	6.2	10.1	15.3	21.6	29.0	38.1	49.3	61.3	73.0	83.3

4.4 การคำนวณค่าไฟฟ้า

นำผลการทดลองที่ได้โดยการหรี่ไฟฟ้าแสงสว่างมาคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่จะต้องใช้จ่ายของเดือน ค่าพลังงานที่ใช้ในหนึ่งวันเท่ากับ 545.8 วัตต์-ชั่วโมง ถ้าใช้เท่ากับหนึ่งเดือนเท่า

$$545.8 \times 30 = 16{,}374 \text{ วัตต์-ชั่วโมง}$$

หรือ เท่ากับ 16.374 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

พลังงานทั้งหมดเท่ากับ $1.1\text{A} \times 220\text{v} \times 8\text{hr} = 1936$ วัตต์-ชั่วโมง

$$1936 \times 30day = 58080 \text{ วัตต์-ชั่วโมง}$$

เพราะฉะนั้นเท่ากับ 58.08 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำมาคำนวณค่าไฟฟ้าประเภทการใช้ไฟฟ้าอยู่ที่ ประเภท 1.2 การใช้ไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน และค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) ให้มีค่าคงที่เท่ากับ 1 เนื่องจ่าค่า ค่าไฟฟ้าผันแปรเป็นค่าพลังงานที่นำมาผลิตไฟฟ้าในช่วงนั้น โดยแต่ละเดือนจะมีค่าไม่เท่ากัน โดยค่าค่าไฟฟ้าผันแปรขึ้นอยู่กับค่าแร่ถ่านหิน หรือน้ำมันที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าเป็นต้น

ตารางที่ 4..5 การคำนวณค่าไฟฟ้า

หน่วยที่ใช้ (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)		58.08		16.374
	ก่อนติดตั้งเครื่องหรี่ไฟ		หลังติดตั้งเครื่องหรี่ไฟ	
ประเภท 1.2 การใช้ไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน				
150 หน่วยแรก (หน่วยที่ 1-150) หน่วยละ 1.8047 บาท	=58.08 x 1.8047=	104.817	=16.374 x 1.8047=	29.5502
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151-400) หน่วยละ 2.7781 บาท		0		0
เกินกว่า 400 หน่วย (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป) หน่วยละ 2.9780 บาท		0		0
ค่าไฟ		104.817		29.5502
ค่าไฟฟ้าผันแปร(Ft)	=58.08 x 1 =	58.08	=16.374 x 1 =	16.374
ค่าบริการ		40.9		40.9
ค่าไฟรวม		203.797		86.8242
Vat 7%		14.26579		6.0777
รวมเงิน		218.0628		92.9018

จากการคำนวณในตารางที่ 4.5 โดยค่ากำลังไฟฟ้าหลังการติดตั้ง 16.374 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งตามประกาศของทางการไฟฟ้า โดยคิดใน 150 หน่วยแรกให้คิดหน่วยละ 1.8047 บาท ดังนั้น จำนวนหน่วยที่ใช้ไม่เกินที่กำหนดไว้เท่ากับ

<u>วิธีการคำนวณ</u>

ค่าไฟฟ้า 16.374 x 1.8047 = 29.5502 บาท

ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) โดยให้มีค่าเท่ากับ 100% ในกรณีศึกษานี้ ตามสูตรคือ

ค่าพลังงานไฟฟ้า x ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) = 16.374 x 1 = 16.374 บาท

ค่าบริการ โดยการไฟฟ้าคิดค่าบริการในประเภทนี้ = 40.9 บาท

รวมเท่ากับ = 29.5502 + 16.374 + 40.9 = 86.8242 บาท

ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% = 86.8242 x 7% = 6.07769 บาท

รวมทั้งสิ้น = 92.9018 บาท

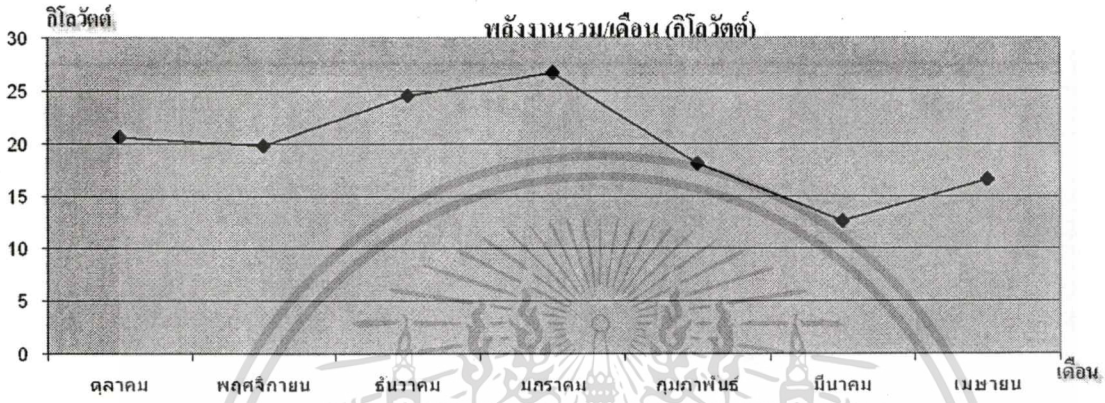
4.5 การคำนวณค่าไฟฟ้าเดือนตุลาคม 2551 – เมษายน 2552

จากการเก็บข้อมูลโดยการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือน ตุลาคม 2551 ถึง เมษายน 2552 พบว่าในช่วงเดือนตุลาคม - มกราคม ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าในการให้แสงสว่างจะค่อยๆ มีค่ามากขึ้น และเมื่อผ่านเดือนมกราคมไปแล้วก็มีการใช้พลังงานน้อยลง โดยมีการใช้พลังงานตั้งแต่ 21-27 กิโลวัตต์จากนั้นก็ค่อยทยอยลดลงของค่าพลังงานไฟฟ้า จากการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้กับแสงสว่าง เนื่องจากเป็นช่วงฤดูร้อนมีแสงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ค่าพลังงานไฟฟ้าเดือนตุลาคม 2551 – เมษายน 2552

เดือน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน
พลังงานเฉลี่ย/วัน (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	0.66	0.66	0.79	0.86	0.65	0.41	0.55
พลังงานรวม/เดือน (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	20.56	19.82	24.49	26.73	18.13	12.59	16.58
พลังงานปกติ/เดือน (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	123.78	119.79	123.78	123.78	111.80	123.78	119.79



รูปที่ 4.10 กราฟค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงสว่างเดือนตุลาคม 2551 – เมษายน 2552

4.6 การเปรียบเทียบระหว่างหลอดไส้กับหลอดประหยัดพลังงาน

ในหัวข้อนี้จะได้กล่าวถึงการเปรียบเทียบกันระหว่าง หลอดไส้ที่ทำการควบคุมปริมาณแสงอย่างอัตโนมัติกับหลอดประหยัดพลังงานที่เปิดใช้งานที่เวลาเท่ากัน โดยไม่มีการปรับแสงสว่างให้ชดเชยกับแสงธรรมชาติเหมือนอย่างหลอดไส้

ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบพลังงานระหว่างหลอดไส้ที่ได้มีการควบคุมปริมาณแสงสว่างกับหลอดประหยัดไฟที่ไม่มีการควบคุมปริมาณแสง

หลอดประหยัดไฟ 20 วัตต์		
	ค่า	หน่วย
จำนวนพลังงาน	20	วัตต์
จำนวนหลอดไฟ	9	หลอด
พลังงานรวม	180	วัตต์
ชั่วโมงใช้งานต่อวัน	10	ชั่วโมง
พลังงานต่อวัน	1800	วัตต์
ตลอดทั้งเดือน	54	กิโลวัตต์
ค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งเดือน	205.82	บาท
ค่าพลังงานหลอดไส้ด้วยการควบคุมทั้งเดือน	113	บาท
ประหยัดได้	92.82	บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.7 เป็นการเปรียบเทียบการใช้ไฟ ระหว่างหลอดไส้ที่ได้มีการควบคุมปริมาณแสงสว่างโดยชดเชยกับแสงธรรมชาติ กับหลอดประหยัดไฟที่ไม่มีการควบคุมปริมาณแสงสว่างด้วยระบบอัตโนมัติเมื่อเปิดใช้งานตลอดทั้งวัน โดยทำการเปรียบเทียบกันในช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างในเวลาที่เท่ากันกับเดือนมกราคม ปี 2552 ซึ่งผลก็คือการใช้หลอดไส้ด้วยการควบคุมปริมาณแสงสว่างให้คงที่นั้น จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ถึง 45% และประหยัดพลังงานได้ถึง 43% สามารถประหยัดได้ 92.82 บาทต่อหลอด จากการคำนวณนี้สรุปได้ว่า ระบบแสงสว่างที่มีการควบคุมแสงสว่างโดยชดเชยกับแสงธรรมชาตินั้น ถ้าเทียบกันหลอดต่อหลอดจดคุ้มทุนคือประมาณ 1 เดือน ถ้าราคาหลอดอยู่ประมาณ 100 บาท

ข้อมูลเปรียบเทียบกันในเชิงปริมาณความสว่างระหว่างหลอดไส้กับหลอดประหยัดไฟ

หลอด SL 9 วัตต์ = หลอดธรรมดา 40 วัตต์ = 400 ลูเมน

หลอด SL 13 วัตต์ = หลอดธรรมดา 60 วัตต์ = 600 ลูเมน

หลอด SL 18 วัตต์ = หลอดธรรมดา 75 วัตต์ = 900 ลูเมน

หลอด SL 25 วัตต์ = หลอดธรรมดา 100 วัตต์ = 1200 ลูเมน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

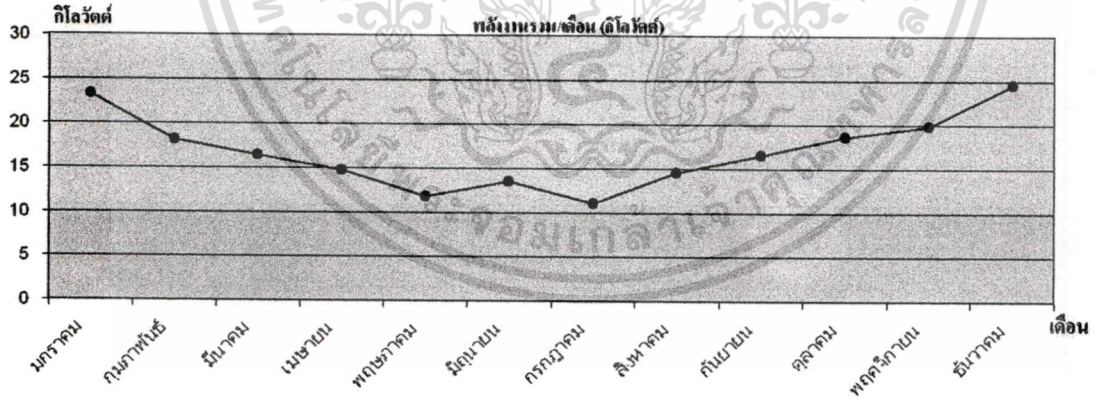
บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

สรุปได้ว่า เมื่อทำการติดตั้งเครื่องหรี่ไฟทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่าย ในส่วนค่าพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างให้กับห้องกรณีศึกษา ซึ่งถ้ามีการเปิดไฟแสงสว่างตั้งแต่เวลา 7:00-17:00 นาฬิกา จะสามารถประหยัดได้ถึง 72 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าใช้จ่ายที่ได้จากการประหยัดพลังงานตุลาคม 2551 – เมษายน 2552

	ปริมาณการใช้/เดือน						
	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน
ก่อนติดตั้ง (บาท)	381.47	370.58	381.47	381.47	348.79	381.47	370.58
หลังการติดตั้ง (บาท)	105.46	103.24	117.26	123.98	98.17	81.55	93.52
ประหยัดได้ (บาท)	276.00	267.33	264.21	257.49	250.62	299.92	277.05
เปอร์เซ็นต์	72.35%	72.14%	69.26%	67.50%	71.85%	78.62%	74.76%

จากตารางที่ 5.1 เราสามารถจะสรุปและคาดการณ์ได้ว่า ค่าเฉลี่ยการประหยัดพลังงานของทั้งปีนั้นอยู่ที่ 3,244 บาท ต่อปี



รูปที่ 5.1 การประเมินค่าพลังงานไฟฟ้าของทั้งปี

จากรูปที่ 5.1 ได้นำค่าความสว่างเฉลี่ยของในแต่ละเดือนมาคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้า โดยจะได้ว่าในเดือนธันวาคม – มกราคม 2552 นั้นมีการใช้พลังงานมากเนื่องจากเป็นช่วงฤดูหนาว ซึ่งในช่วงนี้แสงแดดในเวลากลางวันของประเทศไทยนั้นสั้น ทำให้ค่าความสว่างในบางช่วงไม่เพียงพอ ทำให้ช่วงเวลาของการหรี่นั้นสั้นและเป็นเหตุให้มีการใช้พลังงานกับแสงสว่างมาก และในช่วงเดือนมิถุนายน–กรกฎาคม 2552 ในช่วงเวลานี้ประเทศไทยจะได้รับแสงแดดมากกว่าฤดู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนาวเนื่องจากดวงอาทิตย์นั้นจะอยู่ไปทางทิศใต้ และเส้นศูนย์สูตรนั้นทำมุม 23.5 องศากับดวงอาทิตย์ ซึ่งจากรูปที่ 5.1 ได้ทราบว่าลักษณะของค่าพลังงานที่ใช้กับแสงสว่างจะเป็นเส้นโค้งหงายและค่าของแสงสว่างนั้นเป็นแบบเส้นโค้งคว่ำ เพราะในเดือนกรกฎาคมแสงสว่างที่ได้รับจากดวงอาทิตย์จะมีค่ามากที่สุด ทำให้เราสามารถทำการคำนวณค่าพลังงานของทั้งปีได้

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าใช้จ่ายที่ได้จากการประหยัดพลังงานโดยการประเมิน 2552

	ปริมาณการใช้/เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
ค่อนประหยัด (บาท)	381.47	381.47	381.47	381.47	381.47	381.47	381.47	381.47	381.47	381.47	381.47	381.47
หลังประหยัด (บาท)	113.54	97.54	93.07	87.82	79.15	84.28	76.92	87.43	93.28	99.70	100.48	115.40
ประหยัดได้ (บาท)	267.93	283.93	288.40	293.65	302.32	297.19	304.54	294.04	288.19	281.77	280.99	266.07
เปอร์เซ็นต์	70.24%	74.43%	75.60%	76.98%	79.25%	77.91%	79.83%	77.08%	75.55%	73.8%	73.66%	69.75%

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการเก็บข้อมูลของดวงอาทิตย์ ที่มีการส่องสว่างเข้ามาทางช่องหน้าต่างห้องกรณีศึกษา เพื่อหาข้อมูลมาวิเคราะห์และให้สามารถศึกษาลักษณะของแสงสว่างในแต่ละฤดูกาลและนำมาเพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้า และยังสามารถจะจัดสรรค์การใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประโยชน์และอย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้อุปกรณ์พื้นฐานอย่างง่าย เช่น การใช้ LDR กับวงจรการแบ่งแรงดัน เพื่อการเก็บข้อมูลของแสงอาทิตย์ การใช้วงจรจุดตัดศูนย์ และวงจรหรี่ไฟ มาสร้างอุปกรณ์หรี่ไฟ เพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้า สามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 72% ต่อปี

วิทยานิพนธ์นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับห้องเรียนของมหาวิทยาลัย ในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี และจะช่วยสามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนของพลังงานไฟฟ้าของแสงสว่างได้ ทำให้ห้องที่ถูกควบคุมมีค่าแสงสว่างคงที่ตลอดทั้งช่วงเวลา และยังสามารถไปประยุกต์กับสถานที่ต่างๆ ที่มีการควบคุมแสงสว่างให้คงที่ได้ โดยการเขียนโปรแกรมรักษาค่าความสว่างให้มีการปรับหรี่ไฟฟ้าในช่วงค่าความสว่างใดก็ได้ แต่จะต้องมีการออกแบบคำนวณใหม่การให้แสงสว่างใหม่เนื่องจาก ค่าความสามารถในการสะท้อนของขนาดห้อง ค่าความสูงของโพรงเพดาน ความสูงควงโคมถึงพื้นงาน โพรงพื้น สีที่ใช้ทา ลักษณะของพื้น ตำแหน่งและทิศทางของหน้าต่าง รวมถึงการใช้โคม มีผลให้ค่าต่างๆ เปลี่ยนไป

วิทยานิพนธ์นี้ทำให้ได้ทราบลักษณะของแสงสว่างของแต่ละฤดูกาล การเคลื่อนที่ของโลกรอบดวงอาทิตย์ ตำแหน่งและทิศทางของช่องหน้าต่างมีผลต่อแสงสว่างที่ส่องเข้ามาในแต่ละช่วงเวลาและฤดูกาล การประยุกต์ใช้ข้อมูลเพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้า

ข้อจำกัดในการทำวิทยานิพนธ์นี้ การเก็บข้อมูลแสงสว่างควรจะต้องมีการเก็บข้อมูลจำนวนมากจึงจะสามารถได้ข้อมูลที่ใกล้เคียงความเป็นจริงได้ที่สุด และต้องทำการเก็บข้อมูลตลอดช่วงเวลา ซึ่งบางช่วงเวลามีเมฆมากทำให้ค่าแสงสว่างที่ควรจะเป็นในการประมาณการณ์นั้นไม่แม่นยำ ความเสถียรของคอมพิวเตอร์และความเสถียรของระบบไฟฟ้ารวมถึงในช่วงที่มีฝนตกฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คะนองจะทำให้ได้ข้อมูลไม่เพียงพอเนื่องจากไฟฟ้าได้ดับลงระหว่างการเก็บข้อมูลนั้น บางช่วงเวลาขาดหายไป บางช่วงของฤดูกาลแปรปรวนหรือมีฝนตกนอกฤดูกาลจะทำให้ข้อมลูของในเดือนนั้นผิดเพี้ยนไป การวัดกระแสจำเป็นที่จะต้องเป็นแบบค้าต้าลอกเกอร์จะได้ค่ากระแสได้ตลอดทั้งช่วงสมการที่ได้จากการสังเคราะห์นั้นมาจากการหาสมการถดถอย

จากข้อมูลของวิทยานิพนธ์นี้ สามารถจะประมาณการใช้พลังงานแสงสว่างได้กับของสถาบันได้ดังนี้

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าประเมินค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้เมื่อประยุกต์กับสถาบัน

การประมาณการประหยัดพลังงานในสถาบันศึกษา									
	กำลังหลอดไฟ (วัตต์)	จำนวนหลอด/ชั้น	กำลังงานไฟฟ้า (วัตต์)	พลังงาน/ช./ชม./เดือน (วัตต์)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ลดค่ากำลังงานลง 64%	พลังงาน/ช./ชม./เดือน (กิโลวัตต์)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ประหยัดค่าใช้จ่าย (บาท)
การคำนวณต่อชั้น	36	100	3,600	576	2,254	1,296	207	724	1,530
การคำนวณต่อ 12 ชั้น		1,200	43,200	6,912	29,222	15,552	2,488	10,392	18,360

โครงการนี้สามารถจะนำมาประยุกต์ใช้ในสถานศึกษา โดยการใช้แสงสว่างจากภายนอกหรือแสงธรรมชาติเข้ามาช่วยในการให้แสงสว่าง ซึ่งสามารถหรี่ไฟในแถวของหลอดไฟที่ติดกับหน้าต่างเมื่อมีแสงเข้ามาจากการจำลองการใช้งานของสถาบันการศึกษาในหนึ่งเดือน สามารถประหยัดได้ถึง 18,360 บาท และสามารถจะประหยัดได้ = 18,360 บาท x 12 เดือน = 220,320 บาทต่อปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] วิศรุต ศรีรัตนะ, **เซนเซอร์และทรานดิวเซอร์ในงานอุตสาหกรรม**, เอ็ดยูเคชั่น กรุงเทพฯ, 2550

[2] บิสแอนด์เทคโนโลยี , **เดลไฟ สำหรับ งานวิศวกรรม**, บิสแอนด์เทคโนโลยี, 2551

[3] พิบูลย์ ดิษฐอุดม, **การออกแบบระบบแสงสว่าง**, ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ, 2535

[4] อาจารย์ศุภฤกษ์ จันทร์ศุภเสน, **เอกสารประกอบการสอน วิศวกรรมส่องสว่าง**, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2552

[5] S. Chirarattananon, **Building for Energy Efficiency**, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 2005

[6] Witsarut Sriratana, "Automatic Illuminance Controlling System with Processing and Analyzing Unit for Energy Saving purpose",**KKU Engineering Journal**, Vol.33 No.2(89-97) March-April, 2006

[7] Douglas A.Skoog, Donald M.West, **Principles of Instrumentation Analysis,2nd Holt-Saunders Japan**,Ltd., Japan, Section 2-3, 1981

[8] Muhammad Iqbal, **An Introduction to Solar Radiation**, Academic Press Cannada, Toronto, Chapter 4,1983

[9] Pippenger, Dele E., **Linear and Interface Circuits Applications**, 2nd McGraw-Hill, New York, Section 7 and 11, 1988

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Code ภาษาปาสคาลในโปรแกรมเคลไฟล์

```
unit U_main;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, ExtCtrls, TeeProcs, TeEngine, Chart, ComCtrls, XPMan, StdCtrls,
  Series, CPortCtl, CPort;
type
  TForm1 = class(TForm)
    XPManifest1: TXPManifest;
    PageControl1: TPageControl;
    TabSheet1: TTabSheet;
    TabSheet2: TTabSheet;
    Chart1: TChart;
    Chart2: TChart;
    Chart3: TChart;
    Series1: TFastLineSeries;
    Series2: TFastLineSeries;
    Series3: TFastLineSeries;
    Timer1: TTimer;
    Chart4: TChart;
    FastLineSeries1: TFastLineSeries;
    TabSheet3: TTabSheet;
    Edit5: TEdit;
    Edit6: TEdit;
    Label9: TLabel;
    Label10: TLabel;
    Timer2: TTimer;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GroupBox1: TGroupBox;

Edit1: TEdit;

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

Edit2: TEdit;

Label3: TLabel;

Edit3: TEdit;

Label4: TLabel;

Label5: TLabel;

Label6: TLabel;

Label7: TLabel;

Edit4: TEdit;

Label8: TLabel;

ComPort1: TComPort;

ComTerminal1: TComTerminal;

Edit8: TEdit;

Edit9: TEdit;

Edit10: TEdit;

Edit11: TEdit;

Edit12: TEdit;

Edit13: TEdit;

Edit14: TEdit;

Label11: TLabel;

Label12: TLabel;

Label13: TLabel;

Label14: TLabel;

SaveDialog1: TSaveDialog;

OpenDialog1: TOpenDialog;

GroupBox2: TGroupBox;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Label15: TLabel;
    Edit15: TEdit;
    Button7: TButton;
    Button6: TButton;
    Button8: TButton;
    GroupBox3: TGroupBox;
    Label16: TLabel;
    Edit16: TEdit;
    Button9: TButton;
    Button10: TButton;
    Chart5: TChart;
    FastLineSeries2: TFastLineSeries;
    GroupBox4: TGroupBox;
    Button3: TButton;
    procedure Timer1Timer(Sender: TObject);
    procedure Timer2Timer(Sender: TObject);
    procedure FormShow(Sender: TObject);
    procedure Button3Click(Sender: TObject);
    procedure ComTerminal1Char(Sender: TObject; Ch: Char);
    procedure Edit8Change(Sender: TObject);
    function  cal1(val:real) : real;
    function  cal2(val:real) : real;
    procedure Edit12Change(Sender: TObject);
    procedure Button7Click(Sender: TObject);
    procedure Button6Click(Sender: TObject);
    procedure Button8Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  { Public declarations }
  index2 ,cnt: integer;
  index: Int64 ;
  temp_str : string;
  val1 : array of integer;
  myFile : TextFile;
  text  : string;
  i,start_save    : integer;
  data_save : string;
 end;
var
 Form1: TForm1;
implementation
{$R *.dfm}
function  TForm1.cal1(val:real):real;
begin
    if val <= 18 then  result :=0
    else  if val <= 50 then  result :=(val /3.4)
    else  if val <= 105 then  result :=(val /2.9)
    else  if val <= 200 then  result :=(val /1.9)
    else  if val <= 250 then  result :=(val /1.8)
    else  if val <= 300 then  result :=(val /1.7)
    else  if val <= 320 then  result :=(val /1.6)
    else  if val <= 360 then  result :=(val /1.5)
    else  if val <= 400 then  result :=(val /1.4)
    else  if val <= 450 then  result :=(val /1.3)
    else  if val <= 500 then  result :=(val /1.25)
    else  if val <= 550 then  result :=(val /1.28)
    else  if val <= 600 then  result :=(val /1.18)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    else  if val <= 700 then  result :=(val /0.95);
end;
function  TForm1.cal2(val:real):real;
begin
    if val <= 18 then  result :=0
    else  if val <= 50 then  result :=(val /3.4)
    else  if val <= 105 then  result :=(val /2.9)
    else  if val <= 200 then  result :=(val /1.9)
    else  if val <= 250 then  result :=(val /1.8)
    else  if val <= 300 then  result :=(val /1.7)
    else  if val <= 320 then  result :=(val /1.6)
    else  if val <= 360 then  result :=(val /1.5)
    else  if val <= 400 then  result :=(val /1.4)
    else  if val <= 450 then  result :=(val /1.3)
    else  if val <= 500 then  result :=(val /1.25)
    else  if val <= 550 then  result :=(val /1.28)
    else  if val <= 600 then  result :=(val /1.18)
    else  if val <= 700 then  result :=(val /0.95);
end;
procedure TForm1.Timer1Timer(Sender: TObject);
var i: integer;
begin
randomize;
inc(index);
//index:=strtoint(trim(edit7.Text));
index2 := strtoint(edit12.Text);
Chart1.Series[0].AddXY(index,index2);
index2 := strtoint(edit12.Text);
Chart2.Series[0].AddXY(index,index2);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
index2 := strtoint(edit14.Text);
Chart3.Series[0].AddXY(index,index2);
index2 := strtoint(edit11.Text);
Chart4.Series[0].AddXY(index,index2);
if (index mod 100 = 0) then
begin
 chart1.Series[0].Clear;
 chart2.Series[0].Clear;
 chart3.Series[0].Clear;
end;
        data_save := '['+edit5.Text + '-
'+edit6.Text+']'+'$'+edit12.Text+','+edit13.Text+','+edit14.Text+','+edit11.Text+'#';
        if start_save = 1 then
        begin

        Writeln(myFile,data_save);
        end;
end;
procedure TForm1.Timer2Timer(Sender: TObject);
begin
 edit5.Text:=datetostr(date);
 edit6.Text:=timetostr(time);
 ext[8];
end;
procedure TForm1.FormShow(Sender: TObject);
begin
 edit5.Text:=datetostr(date);
 edit6.Text:=timetostr(time);
 ext[8];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 index :=0;
 SetLength(val1,100);
end;

procedure TForm1.Button3Click(Sender: TObject);
begin
 ComPort1.ShowSetupDialog;
 ComPort1.Connected:=true;
 GroupBox4.Caption := 'connected!!!';
end;

procedure TForm1.ComTerminal1Char(Sender: TObject; Ch: Char);
begin
    if Ch='$' then
    begin
       cnt:=0;
       temp_str:='';
    end
    else if  Ch=',' then
    begin
      inc(cnt);
      if cnt=1 then
      begin
        edit8.Text :=  temp_str;
        temp_str:='';
      end;
      if cnt=2 then
      begin
        edit9.Text :=  temp_str;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            temp_str:='';
          end;
        end
        else if Ch <> '#' then
        begin
          temp_str:=temp_str+Ch;
        end
        else  if Ch = '#' then
        begin
            edit10.Text :=  temp_str;
            temp_str:='';
        end;
end;
procedure TForm1.Edit8Change(Sender: TObject);
var  num1,num2,num3 : real;
    num_i: integer;
begin
      if edit8.Text <> '' then
      begin
          num1:=strtofloat(edit8.Text);
          num2 :=call(num1);
          edit12.Text := formatfloat('###',num2);
      end;
end;
procedure TForm1.Edit12Change(Sender: TObject);
begin
   if  Edit12.Text  = '' then    Edit12.Text:='0';
end;
procedure TForm1.Button7Click(Sender: TObject);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
begin
    if SaveDialog1.Execute then
    begin
        edit15.Text:=SaveDialog1.FileName;
    end;
end;

procedure TForm1.Button6Click(Sender: TObject);
begin
        AssignFile(myFile,edit15.Text);
        ReWrite(myFile);
        start_save:=1;
end;
procedure TForm1.Button8Click(Sender: TObject);
begin
 //AssignFile(myFile,edit15.Text);
           closefile(myFile);
           start_save  :=0;
end;
end.
```

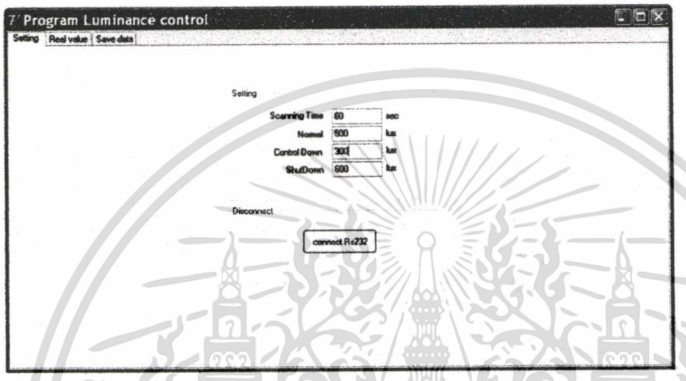
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.
การใช้งานโปรแกรมเมนู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าจอที่ใช้งานประกอบไปด้วย 3 แท็บดังนี้

1. Setting เป็นแท็บในการใส่ค่าที่ต้องการให้เครื่องทำการควบคุมและส่งค่าเพื่อติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์
2. Real Value เป็นแท็บที่แสดงค่าของแสงและพลังงานเป็นกราฟเส้น
3. Save data เป็นแท็บที่ใช้ในการเลือกข้อมูลที่มีอยู่ในฐานข้อมูลนำมาพล็อตเป็นกราฟ

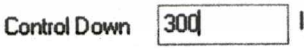


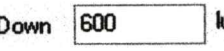
หน้าจอ Setting

หน้าจอ Setting มี Text block ที่รับค่าอยู่ดังนี้

1. Scanning Time

เพื่อรับค่าให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำการอ่านค่าและส่งค่ามาให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อมาแสดงผลในกราฟ
2. Normal

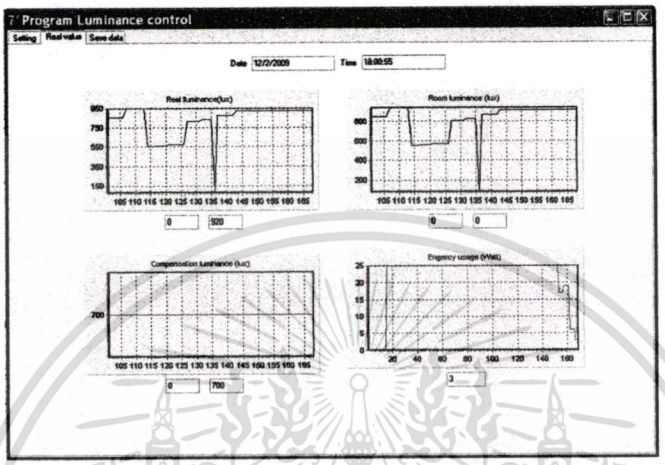
เป็นค่ากลางของค่าควบคุมเพื่อให้ค่าแสงคงที่ที่ค่าความสว่างตามที่ผู้ใช้ป้อนเข้าไป โดยค่าที่น้อยกว่านี้โปรแกรมจะสั่งให้มีการเพิ่มไฟ และค่าที่มีค่ามากกว่าค่านี้ โปรแกรมก็จะทำการสั่งให้หรี่ไฟลง ให้ค่าเท่ากับค่ากลางนี้ ค่านี้มีหน่วยเป็น lux
3. Control Down 

เป็นค่าขีดจำกัดล่างของค่าแสงที่ควบคุมเพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับรู้ว่าเมื่อค่าแสงมีค่าต่ำกว่าค่าแสงที่กำหนดไว้ เครื่องก็จะทำการเปิดไฟให้ไฟติดตลอดเวลา ค่าที่ป้อนนี้มีหน่วยเป็น lux
4. Shutdown 

เป็นค่าขีดจำกัดบนของค่าควบคุมเพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับรู้ว่าเมื่อค่าแสงมีค่าสูงกว่าค่าแสงที่กำหนดไว้ เครื่องก็จะทำการหรี่ไฟให้มีค่าแสงสว่างที่น้อยลงมาเมื่อมีแสงสว่างจากภายนอกมาชดเชย ค่าที่ป้อนนี้มีหน่วยเป็น lux

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

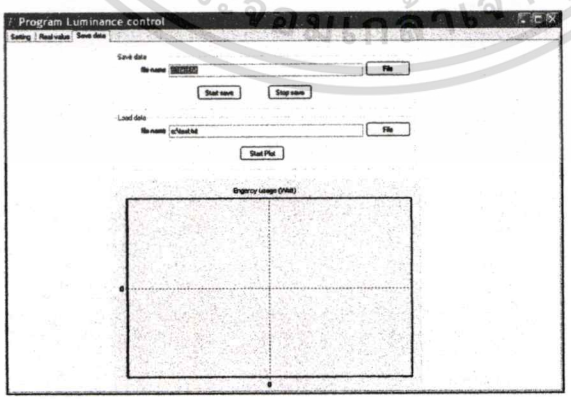
5. connect Rs232 ปุ่มนี้ใช้เมื่อมีการติดต่อกันระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยผ่านทางสาย RS232



หน้าจอ Real Value

หน้าจอ Real value มีกราฟทั้งหมด 4 กราฟดังนี้

1. Real Illuminance (lux) เป็นกราฟที่แสดงค่าแสงจริงที่ได้รับจากแสงอาทิตย์
2. Room Illuminance (lux) เป็นกราฟที่แสดงค่าแสงภายในห้องควบคุม
3. Compensation Illuminance (lux) เป็นกราฟที่แสดงค่าที่เป็นผลต่างระหว่าง ค่าความสว่างภายในห้องกับภายนอกห้อง

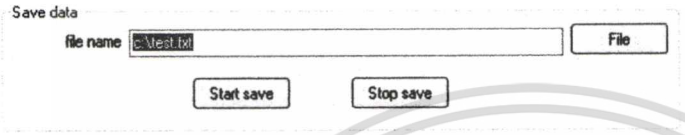


หน้าจอ Save Data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าจอ Save Data ประกอบไปด้วย 3 ส่วนดังนี้

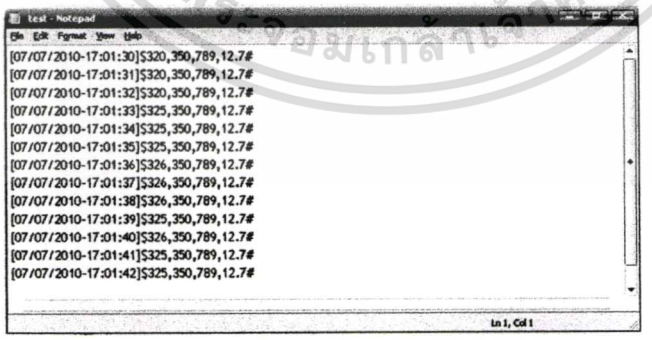
1. Save date สำหรับทำการบันทึกข้อมูลที่โปรแกรมได้มีการรับค่าที่ได้มาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยให้ทำการใส่ชื่อ file และ path เพื่อทำการ save หลังจากนั้น ทำการ เริ่มบันทึก data ลงไปใน Text file โดยการกดปุ่ม Start save จากนั้นโปรแกรมก็จะทำการบันทึกค่าลงไปใน file ด้านบนนั้นเอง



2. Load date สำหรับการดึงไฟล์ข้อมูลเก่าที่ได้ทำการบันทึกไว้แล้วขึ้นมาเพื่อใช้ในการพล็อตค่าลงในกราฟ ให้ทำการใส่ชื่อ file และ path เพื่อทำการ Load กราฟ

3. เพื่อนำค่าของข้อมูลที่ได้นำมาพล็อตดูค่าปริมาณของค่าพลังงาน

หมายเหตุ หากต้องการหยุดการบันทึก File ให้ทำการกด Stop Save จากนั้นก็จะทำการอ่านค่าใน file โดยการเปิดไฟล์ *.txt ออกมาดูจะปรากฏภาพหน้าจอดังนี้

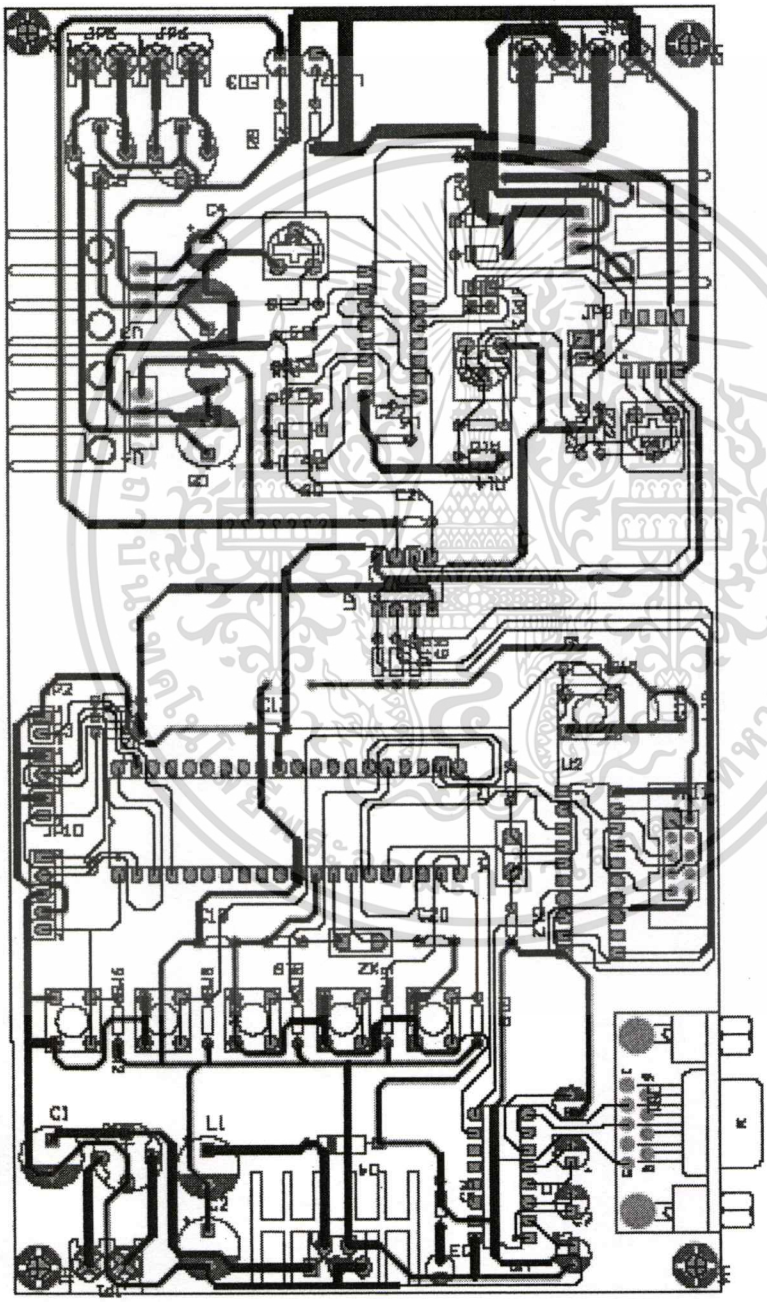


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.
วงจรที่ใช้ และ PCB

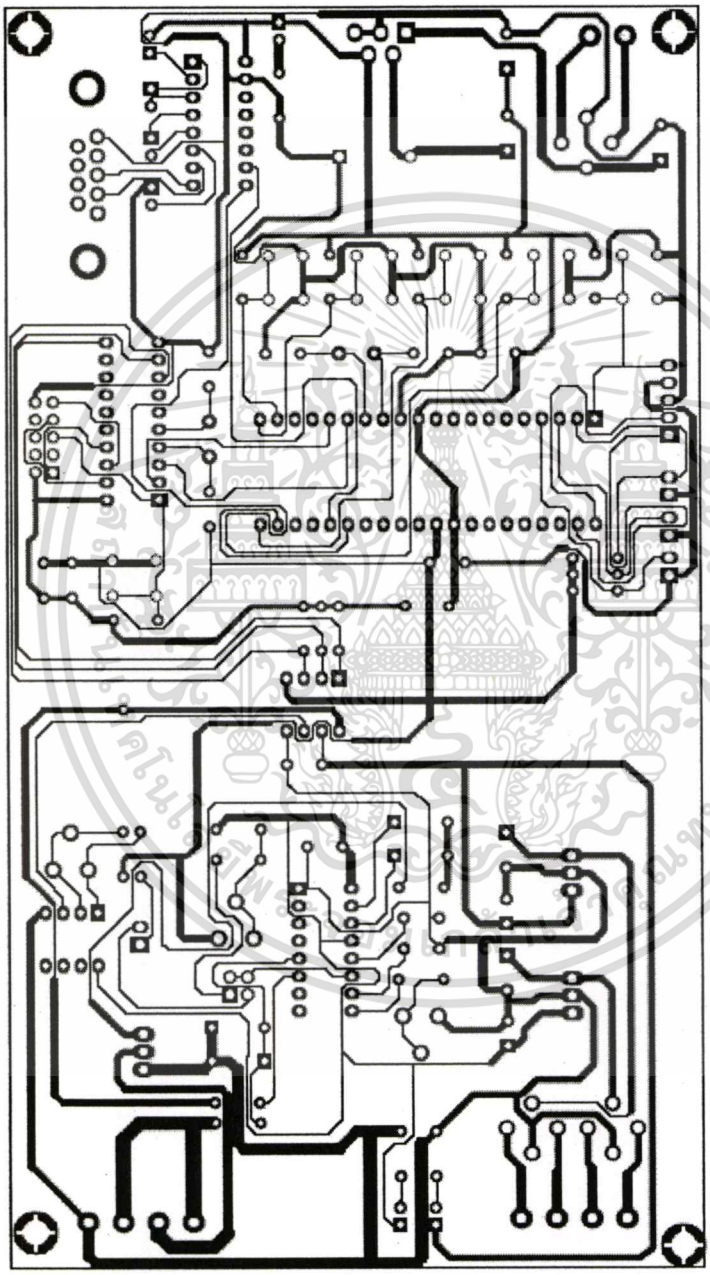
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรด้านบน

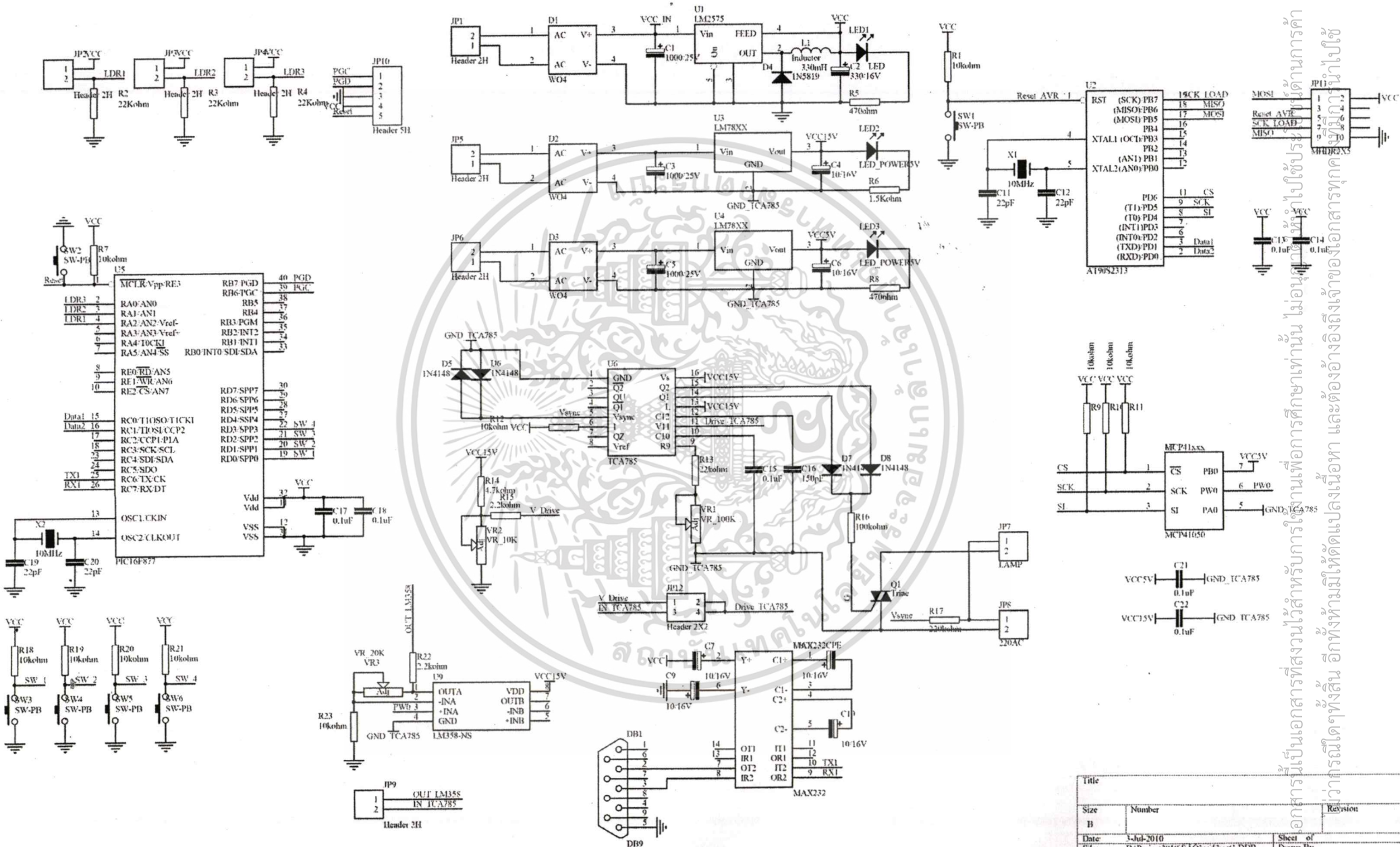


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรด้านล่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


JP2 VCC
LDR1
Header 2H
R2
22Kohm
JP3 VCC
LDR2
Header 2H
R3
22Kohm
JP4 VCC
LDR3
Header 2H
R4
22Kohm
JP10
PGC
PGD
VCC
Reset
Header 5H
JP1
Header 2H
D1
AC
AC
WO4
VCC_IN
U1
LM2575
Vin
FEED
OUT
L1
Inducter
330mH
D4
1N5819
VCC
LED1
C2
330/16V
R5
470ohm
JP5
Header 2H
D2
WO4
U3
LM78XX
Vin
Vout
GND
GND_TCA785
VCC15V
LED2
LED_POWER15V
C3
1000/25V
C4
10/16V
R6
1.5Kohm
JP6
Header 2H
D3
WO4
U4
LM78XX
GND_TCA785
VCC5V
LED3
LED_POWER5V
C5
1000/25V
C6
10/16V
R8
470ohm
R1
10kohm
SW1
SW-PB
Reset_AVR
U2
RST
XTAL1 (OCT) PB3
XTAL2 (AN0) PB0
(SCK) PB7
(MISO) PB6
(MOSI) PB5
PB4
PB2
(AN1) PB1
PD6
(T1) PD5
(T0) PD4
(INT1) PD3
(INT0) PD2
(TXD) PD1
(RXD) PD0
SCK_LOAD
MISO
MOSI
CS
SCK
SI
Data1
Data2
AT90S2313
X1
10MHz
C11
22pF
C12
22pF
JP13
MHDR2X5
C13
0.1uF
C14
0.1uF
U5
PIC16F877
MCLR/Vpp/RE3
RA0/AN0
RA1/AN1
RA2/AN2/Vref-
RA3/AN3/Vref+
RA4/T0CKI
RA5/AN4/SS
RE0/RD/AN5
RE1/WR/AN6
RE2/CS/AN7
RC0/T1OSO/T1CKI
RC1/T1OSI/CCP2
RC2/CCP1/P1A
RC3/SCK/SCL
RC4/SDI/SDA
RC5/SDO
RC6/TX/CK
RC7/RX/DT
OSC1/CLKIN
OSC2/CLKOUT
Vdd
Vss
RB7/PGD
RB6/PGC
RB5
RB4
RB3/PGM
RB2/INT2
RB1/INT1
RB0/INT0/SDI/SDA
RD7/SPP7
RD6/SPP6
RD5/SPP5
RD4/SSP4
RD3/SPP3
RD2/SPP2
RD1/SPP1
RD0/SPP0
SW_4
SW_3
SW_2
SW_1
QW2
SW-PB
R7
10kohm
Reset
X2
10MHz
C19
22pF
C20
22pF
C17
0.1uF
C18
0.1uF
D5
1N4148
D6
1N4148
GND_TCA785
U6
TCA785
GND
Q2
Q1
Q0
Vsync
Hsync
OZ
Vref
Vs
L
C12
C10
R9
VCC15V
V_Drive_TCA785
R12
10kohm
VCC
R13
22kohm
C15
0.1uF
C16
150pF
D7
1N4148
D8
1N4148
VR1
VR_100K
R16
100kohm
R14
4.7kohm
R15
2.2kohm
V_Drive
VR2
VR_10K
JP12
Header 2X2
V_Drive
IN_TCA785
Drive_TCA785
Q1
Triac
JP7
LAMP
JP8
220AC
Vsync
R17
220ohm
R9
10kohm
R10
10kohm
R11
10kohm
MCP41xxx
MCP41050
CS
SCK
SI
PB0
PW0
PA0
VCC5V
R18
10kohm
R19
10kohm
R20
10kohm
R21
10kohm
SW_1
SW_2
SW_3
SW_4
QW3
SW-PB
QW4
SW-PB
QW5
SW-PB
QW6
SW-PB
VR_20K
VR3
R22
2.2kohm
OUT_LM358
R23
10kohm
U9
LM358-NS
OUTA
-INA
+INA
GND
VDD
OUTB
-INB
+INB
PWD
JP9
Header 2H
OUT_LM358
IN_TCA785
MAX232CPE
MAX232
C7
C9
C10
C1+
C1-
C2+
C2-
T1IN
R1IN
T2IN
R2IN
T1OUT
R1OUT
T2OUT
R2OUT
TX1
RX1
DB1
DB9
C21
C22
0.1uF
Title
Size
B
Number
Revision
Date: 3-Jul-2010
File: D:\Project2010\EAOea\Sheet1.DDB
Sheet of
Drawn By:

ภาคผนวก ง.

ส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

http://www.sice.or.jp/sice2008/

SICE Annual Conference 2008

International Conference on Instrumentation, Control and Information Technology

Final Program and Papers

Aug.20(Wed.)~22(Fri.)

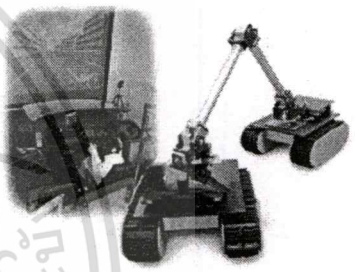
The University of Electro-Communications(UEC), Chofu, Tokyo, JAPAN

Organized by
The Society of Instrument and Control Engineers (SICE), Japan

Supported by
Chofu City, The Univ. of Electro-Communications, Japan

Technically Co-Sponsored by
IEEE/IES, IEEE/RAS, IEEE/CSS, IEEE/SMC, The Instrumentation, Systems and Automation Society (ISA), Institute of Control, Robotics and Systems(ICROS).

In association with
China Instrument and Control Society (CIS), Chinese Association of Automation (CAA), Chinese Automatic Control Society (CACS), International Measurement Confederation (IMEKO), IEEE Japan Council, IFAC NMO-Japan



- Message
- SICE2008 Committee
- Plenary and Invited Talks
- Program and Papers
  - Overview (Program at a Glance)
  - Session table
  - Presentation order
  - Abstracts and Final Papers
  - Authors Index
- Interactive OS
- Workshop
- Special Event
- Exhibition
- Laboratory Tours
- Welcome Reception, Banquet, Farewell Party
- Information
  - General Information
  - Campus Map

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SICE The University of Electro-Communications UEC IEEE ISA ICROS

2B02

Opto-Electronic Measurement

Time: 13:15-14:35 Chair: Shoji Adachi (Yokogawa Electric Co.), Hiroaki Aizawa (Toyo Univ.)
Place: Room02

13:15-13:35 2B02-1

Enhancement of BOCDA System for Aircraft Health Monitoring

*Yoshihiro Kumagai (Yokogawa Electric Co.),
Satoshi Matsuura (Yokogawa Electric Co.),
Shoji Adachi (Yokogawa Electric Co.), Kazuo Hotate (Univ. of Tokyo)

We developed a prototype on-board BOCDA system for aircraft structural health monitoring. We confirmed that the BOCDA system could be applied to aircraft structural health monitoring.

13:35-13:55 2B02-2

Beam Shaping for Detection of Small Object by Phase Correction Element

*Masato Yamada (Sanyo Electric Co.,Ltd), Tatsuo Arai (Osaka Univ.),
Yoshiyuki Matsumura (Sanyo Electric Co., Ltd),
Yasuyuki Kanou (Sanyo Electric Co., Ltd)

The spot size is determined by the wavelength of the laser and the numerical aperture of the objective lens. So it cannot be below the diffraction limit. There is, however, a method of increasing the resolution of an ideal optical system by varying the state of the laser light that enters the objective lens. This is a kind of super-resolution. That method, however, generates side-lobes. We used the phase correction element to eliminate the effects of side lobes through beam shaping. We also confirmed effective data reading from an optical disk using smaller spot than the diffraction limit spot.

13:55-14:15 2B02-3

Optical pH Measurement Method Using Organic Dye Film

*Hiroaki Aizawa (Toyo Univ.), Kenichi Okubo (Toyo Univ.),
Tooru Katsumata (Toyo Univ.), Shuji Komuro (Toyo Univ.)

Optical pH measurement method based on the color change from the organic dye film was examined. Six pH indicators were selected for wide pH measurement range. Absorption spectra of the visible light were evaluated to six pH indicators. Moreover, pH valuation of the absorption spectra was evaluated for the optical pH measurement method application.

14:15-14:35 2B02-4

An Experimental Study of Natural Lighting for Energy Conservation Using Top Up Control Method

Chaichana Wangkadilok (KMITL), Witsarut Sriratana (KMITL),
Narin Tammarugwattana (KMITL), *Lerdlekha Tanachaikhan (RU)

This paper presents the experimental study of natural lighting for energy conservation. The point illuminances were measured by photoconductive sensors and the average interior illuminance from natural lighting were calculated. The electric lighting will be switched on under top-up control method to maintain the standard illuminance level if natural light alone does not meet the requirement. The average interior illuminance of a room was controlled to be stable at the IES standard level of 500 lux. Electric light was assumed to be supplementary lighting. The requirements of supplementary lighting and possible savings during the test months were finally estimated.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

An Experimental Study of Natural Lighting for Energy Conservation using Top-Up Control Method

Chaichana Wangkadilok[1], Witsarut Sriratana[1], Narin Tammarugwattana[1] and Lerdlekha Tanachaikhan[2]

[1]Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
(Tel: 66-2-739-2407 ext.125, Fax: 66-2-739-2406; Email: kswitsar@kmitl.ac.th)
[2]Faculty of Engineering, Ramkhamhaeng University, Huamark, Bangkapi, Bangkok 10240, Thailand
(Tel: 66-2-310-8570, Fax: 66-2-314-3783; E-mail: lerdlekha@eng.ru.ac.th)

Abstract: This paper presents the experiment-based analysis of interior illuminance from natural lighting through clear glazed window of a reference room located in Bangkok, Thailand, during February to May 2007 as a case study. The point illuminances measured by photoconductive sensors were collected every 5 minutes and the average interior illuminance from natural lighting were then calculated instantaneously. In this study, natural lighting also aims to reduce the requirement of electric lighting during daytime (7 am-5 pm) of the reference room. If natural lighting alone cannot supply the light at the required value, the electric lighting is assumed to be switched on under top-up control method to maintain the standard illuminance level. The average interior illuminance, which comprises of natural light and electric light, is controlled to be stable at the IES standard level of 500 lux. Nine sets of high performance lamp, 56 lm/W of efficacy, are assumed to supply the light to meet the standard condition. The requirements of supplementary lighting and possible savings during the test months are finally estimated.

Keywords: Electric lighting, Illuminance, LDR, Natural lighting, Top-up control.

1. INTRODUCTION

Global warming raises the international concerns on environmental problems. The uses of fossil fuels are attempted to be reduced and wisely considered. One effective way to reduce energy consumption in buildings is energy conservation. Under tropical climate of Bangkok, the potential of natural light is high and the availability is significant [1]. This study aims to assess natural lighting performance in reduction of electric lighting requirement in the reference building. The variation of sky is also taken into consideration as the interior illuminance of natural lighting is a function of exterior condition [2]. To measure the interior illuminance from natural lighting, light dependent characteristic of photoconductive cells or so-called LDR (Light Dependent Resistance) were used. Three sets of LDR were placed to measure the interior illuminance and one LDR was externally installed to measure the exterior horizontal illuminance.

2. THEORY AND METHODOLOGY

The natural illuminance during work hours was analyzed from the output of voltage divider that was then input to 8-bit ADC (1,023 steps) as given in Eq. (1):

$$V_{LDR} = \frac{R_{LDR}}{R_{LDR} + R_1} \times V_S \quad \text{(Volt)} \qquad (1)$$

where V_{LDR} is the output voltage, R_{LDR} is the resistance inversely proportional to natural light, R_1 is the constant resistance, and V_S is the supply voltage.

The exponential relationships of data from 8-bit ADC and natural illuminance were found as shown in Eq. (2).

$$y = ae^{bx} \quad \text{(lux)} \qquad (2)$$

where x is the data from 8-bit ADC, y is the standard illuminance (lux), a is 4.9514 lux, and b is 0.0061.

The relationships of data and illuminance according to Eq. (2) are shown in Fig. 1 where r^2 is the value from regression analysis.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

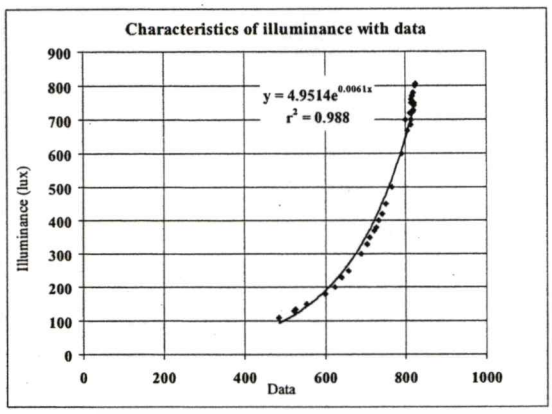


Fig. 1 Relationships of data and illuminance.

3. DATA COLLECTION AND ANALYSIS

According to Eq. (2), two graphs illustrated the interior point illuminances during experimental periods are shown in Fig. 2 and 3.

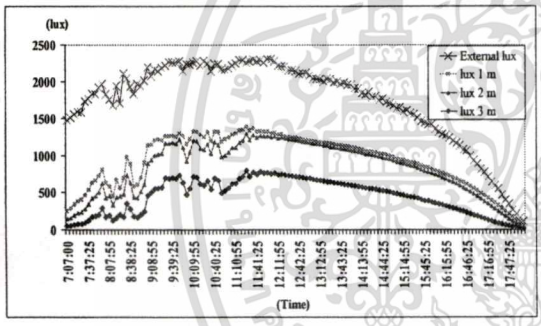


Fig. 2 Point illuminances as a function of time on 14 February 2007.

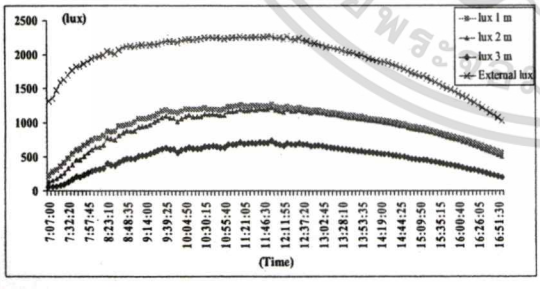


Fig. 3 Average point illuminances in February.

The point illuminances measured during 7 am-5 pm were collected in 5 minutes-interval on 14 February 2007 as shown in Fig. 2. Fig. 3 illustrates the average natural illuminance in February 2007 obtained from four LDRs which was horizontally mounted inside and outside the light blue-painted reference room. The experimental room is located in Bangkok at latitude 13.54 °N and longitude 100.67 °E. The floor area of the room is 24 m^2 and the room height is 2.2 m. The window is clear-glazed facing south-east orientation. Three LDRs were placed inside the room at 1 m, 2 m, and 3 m away from window and 0.9 m above floor level and another one was horizontally placed outside the room to measure the exterior global illuminance. The placement of LDRs and room configuration are shown in Fig. 4 and 5, respectively.

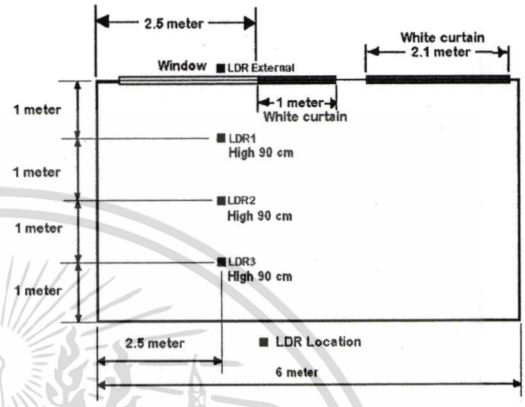


Fig. 4 Placement of LDRs.

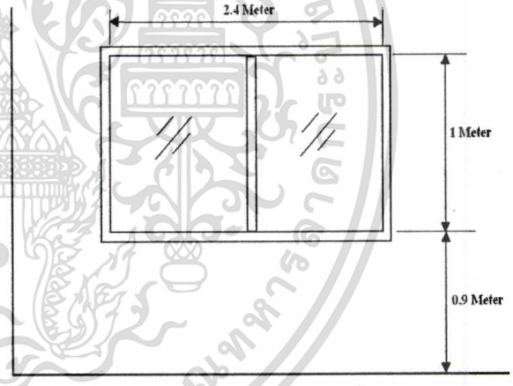


Fig. 5 Configuration of experimental room

Fig. 6 shows the resistance variations of LDRs mounted at 3 points in interior space and also at a point outside the room. From Fig. 6, the average resistances were analyzed and shown the inverse relationships with natural illuminance during experimental period in February.

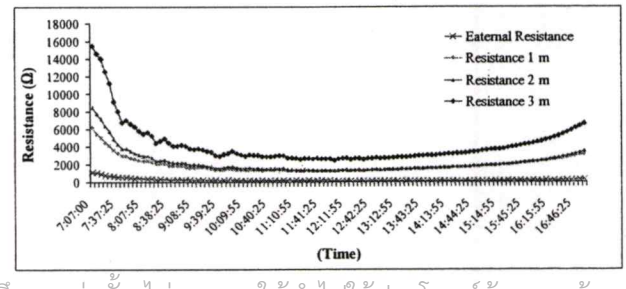


Fig. 6 Average resistances of LDRs in February.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

In this study, the data of natural illuminances were collected during February to May of 2007 as a case study. During the daytime of 7 am-5 pm, the monthly average and overall average illuminances of data collected are shown in Table 1.

Table 1 Average illuminances during February to May 2007.

LDR Position	Illuminance (lux)				
	Feb	Mar	Apr	May	*Av*
1m	1084	980	810	690	891
2m	1022	954	801	665	860.5
3m	570	486	362	272	422.5
Av	892	806.67	657.67	542.33	724.67

From Table 1, *Av* is the average illuminance for a given point and for a room in each month measured by LDRs. The point at 1 m away from widow shows the highest values of illuminance. Therefore, this area requires least energy required for supplementary lighting to maintain the illuminance level at the standard requirement compared with other two points.

4. ILLUMINACE CONTROL

The interior illuminance was required and maintained at 500 lux according to IES standard [1]. Electric lighting from nine sets of 30 W, 1,700 lumen fluorescent lamp was used for supplementary lighting. Fig. 7 illustrates the average illuminance data of 14 February 2007. If the natural illuminance was lower than 300 lux, the electric lighting was fully equipped from nine sets of fluorescent lamp and the total illuminance from natural lighting and electric lighting was not considered. For natural illuminance exceeding 500 lux, supplementary lighting was not required. If the natural illuminance was in the range of 300-500 lux, the interior illuminance as a summation of natural lighting and electric lighting was continuously controlled at required illuminance level.

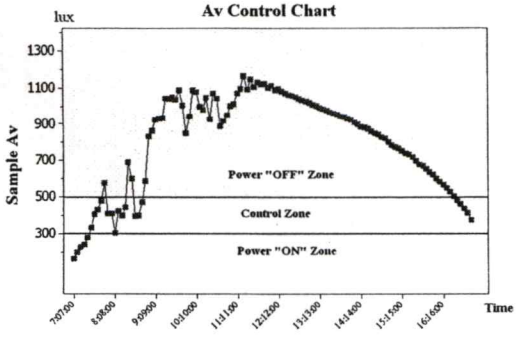


Fig. 7 Average point illuminance and control range.

Fig. 8 demonstrates the standard deviation chart of natural illuminance at the middle zone area measured by LDR2 every 5 minutes during 7am-5pm on 14 February 2007.

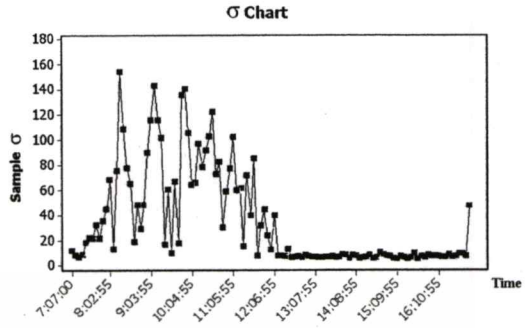


Fig. 8 Standard deviation of natural lighting data on 14 February 2007.

In the morning (7 am - 12 am), the high variation of data was observed. It is because the tropical sky condition is highly non-uniform and frequently changes [1]. In the morning of experimental period, the sky was partly cloudy and sunlight was allowed into the building interior. Therefore, the variation was significantly dependent on sky and sunlight variation. However, in the afternoon (12 am - 5 pm), the sun moved to the opposite direction and the illuminance was mainly dependent on skylight only. Therefore, the variation was less observed.

As mentioned earlier, the output voltage from voltage divider (0-5 volts) was related to the measured illuminance (300-500 lux) and then supplied to dimmer. The output voltage was designed to be 0 volt for 300 lux of natural illuminance and designed to be 5 volt for 500 lux of natural illuminance. The linear relationships of output voltage and natural illuminance (slope: *m*) is therefore 40 lux/volt as given in Eq. (3) and shown in Fig. 9.

$$y = mx+c$$

$$y = 40x+300 \quad (3)$$

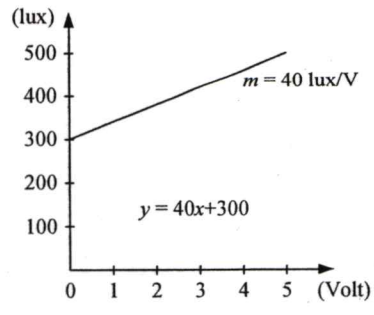


Fig. 9 Linear relationships of output voltage supplied to dimmer and natural illuminance.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 2 Natural illuminance and resistance of LDR

Illuminance (lux)	R_{LDR1} (Ω)	R_{LDR2} (Ω)	R_{LDR3} (Ω)
144	6260	8534	15519
171	5472	7805	14636
191	5056	7211	14014
225	4513	6338	12607
259	4133	5750	11271
318	3646	4916	9185
368	3278	4353	8050
425	3016	3807	6756
449	3072	3334	6367
468	2977	3217	6121
473	2763	3540	6639
487	2888	3105	5898
508	2798	2986	5652
564	2571	2708	5091
597	2449	2566	4800
659	2243	2324	4350
701	2113	2182	4082
756	1895	2223	4142
793	1849	1919	3608
850	1698	2006	3805
904	1593	1648	3095
949	1497	1552	2931
1000	1349	1536	2907
1052	1286	1385	2636
1080	1247	1317	2490

The output voltage from voltage divider was analyzed from the resistance of LDR at a given point in a room as an inverse function of natural illuminance receiving. According to Eq. (1), Table 2 shows the resistance of each LDR for different natural illuminance levels collected in February.

5. ENERGY SAVING ANALYSIS

From nine sets of 30 W-high performance lamps (1700 lm at 56 lm/w of efficacy) in the reference room, the maximum illuminance was about 637.5 lux. Under top-up control method together with natural lighting, the savings in electric lighting while maintaining the average room illuminance at 500 lux during 7 am - 5 pm in four sample months are shown in Table 3.

Table 3 Saving Analysis from top-up control method

Condition	Feb	Mar	Apr	May
No natural lighting (kWh)	29.82	33.02	31.96	33.02
With natural lighting (kWh)	1.86	2.06	9.99	24.77
Savings (kWh)	27.96	30.95	21.97	8.26
Savings (%)	94	94	69	25
Hours per day without electric lighting	7.5	7.5	5.5	2

From Table 3, the savings in February and March can be obtained at 94 % and natural lighting alone can sufficiently applied at required illuminance level for about 7.5 hours per day. Moreover, there are about 5.5 hours per day that natural lighting alone can sufficiently illuminate the room at the required illuminance level in April, and about 2 hours per day in May.

Fig. 10 shows the screen of database program when collecting the data for analysis and also monitoring the natural illuminance, compensation illuminance from supplementary lighting, total illuminance from natural and supplementary lighting, and electric lighting demand which are measured and collected for 5 minutes-interval.

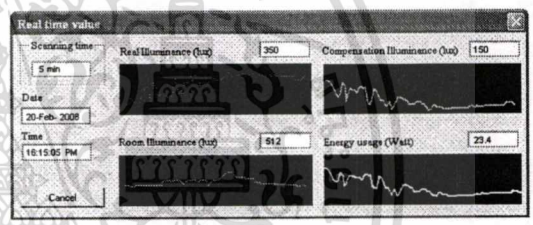


Fig. 10 Database program monitoring

6. CONCLUSION

This paper presents the experimental study of natural lighting for energy conservation during daytime (7 am - 5 pm). This study adopted the simple measurement and control method to assess the possible saving from natural lighting. The study was to analyze the potential of natural lighting for electric lighting reduction while maintaining the standard illuminance (500 lux). The supplementary lighting using top-up control method was required to compensate the interior illuminance to be at the set point. The output voltage as a function of natural illuminance from voltage divider circuit was supplied to dimmer in order to control the electric lighting during work period. The beneficial gain of light which can be reduced the requirement of electric lighting was analyzed in monthly basis to evaluate the possible energy saving. The maximum saving which can be obtained is about 30 kWh or 94 % in March. However, in May which is in rainy season of Thailand, the exterior illuminance is

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

lower than other months and the saving is therefore shown the minimum at 8.26 kWh or 25 %. As the significant savings in lighting can be achieved from natural lighting, the industrial and office sectors can be then applied this strategy and the prolonged benefits of natural lighting can be obtained.

REFERENCES

[1] S. Chirarattananon, *Building for Energy Efficiency*, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 2005.

[2] Witsarut Sriratana, "Automatic Illuminance Controlling System with Processing and Analyzing Unit for Energy Saving purpose", *KKU Engineering Journal*, Vol.33 No.2 (89-97) March-April, 2006

[3] Douglas A.Skoog, Donald M.West, *Principles of Instrumentation Analysis*, 2nd Holt-Saunders Japan, Ltd., Japan, Section 2-3, 1981

[4] Muhammad Iqbal, *An Introduction to Solar Radiation*, Academic Press Canada, Toronto, Chapter 4, 1983

[5] Pippenger, Dele E., Linear and Interface Circuits Applications, 2nd McGraw-Hill, New York, Section 7 and 11, 1988

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

ตารางที่ใช้ออกแบบแสงสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ค่าประสิทธิผลการสะท้อนแสงสว่างของโพรงเพดานและพื้น (ต่อ)

Percent Base* Reflectance	90										80										70										60										50									
Percent Wall Reflectance	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Cavity Ratio																																																		
0.2	89	88	88	87	86	85	85	84	84	82	79	78	78	77	77	76	76	75	74	72	70	69	68	68	67	67	66	66	65	64	60	59	59	59	58	57	56	56	55	53	50	50	49	49	48	48	47	46	46	44
0.4	88	87	86	85	84	83	81	80	79	76	79	77	76	75	74	73	72	71	70	68	69	68	67	66	65	64	63	62	61	59	60	59	59	58	57	55	54	53	52	50	50	49	48	48	47	46	45	45	44	42
0.6	87	86	84	82	80	79	77	76	74	73	78	76	75	73	71	70	68	66	65	63	69	67	65	64	63	61	59	58	57	54	60	58	57	56	55	53	51	51	50	46	50	48	47	46	45	44	43	42	41	38
0.8	87	85	82	80	77	75	73	71	69	67	78	75	73	71	69	67	65	63	61	57	68	66	64	62	60	58	56	55	53	50	59	57	56	55	54	51	48	47	46	43	50	48	47	45	44	42	40	39	38	36
1.0	86	83	80	77	75	72	69	66	64	62	77	74	72	69	67	65	62	60	57	55	68	65	62	60	58	55	53	52	50	47	59	57	55	53	51	48	45	44	43	41	50	48	46	44	43	41	38	37	36	34
1.2	85	82	78	75	72	69	66	63	60	57	76	73	70	67	64	61	58	55	53	51	67	64	61	59	57	54	52	48	46	44	59	56	54	51	49	46	44	42	40	38	50	47	45	43	41	39	36	35	34	29
1.4	85	80	77	73	69	65	62	59	57	52	76	72	68	65	62	59	55	53	50	48	67	63	60	58	55	51	47	45	44	41	59	56	53	49	47	44	41	39	38	36	50	47	45	42	40	38	35	34	32	27
1.6	84	79	75	71	67	63	59	56	53	50	75	71	67	63	60	57	53	50	47	44	67	62	59	56	53	47	45	43	41	38	59	55	52	48	45	42	39	37	35	33	50	47	44	41	39	36	33	32	30	26
1.8	83	78	73	69	64	60	56	53	50	48	75	70	66	62	58	54	50	47	44	41	66	61	58	54	51	46	42	40	38	35	58	55	51	47	44	40	37	35	33	31	50	46	43	40	38	35	31	30	28	25
2.0	83	77	72	67	62	58	53	50	47	43	74	69	64	60	56	52	48	45	41	38	66	60	56	52	49	45	40	38	36	33	58	54	50	46	43	39	35	33	31	29	50	46	43	40	37	34	30	28	26	24
2.2	82	76	70	65	59	54	50	47	44	40	74	68	63	58	54	49	45	42	38	35	66	60	55	51	48	43	38	36	34	32	58	53	49	45	42	37	34	31	29	28	50	46	42	38	36	33	29	27	24	22
2.4	82	75	69	64	58	53	48	45	41	37	73	67	61	56	52	47	43	40	36	33	65	60	54	50	46	41	37	35	32	30	58	53	48	44	41	36	32	30	27	26	50	46	42	37	35	31	27	25	23	21
2.6	81	74	67	62	56	51	46	42	38	35	73	66	60	55	50	45	41	38	34	31	65	59	54	49	45	40	35	33	30	28	58	53	48	43	39	35	31	28	26	24	50	46	41	37	34	30	26	23	21	20
2.8	81	73	66	60	54	49	44	40	36	34	73	65	59	53	48	43	39	36	32	29	65	59	53	48	43	38	33	30	28	26	58	53	47	43	38	34	29	27	24	22	50	46	41	36	33	29	25	22	20	19
3.0	80	72	64	58	52	47	42	38	34	30	72	65	58	52	47	42	37	34	30	27	64	58	52	47	42	37	32	29	27	24	57	52	46	42	37	32	28	25	23	20	50	45	40	36	32	28	24	21	19	17
3.2	79	71	63	56	50	45	40	36	32	28	72	65	57	51	45	40	35	33	28	25	64	58	51	46	40	36	31	28	25	23	57	51	45	41	36	31	27	23	22	18	50	44	39	35	31	27	23	20	18	16
3.4	79	70	62	54	48	43	38	34	30	27	71	64	56	49	44	39	34	32	27	24	64	57	50	45	39	35	29	27	24	22	57	51	45	40	35	30	26	23	20	17	50	44	39	35	30	26	22	19	17	15
3.6	78	69	61	53	47	42	36	32	28	25	71	63	54	48	43	38	32	30	25	23	63	56	49	44	38	33	28	25	22	20	57	50	44	39	34	29	25	22	19	16	50	44	39	34	29	25	21	18	16	14
3.8	78	69	60	51	45	40	35	31	27	23	70	62	53	47	41	36	31	28	24	22	63	56	49	43	37	32	27	24	21	19	57	50	43	38	33	29	24	21	19	15	50	44	38	34	29	25	21	17	15	13
4.0	77	69	58	51	44	39	33	29	25	22	70	61	53	46	40	35	30	26	22	20	63	55	48	42	36	31	26	23	20	17	57	49	42	37	32	28	23	20	18	14	50	44	38	33	28	24	20	17	15	12
4.2	77	62	57	50	43	37	32	28	24	21	69	60	52	45	39	34	29	25	21	18	62	55	47	41	35	30	25	22	19	16	56	49	42	37	32	27	22	19	17	14	50	43	37	32	28	24	20	17	14	12
4.4	76	61	56	49	42	36	31	27	23	20	69	60	51	44	38	33	28	24	20	17	62	54	46	40	34	29	24	21	18	15	56	49	42	36	31	27	22	19	16	13	50	43	37	32	27	23	19	16	13	11
4.6	76	60	55	47	40	35	30	26	22	19	69	59	50	43	37	32	27	23	19	15	62	53	45	39	33	28	24	21	17	14	56	49	41	35	30	26	21	18	16	13	50	43	36	31	26	22	18	15	13	10
4.8	75	59	54	46	39	34	28	25	21	18	68	58	49	42	36	31	26	22	18	14	62	53	45	38	32	27	23	20	16	13	56	48	41	34	29	25	21	18	15	12	50	43	36	31	26	22	18	15	12	09
5.0	75	59	53	45	38	33	28	24	20	16	68	58	48	41	35	30	25	21	18	14	61	52	44	36	31	26	22	19	16	12	56	48	40	34	28	24	20	17	14	11	50	42	35	30	25	21	17	14	12	09
6.0	73	61	49	41	34	29	24	20	16	11	66	55	44	38	31	27	22	19	15	10	60	51	41	35	28	24	19	16	13	09	55	45	37	31	25	21	17	14	11	07	50	42	34	29	23	19	15	13	10	06
7.0	70	58	45	38	30	27	21	18	14	08	64	53	41	35	28	24	19	16	12	07	58	48	38	32	26	22	17	14	11	06	54	43	35	30	24	20	15	12	09	05	49	41	32	27	21	18	14	11	08	05
8.0	68	55	42	35	27	23	18	15	12	08	62	50	38	32	25	21	17	14	11	05	57	46	35	29	23	19	15	13	10	05	53	42	33	28	22	18	14	11	08	04	49	40	30	25	19	16	12	10	07	03
9.0	66	52	38	31	25	21	16	14	11	05	61	49	36	30	23	19	15	13	10	04	56	45	33	27	21	18	14	12	09	04	52	40	31	26	20	16	12	10	07	03	48	39	29	24	18	15	11	09	07	03
10.0	65	51	36	29	22	19	15	11	09	04	59	46	33	27	21	18	14	11	08	03	55	43	31	25	19	16	12	10	08	03	51	39	29	24	18	15	11	09	07	02	47	37	27	22	17	14	10	08	06	02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ค่าประสิทธิผลการสะท้อนแสงสว่างของโพรงเพดานและพื้น (ต่อ)

Percent Base* Reflectance	40										30										20										10										0									
Percent Wall Reflectance	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Cavity Ratio																																																		
0.2	40	40	39	39	39	38	38	37	36	36	31	31	30	30	29	29	29	28	28	27	21	20	20	20	20	20	19	19	19	17	11	11	11	10	10	10	10	09	09	09	02	02	02	01	01	01	01	00	00	00
0.4	41	40	39	39	38	37	36	35	34	34	31	31	30	30	29	28	28	27	26	25	22	21	20	20	20	19	19	18	18	16	12	11	11	11	11	10	10	09	09	08	04	03	03	02	02	02	01	01	00	00
0.6	41	40	39	38	37	36	34	33	32	31	32	31	30	29	28	27	26	26	25	23	23	21	21	20	19	19	18	18	17	15	13	13	12	11	11	10	10	09	08	08	05	05	04	03	03	02	02	01	01	00
0.8	41	40	38	37	36	35	33	32	31	29	32	31	30	29	28	26	25	25	23	22	24	22	21	20	19	19	18	17	16	14	15	14	13	12	11	10	10	09	08	07	07	06	05	04	04	03	02	02	01	00
1.0	42	40	38	37	35	33	32	31	29	27	33	32	30	29	27	25	24	23	22	20	25	23	22	20	19	18	17	16	15	13	16	14	13	12	12	11	10	09	08	07	08	07	06	05	04	03	02	02	01	00
1.2	42	40	38	36	34	32	30	29	27	25	33	32	30	28	27	25	23	22	21	19	25	23	22	20	19	17	17	16	14	12	17	15	14	13	12	11	10	09	07	06	10	08	07	06	05	04	03	02	01	00
1.4	42	39	37	35	33	31	29	27	25	23	34	32	30	28	26	24	22	21	19	18	26	24	22	20	18	17	16	15	13	12	18	16	14	13	12	11	10	09	07	06	11	09	08	07	06	04	03	02	01	00
1.6	42	39	37	35	32	30	27	25	23	22	34	33	29	27	25	23	22	20	18	17	26	24	22	20	18	17	16	15	13	11	19	17	15	14	12	11	09	08	07	06	12	10	09	07	06	05	03	02	01	00
1.8	42	39	36	34	31	29	26	24	22	21	35	33	29	27	25	23	21	19	17	16	27	25	23	20	18	17	15	14	12	10	19	17	15	14	13	11	09	08	06	05	13	11	09	08	07	05	04	03	01	00
2.0	42	39	36	34	31	28	25	23	21	19	35	33	29	26	24	22	20	18	16	14	28	25	23	20	18	16	15	13	11	09	20	18	16	14	13	11	09	08	06	05	14	12	10	09	07	05	04	03	01	00
2.2	42	39	36	33	30	27	24	22	19	18	36	32	29	26	24	22	19	17	15	13	28	25	23	20	18	16	14	12	10	09	21	19	16	14	13	11	09	07	06	05	15	13	11	09	07	06	04	03	01	00
2.4	43	39	35	33	29	27	24	21	18	17	36	32	29	26	24	22	19	16	14	12	29	26	23	20	18	16	14	12	10	08	22	19	17	15	13	11	09	07	06	05	16	13	11	09	08	06	04	03	01	00
2.6	43	39	35	32	29	26	23	20	17	15	36	32	29	25	23	21	18	16	14	12	29	26	23	20	18	16	14	11	09	08	23	20	17	15	13	11	09	07	06	04	17	14	12	10	08	06	05	03	02	00
2.8	43	39	35	32	28	25	22	19	16	14	37	33	29	25	23	21	17	15	13	11	30	27	23	20	18	15	13	11	09	07	23	20	18	16	13	11	09	07	05	03	17	15	13	10	08	07	05	03	02	00
3.0	43	39	35	31	27	24	21	18	16	13	37	33	29	25	22	20	17	15	12	10	30	27	23	20	17	15	13	11	09	07	24	21	18	16	13	11	09	07	05	03	18	16	13	11	09	07	05	03	02	00
3.2	43	39	35	31	27	23	20	17	15	13	37	33	29	25	22	19	16	14	12	10	31	27	23	20	17	15	12	11	09	06	25	21	18	16	13	11	09	07	05	03	19	16	14	11	09	07	05	03	02	00
3.4	43	39	34	30	26	23	20	17	14	12	37	33	29	25	22	19	16	14	11	09	31	27	23	20	17	15	12	10	08	06	26	22	18	16	13	11	09	07	05	03	20	17	14	12	09	07	05	03	02	00
3.6	44	39	34	30	26	22	19	16	14	11	38	33	29	24	21	18	15	13	10	09	32	27	23	20	17	15	12	10	08	06	26	22	19	16	13	11	09	06	04	03	20	17	15	12	10	08	05	04	02	00
3.8	44	38	33	29	25	22	18	16	13	10	38	33	28	24	21	18	15	13	10	08	32	28	23	20	17	15	12	10	07	05	27	23	19	17	14	11	09	08	04	02	21	18	15	12	10	08	05	04	02	00
4.0	44	38	33	29	25	21	18	15	12	10	38	33	28	24	21	18	14	12	09	07	33	28	23	20	17	14	11	09	07	05	27	23	20	17	14	11	09	06	04	02	22	18	15	13	10	08	05	04	02	00
4.2	44	38	33	29	24	21	17	15	12	10	38	33	28	24	20	17	14	12	09	07	33	28	23	20	17	14	11	09	07	04	28	24	20	17	14	11	09	06	04	02	22	19	16	13	10	08	06	04	02	00
4.4	44	38	33	28	24	20	17	14	11	09	39	33	28	24	20	17	14	11	09	06	34	28	24	20	17	14	11	08	06	04	28	24	20	17	14	11	08	06	04	02	23	19	16	13	10	08	06	04	02	00
4.6	44	38	32	28	23	19	16	14	11	08	39	33	28	24	20	17	13	10	08	06	34	29	24	20	17	14	11	09	07	04	29	25	20	17	14	11	08	06	04	02	23	20	17	13	11	08	06	04	02	00
4.8	44	38	32	27	22	19	16	13	10	08	39	33	28	24	20	17	13	10	08	05	35	29	24	20	17	13	10	08	06	04	29	25	20	17	14	11	08	06	04	02	24	20	17	14	11	08	06	04	02	00
5.0	45	38	31	27	22	19	15	13	10	07	39	33	28	24	19	16	13	10	08	05	35	29	24	20	16	13	10	08	06	04	30	25	20	17	14	11	08	06	04	02	25	21	17	14	11	08	06	04	02	00
6.0	44	37	30	25	20	17	13	11	08	05	39	33	27	23	18	15	11	09	06	04	36	30	24	20	16	13	10	08	05	02	31	26	21	18	14	11	08	06	03	01	27	23	18	15	12	09	06	04	02	00
7.0	44	36	29	24	19	16	12	10	07	04	40	33	26	22	17	14	10	08	05	03	36	30	24	20	15	12	09	07	04	02	32	27	21	17	13	11	08	06	03	01	28	24	19	15	12	09	06	04	02	00
8.0	44	35	28	23	18	15	11	09	06	03	40	33	26	21	16	13	09	07	04	02	37	30	23	19	15	12	08	06	03	01	33	27	21	17	13	10	07	05	03	01	30	25	20	15	12	09	06	04	02	00
9.0	44	35	26	21	16	13	10	08	05	02	40	33	25	20	15	12	09	07	04	02	37	29	23	19	14	11	08	06	03	01	34	28	21	17	13	10	07	05	02	01	31	25	20	15	12	09	06	04	02	00
10.0	43	34	25	20	15	12	08	07	05	02	40	32	24	19	14	11	08	06	03	01	37	29	22	18	13	10	07	05	03	01	34	28	21	17	12	10	07	05	02	01	31	25	20	15	12	09	06	04	02	00

*Ceiling, Floor or Floor of Cavity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ.

ใบรับรองการสอบเทียบของลักซ์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sang Chai Meter
CALIBRATION LABORATORY
748/12 Phaholyothin Road, Samsen Nai Phayathai, Bangkok 10400.
Tel. 02-616-8031, 02-616-8041, 02-616-8051
Fax. 02-616-8051 Ext. 5501, 02-278-5525 E-mail : scmcal@sangchaimeter.com

APPROVED SIGNATORY :

NAME : GRITSANAPONG SUMANACHAYANUN SIGNATURE : .....
(QUALITY MANAGER)

CERTIFICATE No. CAL80797-08 PAGE 1 OF 3

Certificate of Calibration

EQUIPMENT : DIGITAL LUX METER

MANUFACTURER : DIGICON

MODEL/TYPE : LX-50

SERIAL No. : AB.32871

CLIENT : Schneider (Thailand) Ltd.

C.S.R. No. : L80799-2008

DATE OF ISSUE : 18 August 2008

The uncertainties are for a level of confidence of approximately 95%.

This certificate may not be reproduced except in full unless permission for the reproduction has been obtained in writing from the laboratory.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sang Chai Meter
CALIBRATION LABORATORY

CERTIFICATE No. CAL 80797-08 PAGE 2 OF 3

CALIBRATION REPORT

Equipment : DIGITAL LUX METER
DIGICON Model LX-50

Date of Receipt : 06 AUG 2008

Date of Calibration: 13 AUG 2008

Environment : Temperature : (22 ± 3) °C
Relative Humidity : (50 ± 10) % RH

Customer : Schneider (Thailand) Ltd.
540 Soi 9 Bangpoo Industrial Estate, Sukhumvit Road,
Muang District, Samutprakarn 10280 Thailand.

Reference / Procedure Used :

This Instrument was calibrated by substitution with reference illuminance meter, the instrument and reference illuminance meter were mounted with the plane of its diffuser vertical and normal to the direction of measurement. Calibration was illuminated by the luminous standard lamp (operated at colour temperature 2856K) according to Sang Chai Meter Calibration Laboratory work instruction No. 502

All data shown below were as-received values without adjustment.

Measurement Results :

U.U.C. Range (lux)	Standard (lux)	U.U.C. Reading (lux)	Error (lux)	Uncertainty ± (lux)
2 000	0	0	0	0.6
	50	53	3	2.1
	250	253	3	9.4
	500	503	3	11
	1 000	1 000	0	20
	1 950	1 941	-9	38

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sang Chai Meter
CALIBRATION LABORATORY

CERTIFICATE No. CAL 80797-08 PAGE 3 OF 3

CALIBRATION REPORT

Measurement Results (cont.)

U.U.C. Range (lux)	Standard (lux)	U.U.C. Reading (lux)	Error (lux)	Uncertainty ± (lux)
20 000	1 950	1 920	-30	39
	3 000	2 980	-20	59
	4 000	3 950	-50	77
	5 000	4 940	-60	96

This certification is traceable to :

- Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR) certificate No SPL-P 096/51 dated 28 FEB 2008 for Referance Photo Meter

The reported uncertainty of measurement was estimated and based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor k = 2, providing a level of confidence of Approximately 95 %.

This report will certify of the calibrated equipment only.

-oOo-

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายชัยชนะ วังกะดิลก
วัน เดือน ปีเกิด	25 มีนาคม 2515 ที่จังหวัด พระนครศรีอยุธยา
ที่อยู่	199/569 หมู่บ้านพฤกษา 15 ถ.ตำหรุ บางพลี ตำบลแพรกษาใหม่ อำเภอเมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ 10280 โทร. 0-83870-8150
ประวัติการศึกษา	2537 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยศรีปทุม
การฝึกอบรม	1. พื้นฐานเซอร์กิตเบรกเกอร์ MCB และ MCCB 2. Six Sigma ตำแหน่ง Green Belt ของบริษัทชไนเดอร์ อิเลคทริก (ไทยแลนด์) จำกัด 3. IEC60364 มาตรฐานการติดตั้งระบบไฟฟ้า
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	
ปัจจุบัน	ตำแหน่งวิศวกรอาวุโส สังกัดวิศวกรรมฝ่ายเทคนิคผลิตภัณฑ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ บริษัทชไนเดอร์ อิเลคทริก (ไทยแลนด์) จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้