รายงานการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพด้านเทคนิคและความเข้มแสงของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้ในห้องเรียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง หลังการใช้งาน 3 ปี

Study the Efficiency of Fluorescent about Technique and Light intensity after used 3 years Case study : Classroom of RMUTSV, Trang campus

นุชนาฎ นิลออ	Nutchanat Ninlaor
กิตติกร ขันแกล้ว	Kittikorn Khanklaeo
กมลวรรณ โชติพันธ์	Kamolwan Chowtiphan

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณเงินรายได้ประจำปี พ.ศ. 2559

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องเรียนอาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา เพื่อทำการตรวจวัดความเข้มแสงในห้องเรียนบรรยาย และโครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีที่ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่ในการตรวจวัดแสงของหลอดไฟชนิดต่างๆ และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ได้สนับสนุนงบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2559 เพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้

นุชนาฎ นิลออ
กิตติกร ขันแกล้ว
กมลวรรณ โพธิ์แก้ว
พฤษภาคม 2560

การศึกษาประสิทธิภาพด้านเทคนิคและความเข้มแสงของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้ในห้องเรียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง หลังการใช้งาน 3 ปี

นุชนาฎ นิลออ[1] กิตติกร ขันแกล้ว[2] และ กมลวรรณ โชติพันธ์[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้ในห้องเรียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง หลังการใช้งาน 3 ปี ทำการศึกษาโดยตรวจวัดแสงเฉลี่ยแบบพื้นที่ทั่วไปในห้องเรียนโดยใช้ลักซ์มิเตอร์ จากนั้นนำผลการตรวจวัดความเข้มแสงไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานตามกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารและจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับ ความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549 (ค่ามาตรฐานแสงเฉลี่ยแบบพื้นที่ทั่วไปห้องเรียนบรรยาย อยู่ในช่วง 300-500 ลักซ์) และศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านเทคนิคได้แก่ ความเข้มแสง การสิ้นเปลืองพลังงาน และระยะเวลาคืนทุนของหลอดฟลูออเรสเซนต์ 3 ชนิด ได้แก่ หลอดชนิด T8 T5 และ LED เพื่อนำข้อมูลมาประกอบการพิจารณาตัดสินใจในการเปลี่ยนหลอดไฟชนิดต่างๆ ทำการศึกษาความเข้มแสงโดยการตรวจวัดความเข้มแสงของหลอดไฟทั้ง 3 ชนิด ในห้องทดสอบที่แสงไม่สามารถส่องเข้ามาได้ และคำนวณหาค่าการสิ้นเปลืองพลังงานของหลอดไฟแต่ละชนิด รวมถึงการคิดระยะเวลาคุ้มทุนในการเปลี่ยนหลอดไฟโดยใช้โคมไฟเดิมที่มีอยู่แล้ว

ผลการตรวจวัดความเข้มแสง เมื่อเริ่มติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ พบว่าจำนวนห้องเรียนบรรยายที่มีค่าความเข้มแสงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน เท่ากับร้อยละ 33.3 และจำนวนห้องเรียนบรรยายที่มีค่าความเข้มแสงสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานเท่ากับร้อยละ 66.7 หลังจากนั้นทำการตรวจวัดหลังการใช้งาน 3 ปี พบว่าปริมาณความเข้มแสงมีค่าลดลง เนื่องจากหลอดไฟมีอายุการใช้งานมากขึ้น โดยห้องเรียนบรรยายที่ยังคงมีค่าความเข้มแสงสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานเท่ากับร้อยละ 4.8 และห้องเรียนที่มีค่าความเข้มแสงลดลงจนมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน เท่ากับร้อยละ 95.2

ผลการศึกษาความเข้มแสงของหลอดไฟแต่ละชนิด พบว่าปริมาณความเข้มแสงของหลอด T5 และ T8 มีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าสูงกว่าหลอด LED โดยค่าความเข้มแสงสูงสุดที่ตรวจวัดได้ของหลอด T8 T5 และ LED มีค่าเท่ากับ 198.2 202.1 และ 139.3 ลักซ์ ตามลำดับ ในขณะที่การสิ้นเปลืองพลังงานของหลอด LED มีค่าต่ำสุด โดยจะเห็นว่าเมื่อใช้หลอด T5 แทนหลอด T8 จะช่วยลดค่าพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 1.5 เท่า ในขณะที่หากใช้หลอด LED แทนหลอด T8 และหลอด T5 จะ

ลดค่าพลังงานได้ประมาณ 2.8 และ 1.9 เท่า ตามลำดับ และการเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์ในห้องเรียนบรรยาย จำนวน 354 โคมไฟ โดยใช้โคมไฟเดิมที่มีอยู่แล้ว จากเดิมหลอดชนิด T8 เป็นหลอด LED จะมีระยะเวลาในการคืนทุนเร็วที่สุด คือ 1.57 ปี ดังนั้นการใช้มาตรการเปลี่ยนหลอดไฟประหยัดพลังงานเพื่อการอนุรักษ์พลังงานมีความจำเป็นจะต้องคำนึงถึงความคุ้มค่าการลงทุน ระยะเวลาการคืนทุน ความสะดวกในการซ่อมบำรุงรักษาหลังการติดตั้ง อายุการใช้งานของอุปกรณ์ประกอบที่ใช้ร่วมกับหลอด รวมทั้งปริมาณความเข้มแสงจะต้องยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

คำสำคัญ : ความเข้มแสง ลักซ์มิเตอร์ หลอดฟลูออเรสเซนต์ ห้องเรียน

[1]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อ.สิเกา จ.ตรัง
[2]โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อ.สิเกา จ.ตรัง

Study the efficiency of Fluorescent about Technique and Light intensity after used 3 years Case study : Classroom of RMUTSV, Trang campus

Nutchanat Ninlaor[1] Kittikorn Khanklaeo[2] and Kamolwan Chowtiphan[1]

ABSTRACT

This research aims to measure the light intensity of fluorescent in the classroom of Rajamangala University, Trang campus and compare the light intensity after used three years. The illumination measurement was using Lux meter, then the light intensity of each room was compared to the standard according to the regulation for the administration and management of safety, occupational health and workplace regarding heat, light and sound in year 2006 (The standard of light area measurement in classroom in the range of 300-500 lux). And studying the technical efficiency about the light intensity, the energy consumption and the fastest payback period of three types of fluorescent tubes: T8 T5 and LED lamps in order to obtain information for light bulbs replacement while the same fluorescent lamp holders still remained. The study was conducted by examining the light intensity of the three kinds of light bulbs which were already used in an experiment room where the light from outside could not reach the room. The energy consumption of each lamp and a break even point of replacement cost were calucated.

The results showed that the first time revealed that the classroom has the light intensity according to standard was 33.3 percentage and the intensity of light which higher than the standard was 66.7 percentage. The results at the second time, after used 3 years showed that the light intensity was decrease because the fluorescent had more life time. The percentage of 4.8 still higher than standard while the percentage of 95.2 according to standard.

The results about technical efficiency showed that the intensity of T5 and T8 lamps were similar and were higher than the LED, the maximum measured intensity of T8, T5 and LED were 198.2, 202.1 and 139.3 lux, respectively, while LED power consumption is the lowest. According to the usage of the T5 instead of the T8 tube, the energy consumption was reduced about 1.5 times, while using the LED instead of the T8 tube and the T5 tube, the energy consumption was reduced about 2.8 and 1.9 times, respectively. The replacement of 354 T8 bulbs to LED while the same

fluorescent lamp holders were used, the fastest payback period will be 1.57 years. Therefore, the replacement of energy saving light bulbs in order to conserve energy is necessary to take into account. However, the value of investment, payback period, the maintenance after installation, the lifetime of accessories used with light bulbs, and the light intensity should be considered to meet the standard.

Keywords : Light intensity, Lux meter, Fluorescent, Classroom

[1]Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Sikao, Trang.

[2]Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Sikao, Trang.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทนำ	1
การตรวจเอกสาร	3
วิธีดำเนินการวิจัย	17
ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย	27
สรุปผลการวิจัย	47
เอกสารอ้างอิง	48
ภาคผนวก	49

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณสมบัติหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8	22
2	คุณสมบัติหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5	23
3	คุณสมบัติหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด LED	24
4	ปริมาณค่าทางไฟฟ้าของหลอดฟลูออเรสเซนต์แต่ละชนิด	39
5	ค่าพลังงานไฟฟ้าของหลอดฟลูออเรสเซนต์แต่ละชนิด	43

ตารางผนวกที่		หน้า
1	ความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์เมื่อเริ่มติดตั้งและเมื่อผ่านการใช้งาน 3 ปี	50
2	ความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 T5 และ LED ที่มุมต่างๆ	51

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ส่วนประกอบของนัยน์ตา	4
2	หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8	6
3	หลอด T5 และลักษณะขั้วหลอดของ T5 T8 และ T12	7
4	หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิด LED	7
5	เครื่องมือวัดความเข้มของแสงสว่าง (ลักซ์มิเตอร์)	9
6	หลอดไฟมีระยะห่างระหว่างหลอดเท่ากันและมีจำนวนแถวมากกว่า 2 แถว	10
7	ไฟดวงเดียวติดกลางห้อง	11
8	หลอดไฟติดตั้งแถวเดียวกลางห้อง	12
9	หลอดไฟติดตั้งแบบต่อเนื่องมากกว่าหรือเท่ากับ 2 แถว	13
10	หลอดไฟติดตั้งแบบต่อเนื่องแถวเดียว	14
11	หลอดไฟติดกระจายบนเพดาน	14
12	ตัวอย่างแผนผังการตรวจวัดความเข้มของแสงสว่างในห้องเรียนบรรยาย (ฉ208)	18
13	เครื่องตรวจวัดแสงที่ใช้ในการศึกษา	19
14	ลักษณะของหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 T5 และหลอด LED พร้อมโคมไฟแบบครีบ	21
15	วงจรการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8	21
16	วงจรการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5	22
17	วงจรการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด LED	23
18	ตำแหน่งตรวจวัดแสงสว่างของดวงโคมไฟฟ้าชนิดต่างๆ	24
19	การตรวจวัดแสงสว่างของดวงโคมไฟฟ้าในห้องทดสอบ	25
20	การติดตั้งเครื่องและการตรวจวัดความเข้มแสง	27
21	ผลการตรวจวัดความเข้มของแสงสว่างห้องเรียนบรรยายเมื่อเริ่มติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลังใช้งาน 3 ปี	29
22	ผลการตรวจวัดความเข้มของแสงสว่างในห้องเรียนบรรยายเมื่อแบ่งตามเกณฑ์มาตรฐาน	30
23	ปริมาณความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ลดลงของห้องเรียนบรรยายหลังใช้งาน 3 ปี	31
24	การตรวจวัดความเข้มแสงของหลอดไฟที่จุดต่างๆ	32
25	โคมไฟทดสอบหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 แบบบัลลาสต์แกนเหล็ก	33

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	ผลการตรวจวัดความเข้มของแสงหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8	33
27	การตรวจวัดแรงดัน กระแส กำลัง และฮามอนิกส์ หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8	34
28	โคมไฟทดสอบหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5	35
29	ผลการตรวจวัดความเข้มของแสงหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5	35
30	การตรวจวัดแรงดัน กระแส กำลัง และฮามอนิกส์ หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 แบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ร่วมกัน	36
31	โคมไฟทดสอบหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด LED แบบแสงเต็มหลอด บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	36
32	ผลการตรวจวัดความเข้มของแสงหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด LED	37
33	การตรวจวัดแรงดัน กระแส กำลัง และฮามอนิกส์ หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด LED แบบแสงเต็มหลอด บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	38
34	ผลการตรวจวัดความเข้มของแสงหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 T5 และ LED	38

บทนำ

1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

แสงสว่างเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญในการดำเนินชีวิตประจำวันหรือการทำกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ เนื่องจากแสงสว่างส่งผลโดยตรงต่อการมองเห็น โดยในการทำงานหรือทำกิจกรรมต่างๆ ต้องมีแสงสว่างเข้ามาเกี่ยวข้อง และจะต้องเป็นแสงสว่างที่มีความเหมาะสมสำหรับกิจกรรมนั้นๆ เช่น การเรียนการสอนในห้องเรียน การทำงานในห้องสำนักงาน ถ้าหากมีแสงสว่างน้อยเกินไป จะมีผลเสียต่อสายตา ทำให้กล้ามเนื้อตาต้องทำงานหนักเกินไป ซึ่งอาจเกิดอาการปวดตา มึนศีรษะ การหยิบจับโดยใช้เครื่องมืออุปกรณ์อาจผิดพลาด ทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ และในกรณีที่มีแสงสว่างมากเกินไป จะทำให้เกิดอาการปวดตา มึนศีรษะ กล้ามเนื้อหนังตากระตุก วิงเวียน การมองเห็นแย่ลง นอนไม่หลับ ซึ่งทั้งแสงสว่างที่น้อยเกินไปและมากเกินไปล้วนส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ (กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, 2549) ฉะนั้นจึงจำเป็นจะต้องมีการจัดการระบบแสงสว่างให้เหมาะสมในการปฏิบัติงานแต่ละประเภท เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติ ตามกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง

สำหรับสถานศึกษาซึ่งเป็นแหล่งที่ใช้ในการศึกษาหาความรู้ของนักศึกษา สถานศึกษาแต่ละแห่งจะต้องดูแลเอาใจใส่ในเรื่องของสภาพแวดล้อมภายในสถานศึกษา และแสงสว่างก็เป็นส่วนหนึ่งของสภาพแวดล้อมในสถานศึกษา ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการเรียนการสอนของอาจารย์และนักศึกษา ปริมาณความเข้มของแสงสว่างที่ใช้สำหรับห้องเรียนจึงมีความสำคัญมาก โดยความเข้มของแสงในห้องเรียนจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิด จำนวน ขนาด ลักษณะการติดตั้ง และอายุการใช้งานของหลอดไฟ จากการศึกษาของประไพจิตต์ รัตนบุรี และ วรรณี สอนทอง (2555) ในการตรวจวัดความเข้มแสงในห้องเรียนมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช จำนวน 96 ห้องเรียน มีห้องเรียนที่มีค่าความเข้มแสงผ่านเกณฑ์มาตรฐานจำนวน 36 ห้องเรียน และจากการตรวจวัดความเข้มแสงสว่างในห้องเรียนโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม จังหวัดสมุทรปราการ โดยทำการตรวจวัดจำนวน 1,733 จุด พบว่า มีจุดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคิดเป็นร้อยละ 16.72 (วิภาดา ศรีเจริญ และคณะ, 2550) จากผลการศึกษาดังกล่าวจะเห็นว่าแสงสว่างมีความสำคัญต่อการเรียนการสอน ดังนั้นจึงควรตรวจวัดความเข้มแสงของห้องเรียนในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ว่ามีค่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่

นอกจากนี้ตามที่รัฐบาลมีนโยบายให้ลดการใช้พลังงานในอาคารของภาครัฐ โดยมีโครงการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T8 บัลลาร์ทแกนเหล็ก มาเป็นหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์

ชนิด T5 บัลลาร์ทอิเล็กทรอนิกส์ โดยมอบหมายให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยเป็นผู้สำรวจและเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าแต่ยังคงใช้โคมไฟเดิม จากที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ได้เข้าร่วมโครงการและได้ทำการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าจากหลอด T8 มาใช้หลอด T5 มาแล้วเป็นระยะเวลา 3 ปี ผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของการตรวจวัดความเข้มแสงสว่างและการศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของหลอดชนิด T5 ทั้งทางด้านเทคนิค และด้านการลงทุน จึงได้ทำการศึกษาปริมาณความเข้มของแสงสว่างในห้องเรียน อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง เพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานว่าเกินค่าที่กำหนดหรือไม่ พร้อมหาแนวทางหรือมาตรการป้องกันและแก้ไขต่อไป นอกจากนี้ผู้วิจัยจะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งานระหว่างหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ 3 ชนิด ได้แก่ หลอด T8 หลอด T5 และหลอด LED เพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกหลอดไฟให้เหมาะสมในการใช้งาน

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาความเข้มของแสงสว่างภายในห้องเรียน อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง

2.2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางด้านเทคนิคของหลอดฟลูออเรสเซนต์ระหว่างหลอดชนิด T5 ชนิด T8 และชนิด LED

3. ขอบเขตการศึกษา

3.1 การตรวจวัดความเข้มของแสงสว่างโดยใช้เครื่องตรวจวัดความเข้มแสง เรียกว่า ลักซ์มิเตอร์

3.2 ทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มของแสงสว่างโดยวิธีการวัดแสงแบบเฉลี่ยห้องเรียนบรรยาย อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา จำนวน 21 ห้อง

3.3 ทำการเปรียบเทียบ ค่าความเข้มแสงว่าง การใช้พลังงานไฟฟ้า ราคาลงทุน ของหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ 3 ชนิด ได้แก่ ฟลูออเรสเซนต์ชนิดหลอด T8 ฟลูออเรสเซนต์ชนิดหลอด T5 และ ฟลูออเรสเซนต์ชนิดหลอด LED

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

4.1 เพื่อหาแนวทางปรับปรุงปริมาณความเข้มของแสงสว่างในห้องต่างๆ ให้เพียงพอต่อการเรียน การสอน และการทำงาน

4.2 เพื่อนำข้อมูลไปใช้เป็นแนวทางในการเลือกหลอดไฟให้มีประสิทธิภาพและประหยัดต้นทุนมากที่สุด

การตรวจเอกสาร

1. แสงสว่าง

1.1 นิยามและความหมาย

แสงเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งเช่นเดียวกับพลังงานอื่นๆ เช่น พลังงานความร้อน พลังงานกล พลังงานไฟฟ้า ฯลฯ แสงเป็นพลังงานอย่างหนึ่งที่เคลื่อนที่ได้ โดยการเคลื่อนที่ของแสงอยู่ในรูปของคลื่น แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งโดยไม่ต้องอาศัยตัวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มาจากดวงอาทิตย์ ถ้าหากพิจารณาพลังงานที่เคลื่อนที่ได้ตั้งแต่พลังงานที่มีความยาวคลื่นต่ำสุดจนถึงพลังงานที่มีความยาวคลื่นสูงสุด พบว่าแสงมีพลังงานความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 0.38-0.78 ไมครอน หรือ 380-780 นาโนเมตร ประกอบด้วย Spectrum หลายๆสีอันเกิดจากความถี่ และความยาวคลื่นของการแผ่รังสีที่แตกต่างกัน

1.2 แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดของแสงสว่างมี 2 แหล่ง คือ (กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, 2549)

1.2.1 แสงสว่างจากธรรมชาติ (Natural Lighting) แหล่งกำเนิดของแสงสว่างในธรรมชาติที่สำคัญ คือ ดวงอาทิตย์ การใช้ประโยชน์จากแสงอาทิตย์อย่างเหมาะสม จะเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายได้มาก

1.2.2 แสงสว่างจากการประดิษฐ์ (Artificial Lighting) เป็นแหล่งกำเนิดแสงสว่างที่มนุษย์ได้ประดิษฐ์คิดค้นโดยอาศัยธรรมชาติและเทคโนโลยี ได้แก่ หลอดไฟฟ้าชนิดต่างๆ เช่น หลอดไฟฟ้าชนิดไส้หลอด หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดตะเกียบ หลอดโซเดียม เป็นต้น

1.3 ปัญหาและอันตรายที่เกิดจากแสงสว่างและผลกระทบต่อผู้ทำงาน

ปัญหาและอันตรายที่เกิดจากแสงสว่างและผลกระทบต่อผู้ทำงาน สามารถจำแนกได้ 3 ลักษณะ คือ (กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, 2549)

1.3.1 แสงสว่างที่น้อยเกินไป จะมีผลเสียต่อสายตา ทำให้กล้ามเนื้อตาทำงานมากเกินไป โดยบังคับให้ม่านตาเปิดกว้างเพราะการมองเห็นนั้นไม่ชัดเจนจึงต้องใช้เวลาในการมองรายละเอียดนั้น ทำให้เกิดการเมื่อยล้าของตาที่ต้องเพ่งออกมา ปวดตา มึนศีรษะ ประสิทธิภาพของขวัญและกำลังใจในการทำงานลดน้อยลง การหยิบจับใช้เครื่องมือเครื่องจักรอาจผิดพลาดเกิดอุบัติเหตุขึ้นได้ หรือไปสัมผัสส่วนที่เป็นอันตราย

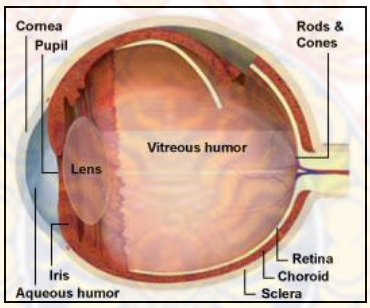
1.3.2 แสงสว่างที่มากเกินไป จะทำให้ผู้ทำงานเกิดความไม่สบาย มึนศีรษะ เมื่อยล้า ปวด แสบตา วิงเวียน และอาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุขึ้นได้

1.3.3 แสงจ้า แสงจ้าตาที่เกิดจากแหล่งกำเนิดโดยตรง หรือแสงจ้าตาที่เกิดจากการสะท้อนแสง (Reflected glare) จากวัสดุที่อยู่ในสิ่งแวดล้อม เช่น โต๊ะทำงาน ผนังห้อง เครื่องมือเครื่องจักร เป็นต้น จะทำให้ผู้ทำงานเกิดความไม่สบาย เมื่อยล้า ปวดตา มึนศีรษะ กล้ามเนื้อหนังตากระตุก วิงเวียน นอนไม่หลับ การมองเห็นแย่ลง นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดผลทางจิตใจ คือเบื่อหน่ายในการทำงาน ขวัญและกำลังใจในการทำงานลดลง เป็นผลทำให้เกิดอุบัติเหตุได้เช่นเดียวกัน

2. กลไกการมองเห็น

2.1 ส่วนประกอบของนัยน์ตา

การมองเห็นต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของนัยน์ตาและระบบประสาท โดยมีเลนส์อยู่ที่ส่วนหน้าของลูกตาทำหน้าที่รวมแสงให้ไปตกกระทบที่ตัวรับแสง เรียกว่า Receptors ซึ่งอยู่ภายในลูกตา และมีระบบประสาท ทำหน้าที่นำสัญญาณจาก Receptors ส่งไปสู่สมอง ดังแสดงในภาพที่ 1 (กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, 2549)



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของนัยน์ตา

2.2 การตอบสนองของนัยน์ตาต่อความเข้มของแสง

นัยน์ตาเป็นอวัยวะที่มีความไวต่อแสงมาก สามารถรับรู้ได้เมื่อมีแสงสว่างเพียงเล็กน้อย เช่น แสงจากดวงดาวที่อยู่ไกลในคืนเดือนมืดจนถึงแสงสว่างที่มีปริมาณมาก ทั้งนี้เนื่องจากเรตินาจะมีเซลล์รับแสง 2 ชนิด คือ (กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, 2549)

2.2.1 เซลล์รูปแท่ง (Rod Cell) ทำหน้าที่รับแสงสว่าง (สลัว) ที่ไวมาก สามารถมองเห็นภาพขาวดำ เซลล์รูปแท่งจะไวเฉพาะต่อแสงที่มีความเข้มน้อย โดยจะไม่สามารถจำแนกสีของแสงนั้นได้

2.2.2 เซลล์รูปกรวย (Cone Cell) จะไวเฉพาะต่อแสงที่มีความเข้มสูงถัดจากความไวของเซลล์รูปแท่ง และสามารถจำแนกแสงแต่ละสีได้ด้วย เซลล์รูปกรวยมี 3 ชนิด แต่ละชนิดจะมีความไวต่อแสงสีปฐมภูมิต่างกัน ชนิดที่หนึ่งมีความไวสูงสุดต่อแสงสีน้ำเงิน ชนิดที่สองมีความไวสูงสุดต่อแสงสีเขียว และชนิดที่สามมีความไวสูงสุดต่อแสงสีแดง เมื่อมีแสงสีต่างๆ ผ่านเข้าตามากระทบเรตินา เซลล์รับแสงรูปกรวยจะถูกกระตุ้น และสัญญาณกระตุ้นนี้จะถูกส่งผ่านประสาทตาไปยังสมอง เพื่อแปลความหมายออกมาเป็นความรู้สึกเห็นเป็นสีของแสงนั้น ๆ

2.3 กลไกการเกิดภาพ

นัยน์ตาทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงไปเป็นพลังงานประสาท โดยภาพจะถูกโฟกัส ให้ตกลงบนเรตินา ในลักษณะภาพกลับหัวจากวัตถุจริงซึ่งลำแสงที่ตกลงบนเรตินา จะไปกระตุ้นเซลล์รูปแท่ง และเซลล์รูปกรวยให้เกิดพลังงานประสาท จากนั้นคลื่นสัญญาณประสาทที่เกิดขึ้นจะถูกส่งไปยัง Cerebral Cortex เพื่อแปรผลเป็นภาพที่เห็น สมองจะแปลภาพออกมาในลักษณะเหมือนวัตถุจริง

นอกจากนี้ความเข้มของแสงก็มีผลต่อนัยน์ตามนุษย์โดยดวงตาของมนุษย์สามารถรับแสงที่มีความเข้มน้อยมากๆ เช่น แสงริบหรี่ในห้องมืด ๆ ไปจนถึงแสงสว่างจ้าของแสงแดดตอนเที่ยงวัน ซึ่งมีความเข้มแสงมากกว่าถึง 10 เท่า นอกจากนี้ดวงตายังสามารถปรับให้มองเห็นได้แม้ตัวอักษรที่เป็นตัวพิมพ์เล็กๆ สามารถบอกรูปร่างและทรวดทรงที่แตกต่างกันในที่ที่มีความเข้มของแสงแตกต่างกันมากๆได้โดยการปรับของรูม่านตา (มหาวิทยาลัยมหิดล คณะวิทยาศาสตร์, 2539)

ปัจจัยที่มีผลต่อการมองเห็น เช่น ความสามารถในการมองเห็นของนัยน์ตา ความสว่างของวัตถุ (ปริมาณแสงที่สะท้อนจากวัตถุ) ขนาดและรูปร่างของวัตถุ (Size & Shape) ความแตกต่างระหว่างวัตถุกับฉาก (Contrast) สีของวัตถุ (Color) เป็นต้น (กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, 2549)

3. หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์

หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดไฟที่ให้แสงสว่าง ช่วยให้สามารถมองเห็นสิ่งต่างๆ ในขณะที่มีความเข้มแสงไม่เพียงพอ เช่น ในที่มืด หรือในที่แสงน้อย หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่นิยมใช้งานในปัจจุบันมีหลายชนิด ตัวอย่างดังนี้

3.1 หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิดตรง แบบ T8

หลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T8 เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นมาตรฐาน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลอด 26 มิลลิเมตร หรือเรียกว่า "รุ่นหลอดผอม" จุดติดด้วยบัลลาสต์แกนเหล็กและสตาร์ทเตอร์ เป็นหลอดที่ให้ความสว่าง นุ่มนวลสบายตา มีหลายขนาดและหลายโทนสีให้เลือกตามรสนิยมและความเหมาะสมของสถานที่การใช้งาน ลักษณะของหลอดไฟดังภาพที่ 2 ประเภทของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T8 ดังนี้

3.1.1 Extra Daylight (EX-D) เป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพสูง ปริมาณแสง ลูเมน/วัตต์ สูง สีที่ได้ออกมาเป็นสีขาวใกล้เคียงแสงธรรมชาติ เหมาะสำหรับ Supermarket Showroom ร้านขายเสื้อผ้า ขายผ้าม่าน พรม ภาพเขียน และงานอื่นๆที่ต้องการพิจารณาสีอย่างละเอียด

3.1.2 Daylight (D) สีของหลอดขาวออกไปทางฟ้าอ่อน โทนแสงนวลสบายตา ให้แสงเป็นธรรมชาติ ใกล้เคียงกับแสงของเวลากลางวัน นิยมใช้กับอาคารบ้านเรือน ที่พักอาศัย

3.1.3 Coolwhite (CW) เป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพสูง ให้แสงสีขาวออกเหลืองนวลเป็นธรรมชาติ เหมาะสำหรับห้องอาหาร สำนักงาน ห้องปฏิบัติการ โรงพยาบาล ลานจอดรถ สนามบิน หรือที่พักอาศัย

3.1.4 Warmwhite (WW) สีของหลอดขาวออกไปทางเหลืองส้ม ทำให้สิ่งต่างๆที่อยู่รอบๆที่มีโทนสีเหลืองส้ม เหลือง และเหลืองอมเขียว ดูสดขึ้น ทำให้บรรยากาศดูอบอุ่น เหมาะสำหรับ ห้องอาหาร สำนักงาน โรงพยาบาล ลานจอดรถ สนามบิน บริเวณทางเดิน ทางเท้า หรือที่พักอาศัย

ภาพที่ 2 หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8

3.2 หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิดตรง แบบ T5

หลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 คือ หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 หุน (5/8") หลอด T5 จึงมีขนาดเล็กกว่าหลอดหลอดฟลูออเรสเซนต์หลอดผอม (T8) และเล็กกว่าหลอด ฟลูออเรสเซนต์หลอดอ้วน (T12) หลอด T5 เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดใหม่ ซึ่งได้รับความนิยมอย่างมากมายในสหรัฐอเมริกา ด้วยขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง หลอดเพียง 16 มิลลิเมตร

ขณะที่หลอดที่ใช้งานทั่วไป หลอด T5 เป็นหลอดซึ่งออกแบบมาเพื่อการใช้งานกับระบบความถี่สูง หรือ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะทำให้การจุดติดหลอดเกิดขึ้นรวดเร็วกว่า และไม่เกิดการกระพริบเหมือนการทำงานของหลอด ส่งผลให้อายุของหลอดยาวนานขึ้น ที่จุดติดด้วยบัลลาสต์แกนเหล็กและสตาร์ทเตอร์ ลักษณะหลอดฟลูออเรสเซนต์ดังภาพที่ 3

ภาพที่ 3 หลอด T5 และลักษณะขั้วหลอดของ T5 T8 และ T12

3.3 หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิดตรง แบบ LED

หลอด LED เป็นหลอดไฟชนิดใหม่ ทำมาจากไดโอด เปล่งแสง มีอายุการใช้งานนาน ไม่มีความร้อน เหมาะสำหรับการใช้ภายในอาคาร ช่วยลดอุณหภูมิในห้อง หลอด LED มีหลายแบบให้เลือกใช้ให้เหมาะสมกับงาน ทั้งภายนอกและภายในตัวอาคาร ลักษณะของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ชนิด LED ดังภาพที่ 4

ภาพที่ 4 หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิด LED

3.3.1 ข้อดีของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด LED

1) LEDมีประสิทธิภาพการให้พลังงานแสงสว่างที่ระดับสูงถึง 80 – 120 ลูเมน/วัตต์ ยิ่งไปกว่านั้น LED ก้าวหน้าเร็วมาก ทำให้มีแนวโน้มว่าจะมีประสิทธิภาพเหนือกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ในอนาคตอันใกล้

2) หลอดฟลูออเรสเซนต์ทั่วไปจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากภายในบรรจุไอของปรอท ขณะที่หลอดไฟ LED ไม่มีผลกระทบ หรือกระทบน้อยกว่า

3) สามารถควบคุมคุณภาพของแสงให้ปล่อยออกมาได้ ดังนั้นจึงนำไปใช้ประโยชน์ในการให้แสงสว่างได้เต็มความสามารถ

4) หลอด LED ปล่อยความร้อนออกมาน้อยมาก ทำให้อาคารลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในส่วนเครื่องปรับอากาศ ทำให้ช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าในทางอ้อม

5) อายุการใช้งานของหลอด LED ยาวนาน 50,000 - 100,000 ชั่วโมง หรือ 11 ปี เปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ซึ่งมีอายุใช้งาน 30,000 ชั่วโมง หรือหลอดไฟฟ้าแบบขดลวดที่มีอายุใช้งานเพียง 1,000 – 2,000 ชั่วโมง

6) หลอด LED ยังมีความทนทานต่อการสั่นสะเทือน จึงเหมาะสมสำหรับติดตั้งในเครื่องบินหรือรถยนต์ นอกจากนี้ หลอด LED ไม่เปราะบางเหมือนกับหลอดไฟฟ้าแบบขดลวดหรือหลอดฟลูออเรสเซนต์

3.3.2 ข้อเสียของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด LED

แม้ปัจจุบันมีการนำหลอด LED ไปใช้ในอุปกรณ์ต่างๆ มากมาย แต่กลับยังไม่ได้นำมาใช้แพร่หลายเพื่อให้แสงสว่างภายในบ้าน เนื่องจากมีข้อจำกัดสำคัญคือยังไม่สามารถผลิตหลอด LED ที่เปล่งแสงสีขาวโดยแท้จริงได้ โดยปัจจุบันมี 2 วิธี ที่นำมาใช้เพื่อผลิตหลอด LED ที่เปล่งแสงสีขาว วิธีแรก โดยการเคลือบ LED สีน้ำเงินด้วยสารเรืองแสงสีเหลือง วิธีที่สอง การนำแสงสีแดง เขียว และน้ำเงิน มาผสมกันให้พอเหมาะเพื่อให้เป็นสีขาว สำหรับข้อจำกัดอีกประการหนึ่งคือราคาหลอด LED สีขาวยังแพงกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์อยู่มาก

4. เครื่องมือและการตรวจวัดความเข้มแสงสว่าง

4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการตรวจวัดความเข้มแสงสว่าง

เครื่องมือวัดความเข้มของแสงสว่าง เรียกว่า ลักซ์มิเตอร์ ดังภาพที่ 5 มีหน่วยเป็นลักซ์ (ตามกฎกระทรวงฯ เกี่ยวกับความร้อนแสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549) เครื่องมือวัดความเข้มของแสงสว่าง มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ

4.1.1 เซลรับแสง (Photo Cell)

เซลรับแสง (Photo Cell) ทำด้วยแก้วหรือพลาสติกด้านในเคลือบด้วยสารซิลิกอน (Silicon) หรือเซเลเนียม (Selenium) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า ถ้าความเข้มแสงสว่างมาก พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมากตามไปเป็นสัดส่วน เซลรับแสง อาจถูกออกแบบให้โค้งนูนเล็กน้อยเพื่อให้แสงจากทิศทางต่างๆ ตกกระทบในมุม 90° หรือใกล้เคียงที่สุดได้รอบด้าน

4.1.2 ส่วนมิเตอร์ (Meter)

ส่วนมิเตอร์ (Meter) ส่วนนี้จะรับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากเซลรับแสง และแสดงค่าบนหน้าจอเป็นความเข้มแสงสว่าง

ภาพที่ 5 เครื่องมือวัดความเข้มของแสงสว่าง (ลักซ์มิเตอร์)

4.2 การตรวจวัดความเข้มแสงสว่าง

การตรวจวัดความเข้มแสงสว่างภายในอาคาร วิธีการตรวจวัดโดยทั่วไปมี 2 วิธี คือ การตรวจวัดวัดที่จุดทำงานและวัดแบบค่าเฉลี่ยของพื้นที่ทั่วไป (กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, 2549)

4.2.1 การวัดแบบจุด (Spot Measurement)

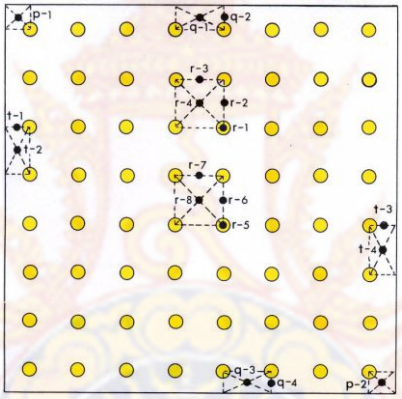
การวัดแบบจุด (Spot Measurement) เป็นการตรวจวัดความเข้มแสงสว่างบริเวณที่ต้องใช้ทำงานโดยใช้สายตาเฉพาะจุดหรือต้องใช้สายตาอยู่กับที่ โดยจะทำการตรวจวัดในจุดที่สายตากระทบชิ้นงาน หรือจุดที่ทำงานของคนงาน (Point of Work) โดยวางเครื่องวัดแสงในแนวระนาบเดียวกับชิ้นงาน หรือพื้นผิวที่สายตาตกกระทบ แล้วอ่านค่า ค่าที่อ่านได้นำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานตามกฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหารและจัดการด้านความ

ปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน เกี่ยวกับ ความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549 หมวด 2 แสงสว่าง

4.2.2 การวัดแสงเฉลี่ยแบบพื้นที่ทั่วไป (Area Measurement)

การวัดแสงเฉลี่ยแบบพื้นที่ทั่วไป (Area Measurement) เป็นการตรวจวัดความเข้มแสงสว่างในบริเวณพื้นที่ทั่วไป เช่น ทางเดิน และบริเวณพื้นที่ใช้ประโยชน์ การตรวจวัดแสงเฉลี่ยตามวิธีการวัดแสงและการคำนวณค่าเฉลี่ย ของ IES (Lighting Handbook 1981 (Reference Volume)) ดังนี้

1) หลอดไฟมีระยะห่างระหว่างหลอดเท่ากันและมีจำนวนแถวมากกว่า 2 แถว (Symmetrically Spaced Luminaires in Two or More Rows) ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 หลอดไฟมีระยะห่างระหว่างหลอดเท่ากันและมีจำนวนแถวมากกว่า 2 แถว

$$\text{แสงเฉลี่ย} = \frac{[R(N-1)(M-1)+Q(N-1)+T(M-1)+P]}{NM}$$

เมื่อ N = จำนวนหลอดไฟต่อแถว

M = จำนวนแถว

● = หลอดไฟ / ดวงไฟ

ขั้นตอนในการตรวจวัด คือ

ก) อ่านค่า r ทั้ง 8 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ยได้เป็นค่า R

ข) อ่านค่า q ทั้ง 4 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ยได้เป็นค่า Q

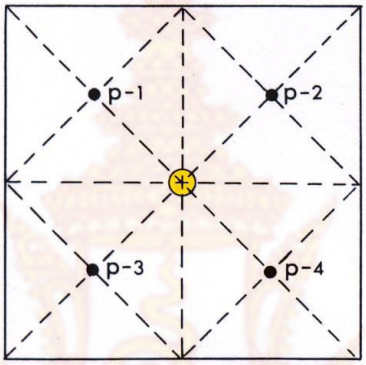
ค) อ่านค่า t ทั้ง 4 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ยได้เป็นค่า T

ง) อ่านค่า p ทั้ง 2 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ยได้เป็นค่า P

จ) แทนค่า R, Q, T, P, N และ M ตามสูตร จะได้ค่าแสงเฉลี่ย

โดย r-1 – r-8 = ส่วนในและกลางห้อง และ R = ค่าเฉลี่ยของ r 1-8
q-1 – q-4 = กึ่งกลางขอบข้างห้อง และ Q = ค่าเฉลี่ยของ q 1-4
t-1 – t-4 = กึ่งกลางขอบหัว-ท้ายห้อง และ T = ค่าเฉลี่ยของ t 1-4
p-1, p-2 = มุมห้อง และ P = ค่าเฉลี่ยของ p-1 และ p-2

2) หลอดไฟดวงเดียวติดกลางห้อง (Symmetrically Located Single Luminaire) ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ไฟดวงเดียวติดกลางห้อง

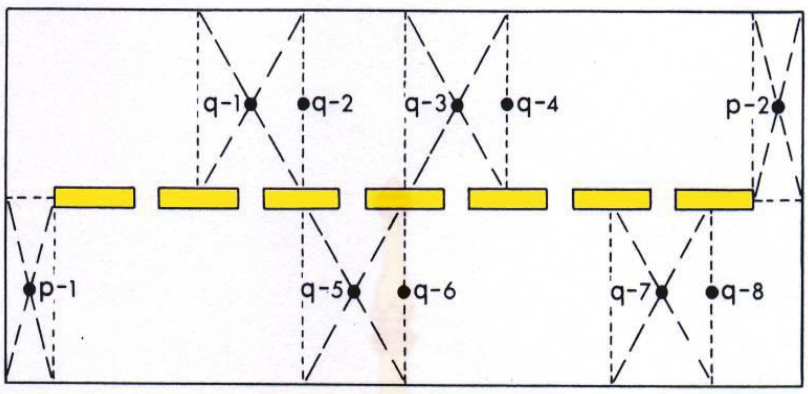
ทำการวัดสี่จุด (p-1, p-2, p-3 และ p-4) แล้วคำนวณค่าเฉลี่ย

$$\text{แสงเฉลี่ย} = \frac{[p1+p2+p3+p4]}{4}$$

เมื่อ ● = หลอดไฟ / ดวงไฟ

ขั้นตอนในการตรวจวัด คืออ่านค่า p ทั้ง 4 จุด แทนค่าตามสูตรจะได้ค่าแสงเฉลี่ย

3) หลอดไฟติดตั้งแถวเดียวกลางห้อง (Single Row of Individual Luminaires) ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 หลอดไฟติดตั้งแถวเดียวกลางห้อง

$$\text{แสงเฉลี่ย} = \frac{[Q\,(N-1)+P]}{N}$$

เมื่อ N = จำนวนหลอดไฟ

▭ = หลอดไฟ / ดวงไฟ

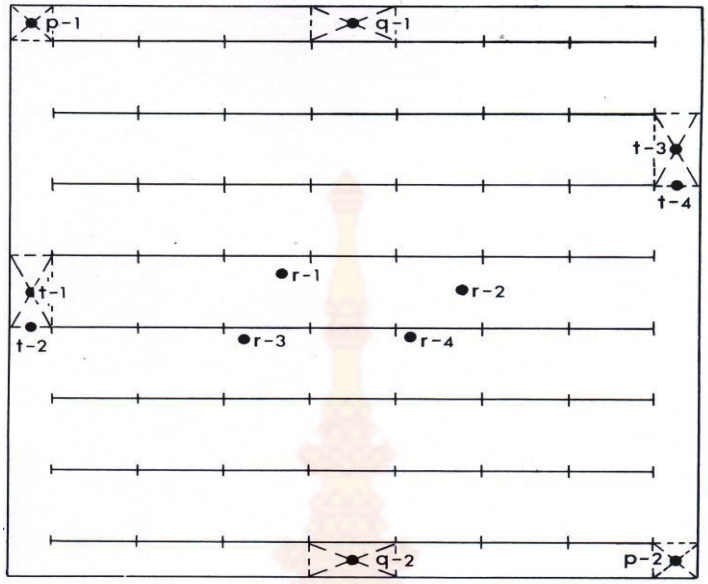
ขั้นตอนในการตรวจวัดคือ

ก) อ่านค่า q ทั้งหมด 8 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ยได้เป็นค่า Q

ข) อ่านค่า p ทั้ง 2 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ยได้เป็นค่า P

ค) แทนค่า Q, P และ N ตามสูตร จะได้ค่าแสงเฉลี่ย

4) หลอดไฟติดตั้งแบบต่อเนื่องมากกว่าหรือเท่ากับ 2 แถว (Two or More Continuous Rows of Luminaires) ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 หลอดไฟติดตั้งแบบต่อเนื่องมากกว่าหรือเท่ากับ 2 แถว

$$\text{แสงเฉลี่ย} = \frac{[RN(M-1)+QN-+T(M-1)+P]}{M(N-1)}$$

เมื่อ N = จำนวนหลอดไฟต่อแถว

M = จำนวนแถว

ขั้นตอนในการตรวจวัดคือ

ก) อ่านค่า r ทั้ง 4 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ยได้เป็นค่า R

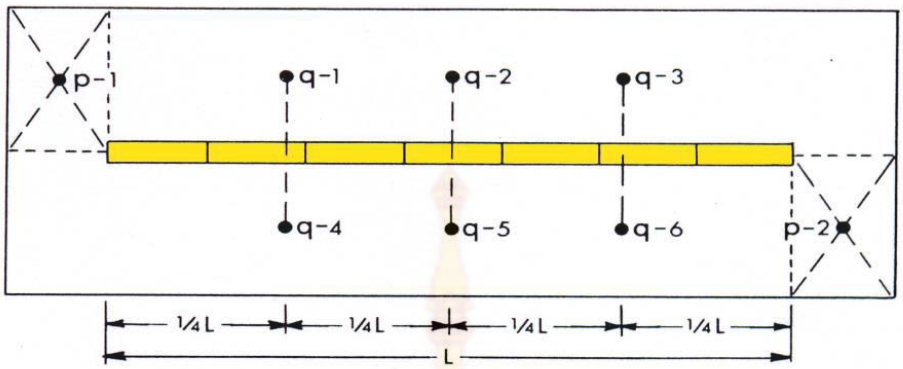
ข) อ่านค่า q ทั้ง 2 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ยได้เป็นค่า Q

ค) อ่านค่า t ทั้ง 4 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ยได้เป็นค่า T

ง) อ่านค่า p ทั้ง 2 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ยได้เป็นค่า P

จ) แทนค่า R, Q, T, P ,M และ N ตามสูตร จะได้ค่าแสงเฉลี่ย

5) หลอดไฟติดตั้งแบบต่อเนื่องแถวเดียว (Single Row of Continuous Luminaires) ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 หลอดไฟติดตั้งแบบต่อเนื่องแถวเดียว

$$\text{แสงเฉลี่ย} = \frac{[QN+P]}{N+1}$$

เมื่อ N = จำนวนหลอดไฟ

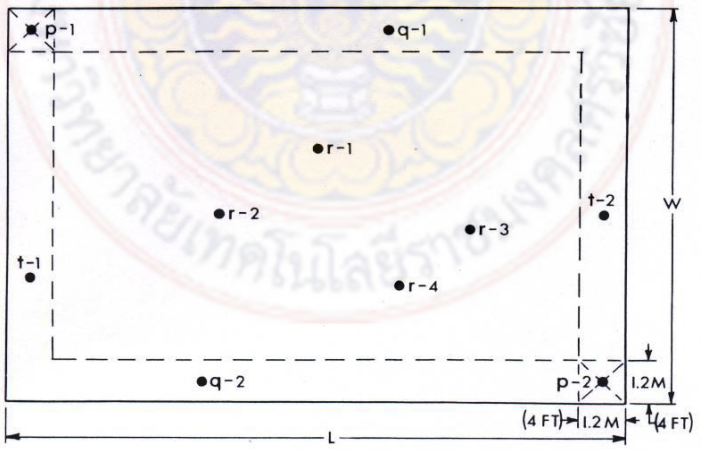
ขั้นตอนในการตรวจวัดคือ

ก) อ่านค่า q ทั้งหมด 6 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ยได้เป็นค่า Q

ข) อ่านค่า p ทั้งหมด 2 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ยได้เป็นค่า P

ค) แทนค่า Q, P และ N ตามสูตรจะได้ค่าแสงเฉลี่ย

6) หลอดไฟติดกระจายบนเพดาน (Luminous or Louver all Ceiling) ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 หลอดไฟติดกระจายบนเพดาน

$$\text{แสงเฉลี่ย} = \frac{[R(L-8)(W-8)+8Q(L-8)+8T(W-8)+64P]}{WL}$$

เมื่อ W = ความกว้างของห้อง

L = ความยาวของห้อง

ขั้นตอนในการตรวจวัดคือ

ก) อ่านค่า r ทั้งหมด 4 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ยได้เป็นค่า R

ข) อ่านค่า q ทั้งหมด 2 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ยได้เป็นค่า Q

ค) อ่านค่า t ทั้งหมด 2 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ยได้เป็นค่า T

ง) อ่านค่า p ทั้งหมด 2 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ยได้เป็นค่า P

จ) แทนค่า R, Q, T, P, W และ L ตามสูตร จะได้ค่าแสงเฉลี่ย

5. กฎหมายที่เกี่ยวกับการตรวจวัดแสงสว่าง

กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดความเข้มของแสงสว่าง กำหนดมาตรฐานในการบริหารและจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549 หมวด 2 แสงสว่าง (3) ซึ่งกำหนดค่ามาตรฐานความเข้มของแสงสว่างในการวัดแบบจุด ตัวอย่างเช่น ห้องคอมพิวเตอร์บริเวณที่แสดงข้อมูล (จอภาพและเครื่องพิมพ์) ต้องไม่ต่ำกว่า 600 ลักซ์ ห้องคอมพิวเตอร์ลักษณะงานบันทึกข้อมูลต้องไม่ต่ำกว่า 600 ลักซ์ ห้องธุรการลักษณะงานพิมพ์ดีด การเขียน การอ่าน และการจัดเก็บเอกสารอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องต้องไม่ต่ำกว่า 400 ลักซ์ ห้องธุรการลักษณะงานการทำงานที่สีของชิ้นงานกับสีของพื้นผิวกลมกลืนกันต้องไม่ต่ำกว่า 600 ลักซ์ และค่ามาตรฐานการวัดแสงเฉลี่ยแบบพื้นที่ทั่วไปตัวอย่างเช่น ห้องฝึกอบรมและห้องบรรยายต้องไม่ต่ำกว่า 300 ลักซ์ ห้องคอมพิวเตอร์บริเวณทั่วไปต้องไม่ต่ำกว่า 300 ลักซ์ ซึ่งกำหนดให้การวัดแสงสว่างแบบจุดจะต้องวางเครื่องตรวจวัดแสงสว่างบริเวณพื้นที่โต๊ะทำงานที่สายตาตกกระทบแล้วอ่านค่า และการวัดแสงเฉลี่ยแบบพื้นที่ทั่วไปต้องทำการแบ่งจุดตรวจวัดตามวิธีการวัดแสงและคำนวณหาค่าเฉลี่ยของ IES [Lighting Handbook 1981 (Reference Volume)] หรือเทียบเท่า ในขณะทำการตรวจวัดแสงสว่างให้ถือเซลรับแสงในแนวระนาบสูงจากพื้น 30 นิ้ว (75 เซนติเมตร) แล้วอ่านค่า (ในขณะที่วัดนั้นต้องไม่ให้เงาของผู้วัดบังแสงสว่าง)

6. การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

ประไพจิตต์ และ วรรณี (2555) ศึกษาเกี่ยวการตรวจวัดความเข้มแสงในห้องเรียน มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ซึ่งเป็นการตรวจวัดในสภาพห้องเรียนที่มีสภาพการใช้งานจริงแล้วกำหนดจุดที่ใช้วัดความเข้มแสงโดยแต่ละจุดจะวัดเก็บข้อมูล ณ จุดกึ่งกลางระหว่าง 2×2 เมตร ทั่วทั้งห้องโดยใช้เครื่องมือลักซ์มิเตอร์รุ่น LX70 ในการเก็บข้อมูลบันทึกค่าความเข้มแสง แล้วหาค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มแสงแต่ละห้อง เพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549 ซึ่งจากการเก็บข้อมูลมหาวิทยาลัยราชภัฏมีจำนวนห้องเรียนทั้งหมด 96 ห้อง ห้องเรียนที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ค่าเฉลี่ยความเข้มแสงอยู่ที่ 300-500 ลักซ์ มีจำนวนห้องเรียนทั้งหมด 36 ห้อง คิดเป็นร้อยละ 37.5 ห้องเรียนที่มีค่าเฉลี่ยความเข้มแสงเกินมาตรฐานค่าเฉลี่ยสูงกว่า 500 ลักซ์ มีจำนวนห้องเรียนทั้งหมด 42 ห้อง คิดเป็นค่าร้อยละ 43.75 และห้องเรียนที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานค่าเฉลี่ยความเข้มแสงต่ำกว่า 300 ลักซ์ มีจำนวนห้องเรียนทั้งหมด 18 ห้อง คิดเป็นค่าร้อยละ 18.75

ศุภางค์ และ คณะ (2555) ศึกษาความเข้มแสงสว่างของอาคารเรียนรวมของมหาวิทยาลัยพะเยา ทำการเก็บตัวอย่างความเข้มแสงตามแบบการตรวจวัดแบบใช้สูตรตามมาตรฐานของการตรวจวัดแสงแบบพื้นที่ทั่วไปของอาคารเรียนรวมภายในมหาวิทยาลัยพะเยา จำนวนทั้งสิ้น 111 ห้อง การวัดแสงเฉลี่ยตามวิธีการวัดแสงและการคำนวณค่าเฉลี่ยของ IES Lighting Handbook 1981 (Reference Volume) หรือเทียบเท่า ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้การวัดแบบหลอดไฟมีระยะห่างระหว่างหลอดเท่ากันและมีจำนวนแถวมากกว่า 2 แถว ผลการศึกษา พบว่า ระดับความเข้มแสงสว่างในห้องเรียนทั้งหมด 111 ห้อง พบว่า มีห้องเรียนที่มีค่าระดับความเข้มของแสงสว่างผ่านมาตรฐาน จำนวน 79 ห้อง คิดเป็นร้อยละ 71.17 และ ไม่ผ่านมาตรฐาน จำนวน 32 ห้อง คิดเป็นร้อยละ 28.83

วิพัฒน์ เจริญศิริวัฒน์ (2555) ศึกษาความคุ้มค่าในการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ (T5) ขนาด 14 วัตต์ เปรียบเทียบกับ หลอดฟลูออเรสเซนต์ (T8) ขนาด 18 วัตต์ ในการรักษาทารกแรกเกิดที่มีปัญหาตัวเหลืองที่ไม่ได้เกิดจากภาวะเม็ดเลือดแดงแตกในโรงพยาบาลเลิดสิน ทำการศึกษาโดยตรวจวัดความเข้มแสงจากหลอดทั้งสองชนิด ดูการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงตามอายุการใช้งาน และศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุน ผลการศึกษาพบว่า หลอดฟลูออเรสเซนต์ (T5) ขนาด 14 วัตต์ จำนวน 8 หลอด สามารถให้ความเข้มแสงได้เพียงพอในการรักษาภาวะตัวเหลืองในทารกได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความคุ้มค่าในการใช้งานมากกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ (T8) ขนาด 18 วัตต์ จำนวน 8 หลอด โดยมีต้นทุนค่าหลอดไฟ T8 : T5 เท่ากับ 4.32 บาท/วัน : 2.688 บาท/วัน

วิธีดำเนินการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่องการศึกษาประสิทธิภาพด้านเทคนิคและความเข้มแสงของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้ในห้องเรียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง หลังการใช้งาน 3 ปี มีเครื่องมืออุปกรณ์ ขั้นตอนและวิธีการศึกษาดังต่อไปนี้

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1 เครื่องวัดแสง (Lux Meter)

1.2 สายวัด

1.3 ผ้าเทปกาวสีต่างๆ

1.4 หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิดตรง แบบ T8 T5 และแบบ LED พร้อมโคมไฟฟลูออเรสเซนต์แบบครีบ

1.5 ไม้โปรเจคเตอร์

2. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

2.1 การตรวจวัดความเข้มแสงภายในห้องเรียนบรรยายอาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา

2.1.1 ศึกษารวบรวมทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

2.1.2 สำรวจห้องเรียน ที่จะทำการตรวจวัดแสงสว่าง

2.1.3 กำหนดจุดตรวจวัดในแต่ละห้องโดยพิจารณาจากลักษณะการติดตั้งหลอดไฟแล้ววาดแผนผังจุดที่จะทำการตรวจวัดความเข้มของแสงสว่างของแต่ละห้อง โดยห้องเรียนบรรยายทุกห้องที่ตรวจวัดมีการติดตั้งลักษณะหลอดไฟให้มีระยะห่างระหว่างหลอดเท่ากันและมีจำนวนแถวมากกว่า 2 แถว ดังภาพที่ 12

2.1.4 จดบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมขณะทำการตรวจวัด ดังนี้

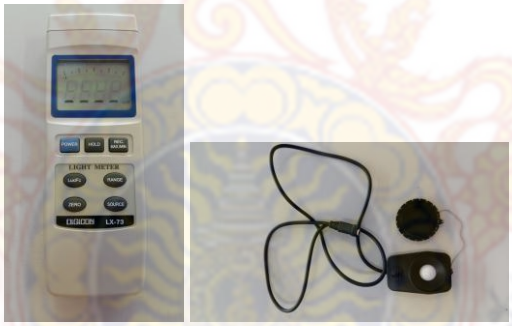
1) สภาพภูมิอากาศ เช่น ช่วงเวลาที่ตรวจวัดว่ามีแสงแดดหรือฝนตกหรือไม่ ลักษณะท้องฟ้า

2) พื้นที่ห้องโดยวัดความกว้าง และความยาวของห้อง

3) ตรวจสอบองค์ประกอบต่างๆ ภายในห้องเรียน เช่น สีห้อง ม่าน กระจกหน้าต่าง จำนวนหลอดไฟในแต่ละห้องเรียน

2.1.5 ทำการตรวจวัดแสงสว่างในแต่ละห้อง และบันทึกข้อมูล

การวัดแสงเฉลี่ยแบบพื้นที่ทั่วไปที่ใช้สำหรับห้องเรียน มีวิธีการตรวจวัดโดยแบ่งจุดตรวจวัดตามวิธีการวัดแสงและคำนวณหาค่าเฉลี่ยของ IES [Lighting Handbook 1981 (Reference Volume)] หรือเทียบเท่า โดยใช้เครื่องวัดแสง ดังภาพที่ 13 และในขณะทำการตรวจวัดแสงสว่างให้ถือเซลรับแสงในแนวระนาบสูงจากพื้น 30 นิ้ว (75 เซนติเมตร) แล้วอ่านค่า (ในขณะที่วัดนั้นต้องไม่ให้เงาของผู้วัดบังแสงสว่าง) (กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, 2549) ทำการตรวจวัดความเข้มแสง 2 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 ตรวจวัดเมื่อเริ่มติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ และครั้งที่ 2 ตรวจวัด เมื่อหลอดฟลูออเรสเซนต์ผ่านการใช้งานไปแล้ว 3 ปี

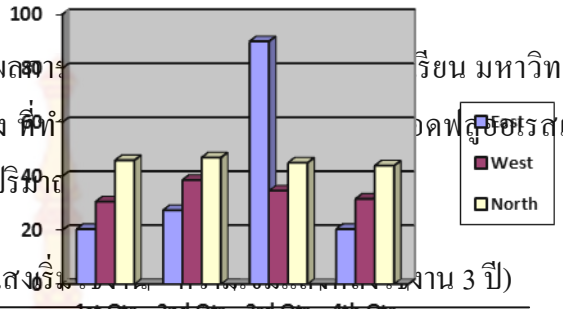


ภาพที่ 13 เครื่องตรวจวัดแสงที่ใช้ในการศึกษา

2.1.6 วิเคราะห์ข้อมูล

1) นำค่าการตรวจวัดที่ได้ไปคำนวณหาค่าความเข้มแสงเฉลี่ยตามสูตรในกรณีที่ 1 หลอดไฟมีระยะห่างระหว่างหลอดเท่ากัน และมีจำนวนแถวมากกว่า 2 แถว นำผลค่าความเข้มแสงของห้องเรียนบรรยายแต่ละห้องเปรียบเทียบกับมาตรฐานตามกฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหารและจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน เกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549 หมวด 2 แสงสว่าง (ค่ามาตรฐานห้องฝึกอบรมและห้องบรรยาย 300 - 500 ลักซ์) หากมีค่าต่ำหรือเกินกว่ากฎหมายกำหนด จะมีการเสนอแนวทางการปรับปรุง ป้องกัน และแก้ไขเพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากแสงสว่าง

$$\text{แสงเฉลี่ย} = \frac{[\ R(N-1)(M-1) + Q(N-1) + T(M-1) + P\ ]}{NM}$$



2) ทำการเปรียบเทียบผลการ[illegible]รียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ที่ทำ[illegible]อดฟลูออเรสเซนต์และหลังการใช้งาน 3 ปี การคำนวณหาค่าปริมาณ[illegible]

$$\text{ปริมาณความเข้มแสงที่ลดลง} = \frac{(\text{ความเข้มแสงเริ่ม[illegible]งาน 3 ปี})}{\text{ความเข้มแสงเริ่มใช้งาน}} \times 100$$

2.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งานของหลอดฟลูออเรสเซนต์

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ 3 ชนิด ชนิดแรกได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ 2x36 W (T8) ชนิดที่สองได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ 2x28 W (T5) และชนิดที่สาม ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ LED 2x16 W โดยหลอดทั้งสามชนิดจะใช้โคมไฟชนิดเดียวกันกับที่ติดตั้งในห้องเรียนบรรยาย และทำการศึกษาเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ 3 ด้าน ดังนี้

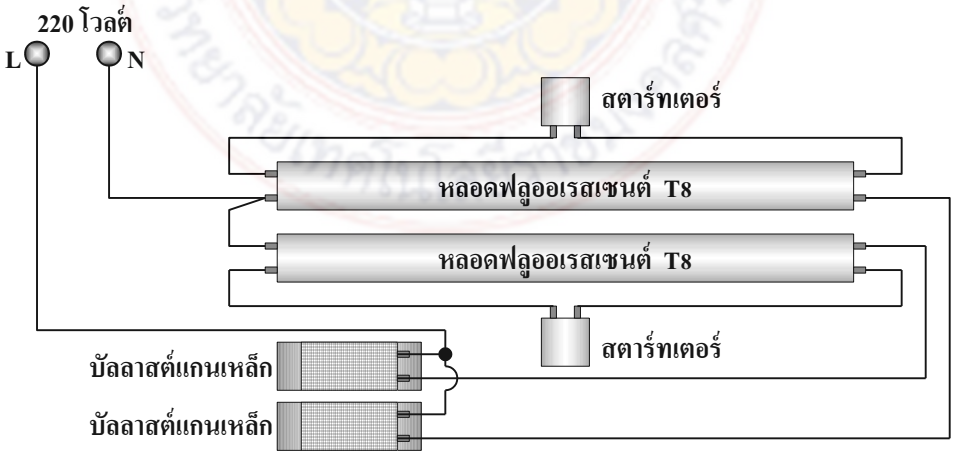
2.2.1 ด้านปริมาณความเข้มแสง จะทำการตรวจวัดความเข้มแสงของหลอดไฟทั้ง 3 ชนิดที่จุดต่างๆ แล้วนำค่าความเข้มแสงไปพล็อตกราฟ เปรียบเทียบค่าความเข้มแสงที่ตรวจวัดได้ ทำการศึกษาโดยการตรวจวัดความเข้มแสงด้วยเครื่องวัดแสง โดยติดตั้งหลอดไฟด้วยโคมไฟแผ่นอลูมิเนียมสะท้อนแสงแบบครีบ ดังภาพที่ 14 และมีรายละเอียดการต่อวงจรและคุณสมบัติของหลอดไฟแต่ละชนิด ดังนี้

ภาพที่ 14 ลักษณะของหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 T5 และหลอด LED พร้อมโคมไฟแบบครีบ

วงจรการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั้ง 3 ชนิด และคุณสมบัติของหลอดไฟชนิดต่างๆ ดังนี้

1) หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8

การติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้ หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ จำนวน 2 หลอด ใช้สตาร์ทเตอร์ในการจุดสตาร์ทหลอด และมีบัลลาสต์แกนเหล็กแยกแต่ละหลอด การต่อวงจรในการใช้งาน ดังภาพที่ 15 และมีรายละเอียดคุณลักษณะตามตารางที่ 1



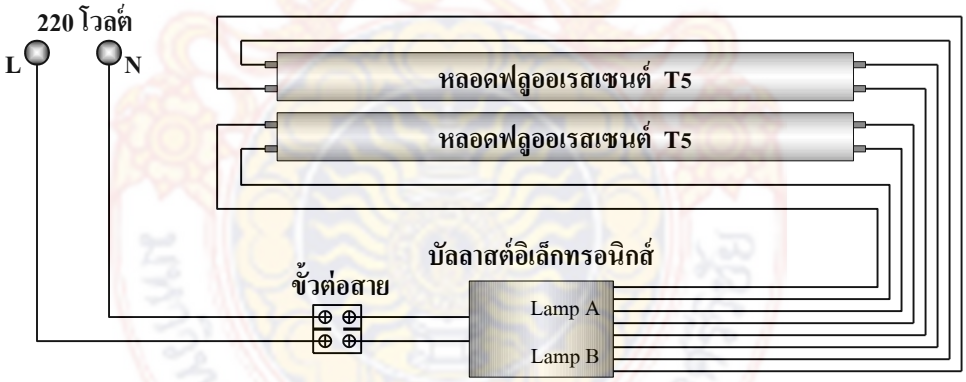
ภาพที่ 15 วงจรการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8

ตารางที่ 1 คุณสมบัติหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8

หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8	
ระบบไฟฟ้า (Voltage)	220 V
กำลังไฟฟ้า (Power)	36 W
แสงสว่าง (Lumens)	2,600 lm
ประสิทธิภาพ (Efficiency)	72 lm/w
อายุการใช้งาน (Lifetime)	13,000 hr
บัลลาสต์ (Ballast)	แกนเหล็ก
สตาร์ทเตอร์ (Starter)	S10

2) หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5

การติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้ หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ 28 วัตต์ จำนวน 2 หลอด และใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ โดยไม่ต้องใช้สตาร์ทเตอร์ การต่อวงจรในการใช้งาน ดังภาพที่ 16 และมีรายละเอียดคุณลักษณะตามตารางที่ 2



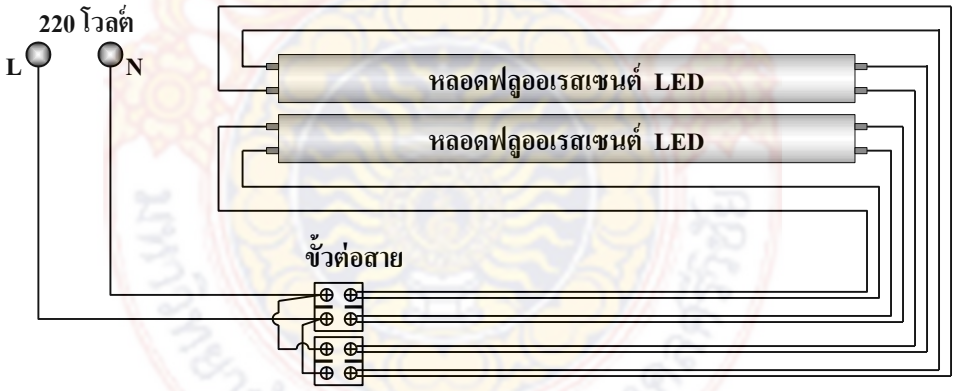
ภาพที่ 16 วงจรการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5

ตารางที่ 2 คุณสมบัติหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5

หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5	
ระบบไฟฟ้า (Voltage)	218-241 V
กำลังไฟฟ้า (Power)	28 W
แสงสว่าง (Lumens)	2,800 lm
ประสิทธิภาพ (Efficiency)	98 lm/w
อายุการใช้งาน (Lifetime)	20,000 hr
บัลลาสต์ (Ballast)	อิเล็กทรอนิกส์
สตาร์ทเตอร์ (Starter)	-

3) หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด LED

การติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด LED ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้ หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ 16 วัตต์ จำนวน 2 หลอด ไม่ต้องใช้บัลลาสต์และสตาร์ทเตอร์ การต่อวงจรในการใช้งาน ดังภาพที่ 17 และมีรายละเอียดคุณลักษณะตามตารางที่ 3

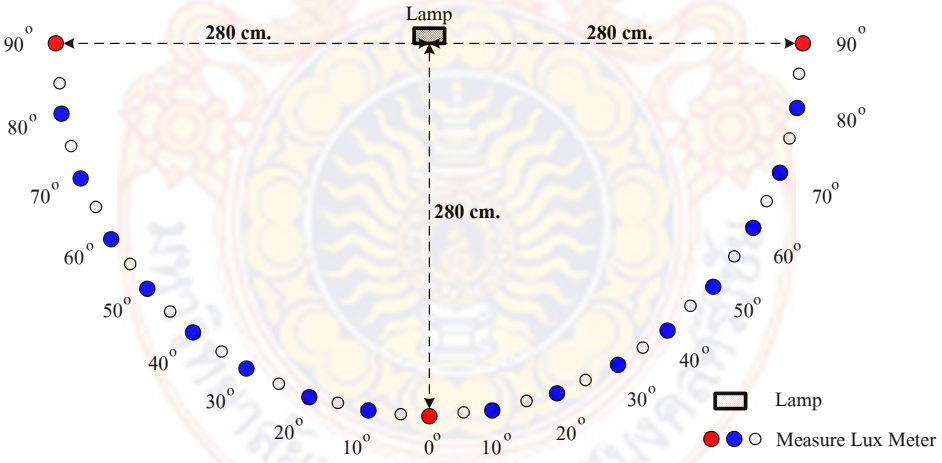


ภาพที่ 17 วงจรการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด LED

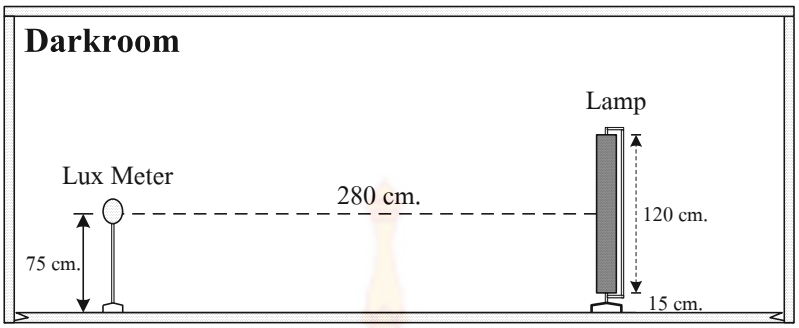
ตารางที่ 3 คุณสมบัติหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด LED

หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด LED	
ระบบไฟฟ้า (Voltage)	220-240 V
กำลังไฟฟ้า (Power)	16 W
แสงสว่าง (Lumens)	1,600 lm
ประสิทธิภาพ (Efficiency)	100 lm/w
อายุการใช้งาน (Lifetime)	50,000-100,000 hr
สตาร์ทเตอร์ (Starter)	-

นำโคมไฟทั้ง 3 แบบมาทำการตรวจวัดแสงในห้องทดสอบที่แสงสว่างไม่สามารถส่องเข้ามาได้ วางหลอดไฟให้หันตรงกำหนดเป็นมุม 0 องศา และจุดตั้งฉากด้านข้างทั้งสองด้าน กำหนดมุม 90 องศา โดยจุดที่ตรวจวัดแสงทุกจุดและหลอดไฟจะมีระยะห่าง 280 เซนติเมตร ตามระยะห่างระหว่างหลอดไฟกับพื้นโต๊ะในห้องเรียน โดยทำการวัดความเข้มของแสงที่ระยะห่างแต่ละจุดทำมุม 5 องศา ไปเรื่อยๆ ดังภาพที่ 18 และ 19



ภาพที่ 18 ตำแหน่งตรวจวัดแสงสว่างของดวงโคมไฟฟ้าชนิดต่างๆ



ภาพที่ 19 การตรวจวัดแสงสว่างของดวงโคมไฟฟ้าในห้องทดสอบ

2.2.2 ด้านการสิ้นเปลืองพลังงาน ทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั้ง 3 ชนิด โดยการคำนวณค่ากระแสไฟฟ้า ซึ่งจะคิดเวลาในการใช้ไฟฟ้าเป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน และเวลาทำงาน 20 วันต่อเดือน โดยใช้การคิดค่ากระแสไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดใหญ่ (มหาวิทยาลัย) ซึ่งคิดตามอัตราช่วงเวลาของวัน (Time of Day Rate : TOD) (ระดับแรงดัน 22-33 กิโลโวลต์) ค่าพลังงานไฟฟ้า 2.7815 บาท/หน่วย และค่าบริการ 312.24 บาท/เดือน (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2559) การคำนวณค่ากระแสไฟฟ้า สามารถคำนวณได้ดังนี้

1) หน่วยการใช้ไฟฟ้า = (จำนวนวัตต์ × จำนวนชั่วโมง)/1,000

2) ค่าไฟฟ้าฐาน = หน่วยการใช้ไฟฟ้า × อัตราค่าไฟฟ้า) + ค่าบริการรายเดือน

3) ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) (ค่า (Ft) พฤษภาคม 59 - สิงหาคม 59 -33.29 สตางค์ต่อหน่วย

Ft = หน่วยการใช้ไฟฟ้า × ค่า (Ft)

4) ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% = (ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่า Ft) × (7/100)

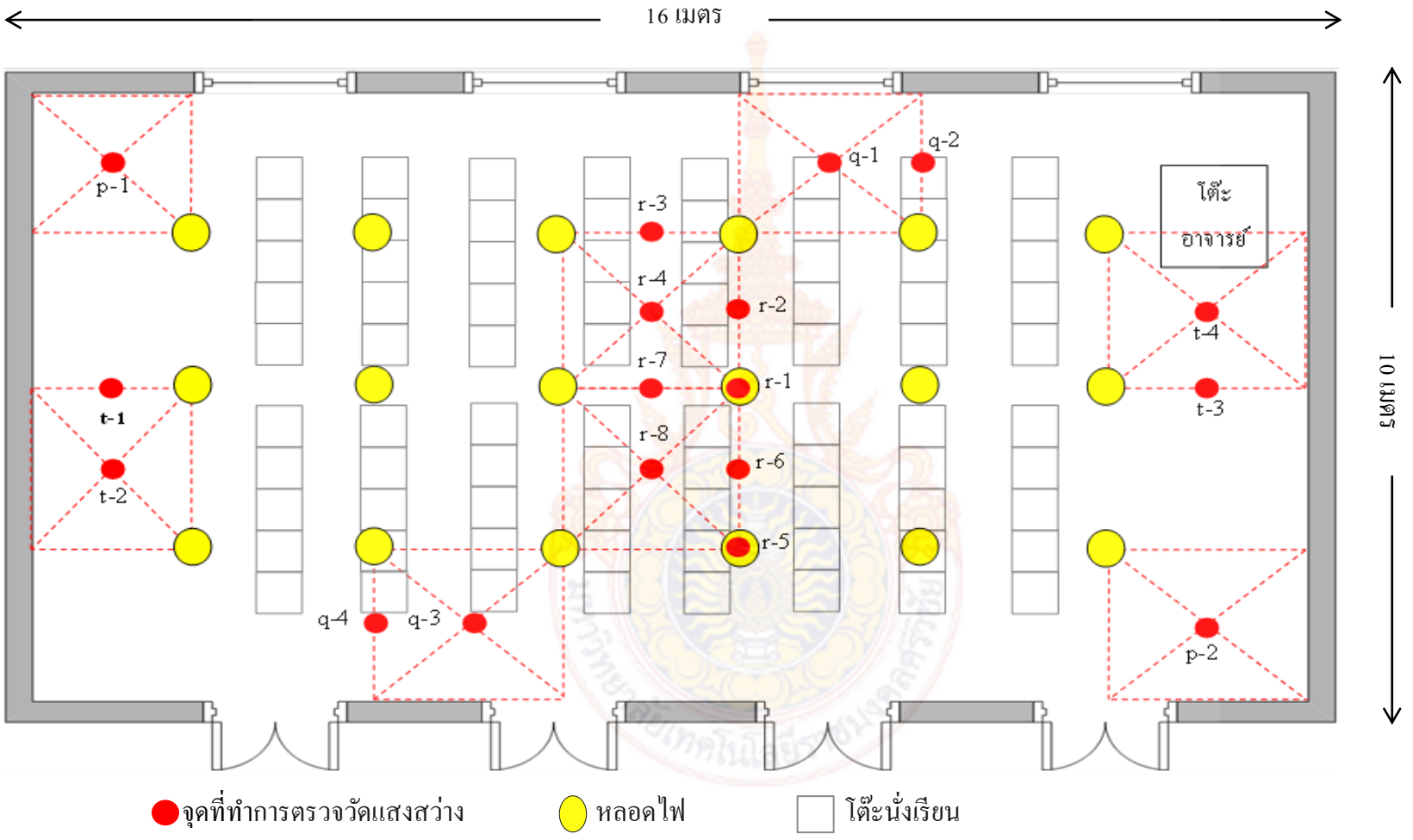
5) ค่าไฟฟ้า = ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่าไฟฟ้าผันแปร + ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม

2.2.3 ด้านการลงทุน ทำการศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าและราคาของหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั้ง 3 ชนิด โดยเปรียบเทียบการใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 การใช้งานหลอด T8 กับหลอด LED และการใช้งานหลอด T5 กับหลอด LED เพื่อจะได้ทราบค่าใช้จ่ายในการลงทุนเมื่อเปลี่ยนหลอดไฟในห้องเรียนบรรยายจากหลอด T8 เป็น หลอด T5 และหลอด LED และนำไปคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนในการเปลี่ยนไปใช้หลอดไฟแต่ละชนิดโดยใช้โคมไฟเดิมที่มีอยู่แล้ว การคำนวณระยะเวลาคืนทุนจะคำนวณที่ชั่วโมงการทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน (เวลาราชการ) และจำนวน 250 วันต่อปี

ระยะเวลาคืนทุน = ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก/ผลประโยชน์สุทธิเฉลี่ยต่อปี

ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก = จำนวนหลอดไฟ × ราคา

ผลประโยชน์สุทธิเฉลี่ยต่อปี = ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงหลังจากเปลี่ยนหลอดไฟ



ภาพที่ 12 ตัวอย่างแผนผังการตรวจวัดความเข้มของแสงสว่างในห้องเรียนบรรยาย

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพด้านเทคนิคและความเข้มแสงของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้ในห้องเรียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง หลังการใช้งาน 3 ปี ผลการศึกษาดังนี้

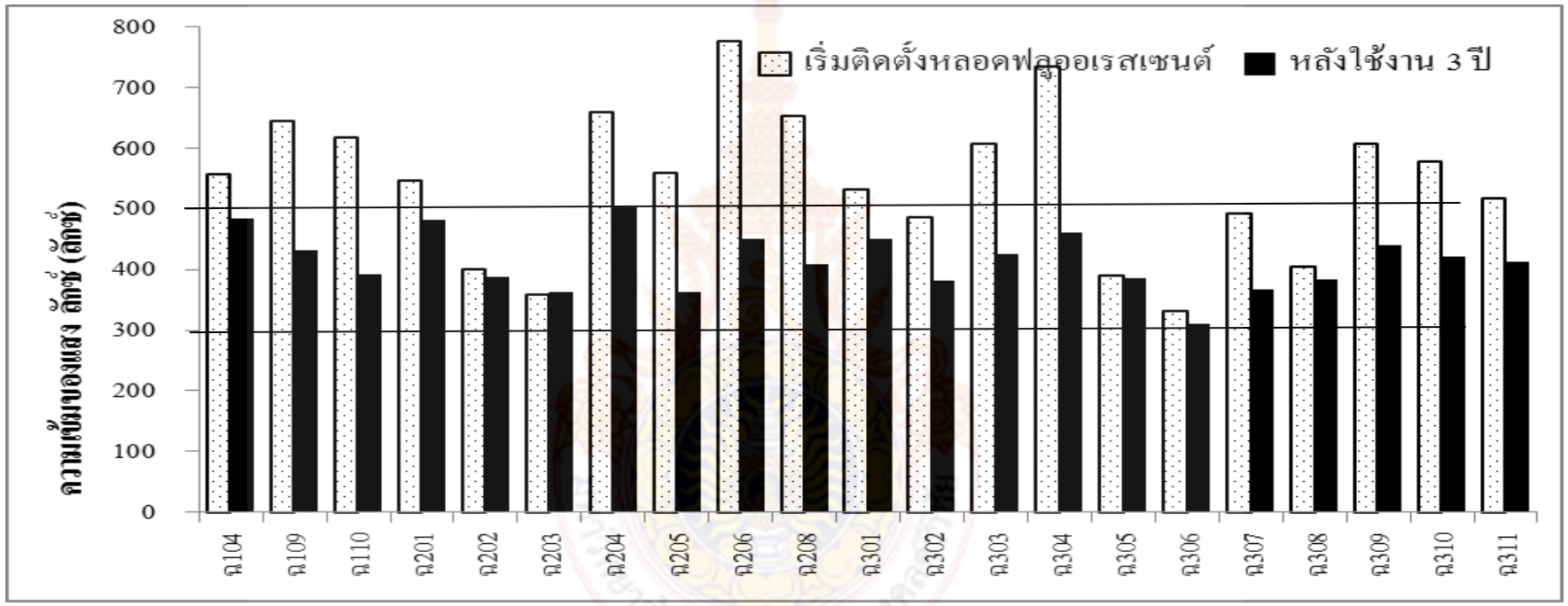
1. การตรวจวัดความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ และประสิทธิภาพความเข้มของแสงสว่างในห้องเรียน

การตรวจวัดความเข้มแสงในห้องเรียนบรรยายอาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา เริ่มต้นโดยการสำรวจห้องเรียน ที่จะทำการตรวจวัดแสงสว่าง ว่ามีการติดตั้งหลอดไฟในลักษณะใด โดยห้องเรียนบรรยายที่ทำการศึกษาทุกห้องมีลักษณะการติดตั้งหลอดไฟที่มีระยะห่างระหว่างหลอดเท่ากันและมีจำนวนแถวมากกว่า 2 แถว จากนั้นกำหนดจุดตรวจวัดในแต่ละห้อง และวาดแผนผังจุดที่จะทำการตรวจวัดความเข้มของแสงสว่าง การตรวจวัดแสงดังภาพที่ 20

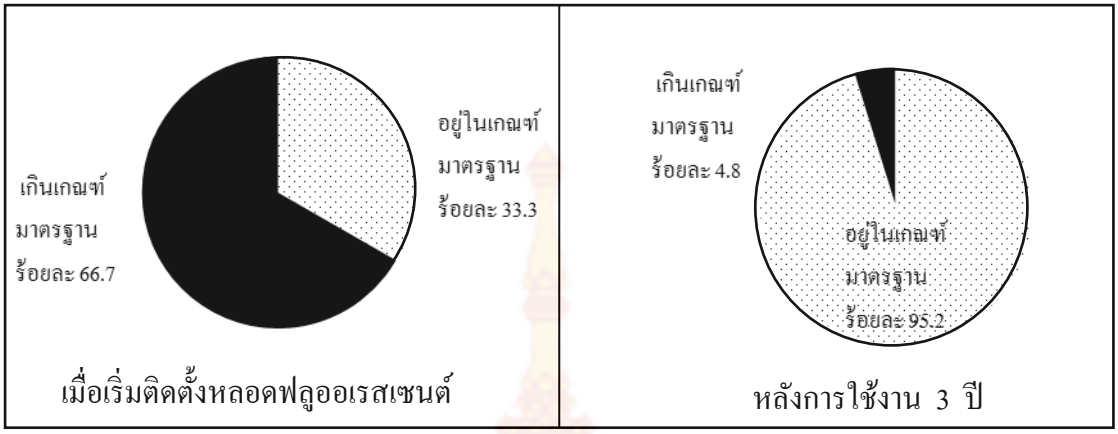
ภาพที่ 20 การติดตั้งเครื่องและการตรวจวัดความเข้มแสง

ผลการตรวจวัดความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ในห้องเรียนบรรยาย จำนวน 21 ห้อง เมื่อเริ่มติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ และหลังใช้งาน 3 ปี แสดงดังภาพที่ 21 ผลการตรวจวัดความเข้มของแสงสว่างแบบเฉลี่ยสำหรับห้องเรียนบรรยาย ซึ่งมีการตรวจวัดเมื่อเริ่มติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นปีแรก และหลังจากใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์แล้ว 3 ปี จากภาพแสดงให้เห็นว่าความเข้มแสงที่ตรวจวัดเมื่อเริ่มติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 331-778 ลักซ์ โดยมีห้องเรียนบรรยายที่มีค่าความเข้มแสงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มีจำนวน 7 ห้อง คิดเป็นร้อยละ 33.3 และห้องเรียนบรรยายที่มีค่าความเข้มแสงสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานมีจำนวน 14 ห้อง คิดเป็นร้อยละ 66.7 ได้แก่ ฉ104 ฉ109 ฉ110 ฉ201 ฉ204 ฉ205 ฉ206 ฉ208 ฉ301 ฉ303 ฉ304 ฉ309 ฉ310 ฉ311 ซึ่งค่าความเข้มแสงที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพตา จะทำให้เกิดอาการปวดตา มึนศีรษะ กล้ามเนื้อหนังตากระตุก วิงเวียน การมองเห็นแย่ลง นอนไม่หลับ และเมื่อพิจารณาความเข้มแสงที่ตรวจวัดหลังใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์ 3 ปี พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 311-502 ลักซ์ โดยห้องเรียนบรรยายที่มีค่าความเข้มแสงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มีจำนวน 20 ห้อง คิดเป็นร้อยละ 95.2 และห้องเรียนบรรยายที่มีค่าความเข้มแสงสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานมีจำนวน 1 ห้อง คิดเป็นร้อยละ 4.8 ได้แก่ ฉ204 ผลการวิจัยเป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาของภานุวัฒน์ จึงศรีพิษณุ และคณะ (2545) เรื่องปริมาณความเข้มของแสงสว่างในห้องเรียนของโรงเรียน ในสังกัดเทศบาลนครขอนแก่น ซึ่งพบว่า มีห้องเรียนที่มีความเข้มแสงต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานร้อยละ 23.81 และสอดคล้องกับผลการศึกษาของอักษราภัค ศรีพิเชียร (มปป.) ได้ทำการศึกษาค่าความความเข้มของแสงสว่างในห้องเรียน 5 อาคารเรียนของโรงเรียน อบจ. เมืองภูเก็ต พบว่าค่าความเข้มของแสงในห้องเรียนของอาคารราชาใหญ่ มีค่าใกล้เคียงเกณฑ์มาตรฐานมากที่สุดคิดเป็นคือร้อยละ 85.33 ผลการตรวจวัดความเข้มของแสงในห้องเรียนบรรยายแบ่งตามเกณฑ์มาตรฐาน แสดงดังภาพที่ 22

จากผลการตรวจวัดความเข้มแสงเมื่อเริ่มติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ และหลังใช้งาน 3 ปี จะเห็นว่าค่าความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์หลังใช้งาน 3 ปี ที่ตรวจวัดได้ของทุกห้องเรียนมีค่าลดลง แสดงดังภาพที่ 23 ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อผ่านการใช้งานไประยะหนึ่ง ประสิทธิภาพของหลอดไฟก็จะมีค่าลดลง ประกอบกับปัจจัยอื่นๆ เช่น หลอดไฟไม่ได้มีการทำความสะอาด ทำให้มีฝุ่นเกาะติดผิวหลอดและแผ่นสะท้อนแสงของดวงโคม มีต้นไม้รอบอาคารช่วยบังแสงมากขึ้น โดยห้องเรียนที่มีปริมาณความเข้มแสงลดลงน้อยกว่าร้อยละ 10 เป็นห้องเรียนที่มีการใช้งานค่อนข้างน้อย แต่อย่างไรก็ตามปริมาณความเข้มแสงในห้องเรียนส่วนใหญ่ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน



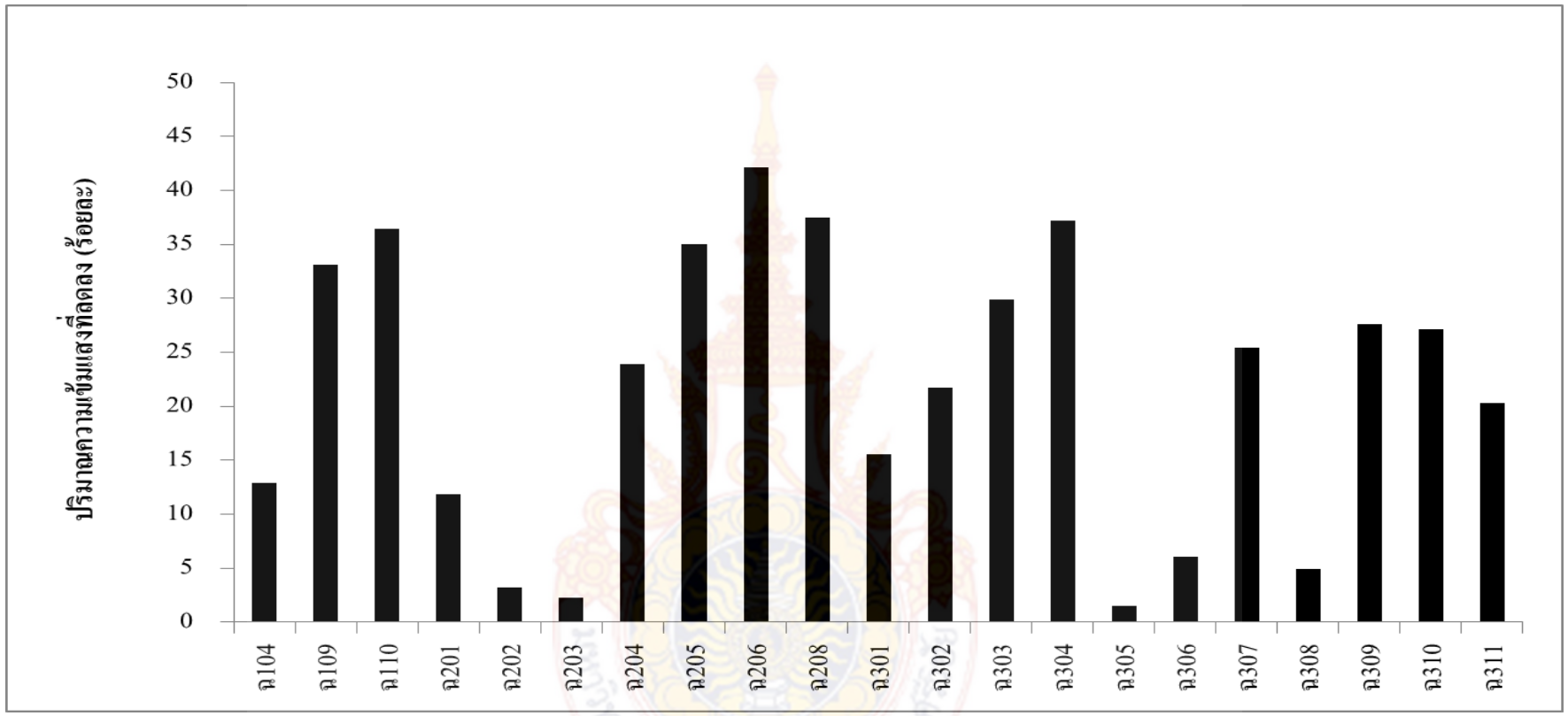
ภาพที่ 21 ผลการตรวจวัดความเข้มของแสงสว่างห้องเรียนบรรยายเมื่อเริ่มติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลังใช้งาน 3 ปี



ภาพที่ 22 ผลการตรวจวัดความเข้มของแสงสว่างในห้องเรียนบรรยาย เมื่อแบ่งตามเกณฑ์มาตรฐาน

จากภาพที่ 23 จะเห็นว่า ประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดไฟทุกห้องมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อหลอดฟลูออเรสเซนต์ผ่านการใช้งานเป็นเวลา 3 ปี จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการส่องสว่างของหลอดไฟมีค่าน้อยลง โดยห้องเรียน 206 เป็นห้องเรียนที่มีค่าประสิทธิภาพลดลงมากที่สุด ซึ่งสาเหตุเกิดจากอายุการใช้งานของหลอดไฟเช่นเดียวกับห้องเรียนอื่นๆ ประกอบกับในขณะตรวจวัดหลังใช้งาน 3 ปี มีหลอดไฟชำรุดเสียหาย ไม่สามารถใช้งานได้ จำนวน 2 หลอด จึงทำให้ประสิทธิภาพในการส่องสว่างของห้องเรียนนี้มีค่าต่ำกว่าห้องอื่นๆ

จากผลการวิจัยจะเห็นว่า ความเข้มแสงส่วนใหญ่ที่ตรวจวัดได้ในห้องเรียนเมื่อเริ่มติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ จะมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน เนื่องจากเพิ่งใช้งานหลอดไฟเป็นครั้งแรก จึงยังให้แสงสว่างค่อนข้างสูง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการมองเห็นในขณะที่มีการเรียนการสอนได้ แต่เมื่อหลอดฟลูออเรสเซนต์ผ่านการใช้งานไปแล้ว 3 ปี ความเข้มแสงมีค่าลดลง ซึ่งค่าที่ตรวจวัดได้พบว่ายังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน อย่างไรก็ตามเมื่ออายุการใช้งานของหลอดไฟนานขึ้น ก็จะทำให้ปริมาณความเข้มแสงมีค่าลดน้อยลงไป จนอาจมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นจึงควรมีการดูแลและบำรุงรักษาหลอดไฟอย่างสม่ำเสมอ เพื่อยืดอายุการใช้งานให้หลอดไฟสามารถส่องสว่างเพื่อให้มีค่าความเข้มแสงให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และหากหลอดไฟให้แสงสว่างต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ก็ควรทำการเปลี่ยนหลอดไฟใหม่ เพื่อเป็นการป้องกันอันตรายจากการทำงานในสภาพแวดล้อมที่มีความเข้มแสงไม่เหมาะสม



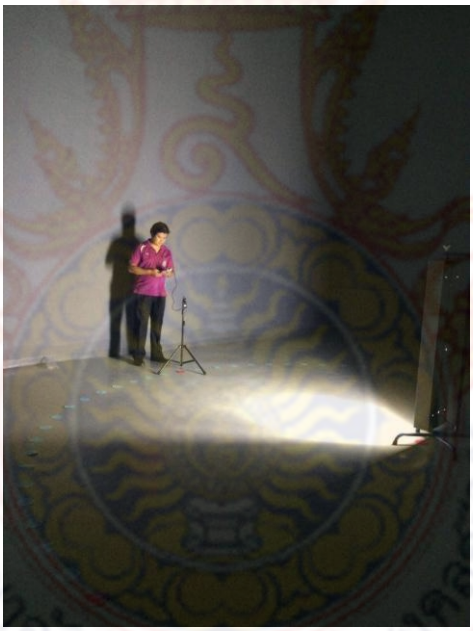
ภาพที่ 23 ปริมาณความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ลดลงของห้องเรียนบรรยายหลังใช้งาน 3 ปี

2. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งานของหลอดฟลูออเรสเซนต์

ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ 3 ชนิด ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 หลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 และหลอดฟลูออเรสเซนต์ LED โดยได้ทำการเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ 3 ด้าน ผลการศึกษา ดังนี้

2.1 การเปรียบเทียบปริมาณความเข้มแสง

ทำการตรวจวัดแสงในห้องทดสอบที่แสงสว่างไม่สามารถส่องเข้ามาได้ วางหลอดไฟให้หันตรงกำหนดเป็นมุม 0 องศา และจุดตั้งฉากด้านข้างทั้งสองด้าน กำหนดมุม 90 องศา โดยจุดที่ตรวจวัดแสงทุกจุดและหลอดไฟจะมีระยะห่าง 280 เซนติเมตร ตามระยะห่างระหว่างหลอดไฟกับพื้นโต๊ะในห้องเรียน โดยทำการวัดความเข้มของแสงที่ระยะห่างแต่ละจุดทำมุม 5 องศาไปเรื่อยๆ ดังภาพที่ 24



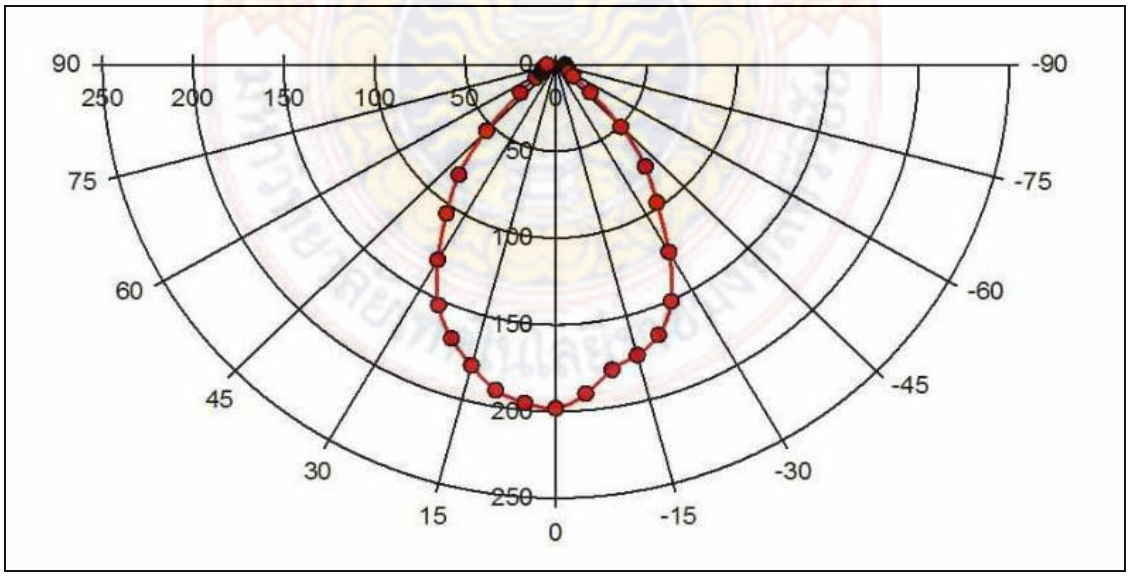
ภาพที่ 24 การตรวจวัดความเข้มแสงของหลอดไฟที่จุดต่างๆ

การตรวจวัดความเข้มแสงของหลอดไฟตัวอย่างที่ใช้ในห้องเรียน เพื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ 3 ชนิด ผลการศึกษาดังนี้

2.1.1 หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 ลักษณะของหลอดและแสงขณะทำการตรวจวัดดังภาพที่ 25

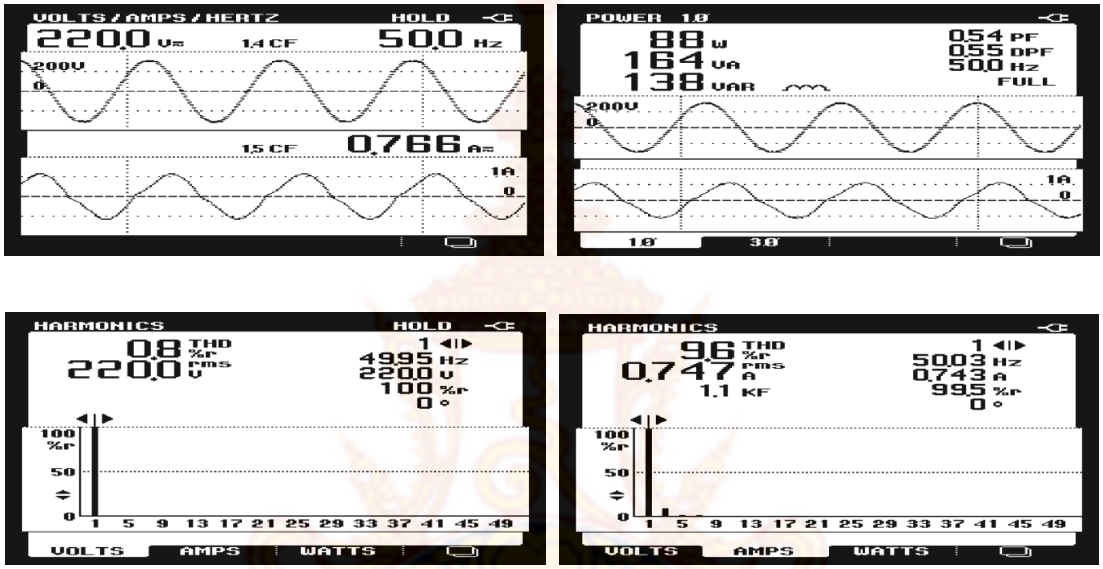
ภาพที่ 25 โคมไฟทดสอบหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 แบบบัลลาสต์แกนเหล็ก

ผลการตรวจวัดความเข้มแสงที่มุมต่างๆ ดังภาพที่ 26 จะเห็นว่าหลอดชนิดนี้ให้ค่าความเข้มแสงสูงสุด 198.2 ลักซ์ ที่มุม 0 องศา ระหว่างหลอดและจุดตรวจวัด และปริมาณแสงจะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งจุดที่ตรวจวัดทำมุม 55 องศากับหลอด จะเห็นว่าปริมาณแสงมีค่าน้อยมาก ปริมาณความเข้มแสงมีการกระจายแสงทั้งสองด้านเป็นไปในลักษณะเดียวกัน



ภาพที่ 26 ผลการตรวจวัดความเข้มของแสงหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8

เมื่อนำโคมไฟมาทำการตรวจวัด โดยจ่ายแรงดันคงที่ขนาด 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ต พบว่าโคมไฟชนิดนี้มีปริมาณกระแสไฟฟ้า 0.766 แอมแปร์ มีกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) 88 วัตต์ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการทำงาน (Reactive Power) 164 โวลต์-แอมแปร์ และกำลังไฟฟ้าปรากฏ 138 วาร์ มีเพาเวอร์แฟกเตอร์ (PF) 0.54 มีแรงดันฮามอนิกส์ (THD) 0.8 และมีกระแสฮามอนิกส์ (THD) 9.6 รายละเอียดดังภาพที่ 27

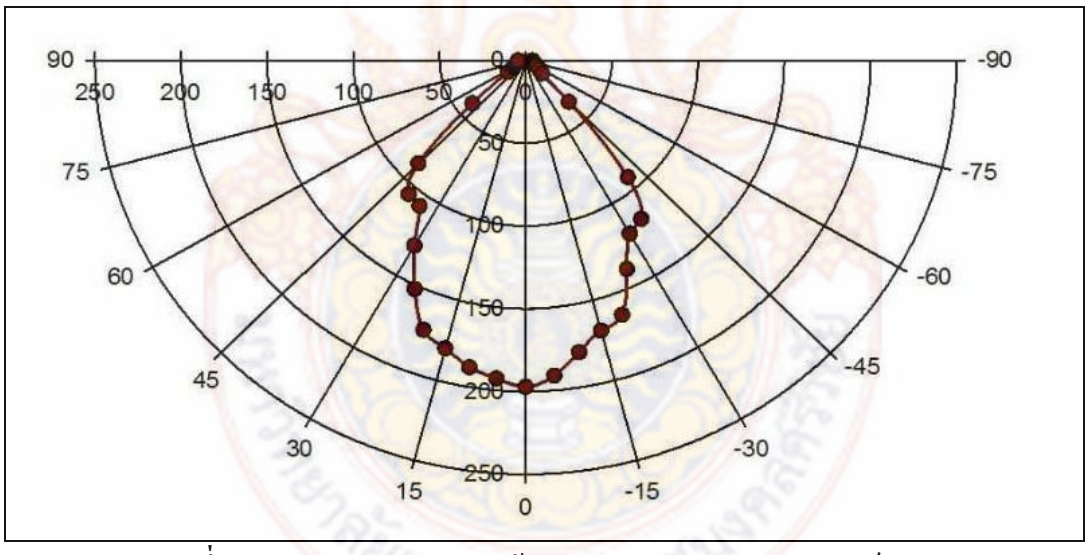


ภาพที่ 27 การตรวจวัดแรงดัน กระแส กำลัง และฮามอนิกส์ หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8

2.1.2 หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ลักษณะของหลอดและแสงขณะทำการตรวจวัดดังภาพที่ 28

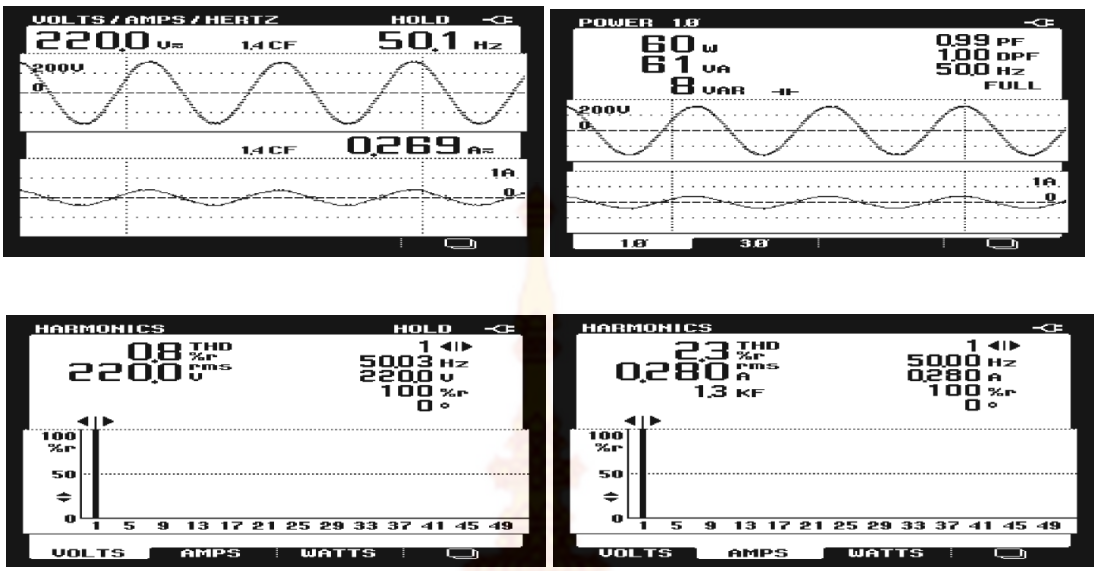
ผลการตรวจวัดความเข้มแสงที่มุมต่างๆ ดังภาพที่ 29 จะเห็นว่าหลอดชนิดนี้ให้ค่าความเข้มแสงสูงสุด 202.1 ลักซ์ ที่มุม 0 องศา ระหว่างหลอดและจุดตรวจวัด และปริมาณแสงจะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งจุดที่ตรวจวัดทำมุม 55 องศากับหลอด จะเห็นว่าปริมาณแสงมีค่าน้อยมาก ปริมาณความเข้มแสงมีการกระจายแสงทั้งสองด้านเป็นไปในลักษณะเดียวกัน

ภาพที่ 28 โคมไฟทดสอบหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5



ภาพที่ 29 ผลการตรวจวัดความเข้มของแสงหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5

เมื่อนำโคมไฟมาทำการตรวจวัด โดยจ่ายแรงดันคงที่ขนาด 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ต พบว่าโคมไฟชนิดนี้มีปริมาณกระแสไฟฟ้า 0.269 แอมแปร์ มีกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) 60 วัตต์ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการทำงาน (Reactive Power) 61 โวลต์-แอมแปร์ และกำลังไฟฟ้าปรากฏ 8 วาร์ มีเพาเวอร์แฟกเตอร์ (PF) 0.99 มีแรงดันฮามอนิกส์ (THD) 0.8 และมีกระแสฮามอนิกส์ (THD) 2.3 รายละเอียดดดังภาพที่ 30

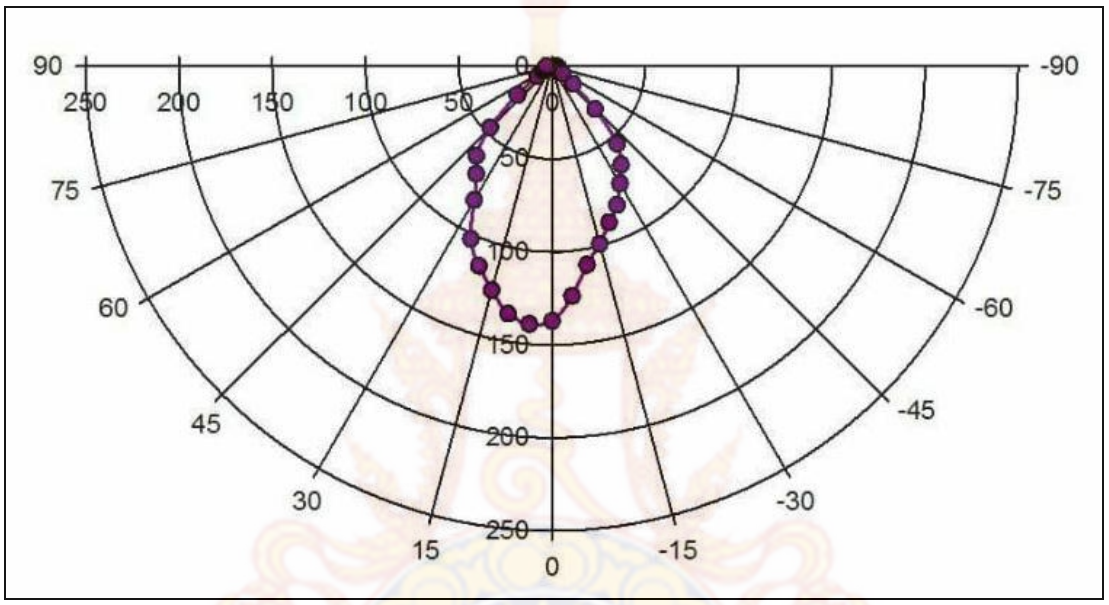


ภาพที่ 30 การตรวจวัดแรงดัน กระแส กำลัง และฮามอนิกส์ หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 แบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ร่วมกัน

2.1.3 หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด LED ลักษณะของหลอดและแสงขณะทำการตรวจวัดดังภาพที่ 31

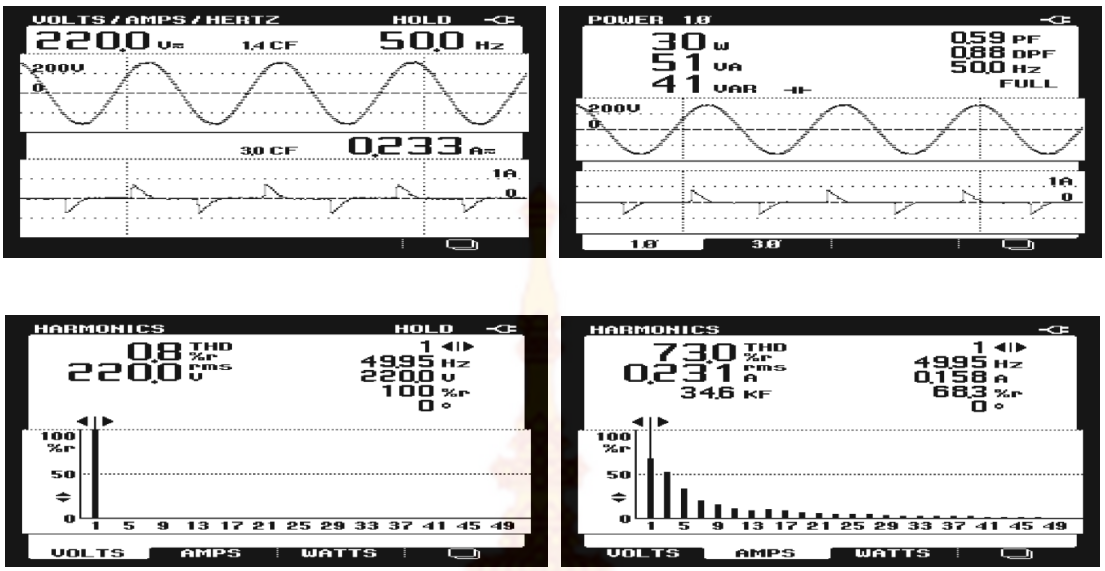
ภาพที่ 31 โคมไฟทดสอบหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด LED แบบแสงเต็มหลอดบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ผลการตรวจวัดความเข้มแสงที่มุมต่างๆ ดังภาพที่ 32 จะเห็นว่าหลอดชนิดนี้ให้ค่าความเข้มแสงสูงสุด 139.3 ลักซ์ ที่มุม 0 องศา ระหว่างหลอดและจุดตรวจวัด และปริมาณแสงจะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งจุดที่ตรวจวัดทำมุม 55 องศากับหลอด จะเห็นว่าปริมาณแสงมีค่าน้อยมาก ปริมาณความเข้มแสงมีการกระจายแสงทั้งสองด้านเป็นไปในลักษณะเดียวกัน



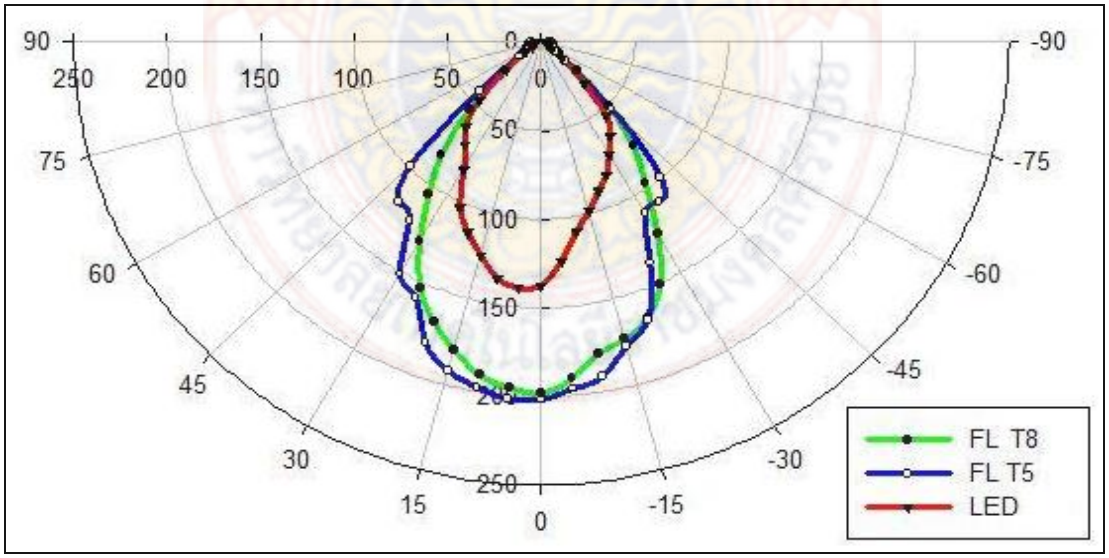
ภาพที่ 32 ผลการตรวจวัดความเข้มของแสงหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด LED

เมื่อนำโคมไฟมาทำการตรวจวัด โดยจ่ายแรงดันคงที่ขนาด 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ต พบว่าโคมไฟชนิดนี้มีปริมาณกระแสไฟฟ้า 0.233 แอมแปร์ มีกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) 30 วัตต์ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการทำงาน (Reactive Power) 51 โวลต์-แอมแปร์ และกำลังไฟฟ้าปรากฏ 41 วาร์ มีเพาเวอร์แฟกเตอร์ (PF) 0.59 มีแรงดันฮามอนิกส์ (THD) 0.8 และมีกระแสฮามอนิกส์ (THD) 73.0 รายละเอียดดดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 การตรวจวัดแรงดัน กระแส กำลัง และฮามอนิกส์ หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด LED แบบแสงเต็มหลอด บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

เมื่อนำค่าความเข้มแสงที่ตรวจวัดได้ที่แต่ละมุมของหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั้ง 3 ชนิด มาทำการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสง ดังภาพที่ 34 จะเห็นว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 และ T8 จะให้ค่าความเข้มแสงที่ใกล้เคียงกัน ขณะที่หลอดฟลูออเรสเซนต์ LED ให้ค่าความเข้มแสงที่ต่ำกว่า



ภาพที่ 34 ผลการตรวจวัดความเข้มของแสงหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 T5 และ LED

ปริมาณค่าทางไฟฟ้าของหลอดฟลูออเรสเซนต์แต่ละชนิด แสดงดังตารางที่ 4 โดยจะเห็นว่าเมื่อกำหนดให้แรงดันของทุกหลอดมีขนาดเท่ากันที่ 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ต พบว่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้กับหลอด LED มีค่าต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.233 แอมแปร์ และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการทำงานของหลอด T8 มีค่ามากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากหลอดชนิดนี้ต้องมีการใช้อุปกรณ์ร่วมในการทำงาน ได้แก่ บัลลาสต์ นอกจากนี้จะเห็นว่า ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของหลอด T5 มีประสิทธิภาพสูงกว่าหลอดชนิดอื่น และพบว่าหลอด LED มีค่ากระแสฮามอนิกส์มากที่สุด

ตารางที่ 4 ปริมาณค่าทางไฟฟ้าของหลอดฟลูออเรสเซนต์แต่ละชนิด

ชนิดของหลอด	T8	T5	LED
แรงดัน (โวลต์)	220	220	220
กระแส (แอมแปร์)	0.766	0.269	0.233
ความถี่ (เฮิร์ต)	50	50	50
กำลังไฟฟ้าจริง (วัตต์)	88	60	30
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการทำงาน (โวลต์-แอมแปร์)	164	61	51
กำลังไฟฟ้าปรากฏ (วาร์)	138	8	41
เพาเวอร์แฟกเตอร์ (PF)	0.54	0.99	0.59
แรงดันฮามอนิกส์	0.8	0.8	0.8
กระแสฮามอนิกส์	9.6	2.3	73.0

2.2 การเปรียบเทียบด้านความสิ้นเปลืองพลังงาน

2.2.1 การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าหลอดฟลูออเรสเซนต์ แบบ T8

คิดเวลาในการเปิดใช้โคมไฟ (เวลาราชการ) 8 ชั่วโมง

ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) (พฤษภาคม 59 - สิงหาคม 59) -33.29 สตางค์ต่อหน่วย

ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %

พลังงานไฟฟ้า = (W×h)/1,000

= (354 โคมไฟ × 88 วัตต์ × 8 ชั่วโมง)/1,000

= 249.22 หน่วย

<u>1) ค่าไฟฟ้าฐาน</u>

ค่าพลังงานไฟฟ้า = หน่วยการใช้ไฟฟ้า × อัตราค่าไฟฟ้า

= 249.22 หน่วย × 2.7815 บาท/หน่วย

= 693.21 บาท/วัน

= 693.21 บาท/วัน × 20 วัน

(คิดเวลาทำงาน 20 วันต่อเดือนไม่รวมวันเสาร์และอาทิตย์)

= 13,864.2 บาท

ค่าบริการรายเดือน = 312.24 บาท

รวมค่าไฟฟ้าฐาน = 13,864.2 + 312.24

= 14,176.44 บาท

2) ค่าไฟฟ้าผันแปร ค่า (Ft) หน่วยละ - 0.3329 บาทต่อหน่วย

= หน่วยการใช้ไฟฟ้า × ค่า (Ft)

= 249.22 หน่วย ×(- 0.3329) บาท

= (-82.97) บาท

3) ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %

= (ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่า Ft) × (7/100)

= (14,176.44 + (-82.97)) × (7/100)

= 986.54 บาท

รวมเงินค่าไฟฟ้า = 14,176.44 – 82.97 + 986.54

= 15,080.01 บาท/เดือน

ดังนั้นการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T8 เมื่อคิดการใช้งาน 8 ชั่วโมงต่อวัน และคิดจำนวนการเปิดใช้งานเฉลี่ยต่อเดือน 20 วัน จะต้องจ่ายค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้น 15,080.01 บาทต่อเดือน หรือประมาณ 180,960.12 บาทต่อปี

2.2.2 การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าหลอดฟลูออเรสเซนต์ แบบ T5

คิดเวลาในการเปิดใช้โคมไฟ (เวลาราชการ)	8	ชั่วโมง
ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) (พฤษภาคม 59 - สิงหาคม 59)	-33.29	สตางค์ต่อหน่วย
ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม	7	%

พลังงานไฟฟ้า = (W×h)/1,000

= (354 โคมไฟ × 60 วัตต์ × 8 ชั่วโมง)/1,000

= 169.92 หน่วย

1) ค่าไฟฟ้าฐาน

ค่าพลังงานไฟฟ้า = หน่วยการใช้ไฟฟ้า × อัตราค่าไฟฟ้า

= 169.92 หน่วย × 2.7815 บาท/หน่วย

= 472.63 บาท/วัน

= 472.63 บาท/วัน × 20 วัน

(คิดเวลาทำงาน 20 วันต่อเดือนไม่รวมวันเสาร์และอาทิตย์)

= 9,452.6 บาท

ค่าบริการรายเดือน = 312.24 บาท

รวมค่าไฟฟ้าฐาน = 9,452.6 + 312.24

= 9,764.84 บาท

2) ค่าไฟฟ้าผันแปร ค่า (Ft) หน่วยละ - 0.3329 บาทต่อหน่วย

= หน่วยการใช้ไฟฟ้า × ค่า (Ft)

= 169.92 หน่วย ×(- 0.3329) บาท

= (-56.57) บาท

3) ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %

= (ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่า Ft) × (7/100)

= (9,764.84 + (-56.57)) × (7/100)

= 679.58 บาท

รวมเงินค่าไฟฟ้า = 9,764.84 - 56.57 + 679.58

= 10,387.85 บาท/เดือน

ดังนั้นการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T5 เมื่อคิดการใช้งาน 8 ชั่วโมงต่อวัน และคิดจำนวนการเปิดใช้งานเฉลี่ยต่อเดือน 20 วัน จะต้องจ่ายค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้น 10,387.85 บาทต่อเดือน หรือประมาณ 124,654.2 บาทต่อปี

2.2.3 การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าหลอดฟลูออเรสเซนต์ แบบหลอด LED

คิดเวลาในการเปิดใช้โคมไฟ (เวลาราชการ) 8 ชั่วโมง

ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) (พฤษภาคม 59 - สิงหาคม 59) -33.29 สตางค์ต่อหน่วย

ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %

พลังงานไฟฟ้า = (W×h)/1,000

= (354 โคมไฟ × 30 วัตต์ × 8 ชั่วโมง)/1,000

= 84.96 หน่วย

1) ค่าไฟฟ้าฐาน

ค่าพลังงานไฟฟ้า = หน่วยการใช้ไฟฟ้า × อัตราค่าไฟฟ้า

= 84.96 หน่วย × 2.7815 บาท/หน่วย

= 236.32 บาท/วัน

= 236.32 บาท/วัน × 20 วัน

(คิดเวลาทำงาน 20 วันต่อเดือนไม่รวมวันเสาร์และอาทิตย์)

= 4,726.4 บาท

ค่าบริการรายเดือน = 312.24 บาท

รวมค่าไฟฟ้าฐาน = 4,726.4 + 312.24

= 5,038.64 บาท

2) ค่าไฟฟ้าผันแปร ค่า (Ft) หน่วยละ - 0.3329 บาทต่อหน่วย

= หน่วยการใช้ไฟฟ้า × ค่า (Ft)

= 84.96 หน่วย ×(- 0.3329) บาท

= (-28.28) บาท

3) ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %

= (ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่า Ft) × (7/100)

= (5,038.64 + (-28.28)) × (7/100)

= 350.73 บาท

รวมเงินค่าไฟฟ้า = 5,038.64 – 28.28 + 350.73

= 5,361.09 บาท/เดือน

ดังนั้นการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด LED เมื่อคิดการใช้งาน 8 ชั่วโมงต่อวัน และคิดจำนวนการเปิดใช้งานเฉลี่ยต่อเดือน 20 วัน จะต้องจ่ายค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้น 5,361.09 บาทต่อเดือน หรือประมาณ 64,333.08 บาทต่อปี

จากการคำนวณพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั้ง 3 ชนิด พบว่าหลอด LED มีการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าต่อปีน้อยที่สุด รองลงมา ได้แก่ หลอด T5 และ T8 ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าเมื่อใช้หลอด T5 แทนหลอด T8 จะช่วยลดค่าพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 1.5 เท่า ในขณะที่หากใช้หลอด LED แทนหลอด T8 และหลอด T5 จะลดค่าพลังงานได้ประมาณ 2.8 และ 1.9 เท่า ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าพลังงานไฟฟ้าของหลอดฟลูออเรสเซนต์แต่ละชนิด

ชนิดของหลอดฟลูออเรสเซนต์	การใช้ไฟฟ้า (หน่วย)	ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อเดือน (บาท)	ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อปี (บาท)
T8	249.22	15,080.01	180,960.12
T5	169.92	10,387.85	124,654.20
LED	84.96	5,361.09	64,333.08

2.3 การเปรียบเทียบด้านการลงทุน

ทำการเปรียบเทียบด้านการลงทุนเมื่อมีการเปลี่ยนชนิดของหลอดไฟโดยใช้โคมไฟเดิม ซึ่งทำการศึกษา 3 กรณี ได้แก่ การเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบ T8 เป็น T5 การเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบ T8 เป็น LED และการเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบ T5 เป็น LED โดยสามารถคิดคำนวณค่าการลงทุนได้ดังนี้

2.3.1 ค่าการลงทุนและคืนทุนหลอดฟลูออเรสเซนต์ แบบ T8 เปลี่ยนเป็นหลอด T5

กำลังไฟฟ้าหลอด T8	=	88	วัตต์/โคมไฟ
จำนวนโคมไฟ T8	=	354	โคมไฟ
ชั่วโมงการทำงาน	=	8	ชั่วโมง/วัน
วันทำงาน	=	250	วัน / ปี
เปอร์เซ็นต์การทำงาน	=	70%	
พลังงานไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	=	(จำนวนหลอด × กำลังไฟฟ้า × เวลาการทำงาน × %) /1000	
	=	43,612.8	กิโลวัตต์ฮาว/ปี

หลังปรับปรุง

กำลังไฟฟ้าหลอด T5	=	60	วัตต์/โคมไฟ
จำนวนโคมไฟ T5	=	354	โคมไฟ
ชั่วโมงการทำงาน	=	8	ชั่วโมง/วัน
วันทำงาน	=	250	วัน / ปี
เปอร์เซ็นต์การทำงาน	=	70%	
พลังงานไฟฟ้าหลังปรับปรุง	=	(จำนวนหลอด × กำลังไฟฟ้า × เวลาการทำงาน × %) /1000	

	=	29,736	กิโลวัตต์ฮาว/ปี

ผลประหยัด

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	พลังงานไฟฟ้า$_{(ก่อนปรับปรุง)}$ - พลังงานไฟฟ้า$_{(หลังปรับปรุง)}$	
	=	43,612.8 – 29,736	
	=	13,876.8	กิโลวัตต์ฮาว/ปี
ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย	=	4.07	บาท/กิโลวัตต์ฮาว
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	13,876.8 × 4.07	
	=	56,478.58	บาท
เงินลงทุน	=	ราคาหลอดไฟ × จำนวนหลอด	
ราคาหลอด (ราคารวมค่าแรง)	=	570	บาท
จำนวนโคมไฟ	=	354	โคมไฟ
	=	354 × 570	
	=	201,780	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	เงินลงทุน / เงินที่ประหยัดได้	
	=	201,780/56,478.58	
	=	3.57	ปี

2.2.2 ค่าการลงทุนและคืนทุนหลอดฟลูออเรสเซนต์ แบบ T8 เปลี่ยนเป็นหลอด LED

กำลังไฟฟ้าหลอด T8	=	88	วัตต์/โคมไฟ
จำนวนโคมไฟ T8	=	354	โคมไฟ
ชั่วโมงการทำงาน	=	8	ชั่วโมง/วัน
วันทำงาน	=	250	วัน / ปี
เปอร์เซ็นต์การทำงาน	=	70%	
พลังงานไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	=	(จำนวนหลอด × กำลังไฟฟ้า × เวลาการทำงาน × %) /1000	
	=	43,612.8	กิโลวัตต์ฮาว/ปี

หลังปรับปรุง

กำลังไฟฟ้าหลอด LED	=	30	วัตต์/โคมไฟ
จำนวนโคมไฟ LED	=	354	โคมไฟ
ชั่วโมงการทำงาน	=	8	ชั่วโมง/วัน

วันทำงาน	=	250	วัน / ปี
เปอร์เซ็นต์การทำงาน	=	70%	
พลังงานไฟฟ้าหลังปรับปรุง	=	(จำนวนหลอด × กำลังไฟฟ้า ×	
		เวลาการทำงาน × %) /1000	
	=	14,868	กิโลวัตต์ฮาว/ปี

ผลประหยัด

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	พลังงานไฟฟ้า$_{(ก่อนปรับปรุง)}$ - พลังงานไฟฟ้า$_{(หลังปรับปรุง)}$	
	=	43,612.8 – 14,868	
	=	28,744.8	กิโลวัตต์ฮาว/ปี
ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย	=	4.07	บาท/กิโลวัตต์ฮาว
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	28,744.8 × 4.07	
	=	116,991.34	บาท
เงินลงทุน	=	ราคาหลอดไฟ × จำนวนหลอด	
ราคาหลอด (ราคารวมค่าแรง)	=	518	บาท
จำนวนโคมไฟ	=	354	โคมไฟ
	=	354 × 518	
	=	183,372	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	เงินลงทุน / เงินที่ประหยัดได้	
	=	183,372/116,991.34	
	=	1.57	ปี

2.2.3 ค่าการลงทุนและคืนทุนหลอดฟลูออเรสเซนต์ แบบ T5 เปลี่ยนเป็นหลอด LED

กำลังไฟฟ้าหลอด T5	=	60	วัตต์/โคมไฟ
จำนวนโคมไฟ T5	=	354	โคมไฟ
ชั่วโมงการทำงาน	=	8	ชั่วโมง/วัน
วันทำงาน	=	250	วัน / ปี
เปอร์เซ็นต์การทำงาน	=	70%	
พลังงานไฟฟ้าหลังปรับปรุง	=	(จำนวนหลอด × กำลังไฟฟ้า ×	
		เวลาการทำงาน × %) /1000	
	=	29,736	กิโลวัตต์ฮาว/ปี

หลังปรับปรุง

กำลังไฟฟ้าหลอด LED	=	30	วัตต์/โคมไฟ
จำนวนโคมไฟ LED	=	354	โคมไฟ
ชั่วโมงการทำงาน	=	8	ชั่วโมง/วัน
วันทำงาน	=	250	วัน / ปี
เปอร์เซ็นต์การทำงาน	=	70%	
พลังงานไฟฟ้าหลังปรับปรุง	=	(จำนวนหลอด × กำลังไฟฟ้า ×	
		เวลาการทำงาน × %) /1000	
	=	14,868	กิโลวัตต์ฮาว/ปี

ผลประหยัด

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	พลังงานไฟฟ้า$_{(ก่อนปรับปรุง)}$ - พลังงานไฟฟ้า$_{(หลังปรับปรุง)}$	
	=	29,736 – 14,868	
	=	14,868	กิโลวัตต์ฮาว/ปี
ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย	=	4.07	บาท/กิโลวัตต์ฮาว
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	14,868 × 4.07	
	=	60,512.76	บาท
เงินลงทุน	=	ราคาหลอดไฟ × จำนวนหลอด	
ราคาหลอด (ราคารวมค่าแรง)	=	518	บาท
จำนวนโคมไฟ	=	354	โคมไฟ
	=	354 × 518	
	=	183,372	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	เงินลงทุน / เงินที่ประหยัดได้	
	=	183,372/60,512.76	
	=	3.03	ปี

จากการคำนวณความคุ้มทุนในการเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์จำนวน 354 โคม ที่อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา พบว่า หากเปลี่ยนจากหลอดชนิด T8 เป็น หลอดชนิด T5 จะใช้เวลาในการคืนทุน 3.57 ปี และหากเปลี่ยนจากหลอดชนิด T8 เป็น หลอดชนิด LED จะใช้เวลาในการคืนทุน 1.57 ปี ในขณะที่หากเปลี่ยนจากหลอดชนิด T5 เป็น หลอดชนิด LED จะใช้เวลาในการคืนทุน 3.03 ปี

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพด้านเทคนิคและความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้ในห้องเรียนบรรยายอาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์เมื่อเริ่มติดตั้งและเมื่อผ่านการใช้งานแล้ว 3 ปี

1.1 เมื่อเริ่มติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ พบว่าจำนวนห้องเรียนบรรยายที่มีค่าความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารและจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549 (ค่ามาตรฐานแสงเฉลี่ยแบบพื้นที่ทั่วไปห้องเรียนบรรยาย อยู่ในช่วง 300-500 ลักซ์) เท่ากับร้อยละ 33.3 และจำนวนห้องเรียนบรรยายที่มีค่าความเข้มแสงสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานเท่ากับร้อยละ 66.7

1.2 เมื่อหลอดฟลูออเรสเซนต์ผ่านการใช้งานแล้ว 3 ปี พบว่าความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์มีค่าลดลง เนื่องจากอายุการใช้งานของหลอดไฟที่นานขึ้น โดยห้องเรียนบรรยายที่ยังคงมีค่าความเข้มแสงสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานเท่ากับร้อยละ 4.8 และห้องเรียนที่มีค่าความเข้มแสงลดลงจนมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน เท่ากับร้อยละ 95.2 อย่างไรก็ตามควรมีการดูแลและบำรุงรักษาหลอดไฟอย่างสม่ำเสมอ เพื่อยืดอายุการใช้งานของหลอดไฟ

2. การศึกษาประสิทธิภาพด้านเทคนิคของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 T5 และ LED

2.1 ด้านปริมาณความเข้มแสงของหลอด T5 และ T8 มีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าสูงกว่าหลอด LED

2.2 ด้านความสิ้นเปลืองพลังงาน พบว่าหลอด LED มีการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าต่อปีน้อยที่สุด รองลงมา ได้แก่ หลอดชนิด T5 และ T8 โดยจะเห็นว่าเมื่อใช้หลอดชนิด T5 แทนหลอดชนิด T8 ค่าพลังงานไฟฟ้าลดลงได้ประมาณ 1.5 เท่า และหากใช้หลอดชนิด LED แทนหลอดชนิด T8 และหลอดชนิด T5 จะลดค่าพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 2.8 และ 1.9 เท่า ตามลำดับ

2.3 ด้านการลงทุน พบว่าหากเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์จำนวน 354 โคมไฟ จากเดิมหลอดชนิด T8 เป็นหลอดชนิด LED จะใช้เวลาในการคืนทุนเร็วที่สุด คือ 1.57 ปี และหากเปลี่ยนหลอดชนิด T8 เป็นหลอดชนิด T5 จะใช้เวลาในการคืนทุน 3.57 ปี ในขณะที่หากเปลี่ยนจากหลอดชนิด T5 เป็น หลอดชนิด LED จะใช้เวลาในการคืนทุน 3.03 ปี

เอกสารอ้างอิง

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2559. อัตราค่าไฟฟ้า. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://web.pea.co.th/Documents/Rate2012.pdf (20 ธันวาคม 2559).

กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. 2549. กำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549. น 1-11.

ประไพจิตต์ รัตนบุรี และ วรรณี สอนทอง. 2555. การตรวจวัดความเข้มแสงในห้องเรียน มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://dspace.nstru.ac.th:8080/dspace/handle/123456789/1520 (10 ตุลาคม 2559).

ภานุวัฒน์ จึงศรีพิษณุ และคณะ. 2545. ปริมาณความเข้มของแสงสว่างในห้องเรียนของโรงเรียนในสังกัดเทศบาลนครขอนแก่น. สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วิพัฒน์ เจริญศิริวัฒน์. 2555. ศึกษาความคุ้มค่าในการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ (T5) ขนาด 14 วัตต์ เปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ (T8) ขนาด 18 วัตต์ ในการรักษาทารกแรกเกิดที่มีปัญหาตัวเหลืองที่ไม่ได้เกิดจากภาวะเม็ดเลือดแดงแตกในโรงพยาบาลเลิดสิน. วารสารกุมารเวชศาสตร์. ตุลาคม-ธันวาคม. น. 287-295.

วิภาดา ศรีเจริญ และคณะ. 2550. การศึกษาระดับความเข้มของแสงสว่างในห้องเรียนโรงเรียนมัธยมศึกษาของรัฐบาล ตำบลบางโฉลง และตำบลบางพลี อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ. วิทยาศาสตรบัณฑิต อาชีวอนามัยและความปลอดภัย มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ สมุทรปราการ.

ศุภางค์ ปานพวงแก้ว, กรรณิการ์ ศรีสนใจ และสัณหวัช ไชยวงศ์. 2555. ความเข้มแสงสว่างของอาคารเรียนรวมของมหาวิทยาลัยพะเยา. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.learners.in.th/blogs/posts/520397 (12 มิถุนายน 2559).

อักษราภัค ศรีพิเชียร. มปป. การพัฒนาโปรแกรมอบรมเพื่อการจัดการแสงสว่างในห้องเรียนสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 กรณีศึกษา : โรงเรียน อบจ.เมืองภูเก็ต สังกัดองค์การบริหารส่วนจังหวัดภูเก็ต.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์เมื่อเริ่มติดตั้งและเมื่อผ่านการใช้งาน 3 ปี

ห้องเรียนบรรยาย	ความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์เมื่อเริ่มติดตั้ง (ลักซ์)	ความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์เมื่อผ่านการใช้งาน 3 ปี (ลักซ์)
ฉ104	557	485
ฉ109	646	432
ฉ110	618	393
ฉ201	548	483
ฉ202	400	387
ฉ203	358	362
ฉ204	660	502
ฉ205	559	363
ฉ206	778	450
ฉ208	654	409
ฉ301	533	450
ฉ302	487	381
ฉ303	608	426
ฉ304	736	462
ฉ305	391	385
ฉ306	331	311
ฉ307	492	367
ฉ308	404	384
ฉ309	608	440
ฉ310	579	422
ฉ311	518	413

ตารางผนวกที่ 2 ความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 T5 และ LED ที่มุมต่างๆ

มุมที่ตรวจวัด	ความเข้มแสงที่ตรวจวัดได้ (ลักซ์)		
	หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8	หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5	หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด LED
90	5.14	4.18	2.59
85	5.21	4.44	2.99
80	5.54	4.99	3.21
75	6.41	5.29	3.6
70	6.85	5.76	4.02
65	7.6	6.64	4.45
60	8.64	7.27	4.88
55	11.7	9.42	7.07
50	25.05	16.93	14.76
45	50.8	53.4	32.73
40	76.8	99.4	54.5
35	97.1	110	64.7
30	124.8	111.2	73
25	150.6	137.5	82.5
20	166	167	89.5
15	173.5	177.4	99
10	178.7	191.7	108.5
5	190.5	196.4	124.2
0	198.2	202.1	139.3
5	195.9	202.1	139.3
10	190.6	198	135.2
15	179.7	191.9	124.8
20	168.1	180.7	114.4

ตารางผนวกที่ 1 ความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์เมื่อเริ่มติดตั้งและเมื่อผ่านการใช้งาน 3 ปี (ต่อ)

มุมที่ตรวจวัด	ความเข้มแสงที่ตรวจวัดได้ (ลักซ์)		
	หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8	หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5	หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด LED
25	153	158.9	102.7
30	130.1	151.4	83.1
35	104.9	122.9	70.8
40	83	118	63
45	53.9	99.2	46.8
50	25.43	43	24.08
55	13.28	14.45	9.58
60	9.37	10.31	5.4
65	8.27	7.82	4.62
70	7.23	7.06	4.24
75	6.55	5.69	3.74
80	5.7	5.55	3.33
85	5.32	5.07	3.2
90	4.88	4.99	2.85