



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในหลอดไฟไดโอดเปล่งแสงโดยเทคนิคการจัดการ
ควบคุมทางความร้อน
Electrical Energy Reduction in Light Emitting Diode (LED) Bulb by Thermal
Control Management (TCM) Technique

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2555
จำนวน 100,000 บาท

หัวหน้าโครงการ	นาย นัฐพร ไชยญาติ
ที่ปรึกษาโครงการ	นาย วัชรวุฒิ คุณฤ
ผู้ร่วมโครงการ	นาย นักรบ กัดักกลีบ นางสาว ภัทธสุดา วงษ์จักร

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

5/12/2556

การลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในหลอดไฟไดโอดเปล่งแสงโดยเทคนิคการจัดการ
ควบคุมทางความร้อน

Electrical Energy Reduction in Light Emitting Diode (LED) Bulb by Thermal
Control Management (TCM) Technique

นัฐพร ไชยชาติ¹, นัฐวุฒิ คุชฎี¹, นักรบ กลัดกลีบ¹ และภัทรสุดา วงษ์จักร²

Nattaporn Chaiyat¹, Nattawud Dussadee¹, Nakrov Kladkleed¹ and Pattarasuda Wongjak²

¹ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

² ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการลดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟไดโอดเปล่งแสง โดยใช้เทคนิคการควบคุมทางความร้อน ผ่านวงจรไฟฟ้าควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่วงจรกำเนิดแสง (Thermal current management, TCM) อัตราการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟไดโอดเปล่งแสง ทดสอบภายใต้เงื่อนไขสภาวะการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในช่วง 8-21 V_{DC} โดยใช้โมดูลกำเนิดแสงแบบไดโอดขนาด 0.5 W และแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 150-240 V_{AC} โดยใช้หลอดไฟไดโอดเปล่งขนาด 19 W ตามลำดับ รวมทั้งทดสอบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยรอบของหลอดไฟในช่วง 30-84 °C โดยใช้หลอดไฟขนาด 50 W ให้ความร้อนแก่อากาศโดยรอบโมดูลกำเนิดแสงแบบไดโอด ผลการศึกษาพบว่า การควบคุมทางความร้อนจากกระแสไฟฟ้า สามารถรักษาปริมาณกระแสไฟฟ้าให้ค่อนข้างคงที่ได้ เมื่อมีการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าทั้งกระแสตรงและกระแสสลับ รวมทั้งเมื่ออุณหภูมิโดยรอบของหลอดไฟไดโอดเปล่งแสงสูงขึ้น โดยสามารถลดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟไดโอดเปล่งแสงได้ประมาณ 3.37% เมื่อเทียบกับหลอดไฟไดโอดเปล่งแสงแบบปกติ และสามารถลดได้ประมาณ 53% เมื่อเปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์

คำสำคัญ: การลดพลังงานไฟฟ้า หลอดไฟไดโอดเปล่งแสง การควบคุมทางความร้อนจากกระแสไฟฟ้า

Abstract

This paper studies a technique for reducing the electrical power consumption in a light emitting diode (LED) bulb by using the thermal current manage (TCM). For the initial conditions of the experimental study, the direct voltage at 8-21 VDC and the alternating current at 150-240 VAC are varied with a module of LED at capacity 0.5 W and the LED bulb at capacity 19 W, respectively. Moreover, the environmental temperature is also tested at 30-84 °C with the LED module to investigate the electrical power of the LED bulb by using an electrical heater at capacity 50 W. It could be seen that the TCM technique could be improved the LED efficiency. For the experimental results, increasing the direct voltage and the alternating voltage effects the electrical power consumption increased including of the high ambient temperature. The LED bulb with using the TCM circuit could be reduced the electrical power around 3.37% compared with the normal LED bulb and around 53% compared with the fluorescence bulb.

Keywords: Electrical Energy Reduction, Light Emitting Diode (LED), Thermal Control Management (TCM)

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัย เรื่อง การลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในหลอดไฟไดโอดเปล่งแสงโดยเทคนิคการจัดการควบคุมทางความร้อน (Electrical Energy Reduction in Light Emitting Diode (LED) Bulb by Thermal Control Management (TCM) Technique) ได้สำเร็จลุล่วง โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย จากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีงบประมาณ 2555 ผู้วิจัยขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนการดำเนินการวิจัยนี้จนเสร็จสิ้นสมบูรณ์

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ข
สารบัญรูปภาพ	ค
คำนำ	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	6
ผลการวิจัย	11
สรุปผลการวิจัย	52
เอกสารอ้างอิง	53
ภาคผนวก	56

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	คุณลักษณะ LED Module	7
ตารางที่ 2	คุณลักษณะ AC power supply	7
ตารางที่ 3	รายละเอียดอุปกรณ์สำหรับการวัดและเก็บข้อมูลต่าง ๆ	8
ตารางที่ 4	รายละเอียดอุปกรณ์การวัดและเก็บข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้า	9
ตารางที่ 5	รายละเอียดอุปกรณ์ในการวัดและเก็บข้อมูลค่าความสว่าง	10
ตารางที่ 6	ข้อมูลการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟ LED แบบติดตั้ง TCM และไม่ได้ติดตั้งเมื่อเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	13
ตารางที่ 7	การเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการต่อหลอดไฟในลักษณะต่างๆ	17
ตารางที่ 8	ข้อมูลการตรวจวัดองค์ประกอบด้านพลังงานไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อ	21
ตารางที่ 9	ค่าความแสงสว่างของพื้นที่ใช้งานโดยรวม	25
ตารางที่ 10	ค่าความแสงสว่างของพื้นที่ใช้งานและชั้นวางของ	25
ตารางที่ 11	สมบัติหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์จากผู้ประกอบการ	27
ตารางที่ 12	สมบัติหลอดไฟ LED ที่ติดตั้งวงจร TCM จากผู้ประกอบการ	28
ตารางที่ 13	ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าไฟฟ้าของระบบแสงสว่าง	29
ตารางที่ 14	ส่วนประกอบของการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์	33

สารบัญรูปภาพ

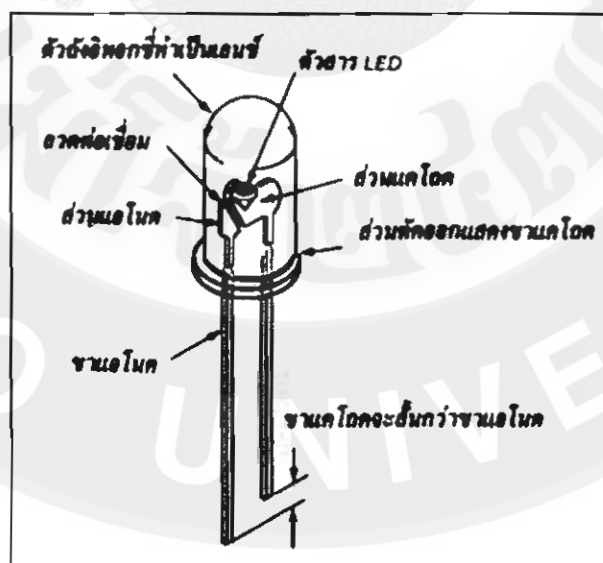
		หน้า
ภาพที่ 1	ส่วนประกอบของหลอดไฟ LED (Narendran, N et al., 2004)	1
ภาพที่ 2	แบบจำลองหลอดไฟ LED (Thermal management of high-power LEDs, 2013)	4
ภาพที่ 3	แบบจำลองทางความร้อนของหลอดไฟ LED (Thermal management of high-power LEDs, 2013)	4
ภาพที่ 4	แผงโมดูลวงจรกำเนิดแสง LED	7
ภาพที่ 5	ส่วนประกอบของหลอดไฟ LED ที่มีการติดตั้งวงจร TCM	11
ภาพที่ 6	การป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้แก่โมดูลวงจรกำเนิดแสง LED	12
ภาพที่ 7	การเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้าของโมดูลวงจรกำเนิดแสง LED แบบติดตั้ง TCM และไม่ได้ติดตั้งเมื่อเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	13
ภาพที่ 8	การเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟ LED แบบติดตั้ง TCM และไม่ได้ติดตั้งเมื่อเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	14
ภาพที่ 9	การทดสอบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยรอบที่มีผลต่อโมดูลกำเนิดแสงแบบ LED	15
ภาพที่ 10	การเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้าของหลอดไฟ LED ที่ติดตั้งวงจร TCM และไม่ได้ติดตั้ง เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยรอบ	16
ภาพที่ 11	แบบจำลองสามมิติภายในร้านสะดวกซื้อ 24 hr	18
ภาพที่ 12	จุดตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้า	20
ภาพที่ 13	การตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้า	21
ภาพที่ 14	การตรวจวัดค่าแสงสว่างโดย Lux meter	22
ภาพที่ 15	จุดตรวจวัดค่าความสว่างพื้นที่ใช้งานและชั้นแสดงสินค้า	23
ภาพที่ 16	จุดตรวจวัดค่าแสงสว่างพื้นที่ใช้งานโดยรวม	24
ภาพที่ 17	หลักการทำงานของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	32
ภาพที่ 18	ฐานยึดเสาไฟสำหรับติดตั้งหลอดไฟ LED	34
ภาพที่ 19	ขนาดของฐานเสาไฟถนน (หน่วย: cm)	35
ภาพที่ 20	เสาไฟสำหรับติดตั้งหลอดไฟ LED	35
ภาพที่ 21	ขนาดเสาไฟ	36

ภาพที่ 22	โคมไฟสำหรับใส่หลอดไฟ LED	36
ภาพที่ 23	หลุมนำสายไฟฟ้าจากเสาไฟเข้าสู่ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	37
ภาพที่ 24	ฐานวางและยึดระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	37
ภาพที่ 25	รูเสาไฟสำหรับต่อสายไฟ	38
ภาพที่ 26	ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	38
ภาพที่ 27	ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และเสาไฟถนน	39
ภาพที่ 28	เสาไฟที่ได้รับกระแสไฟฟ้าจากระบบผลิตเซลล์แสงอาทิตย์	39

คำนำ

หลอดไฟเป็นอุปกรณ์ให้แสงสว่างแก่มนุษย์มาเป็นเวลานาน ทำให้เกิดการปรับเปลี่ยนวิถีชีวิตของมนุษยชาติมากมาย และอาจเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ จนมาถึงปัจจุบัน ในปี ค.ศ. 1879 โทมัส แอลวา เอดิสัน สามารถคิดค้นไส้หลอดจากเส้นด้ายใยฝ้ายเผาให้เป็นถ่านที่สามารถใช้ได้เป็นเวลานานถึง 40 hr ในยุคนั้นจึงเป็นยุคแห่งการกำเนิดของหลอดไฟ ในยุคแรกหลอดไฟเป็นหลอดไฟดวงกลมที่ให้แสงสีเหลืองและพลังงานความร้อน มีข้อเสียคือ ไส้หลอดขาดง่าย อายุการใช้งานน้อย และกินไฟ จึงมีการคิดค้นและพัฒนาหลอดไฟชนิดต่างๆ ขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง เช่น หลอดไส้ หลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น เพื่อเพิ่มความสว่าง ยืดอายุการใช้งาน อนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม ภายหลังในศตวรรษที่ 21 หลอดไฟที่ได้รับความสนใจทั่วโลกในการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม คือ หลอดไฟไดโอดเปล่งแสง (Light emitting diode, LED)

Light emitting diode หรือ ไดโอดเปล่งแสง เรียกย่อ ๆ ว่า LED สามารถเปล่งแสงออกมาได้โดยแสงที่เปล่งออกมาประกอบด้วยการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลซึ่งต่างกับแสงธรรมดาที่ตาคนมองเห็น หลอดไฟ LED สามารถเปล่งแสงได้เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างก็ยิ่งดีกว่าหลอดไฟขนาดเล็กต่างๆ ไป ดังแสดงส่วนประกอบของหลอดไฟ LED ในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของหลอดไฟ LED (Narendran, N et al., 2004)

ข้อดีของหลอดไฟ LED นอกจากการประหยัดไฟฟ้าในระบบส่องสว่างโดยตรงแล้ว หลอดไฟ LED จะปลดปล่อยความร้อนแผ่ออกมาจากตัวหลอดน้อยมากจึงช่วยลดภาระการทำงานของ

ของเครื่องปรับอากาศโดยทางอ้อม ลดความสูญเสียของการกระจายแสงไปยังพื้นที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ เช่น เพดาน เนื่องจากหลอดไฟ LED จะกระจายออกมาเพียงด้านเดียวเท่านั้น นอกจากนี้ สิ่งที่สำคัญและประโยชน์ที่ควรคำนึงในการใช้หลอดไฟ LED มากที่สุด คือความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การผลิตด้วยวัสดุที่ปราศจากมลพิษ และการนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่ได้เกือบทั้งหมด

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เป็นสถานศึกษาที่ให้บริการในด้านการศึกษาดังนี้ มีการใช้ระบบแสงสว่างและระบบไฟฟ้าตลอด 24 hr ดังนั้นหากมีการนำอุปกรณ์ประหยัดพลังงานมาใช้ในระบบแสงสว่างจะทำให้ลดอัตราการพลังงานลงได้ค่อนข้างมาก (ประมาณ 40%) กอปรกับทางวิทยาลัยพลังงานทดแทน ต้องการติดตั้งระบบผลิตพลังงานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar cell) สำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายนอกอาคาร เมื่อนำหลอดไฟ LED มาทำงานร่วมกับระบบ Solar cell จะเป็นการประหยัดนำพลังงานสะอาด/พลังงานสีเขียว (Clean energy/Green energy) มีร่วมกับอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพด้านการส่องสว่าง ประหยัดพลังงานไฟฟ้า ประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า รวมทั้งยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Friendly environment) ส่งเสริมภาคลักษณะของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ต้องการพัฒนามหาวิทยาลัยสู่การเป็น Organic, Green and Eco University อีกด้วย

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบส่องสว่างและระบบไฟฟ้าจากหลอดไฟ LED
2. เพื่อศึกษาความคุ้มค่าทางทางเศรษฐศาสตร์ของการลงทุนและผลประโยชน์ที่เกิดขึ้น
3. เพื่อพัฒนาเทคนิคการควบคุมอุณหภูมิภายในหลอดไฟ LED เพื่อควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าและลดอัตราการใช้พลังงานของหลอดไฟ LED

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบแนวทางการจัดการความร้อนในหลอดไฟ LED
2. เป็นการส่งเสริมอนุรักษ์พลังงานในอาคาร
3. พัฒนางานวิจัยด้านพลังงานทดแทนและลดการใช้พลังงานในอุปกรณ์ไฟฟ้า
4. เผยแพร่ผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการ วารสาร และบทความทั่วไป เพื่อนำไปใช้ประโยชน์สำหรับผู้สนใจต่อไป
5. เกิดพระเกียรติพระอัจฉริยภาพของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว โดยขยายผลงานวิจัยตามแนวพระราชดำริในงานด้านพลังงานทดแทน

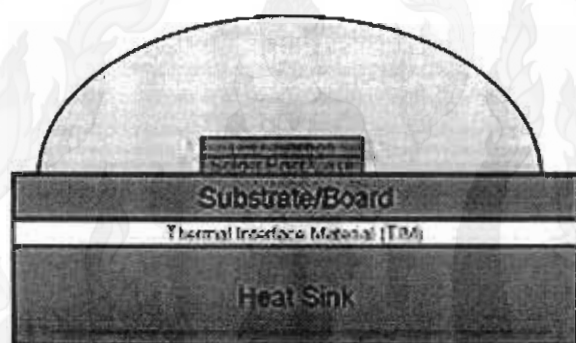
ขอบเขตโครงการวิจัย

1. ติดตั้งหลอดไฟ LED ร่วมกับระบบ Solar cell สำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายนอกอาคาร
จำนวน 3 ชุด บริเวณอาคารวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
2. หลอดไฟ LED ความยาว 1.2 m อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ในช่วงระหว่าง 15-25 W/Unit

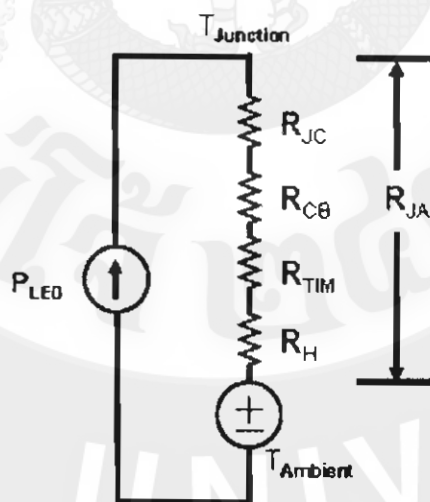
การตรวจเอกสาร

ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

ภาพที่ 2 แสดงแบบจำลองของหลอดไฟ LED ซึ่งประกอบไปด้วยตัวกำเนิดแสงที่เป็นสารกึ่งตัวนำ P-N Junction (LED junction) แผงโลหะนำความร้อนออกจาก Junction (Solder point) จากนั้นระบายความร้อนที่ได้รับมาผ่านบอร์ด (Substrate/Board) และ TIM (Thermal interface material) เพื่อถ่ายเทให้ถึงเวดล้อน (Heat sink) ต่อไป



ภาพที่ 2 แบบจำลองหลอดไฟ LED (Thermal management of high-power LEDs, 2013)



ภาพที่ 3 แบบจำลองทางความร้อนของหลอดไฟ LED (Thermal management of high-power LEDs, 2013)

ภาพที่ 3 แสดงแบบจำลองทางความร้อนของหลอดไฟ LED โดยให้ LED chip เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า ความต้านทานทางความร้อนเป็นตัวต้านทาน และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า ดังแสดงได้ดังสมการที่ 1 และ 2

จากกฎของโอห์ม (Ohm law)

$$V=IR \quad \dots(1)$$

จากรูปที่ 3 เปรียบเทียบกับสมการที่ 1 ได้ว่า

$$T_{Ambient} = P_{LED} R_{JA} \quad \dots(2)$$

จากสมการที่ 2 จะได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสูง ($T_{Ambient}$) จะส่งผลให้กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ LED สูงตามไปด้วย (P_{LED}) โดยกำหนดให้ความต้านทานทางความร้อน (R_{JA}) มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ ดังนั้นจะส่งผลต่อการระบายความร้อนออกจาก Junction ของ LED โดยตรง เนื่องจากระบายความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมได้น้อยขึ้น ความร้อนของ Junction สูงตามไปด้วย เป็นผลให้กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ LED สูงขึ้น

การรักษาอุณหภูมิของ P-N junction ให้มีค่าต่ำจะส่งผลให้การทำงานของหลอดไฟ LED มีประสิทธิภาพสูงตามไปด้วย ดังนั้นในการดึงความร้อนออกจาก P-N junction ซึ่งเป็นตัวกำเนิดความร้อนและนำออกด้านหลังของแผงวงจรเพื่อระบายสู่สิ่งแวดล้อม จึงถูกคิดค้น โดยอาศัยหลักการของการนำความร้อน การพาความร้อนและการแผ่รังสีเป็นหลัก รวมทั้งการนำวงจรอิเล็กทรอนิกส์ไปควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้า (Thermal current management, TCM) ที่จ่ายให้แก่ P-N junction ก็เป็นอีกหนึ่งวิธีที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างดี

การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

Ekpenyong Narendran และคณะ (2009) ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินอุณหภูมิของ Junction LED เทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง ผลที่ได้พบว่ามีความใกล้เคียงกัน Yimin Gu และคณะ (2007) ได้เสนองานวิจัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพความส่องสว่างและสเปกตรัมของหลอดไฟ LED กำลังสูงที่เปลี่ยนไปเมื่อใช้วิธีการหรี่หรือเร่งความสว่าง (Dimming methods) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความส่องสว่างของหลอดไฟ LED Chun-Jen Weng (2009) นำเสนอการจัดการความร้อนในหลอดไฟ LED โดยนำเสนอการคำนวณการถ่ายเทความร้อนออกจากหลอดโดยตัวระบายความร้อนภายนอกหลอด ผลที่ได้พบว่าสามารถลดความร้อนที่เกิดจากความต้านทานทางความร้อนจากการพาความร้อนได้ประมาณ 20-30% Lan Kim (2007) นำเสนอลักษณะการเกิดความร้อนของ LED arrays โดยการวัดอุณหภูมิ Junction และคำนวณหาความต้านทางความร้อนที่เกิดขึ้นกับ LED arrays ที่มีการระบายความร้อนด้วย Heat pipe ผลที่ได้พบว่าสามารถลดอุณหภูมิของ Junction จาก 87.6 °C ลดลงมาได้เป็น 63.3 °C ที่ความเร็วลมเดียวกัน

สาระสำคัญจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ซึ่งจากงานวิจัยต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นจะพบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่จะมุ่งไปในการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายอุณหภูมิที่เกิดขึ้นกับหลอดไฟ LED และในงานวิจัยที่ทำการปรับปรุงการถ่ายเทความร้อนออกจากหลอดไฟ LED โดยมากจะเน้นไปในการติดตั้งอุปกรณ์เสริมเพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในแบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น การนำความร้อน การพาความร้อน ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยนี้ที่เน้นการควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในหลอดไฟ LED ร่วมกัน เพื่อรักษาอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าให้คงที่ และป้องกันการเสียหายอันอาจจะเกิดจากการกระชากแรงดันไฟฟ้ากะทันหันอีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1: พัฒนาต้นแบบ TCM ในการควบคุมอุณหภูมิและความร้อน รวมทั้งประกอบต้นแบบ TCM เข้ากับหลอดไฟ LED

ขั้นตอนที่ 2: ทดสอบหลอดไฟ LED ที่ติดตั้ง TCM เปรียบเทียบกับหลอดไฟ LED ทั่วไปที่มีขายตามท้องตลาดเพื่อดูผลอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณทางไฟฟ้า โดยการทดสอบการควบคุมทางความร้อนแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่หลอดไฟ LED และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีผลต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าของหลอดไฟ LED

การทดลองเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้า

การศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณกระแสไฟฟ้าของหลอดไฟ LED จากผลการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้า แบ่งการทดสอบเป็น 2 ส่วนย่อย คือ การทดสอบกับชุดโมดูลวงจรกำเนิดแสง LED และทดสอบกับหลอดไฟ LED

การทดลองที่ 1 มีรายละเอียดการทดสอบ คือ นำแผงโมดูลวงจรกำเนิดแสง LED ขนาด 0.5 W ดังแสดงในภาพที่ 4 มาทดสอบป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 8-21 V_{DC} (แรงดันปกติอยู่ที่ 12 V_{DC}) โดยต่อเข้ากับชุดทดสอบที่ได้ทำการออกแบบและสร้าง ที่สามารถปรับระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้

การทดลองที่ 2 มีรายละเอียดการทดสอบ คือ นำหลอดไฟ LED ที่ประกอบแล้วเสร็จขนาด 19 W ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1 นำมาทดสอบเปรียบเทียบผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับไฟฟ้ากระแสสลับในช่วง 150-240 V_{AC} ระหว่างหลอดไฟ LED ที่ติดตั้งวงจร TCM และไม่มีการติดตั้ง โดยการทดลองนี้ใช้ AC power supply ปรับระดับแรงดันไฟฟ้าพร้อมทั้งบันทึกข้อมูลทางไฟฟ้า ซึ่งเครื่องมือดังกล่าวแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2



ภาพที่ 4 แผงโมดูลวงจรกำเนิดแสง LED

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของ LED Module

Specification of LED Module	Value
Input (V_{AC})	100-240
Frequency (Hz)	50-60
Power (W)	19
Length (m)	1.2
Life Span (hr)	40,000-50,000
Color Temperature (K)	4,000-6,000

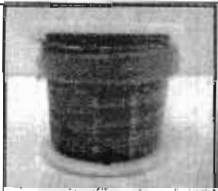
ตารางที่ 2 คุณสมบัติของ AC power supply

AC Power Supply	
Output voltage 1-300 V	
Maximum output current 5 A	
Single output	
Maximum output power 500 VA	
Voltage & frequency converter	
Power metering	
Input: 85-250 V _{AC} , 47-63 Hz	

การทดลองเปลี่ยนอุณหภูมิ

การทดสอบผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีผลต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าในของหลอดไฟ LED มีรายละเอียดการทดสอบ คือ ติดตรวจสอบความร้อนไฟฟ้าขนาด 50 W ไว้กับชุดทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4 (ข) และนำแผ่นอะคริลิกใสมาครอบชุดโมดูลวงจรกำเนิดแสง LED ที่ติดตั้งวงจร TCM และไมโครตดั่ง พร้อมทั้งติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิดังแสดงในตารางที่ 3 โดยชุดทดสอบดังกล่าวจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงคงที่คง 12 V_{DC} และทดสอบในช่วงอุณหภูมิของอากาศ $30\text{--}84\text{ }^{\circ}\text{C}$

ตารางที่ 3 รายละเอียดอุปกรณ์สำหรับการวัดและเก็บข้อมูลต่าง ๆ

เครื่องมือ	คุณลักษณะ	รูป
เครื่องเก็บข้อมูล (Data logger)	เครื่องบันทึกข้อมูลทำหน้าที่อ่านอุณหภูมิ โดยใช้ร่วมกับสายวัดเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ผลิตจากบริษัท TASK ค่าความถูกต้อง $\pm$ $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$	
สายวัดอุณหภูมิ (Thermo couple)	สายวัดอุณหภูมิหรือเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ผลิตโดยบริษัท OMEGA ใช้งานร่วมกับ เครื่องบันทึกข้อมูล	

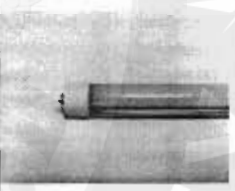
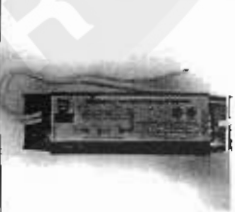
ขั้นตอนที่ 3: ทดสอบหลอดไฟ LED ที่ติดตั้ง TCM เปรียบเทียบกับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ที่มีการแผ่รังสีความร้อนออกจากหลอด โดยวิธีการต่อหลอดไฟแบบอนุกรมและขนาน รวมทั้งนำหลอดไฟทั้งสองไปติดตั้งในสภาวะการทำงานจริง

ร้านสะดวกซื้อที่เปิดบริการ 24 hr คือ สถานที่ติดตั้งหลอดไฟทั้งสองประเภท โดยการเก็บข้อมูลประกอบด้วย 2 ข้อมูลหลัก คือ ค่าพลังงานไฟฟ้า (Electrical power) และค่าความสว่าง (Illumination)

การตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้า (Electrical power)

การตรวจวัดปริมาณอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า มีการตรวจวัดองค์ประกอบต่างๆ 3 ค่า คือ ค่าตัวประกอบทางไฟฟ้า (Power factor) กระแสไฟฟ้า (Current) และแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รายละเอียดอุปกรณ์การวัดและเก็บข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้า

อุปกรณ์/เครื่องมือ	คุณลักษณะ	รูป
เครื่องวิเคราะห์คุณภาพพลังงานไฟฟ้า	LUTRON POWER ANALYZER DW-6091 (Power factor Range 0.01-1.00: Resolution 0.01)	
อุปกรณ์วัดปริมาณทางไฟฟ้า (Digital Clamp MultiMate)	UNI-T Model UT201 (AC Voltage Range 2-200 V: Accuracy $\pm 1.2\%$) (AC Current Range 2-400 A: Accuracy $\pm 3\%$)	
หลอดไฟ LED	LED 16 W	
หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์	TLD 32 W/865 UNP	
บัลลาสต์	บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ DYNO EBX -3201 32 W	

การตรวจวัดค่าแสงสว่าง (Illumination)

การวัดค่าแสงสว่างจะตรวจวัดบริเวณพื้นที่แสดงสินค้าและพื้นที่เคาเตอร์ชำระค่าสินค้าและบริการ โดยทำการตรวจวัดเปรียบเทียบระหว่างระบบเดิมที่ใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์และระบบใหม่ที่ใช้หลอดไฟ LED โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 รายละเอียดอุปกรณ์ในการวัดและเก็บข้อมูลค่าความสว่าง

อุปกรณ์/เครื่องมือ	คุณลักษณะ	รูป
เครื่องวัดแสงสว่าง (Lux meter)	LUTRON LIGHT METER PLX-11 (Lux Range 0-20,000 Lux: Accuracy $\pm 5\%$)	

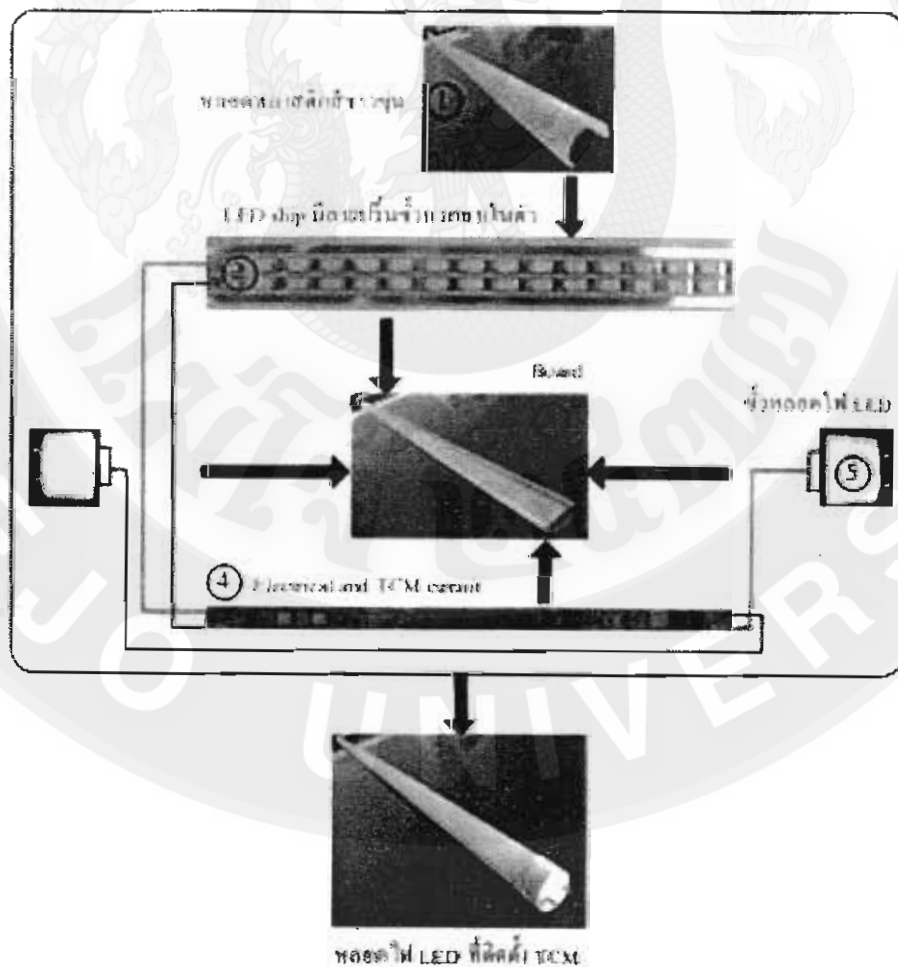
ขั้นตอนที่ 4: นำหลอดไฟ LED ไปติดตั้งกับระบบแสงสว่างภายนอกอาคารจำนวน 3 ชุด เพื่อเป็นต้นแบบ รวมทั้งเก็บข้อมูลอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 5: จัดทำผลงานทางวิชาการเพื่อนำเสนอต่อการประชุมวิชาการ 1 บทความ

ผลการวิจัย

พัฒนาต้นแบบ TCM ในการควบคุมอุณหภูมิและความร้อน

การนำวงจรอิเล็กทรอนิกส์ไปควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้า (Thermal current management, TCM) คือ ควบคุมการจ่ายปริมาณกระแสไฟฟ้าให้แก่หลอดไฟให้คงที่ เช่น เมื่ออุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมีค่าสูง ส่งผลให้การระบายความร้อนของหลอดไฟ LED ไม่ดีและทำให้ P-N junction มีอุณหภูมิสูง ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ต้องจ่ายให้แก่วงจรสูงตามไปด้วย รวมทั้งกรณีที่มีการเปิด-ปิดสวิตช์หรือเมื่อเกิดฟ้าผ่า จะทำให้มีการกระชากแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นอย่างฉับพลัน และจากกฎของโอห์ม ($V = IR$) เมื่อแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้น ทำให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าสูงตามไปด้วย และส่งผลต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของหลอดไฟ LED อาจเกิดความเสียหาย โดยแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของ TCM จะต่อรวมกับแผงวงจรไฟฟ้าของหลอดไฟ LED ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ส่วนประกอบของหลอดไฟ LED ที่มีการติดตั้งวงจร TCM

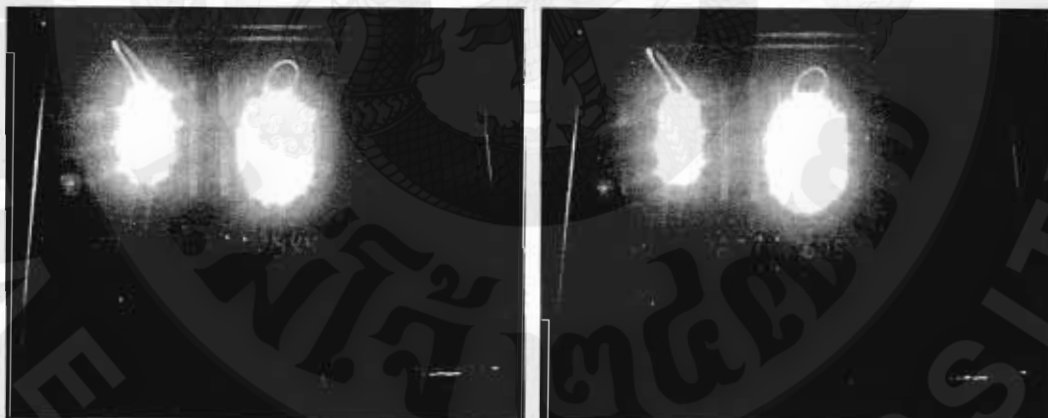
ทดสอบหลอดไฟ LED ที่ติดตั้ง TCM เปรียบเทียบกับหลอดไฟ LED ทั่วไป

การทดสอบนำหลอดไฟ LED ที่ติดตั้งแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ TCM เปรียบเทียบกับหลอดไฟ LED ที่ไม่มีการติดตั้งวงจร ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป มีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

การทดลองเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้า

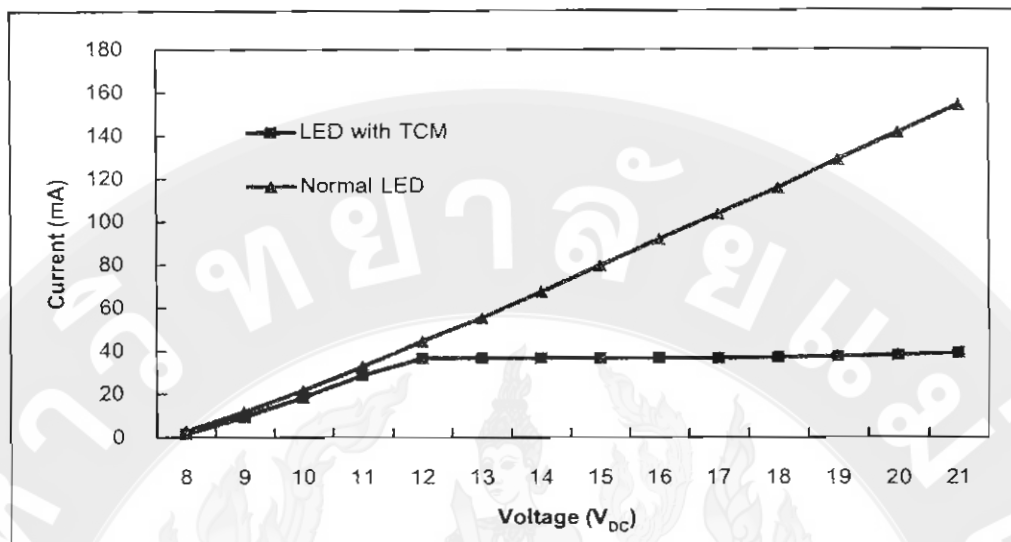
ภาพที่ 6 แสดงขั้นตอนการทดลองการเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของชุด โมดูลวงจรกำเนิดแสง LED ผลการทดสอบพบว่า เมื่อระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้โมดูลของ LED แบบทั่วไปมีปริมาณกระแสไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น แต่ในขณะที่โมดูลของ LED ที่ติดตั้งวงจร TCM มีปริมาณกระแสไฟฟ้าค่อนข้างคงที่ ดังแสดงผลการทดสอบในภาพที่ 7

จากภาพที่ 7 ผลที่ได้สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อมีการปิด/เปิดสวิตช์ไฟบ่อยๆ หรือมีฟ้าผ่า จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่หลอดไฟ LED เพิ่มสูงขึ้นอย่างฉับพลัน ทำให้มีปริมาณกระแสไฟฟ้าสูงขึ้นตามไปด้วย (จากกฎของโอห์ม $V = IR$) ส่งผลต่อแผงวงจรบางจุดเกิดการลัดวงจร (ช็อต) และทำให้แผง LED บางจุดไม่สามารถกำเนิดแสงได้ เป็นที่มาของหลอดไฟกระจายแสงสว่างได้ไม่ทั่วหลอด



ก) ผลการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 V_{DC} ข) ผลการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 14 V_{DC}

ภาพที่ 6 การป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้แก่โมดูลวงจรกำเนิดแสง LED



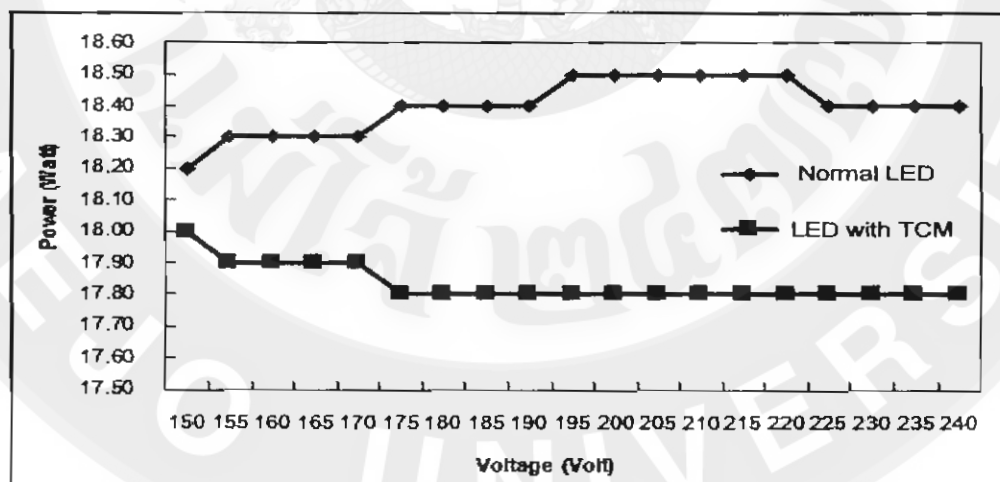
ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้าของโมดูลวงจรกำเนิดแสง LED แบบติดตั้ง TCM และไม่ติดตั้งเมื่อเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

ตารางที่ 6 และ ภาพที่ 8 แสดงผลการเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟ LED ขนาด 19 W ที่ติดตั้งวงจร TCM และไม่ติดตั้ง โดยเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้แก่หลอดไฟ LED ผลที่ได้พบว่าสอดคล้องกับการทดลองที่ผ่านมา คือ เมื่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสูงขึ้น หลอดไฟ LED ที่ไม่ติดตั้งวงจร TCM จะแปลงค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรงสูงตามไปด้วย ทำให้หลอดไฟ LED ใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูงขึ้น รวมถึงมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ในขณะที่หลอดไฟ LED ที่ติดตั้งวงจร TCM สามารถรักษาแรงดันไฟฟ้าได้ค่อนข้างคงที่ และทำให้อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าคงที่ตามไปด้วย

ตารางที่ 6 ข้อมูลการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟ LED แบบติดตั้ง TCM และไม่ติดตั้งเมื่อเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

แรงดันไฟฟ้า (V)	หลอดไฟ LED แบบไม่ติดตั้ง TCM			หลอดไฟ LED แบบติดตั้ง TCM		
	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบ ทางไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า (W)	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบ ทางไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า (W)
150	0.12	1.00	18.2	0.14	0.86	18.0
155	0.12	0.98	18.3	0.13	0.89	17.9
160	0.12	0.95	18.3	0.13	0.86	17.9
165	0.11	1.00	18.3	0.13	0.83	17.9

แรงดันไฟฟ้า (V)	หลอดไฟ LED แบบไม่ติดตั้ง TCM			หลอดไฟ LED แบบติดตั้ง TCM		
	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบ ทางไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า (W)	กระแสไฟฟ้า (A)	ตัวประกอบ ทางไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า (W)
170	0.11	0.98	18.3	0.12	0.88	17.9
175	0.11	0.96	18.4	0.12	0.85	17.8
180	0.10	1.00	18.4	0.12	0.82	17.8
185	0.10	0.99	18.4	0.11	0.87	17.8
190	0.10	0.97	18.4	0.11	0.85	17.8
195	0.10	0.95	18.5	0.11	0.83	17.8
200	0.10	0.93	18.5	0.11	0.81	17.8
205	0.09	1.00	18.5	0.10	0.87	17.8
210	0.09	0.98	18.5	0.10	0.85	17.8
215	0.09	0.96	18.5	0.10	0.83	17.8
220	0.09	0.93	18.5	0.10	0.81	17.8
225	0.09	0.91	18.4	0.09	0.88	17.8
230	0.08	1.00	18.4	0.09	0.86	17.8
235	0.08	0.98	18.4	0.09	0.84	17.8



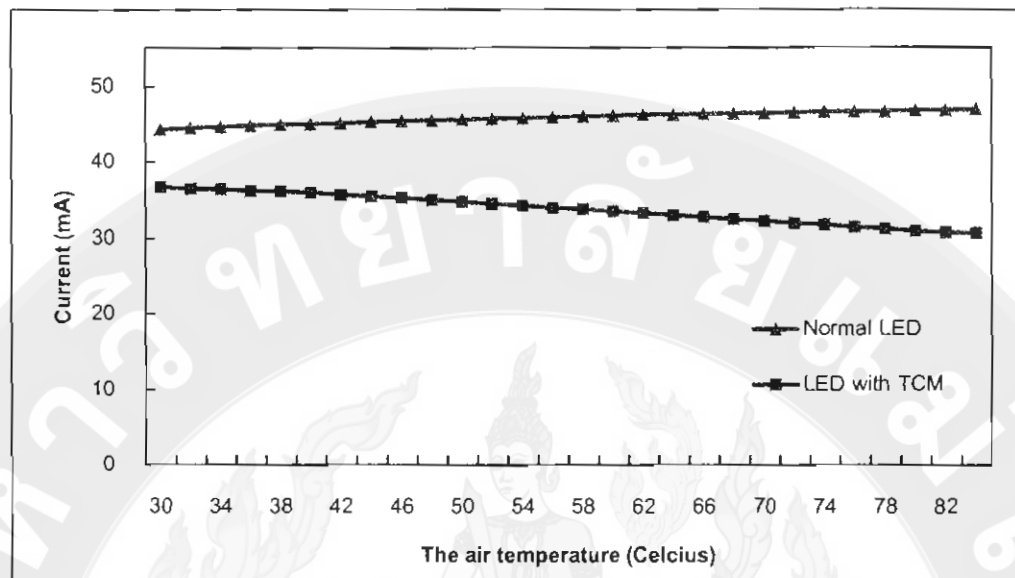
ภาพที่ 8 การเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟ LED แบบติดตั้ง TCM และไม่ติดตั้งเมื่อเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

ภาพที่ 9 แสดงการทดสอบเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยรอบของโมดูลวงจรกำเนิดแสง LED โดยผลที่ได้พบว่า เมื่ออุณหภูมิโดยรอบของโมดูลวงจรกำเนิดแสง LED สูงขึ้น ส่งผลทำให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าของโมดูลวงจรกำเนิดแสง LED ที่ไม่ติดตั้งวงจร TCM เพิ่มขึ้น รวมทั้งอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงตามไปด้วย ในขณะที่โมดูลกำเนิดแสง LED ที่ติดตั้ง TCM มีปริมาณกระแสไฟฟ้าค่อนข้างคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่ากรณีไม่ติดตั้ง TCM ประมาณ 3.37% อีกด้วย ดังแสดงในภาพที่ 10

ทั้งนี้การนำหลอดไฟ LED ไปใช้งานเพื่อลดอัตราการใช้พลังงานของอาคารนั้น มักเลือกติดตั้งในระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่มีการใช้งานต่อเนื่อง 24 hr เพื่อให้มีระยะเวลาการคืนทุนที่เร็วขึ้น เนื่องจากหลอดไฟ LED มีราคาค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับหลอดไฟประเภทอื่น (หลอด 1.2 m 19 W ราคาหลอดละ 1,200 Bath, บริษัท ทีซีเอส อินโนเวชั่น อินเทลลิเจนซ์ จำกัด) ทำให้เกิดความร้อนสะสมที่หลอดไฟ LED ค่อนข้างสูง รวมทั้งประเทศไทยเป็นเมืองร้อน ผลของอุณหภูมิที่สูงขึ้นของหลอดไฟ LED จะส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟสูงตามไปด้วย ซึ่งที่ผ่านมาประเด็นดังกล่าวถึงละเอียดและไม่เป็นที่สนใจของนักวิจัยในการศึกษา ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า ผลของการเพิ่มอุณหภูมิมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า และแนวทางการปรับปรุงของงานวิจัยนี้ คือ การควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าให้คงที่



ภาพที่ 9 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยรอบที่มีผลต่อโมดูลกำเนิดแสงแบบ LED



ภาพที่ 10 การเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้าของหลอดไฟ LED ที่ติดตั้งวงจร TCM และไม่ติดตั้ง เมื่อเปลี่ยนแสงอุณหภูมิโดยรอบ

ทดสอบหลอดไฟ LED ที่ติดตั้ง TCM เปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์

นอกจากนี้งานวิจัยยังได้ทำการศึกษาผลของการต่อหลอดไฟในลักษณะต่างๆ โดยนำหลอดไฟ LED ขนาด 18 W มาเปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 32 W และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ 5 W ที่มีการแผ่รังสีความร้อนออกจากหลอด ซึ่งส่งผลโดยตรงต่ออุณหภูมิของหลอดไฟ ดังนั้นเพื่อหาผลกระทบต่ออัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าและหาแนวทางการนำหลอดไฟ LED ไปใช้ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้อย่างแท้จริง งานวิจัยนี้จึงทำการทดสอบการต่อหลอดไฟ 3 รูปแบบ คือ ต่อแบบหลอดเดี่ยว นำหลอดไฟ 5 หลอดมาต่ออนุกรมและต่อแบบขนาน โดยผลที่ได้แสดงในตารางที่ 7

ผลการศึกษาที่ได้พบว่า หลอดฟลูออเรสเซนต์มีการแผ่รังสีความร้อนออกมาจากหลอดไฟพร้อมกับการส่องสว่าง โดยเมื่อนำหลอดไฟมาต่อกันแบบอนุกรม ซึ่งเป็นลักษณะการต่อหลอดไฟโดยทั่วไปที่ใช้กันในอาคาร ผลที่ได้พบว่า อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟ LED ที่ติดตั้ง TCM สามารถประหยัดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นประมาณ 53.44% หรือ 88.59 W เปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ 190.26 W ในขณะที่การต่อแบบขนานสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าประมาณ 54.60% หรือ 87.10 W เปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ 191.84 W เนื่องจากหลอดไฟได้รับผลจากการแผ่รังสีค่อนข้างสูง ทำให้อุณหภูมิอากาศโดยรอบมีค่าสูงกว่าการต่อแบบอนุกรม

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการต่อหลอดไฟในลักษณะต่างๆ

หลอดไฟ	จำนวนหลอด	ลักษณะการต่อ	Power factor	Voltage	Current	Electrical power
			(-)	(V)	(A)	(W)
Fluorescent	1	-	1.00	227.11	0.16	36.33
LED	1	-	1.00	232.25	0.07	17.32
Saving (%)						52.31
Fluorescent	5	อนุกรม	0.92	229.47	0.90	190.26
LED	5	อนุกรม	0.89	230.56	0.43	88.59
Saving (%)						53.44
Fluorescent	5	ขนาน	0.98	233.42	0.84	191.84
LED	5	ขนาน	0.89	229.82	0.43	87.10
Saving (%)						54.60

เพื่อยืนยันผลการประหยัดของหลอดไฟ LED ในสภาวะการใช้งานจริง งานวิจัยนี้ได้ทำการติดตั้งหลอดไฟ LED ที่ติดตั้งวงจร TCM ในร้านสะดวกซื้อ โดยร้านค้าดังกล่าวมีรายละเอียดข้อมูลระบบส่องสว่างของร้านค้าสะดวกซื้อดังนี้

- ข้อมูลทั่วไปของสถานประกอบการ

สถานที่ตั้ง

จ.เชียงใหม่

- ข้อมูลทั่วไปของร้านสะดวกซื้อ

พื้นที่การใช้งาน

72.5

m²

ความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดาน

2.8

m

- ข้อมูลระบบแสงสว่าง

จำนวนชุดหลอดไฟ

44

ชุด

หลอดไฟขนาด 1.20 m

42

ชุด

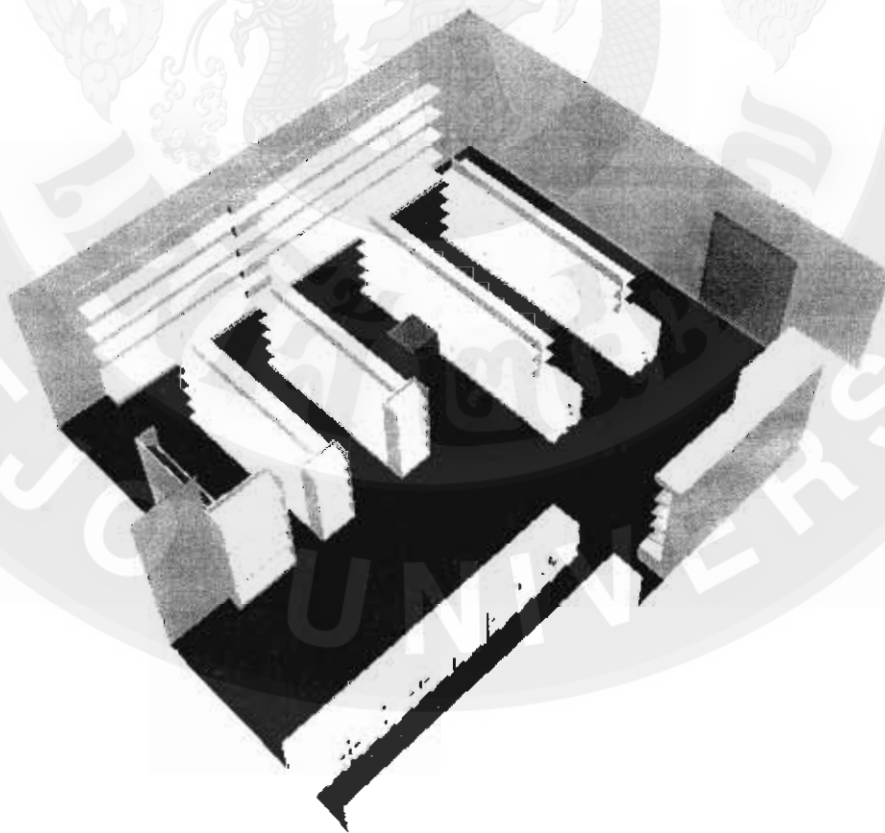
หลอดไฟขนาด 0.60 m

2

ชุด

แบบจำลองแสงผังของร้านสะดวกซื้อ

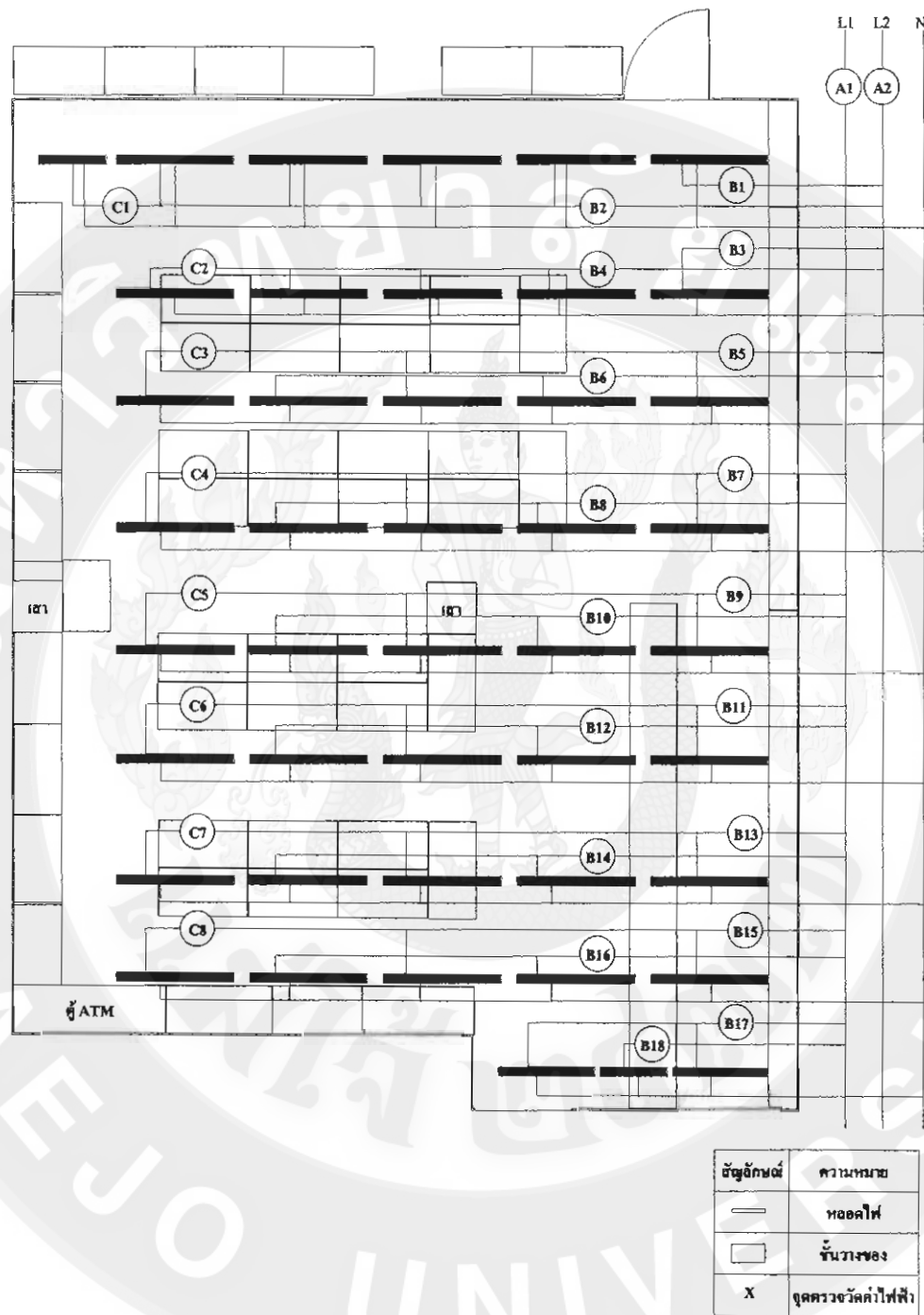
แสดงดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 แบบจำลองสามมิติภายในร้านสะดวกซื้อ 24 hr

ระบบแสงสว่างของร้านสะดวกซื้อ 24 hr เดิมมีการใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ขนาด 32 W ความยาว 120 cm 42 หลอด และหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ขนาด 16 W ความยาว 60 cm จำนวน 2 หลอด ในการเก็บข้อมูลและตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้า ทำการตรวจวัดเปรียบเทียบระหว่างการใช้ไฟระบบเดิมที่มีการหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์และระบบใหม่ที่มีการใช้หลอด LED โดยกำหนดจุดที่ทำกรตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้า และค่ากระแสไฟฟ้า ยึดตามการวางตัวของหลอดไฟฟ้าและแนวสายไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 12 และขั้นตอนการตรวจวัดมีดังต่อไปนี้

- 1) ถอดหลอดไฟ (หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่มีการติดตั้งอยู่เดิม) และวางครอบสายไฟออกจากชุดหลอดไฟ ตามจุดตรวจวัดที่กำหนดในภาพที่ 12
- 2) แยกสายไฟที่จะทำการตรวจวัด โดยสายที่ตรวจวัดเป็นสายนำกระแสไฟฟ้า (line)
- 3) บันทึกข้อมูลค่าแรงดันไฟฟ้า และค่ากระแสไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 13
- 4) เปลี่ยนหลอดไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบเป็นหลอด LED พร้อมทั้งแก้ไขระบบการเดินสายไฟ
- 5) ทำการเก็บข้อมูลค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้า ของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ดังแสดงผลในตารางที่ 8 (ข้อมูลรายละเอียดที่ได้จากการตรวจวัดแสดงในภาคผนวก ก)



หมายเหตุ : หลอดไฟขนาด (120 cm) จำนวน 42 หลอด หลอดไฟขนาด (60 cm) จำนวน 2 หลอด

ภาพที่ 12 จุดตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้า



ก) การตรวจวัดค่าปริมาณแรงดันไฟฟ้า ข) การตรวจวัดค่าปริมาณกระแสไฟฟ้า

ภาพที่ 13 การตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ 8 ข้อมูลการตรวจวัดองค์ประกอบด้านพลังงานไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อ

ชนิดหลอด	ตัวประกอบกำลังทางไฟฟ้า (-)	กำลังไฟฟ้า (W)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)
ฟลูออเรสเซนต์	0.66	38.61	234.28	0.25
LED ที่ติดตั้งวงจร TCM	1.00	21.06	234.43	0.09

การวัดค่าแสงสว่างจะตรวจวัดบริเวณพื้นที่แสดงสินค้าและพื้นที่เคาน์เตอร์ชำระค่าสินค้าและบริการ การเก็บข้อมูลค่าแสงสว่างแบ่งออกเป็นสอง 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 คือ ชั้นแสดงสินค้าและเคาน์เตอร์ชำระเงิน ทำการตรวจวัดค่าแสงสว่างที่ระดับความสูงชั้นบนสุด (1.25 m) ชั้นกลาง (0.75 m) และชั้นล่างสุด (0.30 m) โดยวิธีการวัดค่าความสว่าง ณ จุดต่างๆ ที่ทำการตรวจวัดแสดงดังภาพที่ 14 และภาพที่ 15 ตามลำดับ

ส่วนที่ 2 คือ พื้นที่ใช้งานโดยรวม ทำการตรวจวัดค่าแสงสว่างที่ระดับความสูง 1.00 m ดังแสดงจุดที่ทำการตรวจวัดในภาพที่ 16



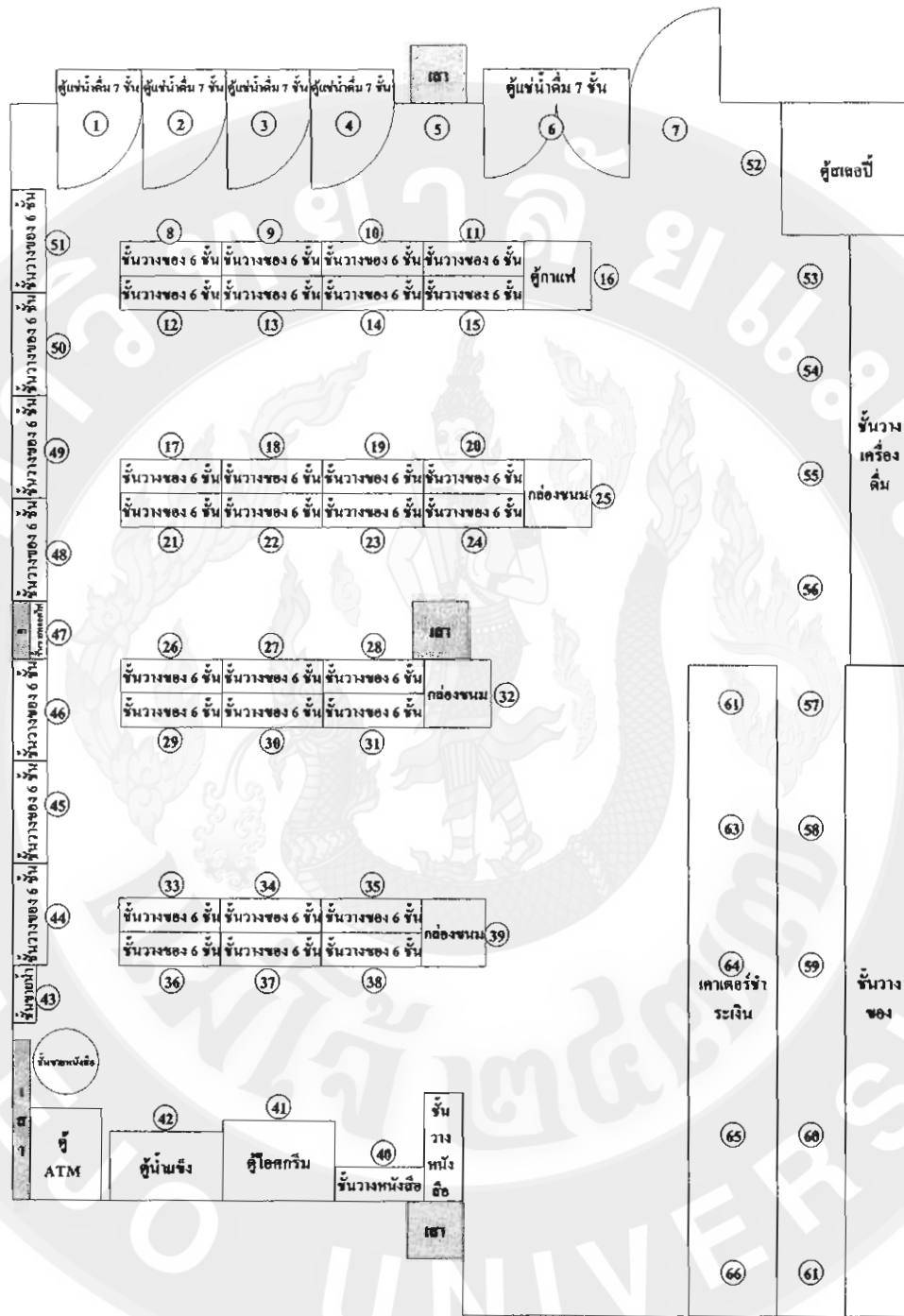
ก) ระดับ 1.25 m

ข) ระดับ 0.75 m



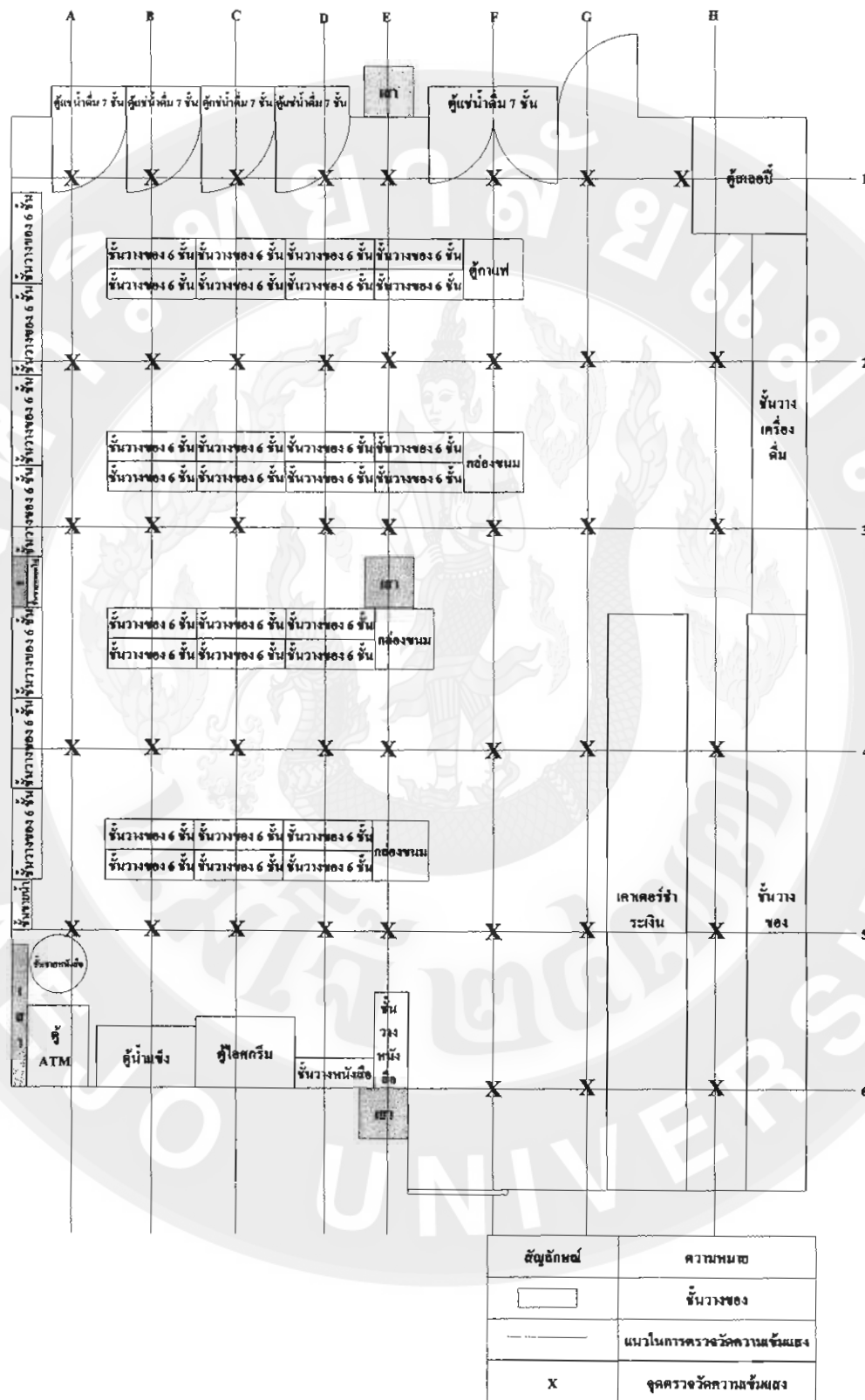
ค) ระดับ 0.30 m

ภาพที่ 14 การตรวจวัดค่าแสงสว่างโดย Lux meter



สัญลักษณ์	ความหมาย
	ชั้นวางของ
	จุดวัดความเข้มแสง

ภาพที่ 15 จุดตรวจวัดค่าความสว่างพื้นที่ใช้งานและชั้นแสดงสินค้า



ภาพที่ 16 จุดตรวจวัดค่าแสงสว่างพื้นที่ใช้งานโดยรวม

การส่องสว่างร้านค้าหรือศูนย์การค้าใช้ไฟต้องการแสงสว่างปริมาณมาก มีวัตถุประสงค์ คือ ต้องการให้แสงสว่างเพื่อดึงดูดลูกค้าให้เข้ามาในร้าน แสดงสินค้าภายในร้าน และส่องสว่างบริเวณ จุดขายในการชำระเงิน ซึ่งข้อมูลที่ได้จากตรวจวัดค่าไฟฟ้าของระบบแสงสว่างของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์และหลอดไฟ LED แสดงในตารางที่ 9 พบว่า ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยต่อพื้นที่มีค่า 15.45 W/m² และ 10.73 W/m² ตามลำดับ ซึ่งไม่เกินที่กฎหมายกำหนดไว้ สำหรับการใช้ไฟฟ้าส่องสว่างภายใน อาคาร ซึ่งต้องมีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด ไม่เกิน 18 W/m² (คณะกรรมการนโยบายพลังงาน แห่งชาติ กระทรวงพลังงาน, 2552)

ตารางที่ 9 ค่าความส่องสว่างของพื้นที่ใช้งาน โดยรวม

ช่วงเวลา	ค่าความส่องสว่าง (Lux)	
	หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์	หลอดไฟ LED
กลางวัน	959.63	765.00
กลางคืน	937.72	734.91
เฉลี่ย	948.67	749.95

การตรวจวัดค่าความส่องสว่างของพื้นที่ใช้งานและชั้นวางของของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ และหลอดไฟ LED ของร้านสะดวกซื้อ 24 hr สามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 10 พบว่า หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์และหลอดไฟ LED มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของชั้นล่างสุดเท่ากับ 447.61 Lux และ 368.16 Lux ตามลำดับ ซึ่งมีค่าผ่านระดับความสว่างเบื้องต้นที่ IES กำหนดไว้ว่า ร้านค้า ธรรมดา ควรมีระดับความสว่างต่ำสุด 300 Lux (ชาญศักดิ์, 2550) โดยข้อมูลรายละเอียดการตรวจวัด แสดงในภาคผนวก ก

ตารางที่ 10 ค่าความส่องสว่างของพื้นที่ใช้งานและชั้นวางของ

รายละเอียด	ค่าความส่องสว่าง (Lux)					
	หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์			หลอดไฟ LED		
	กลางวัน	กลางคืน	เฉลี่ย	กลางวัน	กลางคืน	เฉลี่ย
ชั้นบน (1.25 เมตร)	850.33	854.70	852.52	667.44	676.44	672.04
ชั้นกลาง (0.75 เมตร)	582.83	594.68	588.76	471.71	475.48	473.60
ชั้นล่าง (0.30 เมตร)	435.26	459.97	447.61	363.94	372.38	368.16

จากข้อมูลการตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้าและคุณสมบัติของหลอดไฟจากผู้ผลิตดังแสดงในตารางที่ 11 ถึงตารางที่ 12 เมื่อนำมาวิเคราะห์ผลด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่า เมื่อติดตั้งระบบส่องสว่างใหม่โดยใช้หลอดไฟ LED ที่ติดตั้งวงจร TCM เปรียบเทียบกับระบบส่องสว่างแบบเดิม (หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์) สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าเป็นเงิน 7,433.06 Baht/y โดยการเปลี่ยนระบบไฟฟ้าส่องสว่างมาเป็นหลอดไฟ LED ต้องใช้เงินลงทุนเพิ่มขึ้น 4,468 Baht แต่สามารถคืนทุนได้ที่ 0.6 y ดังแสดงรายละเอียดการคำนวณในตารางที่ 13

ตารางที่ 11 สมบัติหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์จากผู้ประกอบการ

รายการ	ระบบส่องสว่างเดิม หลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ ^[1]	
	ขนาด 1.20 เมตร	ขนาด 0.60 เมตร
รุ่น	Philips Lifemax Super 80 TLD 32W/865 UNP	Philips Lifemax Super 80 TLD 18W/865 UNP
ขั้วหลอด	G13	G13
สี	Cool - Daylight	Cool - Daylight
อุณหภูมิสี (องศาเคลวิน)	6,500	6,500
ดัชนีความถูกต้องของสี, Ra	80	80
ความสว่าง (ลูเมน)	3,070	1,275
แรงดันกระแสไฟฟ้า (โวลต์)	103	59
ความถี่ของกระแสไฟฟ้า (เฮิรตซ์)	50-60	
การใช้พลังงาน (วัตต์ต่อหลอด)	32	18
ประสิทธิภาพ (ลูเมนต่อวัตต์)	95	71
อายุการใช้งาน	15,000	15,000
วัสดุ	Silicon	Silicon
ขนาด (มิลลิเมตร)	D 28 x 1213.6	D 28 x 604
ราคา (บาท)	79	65
อุปกรณ์เสริม	บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ DYNO EBX -3201	
การใช้พลังงาน (วัตต์ต่อชุด)	5	
ราคา (บาท) ^[3]	380	
อายุการใช้งาน (ปี) ^[3]	5	

แหล่งที่มา: [1] สมบัติหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ (Koninklijke Philips Electronics, 2555)

[2] ราคาหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ บัลลาสต์ (บริษัท ซี.อาร์.อินเตอร์เม็กซ์ จำกัด, 2555)

[3] บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2552)

ตารางที่ 12 สมบัติหลอดไฟ LED ที่ติดตั้งวงจร TCM จากผู้ประกอบการ

รายการ	ระบบส่องสว่างใหม่ (หลอดไฟฟ้า LED) ^[2]	
	ขนาด 1.20 เมตร	ขนาด 0.60 เมตร
รุ่น	หลอดไฟฟ้า LED	หลอดไฟฟ้า LED
ขั้วหลอด	G13	G13
สี	Cool - White	Cool - White
อุณหภูมิสี (องศาเคลวิน)	4,500-6,500	
ดัชนีความถูกต้องของสี, Ra	70	70
ความสว่าง (ลูเมน)	1,600-1,840	
แรงดันกระแสไฟฟ้า (โวลท์)	185-265	
ความถี่ของกระแสไฟฟ้า (เฮิรตซ์)	50-60	
การใช้พลังงาน (วัตต์ต่อหลอด)	16	8
ประสิทธิภาพ (ลูเมนต่อวัตต์)	100-115	100-115
อายุการใช้งาน	50,000	50,000
วัสดุ	Polycarbonate: PC	Polycarbonate: PC
ขนาด (มิลลิเมตร)	D 26 x 1200	D 28 x 600
ราคา (บาท)	1,200	650

แหล่งที่มา: [1] สมบัติหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ (Koninklijke Philips Electronics, 2555)

[2] ราคาหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ บัลลาสต์ (บริษัท ซี.อาร์.อินเตอร์เม็กซ์ จำกัด, 2555)

[3] บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2552)

ตารางที่ 13 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าไฟฟ้าของระบบแสงสว่าง

รายการ	ระบบส่องสว่างเดิม	ระบบส่องสว่างใหม่
	หลอดไฟฟ้า FLU	หลอดไฟฟ้า LED
รุ่น		
หลอดไฟฟ้าขนาด 1.20 เมตร	Philips Lifemax Super 80 TLD 32W/865 UNP	หลอดไฟฟ้า LED TH-1600 (T8 16W)
หลอดไฟฟ้าขนาด 0.60 เมตร	Philips Lifemax Super 80 TLD 18W/865 UNP	หลอดไฟฟ้า LED TH-800 (T8 8W)
อุณหภูมิ		
อุณหภูมิที่ผิวหลอด (องศาเซลเซียส) ^[1]	36.80	28.20
กระแสไฟฟ้าต่อหลอด (วัตต์)^[1]		
หลอดไฟฟ้าขนาด 1.20 เมตร	32	16
หลอดไฟฟ้าขนาด 0.60 เมตร	18	
หลอดไฟฟ้า (บาทต่อหลอด)^[1]		
ราคาหลอดไฟฟ้าขนาด 1.20 เมตร	79	1,200
ราคาหลอดไฟฟ้าขนาด 0.60 เมตร	65	650
อุปกรณ์เสริม บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์^[1]		
กำลังไฟฟ้าหลอด 18 วัตต์รวม (วัตต์ต่อชุด)	19	-
กำลังไฟฟ้าหลอด 36 วัตต์รวม (วัตต์ต่อชุด)	36	-
ราคาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ 18 วัตต์ (บาท)	380	-
ราคาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ 36 วัตต์ (บาท)	380	-
จำนวนหลอดไฟฟ้า		
จำนวนหลอดไฟฟ้าทั้งหมดที่ทำการตรวจวัด (หลอด)	44	
หลอดไฟฟ้าขนาด 1.20 เมตร	42	
หลอดไฟฟ้าขนาด 0.60 เมตร	2	
ข้อมูลของสถานประกอบการที่ทำการตรวจวัด		
ความดันศักย์เฉลี่ย (โวลต์)	233.00	
ความถี่ (เฮิรตซ์)	50.00	
ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ^[2]	1.00	1.00
พื้นที่ใช้งาน (ตารางเมตร)	72.55	
กระแสไฟฟ้ารวมทั้งระบบ (แอมแปร์)	7.29	3.67
กำลังไฟฟ้ารวมทั้งระบบ (วัตต์)	1,121.06	778.22
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยต่อพื้นที่ (วัตต์ต่อตารางเมตร)	15.45	10.73
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายเดือน (หน่วย/เดือน)	807.16	560.32

ตารางที่ 13 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าไฟฟ้าของระบบแสงสว่าง (ต่อ)

รายการ	ระบบส่องสว่างเดิม	ระบบส่องสว่างใหม่
	หลอดไฟฟ้า FLU	หลอดไฟฟ้า LED
ผลการประหยัดไฟฟ้า		
กระแสไฟฟ้ารวมทั้งระบบที่ลดลง (แอมป์)	3.62	
กระแสไฟฟ้ารวมทั้งระบบที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)	49.66	
กำลังไฟฟ้ารวมทั้งระบบที่ลดลง (วัตต์)	342.84	
กำลังไฟฟ้ารวมทั้งระบบที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)	30.58	
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยต่อพื้นที่ที่ลดลง (วัตต์ต่อตารางเมตร)	4.73	
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยต่อพื้นที่ที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)	30.58	
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายเดือนที่ลดลง (หน่วย/เดือน)	246.84	
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายเดือนที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)	30.58	
เงื่อนไขการคำนวณค่าไฟฟ้า^[3]		
Peak (บาทต่อหน่วย)	3.62	
OffPeak (บาทต่อหน่วย)	1.19	
จำนวนไฟฟ้าช่วง Peak (ชั่วโมงต่อวัน)	13	
จำนวนไฟฟ้าช่วง OffPeak (ชั่วโมงต่อวัน)	11	
ค่าบริการ (บาทต่อหน่วย)	228.17	
ชั่วโมงการทำงานต่อเดือน (ชั่วโมง)	720	
ชั่วโมงการทำงานต่อปี (ชั่วโมง)	8640	
ค่าไฟฟ้า		
ค่าไฟฟ้ารายเดือน (บาท/เดือน)	2,253.65	1,634.22
ค่าไฟฟ้ารายเดือนที่ลดลง (บาท/เดือน)	619.42	
ค่าไฟฟ้ารายเดือนที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)	27.49	
ค่าไฟฟ้ารายปี (บาท/ปี)	27,043.74	19,610.68
ค่าไฟฟ้ารายปีที่ลดลง (บาท/ปี)	7,433.06	
ค่าไฟฟ้ารายปีที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)	27.49	
ค่าไฟฟ้าที่ลดลงตลอดอายุการใช้งาน (บาท)	44,598.34	

ตารางที่ 13 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าไฟฟ้าของระบบแสงสว่าง (ต่อ)

รายการ	ระบบส่องสว่างเดิม	ระบบส่องสว่างใหม่
	หลอดไฟฟ้า FLU	หลอดไฟฟ้า LED
เงื่อนไขการคำนวณเชิงเศรษฐศาสตร์		
อัตราดอกเบี้ย (ร้อยละต่อปี) ^[4]	7.33	
อายุการใช้งานของหลอดไฟฟ้า (เดือน)	18	72
อายุการใช้งานของหลอดไฟฟ้า (ปี)	1.5	6.0
อายุการใช้งานของปลั๊กสวิตช์ (ปี) ^[5]	5.0	-
เงินลงทุนตลอดอายุการใช้งาน (บาท) ^[6]	47,232.00	51,700.00
เงินลงทุนตลอดอายุการใช้งาน (บาท) ^[6]	4,468.00	
การประเมินเชิงเศรษฐศาสตร์ ^[7]		
ระยะเวลาคืนทุน(ปี)	0.60	

หมายเหตุ: [1] สมบัติหลอดไฟจากผู้ประกอบการ (Koninklijke Philips Electronics, 2555)

[2] ค่าตัวประกอบทางไฟฟ้าได้จากการตรวจวัดจริงของร้านสะดวกซื้อ 24 hr

[3] วิธีคิดค่าไฟฟ้าอัตรา TOU และ TOD (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2554)

[4] อัตราดอกเบี้ยเฉลี่ยของธนาคารกรุงเทพ กรุงไทย กสิกรไทย ไทยพาณิชย์ กรุงศรีอยุธยา (ธนาคารแห่งประเทศไทย, 2555)

[5] คิดอายุการใช้งานของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เทียบกับหลอดไฟ LED โดยที่ราคาหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์คงที่

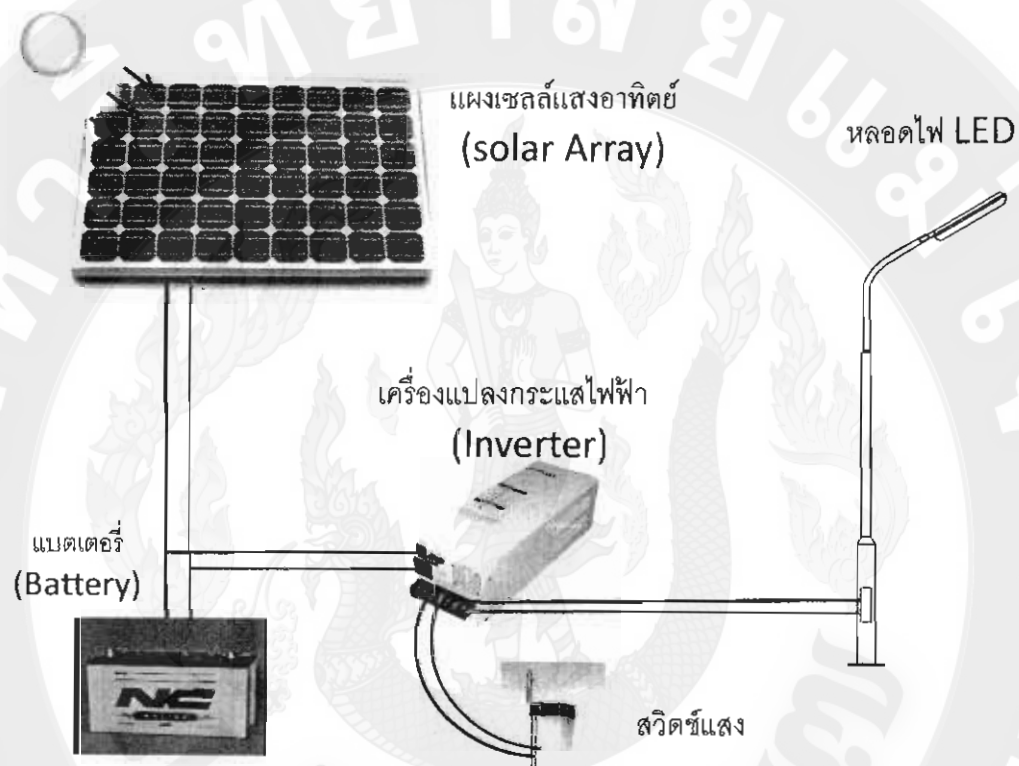
[6] ระยะเวลาคืนทุน คิดในการผลิตหลอดไฟ LED แทนที่หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์

การติดตั้งหลอดไฟ LED ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

เมื่อทำการทดสอบหลอดไฟ LED ที่ติดตั้งวงจร TCM เป็นที่แน่ชัดสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ดี เปรียบเทียบกับหลอดไฟ LED ที่ไม่ติดตั้งวงจร TCM และหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยการทดสอบในรูปแบบต่างๆ ในหัวข้อที่ผ่านมา การดำเนินงานลำดับต่อไปของงานวิจัยนี้ คือ ติดตั้งหลอดไฟ LED ที่ติดตั้งวงจร TCM ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนนโยบายของภาครัฐที่ต้องการเพิ่มการใช้พลังงานทดแทน กอปรกับตอบสนองนโยบายของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่ต้องการเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียวหรือ Green University

ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีหลักการทำงานเริ่มจาก เซลล์แสงอาทิตย์หรือโซลาร์เซลล์ (Solar Cell) ทำหน้าที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าจากรังสีอาทิตย์อาทิตย์ กระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้น ถ้าต้องการจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ ต้องต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) และเพื่อให้ระบบสามารถนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้ไปใช้งานได้ตลอดทั้งวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเวลากลางคืนที่ต้องการพลังงานไฟฟ้าไปใช้ในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบจึงทำการประจุกระแสไฟฟ้าไว้ในแหล่งสะสมพลังงานหรือแบตเตอรี่ (Battery) โดยระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

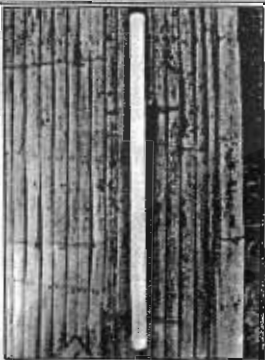
ของโครงการฯ จะนำไปใช้งานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายนอกอาคาร ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 17 โดยตารางที่ 14 แสดงรายละเอียดและรูปภาพส่วนประกอบของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับจ่ายให้แก่ระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายนอกอาคาร



ภาพที่ 17 หลักการทำงานของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

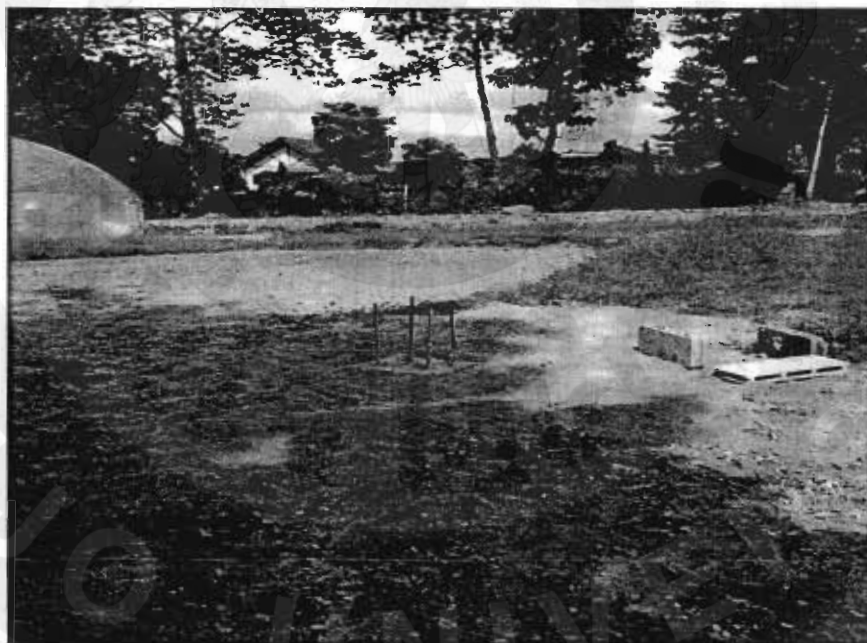
ตารางที่ 14 ส่วนประกอบของการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

อุปกรณ์	ชนิด	วัสดุ	คุณสมบัติ
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Array) 	Single crystalline silicon solar cell	Silicon	P_{max} 300 W Module efficiency 15.5% Cell efficiency 17.7% V_{op} 36.8 V I_{op} 8.15 A V_{oc} 44.9 V I_{sc} 8.50 A
แบตเตอรี่ (Battery) 	Conventional	Bronzed	แรงดันไฟฟ้า: 13 V ความจุไฟฟ้า: 21 AH/20 hr
เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) 	S -120A	-	Power continuous :150 VA/150 W Max, Surge power: 200% of continuous power Voltage : 200 V _{ac} +3% Frequency : 50 Hz + 0.1% Max, Efficiency: >80% Low battery disconnect : 10.3-11.0 V
สวิตช์แสง 	CA-03 220V	-	Standard lighting : 31.5-125 Lux Suitable surroundings temperature range : -10 to 40 °C Service life time: More than 2,000 times Rated frequency : For both 50/60 Hz
หลอดไฟ (LED)	ESbright 8 W	-	Model: ECP-178W-T8-19W Input: 110-250 V _{ac} Frequency : 50-60 Hz Power: 8 W

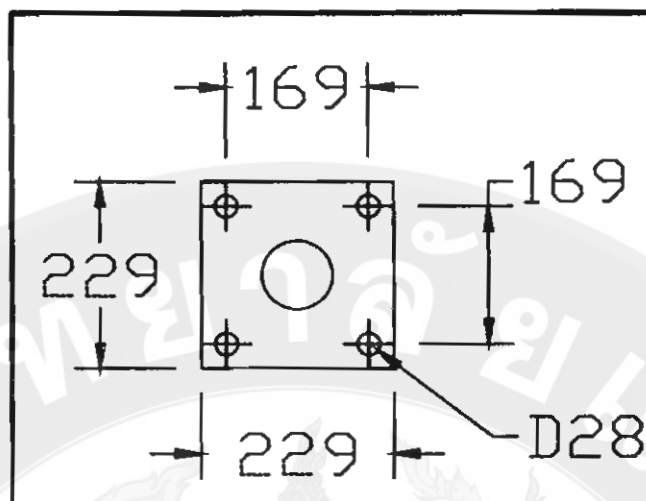
อุปกรณ์	ชนิด	วัสดุ	คุณสมบัติ
			Environment temperature range : -40 to 70 °C Total luminous : 1,460 lm Length : 0.6 m LED board material : Aluminum Efficiency : 90% Life span : 50,000 hr Color temperature : 6,300 K

ขั้นตอนการติดตั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับจ่ายให้แก่ระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายนอกอาคาร ของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีดังต่อไปนี้

1. สร้างฐานเพื่อเป็นที่ยึดสำหรับเสาไฟถนน โดยฐานมีขนาดความกว้าง 169 cm ความยาว 229 cm ดังแสดงในภาพที่ 18 และภาพที่ 19



ภาพที่ 18 ฐานยึดเสาไฟสำหรับติดตั้งหลอดไฟ LED

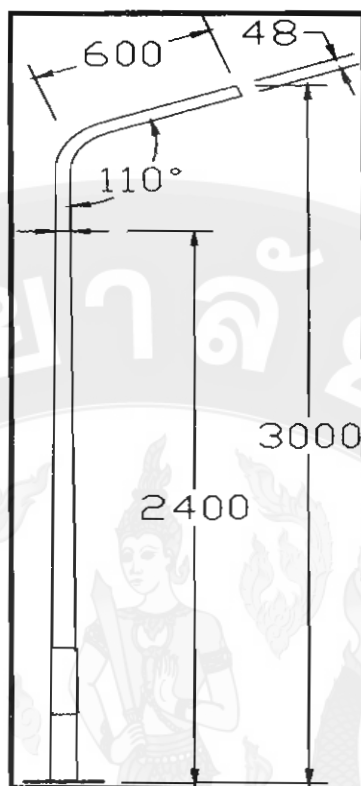


ภาพที่ 19 ขนาดของฐานเสาไฟถนน (หน่วย: cm)

2. ตั้งเสาไฟถนนสำหรับติดตั้งหลอดไฟ LED เข้ากับระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเสาไฟมีขนาดความสูง 2,400 cm ความกว้าง 48 cm ดังแสดงในภาพที่ 20 และภาพที่ 21



ภาพที่ 20 เสาไฟสำหรับติดตั้งหลอดไฟ LED



ภาพที่ 21 ขนาดเสาไฟ

3. เปลี่ยนวงจรหลอดไฟภายในของโคมไฟสำหรับการติดตั้งหลอดไฟ LED ดังแสดงในภาพที่ 22



ภาพที่ 22 โคมไฟสำหรับใส่หลอดไฟ LED

4. ขุดหลุมเพื่อวางสายไฟฟ้าจากเสาไฟเข้าสู่ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ดังแสดงในภาพที่ 23



ภาพที่ 23 หลุมนำสายไฟฟ้าจากเสาไฟเข้าสู่ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

5. ผสมปูนทำฐานรองรับระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ดังแสดงในภาพที่ 24

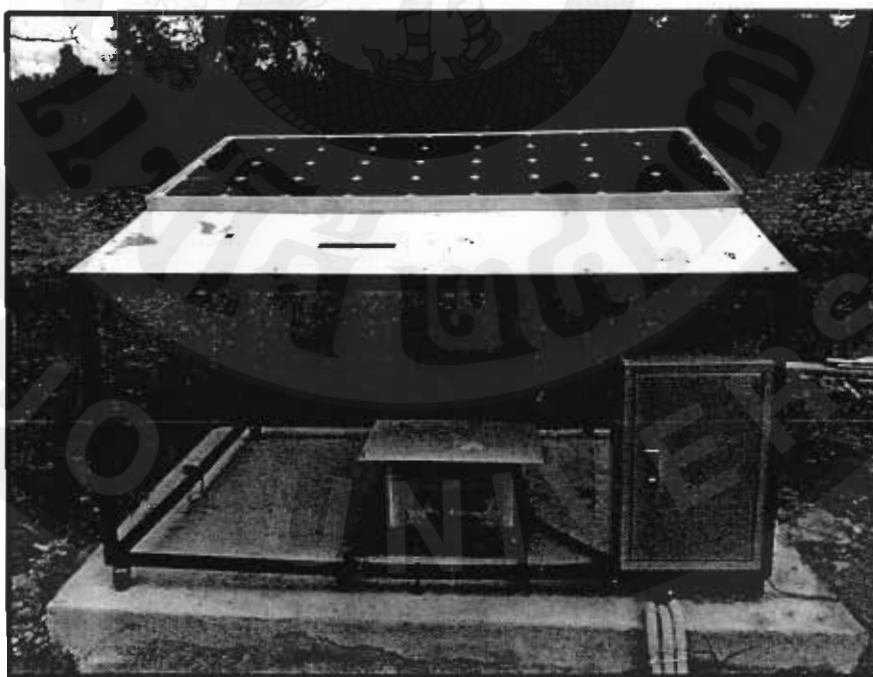


ภาพที่ 24 ฐานวางและยึดระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

6. ติดตั้งระบบสายไฟจากหลอดไฟ LED เข้าสู่ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ดัง
แสดงในภาพที่ 25 และภาพที่ 26



ภาพที่ 25 รูเสาไฟสำหรับต่อสายไฟ



ภาพที่ 26 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

7. ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่แล้วเสร็จ สำหรับจ่ายไฟฟ้าให้แก่ระบบไฟฟ้าแสงสว่างจำนวน 3 ชุดเสาไฟถนน แสดงดังภาพที่ 27 และภาพที่ 28



ภาพที่ 27 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และเสาไฟถนน



ภาพที่ 28 เสาไฟที่ได้รับกระแสไฟฟ้าจากระบบผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

จัดทำผลงานทางวิชาการเพื่อนำเสนอต่อการประชุมวิชาการ

นัฐพร ไชยญาติ และณัฐวุฒิ คุณฎี. การลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในหลอดไฟไดโอดเปล่งแสงโดยเทคนิคการควบคุมทางความร้อนจากกระแสไฟฟ้า (Electrical Energy Reduction in Light Emitting Diode (LED) Bulb by Technique of Thermal Current Management (TCM)), บทความวิจัยใน Proceedings สืบเนื่องจากการประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6, หน้า 579-589, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, ประเทศไทย, 13-15 พฤศจิกายน 2556.



การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการ

พลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6

The 6th Thailand Renewable Energy for Community Conference

TREC-6

13-15 พฤศจิกายน 2556

ณ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

CP ไฟฟ้าชุมชน

CF เชื้อเพลิงชุมชน

CT ความร้อนชุมชน

EC การประหยัดพลังงาน

CE สิ่งแวดล้อมชุมชน





EC011

การลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในหลอดไฟไดโอดเปล่งแสงโดยเทคนิคการควบคุมทางความร้อน
จากกระแสไฟฟ้า

Electrical Energy Reduction in Light Emitting Diode (LED) Bulb by Technique of Thermal Current
Management (TCM)

นัฐพร ไชยญาติ ธีรภูมิ คุษฏี

วิทยาลัยพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยแม่โจ้, หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

โทรศัพท์โทรสาร 053-875140 E-mail: benz178@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการลดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟไดโอดเปล่งแสง โดยใช้เทคนิคการควบคุมทางความร้อน ผ่านวงจรไฟฟ้าควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่วงจรกำเนิดแสง (Thermal current management, TCM) อัตราการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟไดโอดเปล่งแสง ทดสอบภายใต้เงื่อนไขสภาวะการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในช่วง 8-21 V_{DC} โดยใช้โมดูลกำเนิดแสงแบบไดโอดขนาด 0.5 W และแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 150-240 V_{AC} โดยใช้หลอดไฟไดโอดเปล่งแสงขนาด 19 W ตามลำดับ รวมทั้งทดสอบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยรอบของหลอดไฟในช่วง 30-84 °C โดยใช้หลอดไฟฟ้าขนาด 50 W ให้ความร้อนแก่อากาศโดยรอบโมดูลกำเนิดแสงแบบไดโอด ผลการศึกษาพบว่า การควบคุมทางความร้อนจากกระแสไฟฟ้าสามารถรักษาระดับกระแสไฟฟ้าให้ค่อนข้างคงที่ได้ เมื่อมีการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าทั้งกระแสตรงและกระแสสลับ รวมทั้งเมื่ออุณหภูมิโดยรอบของหลอดไฟไดโอดเปล่งแสงสูงขึ้น โดยสามารถลดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟไดโอดเปล่งแสงได้ประมาณ 3.37% เมื่อเทียบกับหลอดไฟไดโอดเปล่งแสงแบบปกติ และสามารถลดได้ประมาณ 53% เมื่อเปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์

คำสำคัญ: การลดพลังงานไฟฟ้าหลอดไฟไดโอดเปล่งแสง การควบคุมทางความร้อนจากกระแสไฟฟ้า

This paper studies a technique for reducing the electrical power consumption in a light emitting diode (LED) bulb by using the thermal current management (TCM). For the initial conditions of the experimental study, the direct voltage at 8-21 V_{DC} and the alternating current at 150-240 V_{AC} are varied with a module of LED at capacity 0.5 W and the LED bulb at capacity 19 W, respectively. Moreover, the environmental temperature is also tested at 30-84 °C with the LED module to investigate the electrical power of the LED bulb by using an electrical heater at capacity 50 W. It could be seen that the TCM technique could be improved the LED efficiency. For the experimental results, increasing the direct voltage and the alternating voltage effects the electrical power consumption increased including of the high ambient temperature. The LED bulb with using the TCM circuit could be reduced the electrical power around 3.37% compared with the normal LED bulb and around 53% compared with the fluorescence bulb.

Keywords: Electrical Energy Reduction, Light Emitting Diode (LED), Thermal Control Management (TCM)



1. บทนำ

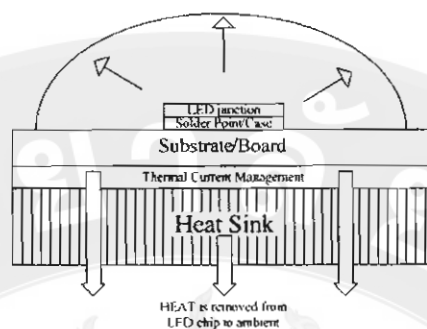
หลอดไฟเป็นอุปกรณ์ให้แสงสว่างแก่มนุษย์มาเป็นเวลานาน ทำให้เกิดการปรับเปลี่ยนวิถีชีวิตมากมาย และอาจเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ จนมาถึงปัจจุบัน ในปี ค.ศ. 1879 โทมัส แอลวา เอดิสัน สามารถคิดค้นให้หลอดจากเส้นด้ายใยฝ้ายเผาให้เป็นถ่านที่สามารถใช้ได้เป็นเวลานานถึง 40 ชั่วโมง ในยุคนั้น จึงเป็นยุคแห่งการกำเนิดของหลอดไฟฟ้า ในยุคแรกหลอดไฟฟ้าเป็นหลอดไฟดวงกลมที่ให้แสงสีเหลืองและพลังงานความร้อน มีข้อเสีย คือ ไล่หลอดยากง่าย อายุการใช้งานน้อย และกินไฟ จึงมีการคิดค้นและพัฒนาหลอดไฟฟ้าชนิดต่างๆ ขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง เช่น หลอดไส้ หลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น เพื่อเพิ่มความสว่าง บิดอายุการใช้งาน อนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม ภายหลังในศตวรรษที่ 21 หลอดไฟฟ้าที่ได้รับการสนใจทั่วโลก ในการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม คือ หลอดไดโอดเปล่งแสง (Light-emitting diode, LED)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหลอดไฟ LED มีการศึกษามากมาย โดย Ekpenyong Narendran et al. [1] ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินอุณหภูมิของ Junction LED เทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง ผลที่ได้พบว่ามีความใกล้เคียงกัน Yimin Gu et al. [2] ได้เสนองานวิจัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพความส่องสว่างและประสิทธิภาพของหลอดไฟ LED กำลังสูงที่เปลี่ยนไปเมื่อใช้วิธีการหรี่หรือเร่งความสว่าง (Dimming methods) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความส่องสว่างของหลอด LED Chun-Jen Wang [3] นำเสนอการจัดการความร้อนในหลอดไฟ LED โดยนำเสนอการคำนวณการถ่ายเทความร้อนออกจากหลอดโดยตัวระบายความร้อนภายนอกหลอด ผลที่ได้พบว่าสามารถลดความร้อนที่เกิดจากความต้านทานทางความร้อนจากการพาความร้อนได้ประมาณ 20-30% Lan Kim [4] นำเสนอลักษณะการเกิดความร้อนของ LED arrays โดยการวัดอุณหภูมิ Junction และคำนวณหาความต้านทานทางความร้อนที่เกิดขึ้นกับ LED arrays ที่มีการระบายความร้อนด้วย Heat pipe ผลที่ได้พบว่าสามารถลดอุณหภูมิของ Junction จาก 87.6 °C ลดลงได้เป็น 63.3 °C ที่ความเร็วลมเดียวกัน

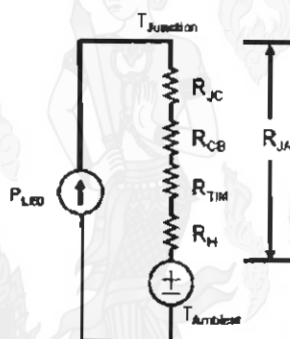
จากงานวิจัยต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นจะพบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งไปในการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายอุณหภูมิที่เกิดขึ้นกับหลอดไฟ LED และศึกษาการปรับปรุงการถ่ายเทความร้อนออกจากหลอดไฟ LED เช่น การติดตั้งอุปกรณ์เสริมเพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในแบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น การนำความร้อน การพาความร้อน ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยที่มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการควบคุมทางความร้อนภายใน Light box ของหลอดไฟ LED ให้คงที่ เพื่อลดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าและป้องกันความเสียหายอันเกิดเนื่องจากการกระชากของระดับแรงดันไฟเมื่อมีการเปิด-ปิดสวิตช์ หรือในการเกิดฟ้าผ่าและพายุ

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

รูปที่ 1 แสดงแบบจำลองของหลอดไฟ LED ซึ่งประกอบไปด้วยตัวกำเนิดแสงที่เป็นสารกึ่งตัวนำ P-N Junction (LED junction) แผงโลหะนำความร้อนออกจาก Junction (Solder point) จากนั้นระบายความร้อนที่ได้รับมาผ่านบอร์ด (Substrate/Board) และ TIM (Thermal interface material) เพื่อถ่ายเทให้ถึงนอตฮีต (Heat sink) ต่อไป



รูปที่ 1 แบบจำลองหลอดไฟ LED



รูปที่ 2 แบบจำลองทางความร้อนของหลอดไฟ LED [5]

รูปที่ 2 แสดงแบบจำลองทางความร้อนของหลอดไฟ LED โดยให้ LED chip เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า ความต้านทานทางความร้อนเป็นค่าต้านทาน และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า ดังแสดงได้ดังสมการที่ 1 และ 2

จากกฎของโอห์ม (Ohm law)

$$V=IR \quad (1)$$

จากรูปที่ 2 เปรียบเทียบกับสมการที่ 1 ได้ว่า

$$T_{Ambient} = P_{LED} R_{JA} \quad (2)$$

จากสมการที่ 2 จะได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสูง ($T_{Ambient}$) จะส่งผลให้กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ LED สูงตามไปด้วย (P_{LED}) โดยกำหนดให้ความต้านทานทางความร้อน (R_{JA}) มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ ดังนั้นจะส่งผลต่อการระบายความร้อนออกจาก Junction ของ LED โดยตรง เนื่องจากระบายความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมได้น้อยขึ้น ความร้อนของ Junction สูงตามไปด้วย เป็นผลให้กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ LED สูงขึ้น



3. วิธีการทดลอง

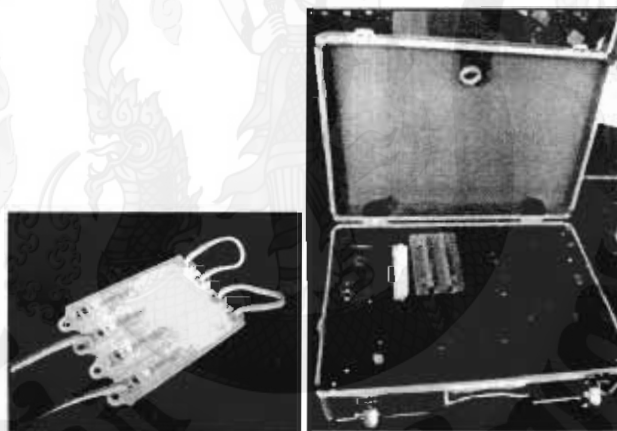
การทดสอบการควบคุมทางความร้อนออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่หลอดไฟ LED และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีผลต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าของหลอดไฟ LED

3.1 การทดลองเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้า

การศึกษามลการเปลี่ยนแปลงปริมาณกระแสไฟฟ้าของหลอดไฟ LED จากผลการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้า แบ่งการทดสอบเป็น 2 ส่วนย่อย คือ การทดสอบกับชุดไมโครวงจรกำเนิดแสง LED และทดสอบกับหลอดไฟ LED

การทดลองที่ 1 มีรายละเอียดการทดสอบ คือ นำแผงไมโครวงจรกำเนิดแสง LED ขนาด 0.5 W ดังแสดงในรูปที่ 4 (ก) มาทดสอบป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 8-21 V_{DC} (แรงดันปกติอยู่ที่ 12 V_{DC}) โดยต่อเข้ากับชุดทดลองที่สามารถปรับระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ดังแสดงในรูปที่ 4 (ข)

การทดลองที่ 2 มีรายละเอียดการทดสอบ คือ นำหลอดไฟ LED ที่ประกอบแล้วเสร็จขนาด 19 W ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1 นำมาทดสอบเปรียบเทียบผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับไฟฟ้ากระแสสลับในช่วง 150-240 V_{AC} ระหว่างหลอดไฟ LED ที่ติดตั้งวงจร TCM และไม่มีการติดตั้ง โดยการทดลองนี้ใช้ AC power supply ปรับระดับแรงดันไฟฟ้าพร้อมทั้งบันทึกข้อมูลทางไฟฟ้า ซึ่งเครื่องมือดังกล่าวแสดงรายละเอียดในตารางที่



ก) แผงไมโครวงจรกำเนิดแสง LED ข) ชุดทดสอบวงจร LED
รูปที่ 4 อุปกรณ์การทดสอบการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง



Specification of	LED
Input (V_{AC})	100-240
Frequency (Hz)	50-60
Power (W)	19
Length (m)	1.2
Life Span (h)	40,000-50,000
Color Temperature (K)	4,000-6,000

ตารางที่ 2 คุณสมบัติ AC power supply

AC Power Supply	
Output voltage 1-300 V	
Maximum output current 5 A	
Single output	
Maximum output power 500 VA	
Voltage & frequency converter	
Power metering	
Input: 85-250V _{AC} , 47-63Hz	

3.2 การทดสอบเปลี่ยนอุณหภูมิ

การทดสอบผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีผลต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าในของหลอดไฟ LED มีรายละเอียดการทดสอบ คือ วัดขนาดความยาวไฟขนาด 50 W ใ้กับชุดทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4 (ข) และ นำแผ่นอะคริลิกใสมาครอบชุดไมโครวงจรกำเนิดแสง LED ที่ติดตั้งวงจร TCM และไม่ติดตั้ง พร้อมทั้งติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิดังแสดงในตารางที่ 3 โดยชุดทดสอบดังกล่าวจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงคงที่ 12 V_{DC} และทดสอบในช่วงอุณหภูมิของอากาศ 30-84 °C

ตารางที่ 3 รายละเอียดอุปกรณ์สำหรับการวัดและเก็บข้อมูลต่าง ๆ

เครื่องมือ	คุณสมบัติ	รูป
เครื่องเก็บข้อมูล (Data Logger)	เครื่องบันทึกข้อมูลทำหน้าที่อ่านอุณหภูมิ โดยใช้ร่วมกับสายวัดเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ผลิตจากบริษัท TASK ค่าความถูกต้อง $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$	
สายวัดอุณหภูมิ (Thermo Couple)	สายวัดอุณหภูมิหรือเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ผลิตโดยบริษัท OMEGA ใช้งานร่วมกับเครื่องบันทึกข้อมูล	



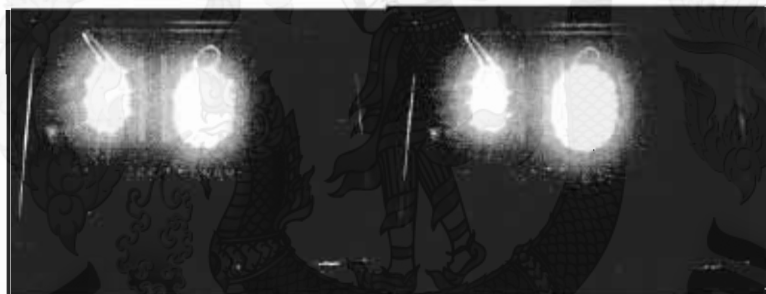
4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้า

รูปที่ 5 แสดงขั้นตอนการทดลองการเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของชุดไมโครลงจอร์ก้าเนดแสง LED ผลการทดสอบพบว่า เมื่อระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้โมดูลของ LED แบบทั่วไปมีปริมาณกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แต่ในขณะที่โมดูลของ LED ที่ใช้ตัวจอร์ TCM มีปริมาณกระแสไฟฟ้าค่อนข้างคงที่ ดังแสดงผลการทดสอบในรูปที่ 6

จากรูปที่ 6 ผลที่ได้สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อมีการเปิดเปิดสวิตช์ไฟบ่อยๆ หรือมีฟ้าผ่า จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่หลอดไฟ LED เพิ่มขึ้นอย่างฉับพลัน ทำให้มีปริมาณกระแสไฟฟ้าสูงขึ้นตามไปด้วย (จากกฎของโอห์ม $V=IR$) ส่งผลต่อแผงวงจรบางจุดเกิดการช็อต และทำให้แผง LED บางจุดไม่สามารถกำเนิดแสงได้ เป็นที่มาของหลอดไฟกระจายแสงสว่างได้ไม่ทั่วหลอด

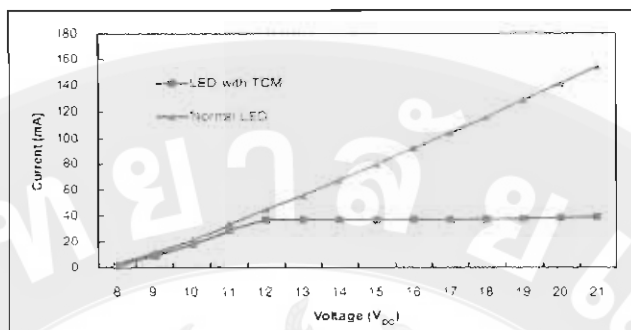
รูปที่ 7 แสดงผลการเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟ LED ขนาด 19 W ที่ติดตั้งวงจร TCM และโม. วิเคราะห์ โดยเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้แก่หลอดไฟ LED ผลที่ได้พบว่าสอดคล้องกับการทดลองที่ผ่านมา คือ เมื่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสูงขึ้น หลอดไฟ LED ที่ไม่ติดตั้งวงจร TCM จะแปลงค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรงสูงตามไปด้วย ทำให้หลอดไฟ LED ใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูงขึ้น รวมถึงมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ในขณะที่หลอดไฟ LED ที่ติดตั้งวงจร TCM สามารถรักษาแรงดันไฟฟ้าได้ค่อนข้างคงที่ และทำให้อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าคงที่ตามไปด้วย



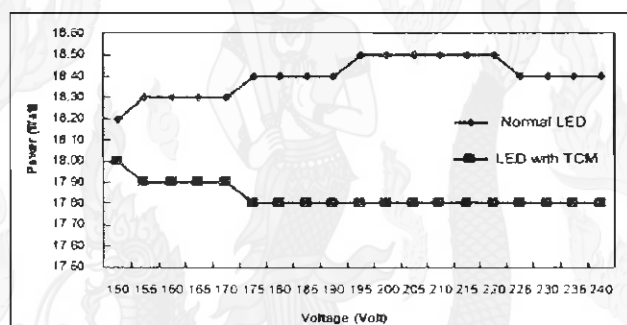
(ก) ผลการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 V_{DC}

(ข) ผลการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 14 V_{DC}

รูปที่ 5 การป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้แก่ไมโครลงจอร์ก้าเนดแสง LED



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้าของโมดูลวงจรกำเนิดแสง LED แบบติดตั้ง TCM และไม่ติดตั้งเมื่อเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟ LED แบบติดตั้ง TCM และไม่ติดตั้งเมื่อเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

4.1 ผลการเปลี่ยนอุณหภูมิ

รูปที่ 8 แสดงการทดสอบเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยรอบของโมดูลวงจรกำเนิดแสง LED โดยผลที่ได้พบว่า เมื่ออุณหภูมิโดยรอบของโมดูลวงจรกำเนิดแสง LED สูงขึ้น ส่งผลทำให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าของโมดูลวงจรกำเนิดแสง LED ที่ไม่ติดตั้งวงจร TCM เพิ่มขึ้น รวมทั้งอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงตามไปด้วย ในขณะที่โมดูลกำเนิดแสง LED ที่ติดตั้ง TCM มีปริมาณกระแสไฟฟ้าค่อนข้างคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่ากรณีไม่ติดตั้ง TCM ประมาณ 3.37% อีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 9

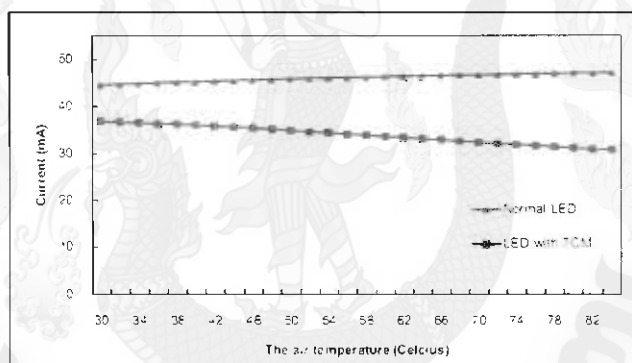
ทั้งนี้การนำหลอดไฟ LED ไปใช้งานเพื่อลดอัตราการใช้พลังงานของอาคารนั้น มักเลือกติดตั้งในระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่มีการใช้งานต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง เพื่อให้มีระยะเวลาการคืนทุนที่เร็วขึ้น เนื่องจากหลอดไฟ LED มีราคาต่อชิ้นสูงเมื่อเปรียบเทียบกับหลอดไฟประเภทอื่น (หลอด 1.2 m 19 W ราคาหลอดละ 2,250 Bath [8]) ทำให้เกิดความร้อนสะสมที่หลอดไฟ LED ก่อนข้างสูง รวมทั้งประเทศไทยเป็นเมืองร้อน ผลของอุณหภูมิที่สูงขึ้นของหลอดไฟ LED จะส่งผลทำให้อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟสูงตามไปด้วย ซึ่งที่ผ่านมาประเด็นดังกล่าวถึงเคยและไม่เป็นที่สนใจของนักวิจัยในการศึกษา ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า ผลของการเพิ่ม



อุณหภูมิมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า และแนวทางการปรับปรุงของงานวิจัยนี้ คือ การควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าให้คงที่



รูปที่ 8 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยรอบที่มีผลต่อโมดูลทำแสงแบบ LED



รูปที่ 9 การเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้าของหลอดไฟ LED ที่ติดตั้งวงจร TCM และโมดูลดั้ง เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยรอบ

นอกจากนี้งานวิจัยยังได้ทำการศึกษามูลของการต่อหลอดไฟในลักษณะต่างๆ โดยนำหลอดไฟ LED ขนาด 18 W มาเปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 32 W และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ 5 W ที่มีการแผ่รังสีความร้อนออกจากหลอด ซึ่งส่งผลโดยตรงต่ออุณหภูมิของหลอดไฟ ดังนั้นเพื่อหาผลกระทบต่อการนำพลังงานไฟฟ้าและหาแนวทางการนำหลอดไฟ LED ไปใช้ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้อย่างแท้จริง งานวิจัยนี้จึงทำการทดสอบการต่อหลอดไฟ 3 รูปแบบ คือ ต่อแบบหลอดเดียว นำหลอดไฟ 5 หลอดมาต่ออนุกรมและต่อแบบขนาน โดยผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4

ผลการศึกษาที่ได้พบว่า หลอดฟลูออเรสเซนต์มีการแผ่รังสีความร้อนออกมาจากหลอดไฟพร้อมกับการส่องสว่าง โดยเมื่อนำหลอดไฟมาต่อกันแบบอนุกรม ซึ่งเป็นลักษณะการต่อหลอดไฟโดยทั่วไปที่ใช้กันในอาคาร ผลที่ได้พบว่า อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟ LED ที่ติดตั้ง TCM สามารถประหยัดอัตราการใช้



พลังงานไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นประมาณ 53.44% หรือ 88.59 W เปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ 190.26 W ในขณะที่การต่อแบบขนานสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าประมาณ 54.60% หรือ 87.10 W เปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ 191.84 W เนื่องจากหลอดไฟได้รับผลจากการแผ่รังสีค่อนข้างสูง ทำให้อุณหภูมิอากาศโดยรอบมีค่าสูงกว่าการต่อแบบอนุกรม

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการต่อหลอดไฟในลักษณะต่างๆ

หลอดไฟ	จำนวนหลอด	ลักษณะการต่อ	Powerfactor (-)	Voltage (V)	Current (A)	Electrical power (W)
Fluorescent	1	-	1.00	227.11	0.16	38.33
LED	1	-	1.00	232.25	0.07	17.32
Saving (%)						53.31
Fluorescent	5	อนุกรม	0.92	229.47	0.90	180.26
LED	5	อนุกรม	0.89	230.56	0.43	88.59
Saving (%)						53.44
Fluorescent	5	ขนาน	0.96	233.42	0.84	191.84
LED	5	ขนาน	0.89	229.82	0.43	87.10
Saving (%)						54.60

5. สรุป

จากผลการศึกษาสามารถสรุปเนื้อหาสำคัญได้ดังต่อไปนี้

- การเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ ส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟ LED ที่ไม่ติดตั้ง TCM สูงขึ้น ในขณะที่หลอดไฟ LED ที่ติดตั้ง TCM สามารถรักษาอัตราการใช้พลังงานให้คงที่ได้
- การเพิ่มอุณหภูมิโดยรอบของหลอดไฟ LED ส่งผลให้หลอดไฟ LED ที่ไม่ติดตั้ง TCM มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้น ในขณะที่หลอดไฟ LED ที่ติดตั้ง TCM สามารถรักษาอัตราการใช้พลังงานให้คงที่ได้
- การควบคุมปริมาณความร้อนภายในหลอดไฟ LED โดยใช้หลักการควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าให้คงที่สามารถลดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟ LED ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- การติดตั้ง TCM ในหลอดไฟ LED สามารถลดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ประมาณ 3.37% เมื่อเทียบกับหลอดไฟ LED แบบปกติ และสามารถลดได้ประมาณ 53% เมื่อเปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร ฝ่ายยุทธศาสตร์และประสานงานวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และบริษัท ทีซัส อินโนเวชั่น อินเทลลิเจนซ์ จำกัด ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนในการดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สำหรับการสนับสนุนการทํางานวิจัย



เอกสารอ้างอิง

- [1] Narendran, N., Gu, Y., Hosseinzadeh, R. "Estimating junction temperature of high-flux white LEDs", Proceeding of the Light-emitting diodes: Research, manufacturing, and applications VIII, pp.158-160, 2004.
- [2] Gu, Y., Narendran, N., A non-contact method for determining junction temperature of phosphor-converted white LEDs, Proceeding of the Third International Conference on Solid State Lighting, pp.107-114, 2003.
- [3] Chun-Jen Weng, "Advanced thermal enhancement and management of LED packages", Proceedings of the International Communications in Heat and Mass Transfer, 2009.
- [4] Lan Kim, Jong Hwa Chei, Sun Ho Jang and Meo Whan Shin, "Thermal analysis of LED array system with heat pipe", Thermochimica Acta, vol.455, pp.21-25, 2007.
- [5] Online, www.wikipedia.com, "Thermal management of high-power LEDs", 2013.
- [6] ระบบออนไลน์: บริษัท ทีซีดี อินโนเวชั่น อินเทลลิเจนซ์ จำกัด www.tsus.co.th "ราคาหลอดไฟ LED" 2556

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาสามารถสรุปเนื้อหาสำคัญได้ดังต่อไปนี้

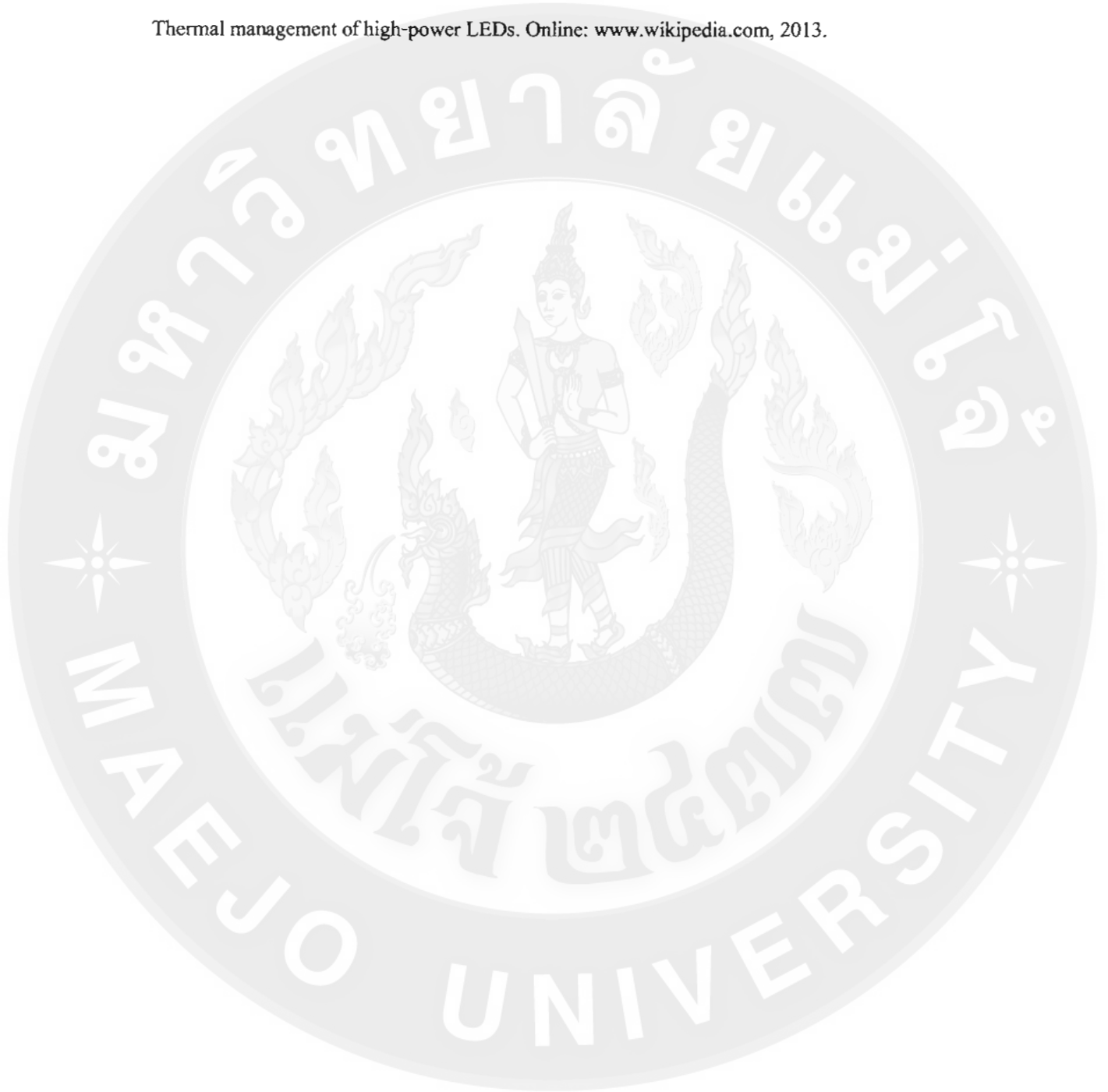
- การเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ ส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟ LED ที่ไม่ติดตั้ง TCM สูงขึ้น ในขณะที่หลอดไฟ LED ที่ติดตั้ง TCM สามารถรักษาอัตราการใช้พลังงานให้คงที่ได้
- การเพิ่มอุณหภูมิโดยรอบของหลอดไฟ LED ส่งผลให้หลอดไฟ LED ที่ไม่ติดตั้ง TCM มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้น ในขณะที่หลอดไฟ LED ที่ติดตั้ง TCM สามารถรักษาอัตราการใช้พลังงานให้คงที่ได้
- การควบคุมปริมาณความร้อนภายในหลอดไฟ LED โดยใช้หลักการควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าให้คงที่ สามารถลดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟ LED ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- การติดตั้ง TCM ในหลอดไฟ LED สามารถลดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ประมาณ 3.37% เมื่อเทียบกับหลอดไฟ LED แบบปกติ และสามารถลดได้ประมาณ 53% เมื่อเปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์

เอกสารอ้างอิง

- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2552. บัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์. เอกสารเผยแพร่ความรู้เทคโนโลยีประหยัดพลังงาน. แหล่งที่มา <http://www.philips.com/lamps/fluorescent-lamps/tl-d/21044/cat/#> (28 มกราคม 2555).
- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2554. วิธีคิดค่าไฟฟ้าอัตรา TOU และ TOD. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.pea.co.th/th/rates/rates_tou_tod_ft.htm (28 มกราคม 2555).
- คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ กระทรวงพลังงาน. 2552. กฎกระทรวง กำหนดประเภทหรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน.
- จรัส บุญยธรรมมา. 2552. ข้อได้เปรียบของหลอดLED. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.rmutphysics.com/charud/howstuffwork/LED/thaiLED3.htm> (30 มกราคม 2555).
- ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์. 2550. เทคนิคการออกแบบแสงสว่าง (ฉบับปรับปรุง). กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- ธนาคารแห่งประเทศไทย. 2555. อัตราดอกเบี้ยเงินให้สินเชื่อ. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.bot.or.th> (28 มกราคม 2555).
- บริษัท ซี.อาร์.อินเตอร์เม็กซ์ จำกัด. 2555. ราคาหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ บัลลัสต์. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.crintermex.com> (28 มกราคม 2555).
- บริษัท ทีซัส อินโนเวชั่น อินเทลลิเจนซ์ จำกัด. ราคาหลอดไฟ LED. ระบบออนไลน์: www.tsus.co.th, 2556.
- ประมวล ศิริผั่นแก้ว. 2552. หลักการของหลอดฟลูออเรสเซนต์. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.rmutphysics.com> (30 มกราคม 2555).
- ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2555. การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าและวิธีการควบคุมความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด. แหล่งที่มา <http://www.ee.eng.cmu.ac.th> (28 มกราคม 2555).
- Chun-Jen Weng. 2009. Advanced thermal enhancement and management of LED packages, Proceedings of the International Communications in Heat and Mass Transfer.
- Koninklijke Philips Electronics. 2555. สมบัติหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์. แหล่งที่มา <http://www.philips.com/lamps/fluorescent-lamps/tl-d/21044/cat/#> (28 มกราคม 2555).
- Lan Kim, Jong Hwa Choi, Sun Ho Jang and Moo Whan Shin. 2007. Thermal analysis of LED array system with heat pipe”, Thermochimica Acta, vol.455, pp.21–25.

Narendran, N., Gu, Y., Hosseinzadeh, R. 2004. Estimating junction temperature of high-flux white LEDs”, Proceeding of the Light-emitting diodes: Research, manufacturing, and applications VIII, pp.158-160.

Thermal management of high-power LEDs. Online: www.wikipedia.com, 2013.



รายการสัญลักษณ์

อักษรย่อ

I	Current, (A)
P	Power, (W)
R	Resistance, (Ω)
T	Temperature, ($^{\circ}\text{C}$)
V	Voltage, (V)

ตัวห้อย

AC	Alternating current
CB	Circuit board
DC	Direct current
H	Heat sink
JA	Junction to ambient
JC	LED Junction
LED	Light emitting diode
max	Maximum
op	Operating
sc	Short circuit
TIM	Thermal interface material

ภาคผนวก

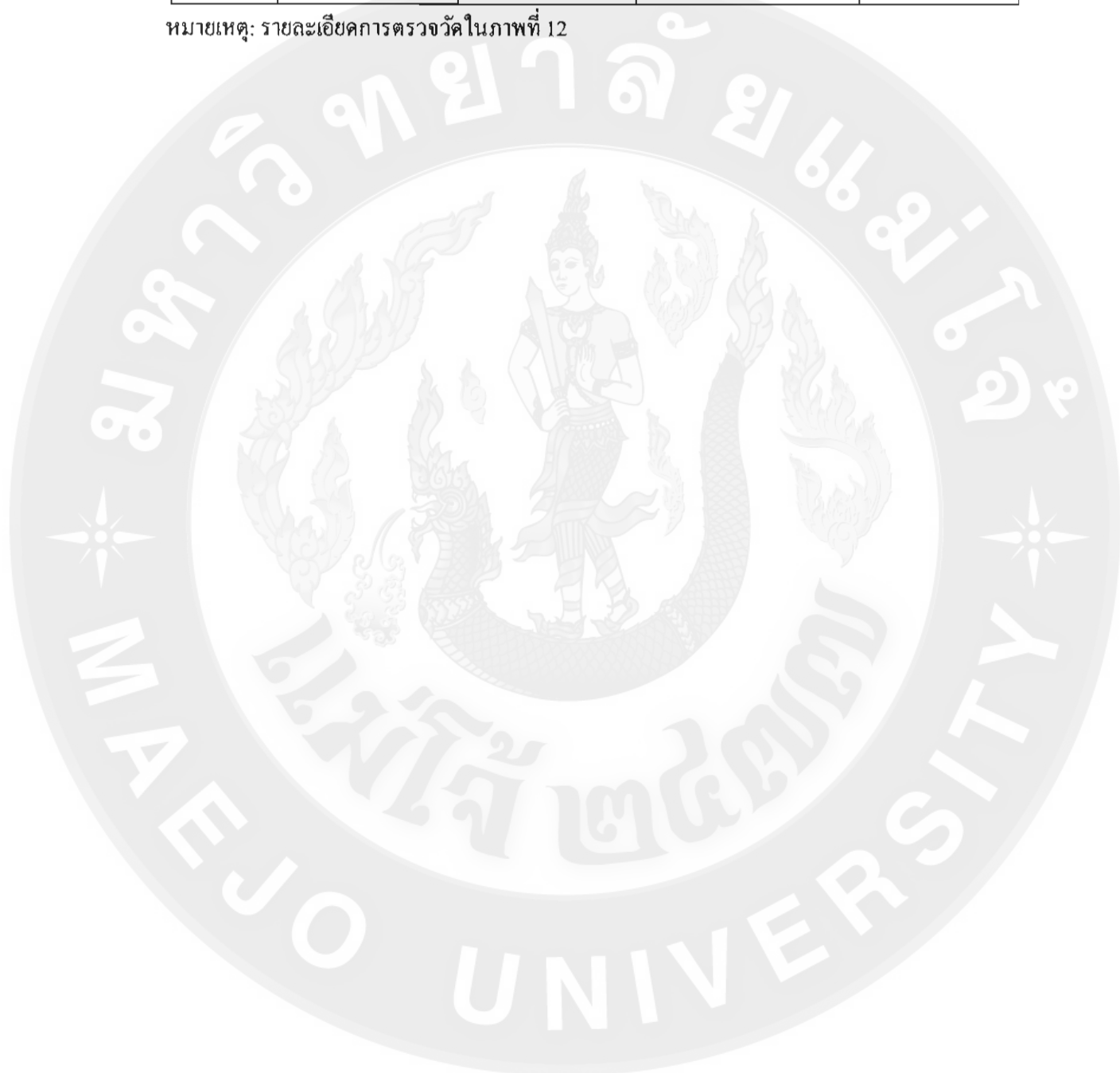
ภาคผนวก ก) รายละเอียดการตรวจวัดร้านสะดวกซื้อ

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลการตรวจวัดค่าตัวประกอบทางไฟฟ้าของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์
ณ ร้านสะดวกซื้อ

เวลา	กระแสไฟฟ้า (A)	แรงดันไฟฟ้า (V)	ตัวประกอบทางไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า (W)
13:10	0.25	234.7	0.65	40
13:15	0.25	233.3	0.67	38
13:20	0.25	234.5	0.65	38
13:25	0.25	234.6	0.65	38
13:30	0.25	233.3	0.65	38
13:35	0.25	233.3	0.64	37
13:40	0.25	233.3	0.71	38
13:45	0.25	232.8	0.69	40
13:50	0.25	234.8	0.67	39
13:55	0.25	234.7	0.68	39
14:00	0.25	234.0	0.68	40
14:05	0.25	233.2	0.70	39
14:10	0.25	234.3	0.67	39
14:15	0.25	233.9	0.68	40
14:20	0.25	233.5	0.67	40
14:25	0.25	234.4	0.67	39
14:30	0.25	233.7	0.67	39
14:35	0.25	235.1	0.66	39
14:40	0.25	234.9	0.65	38
14:45	0.25	234.7	0.65	37
14:50	0.25	235.8	0.65	37
14:55	0.25	235.9	0.64	38
15:00	0.25	234.6	0.65	38
15:05	0.25	234.9	0.65	38
15:10	0.25	233.8	0.67	38
15:15	0.25	234.1	0.67	39
15:20	0.25	233.6	0.63	38

เวลา	กระแสไฟฟ้า (A)	แรงดันไฟฟ้า (V)	ตัวประกอบทงไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า (W)
15:25	0.25	235.1	0.65	39
15:30	0.24	234.6	0.69	39
Average	0.25	234.3	0.66	38.59

หมายเหตุ: รายละเอียดการตรวจวัดในภาพที่ 12



ตารางที่ ก.2 การตรวจวัดค่าตัวประกอบทางไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้า LED ณ ร้านสะดวกซื้อ

Time	กระแสไฟฟ้า (A)	แรงดันไฟฟ้า (V)	ตัวประกอบทางไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า (W)
18:50	0.09	243.3	1.00	23
18:55	0.09	234.0	1.00	23
19:00	0.09	234.0	1.00	20
19:05	0.09	234.5	1.00	21
19:10	0.09	234.5	1.00	21
19:15	0.09	233.2	1.00	21
19:20	0.09	233.5	1.00	20
19:25	0.08	233.1	1.00	20
19:30	0.09	233.1	1.00	20
19:35	0.08	233.5	1.00	20
19:40	0.08	233.9	1.00	20
19:45	0.08	234.7	1.00	20
19:50	0.08	234.6	1.00	20
19:55	0.09	234.5	1.00	22
20:00	0.09	234.6	1.00	22
20:05	0.09	235.1	1.00	22
20:10	0.09	233.6	1.00	22
20:15	0.09	234.0	1.00	22
20:20	0.09	233.8	1.00	22
20:25	0.09	234.0	1.00	22
20:30	0.09	233.9	1.00	22
20:35	0.09	233.6	1.00	22
20:40	0.09	235.2	1.00	22
20:45	0.09	235.3	1.00	22
20:50	0.09	235.0	1.00	22
20:55	0.08	235.1	1.00	20
21:00	0.08	234.6	1.00	20
21:05	0.08	234.1	1.00	20
21:10	0.08	233.7	1.00	20
21:15	0.08	233.7	1.00	20
21:20	0.08	233.6	1.00	20
Average	0.09	234.4	1.00	21.06

หมายเหตุ: รายละเอียดการตรวจวัดในภาพที่ 12

ตารางที่ ก.3 การตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์

ณ ร้านสะดวกซื้อ

จุดตรวจวัด	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
A1	233	4.71	954.76
A2	233	2.58	522.99
B1	233	0.142	28.78
B2	233	0.64	129.73
B3	233	0.174	35.27
B4	233	0.552	111.90
B5	232	0.455	91.84
B6	232	0.319	64.39
B7	233	0.356	72.16
B8	233	0.325	65.88
B9	233	0.359	72.77
B10	233	0.341	69.12
B11	232	0.29	58.53
B12	233	0.353	71.56
B13	233	0.374	75.81
B14	232	0.342	69.03
B15	233	0.382	77.44
B16	233	0.37	75.00
B17	233	0.189	38.31
B18	233	0.09	18.24
C1	233	0.08	16.22
C2	233	0.139	28.18
C3	232	0.145	29.27
C4	233	0.165	33.45
C5	233	0.168	34.06
C6	232	0.147	29.67
C7	232	0.187	37.74
C8	233	0.188	38.11
C9	233	0.197	39.93

หมายเหตุ: รายละเอียดการตรวจวัดในภาพที่ 12

ตารางที่ ก.4 การตรวจวัดค่าไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้า LED ณ ร้านสะดวกซื้อ

จุดตรวจวัด	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
A1	233	2.13	431.77
A2	233	1.584	245.28
B1	233	0.12	24.33
B2	233	0.347	70.34
B3	233	0.072	14.60
B4	233	0.306	62.03
B5	233	0.229	46.42
B6	233	0.155	31.42
B7	232	0.231	46.63
B8	233	0.153	31.01
B9	233	0.232	47.03
B10	233	0.217	43.99
B11	233	0.231	46.83
B12	233	0.515	104.40
B13	233	0.233	47.23
B14	232	0.154	31.08
B15	233	0.236	47.84
B16	233	0.142	28.78
B17	233	0.072	14.60
B18	233	0.041	8.31
C1	233	0.043	8.72
C2	233	0.074	15.00
C3	232	0.072	14.53
C4	232	0.073	14.73
C5	233	0.071	14.39
C6	233	0.074	15.00
C7	232	0.074	14.94
C8	233	0.087	17.64
C9	233	0.072	14.60

หมายเหตุ: รายละเอียดการตรวจวัดในภาพที่ 12

ตารางที่ ก.5 การตรวจวัดค่าความสว่างของพื้นที่ใช้งานโดยรวมของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ (เข้า) ณ
ร้านสะดวกซื้อ

ตำแหน่งวัด	A	B	C	D	E	F	G	H
แถวที่ 1	587	698	780	828	809	887	803	673
แถวที่ 2	532	785	965	1031	1086	1092	986	915
แถวที่ 3	631	951	1092	1103	1154	1170	1110	954
แถวที่ 4	601	979	1145	1216	1205	1196	1043	858
แถวที่ 5	642	953	1018	1161	1190	1191	1161	1113
แถวที่ 6						981	1029	960

หมายเหตุ: รายละเอียดการตรวจวัดในภาพที่ 16

ตารางที่ ก.6 การตรวจวัดค่าความสว่างของพื้นที่ใช้งานโดยรวมของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ (ถ้ำ) ณ
ร้านสะดวกซื้อ

ตำแหน่งวัด	A	B	C	D	E	F	G	H
แถวที่ 1	588	749	868	918	910	942	882	782
แถวที่ 2	585	867	995	1092	1156	1127	1052	896
แถวที่ 3	589	910	1082	1149	1034	1172	1081	966
แถวที่ 4	567	982	1064	1173	1191	1128	993	921
แถวที่ 5	560	794	966	1066	1087	1115	1021	1055
แถวที่ 6						661	730	856

หมายเหตุ: รายละเอียดการตรวจวัดในภาพที่ 16

ตารางที่ ก.7 การตรวจวัดค่าความสว่างของพื้นที่ใช้งานโดยรวมของหลอดไฟ LED (เข้า) ณ ร้าน
สะดวกซื้อ

ตำแหน่งวัด	A	B	C	D	E	F	G	H
แถวที่ 1	651	747	840	816	834	860	853	795
แถวที่ 2	480	774	806	872	861	866	854	818
แถวที่ 3	438	741	770	850	790	868	851	755
แถวที่ 4	421	748	823	872	885	876	820	750
แถวที่ 5	543	702	778	813	764	811	793	792
แถวที่ 6						661	681	572

หมายเหตุ: รายละเอียดการตรวจวัดในภาพที่ 16

ตารางที่ ก.8 การตรวจวัดค่าความสว่างของพื้นที่ใช้งาน โดยรวมของหลอดไฟฟ้า LED (ค่า) ณ ร้าน
สะดวกซื้อ

ตำแหน่งวัด	A	B	C	D	E	F	G	H
แถวที่ 1	612	734	751	780	795	850	822	768
แถวที่ 2	451	768	844	867	843	836	835	784
แถวที่ 3	420	732	771	830	745	845	845	719
แถวที่ 4	394	721	803	864	813	876	813	625
แถวที่ 5	412	698	753	790	780	802	764	656
แถวที่ 6						619	594	577

หมายเหตุ: รายละเอียดการตรวจวัดในภาพที่ 16

ตารางที่ ก.9 การตรวจวัดค่าความสว่างของพื้นที่ใช้งานและชั้นวางของหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ (เข้า) ณ ร้านสะดวกซื้อ

ตำแหน่ง	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	จุดที่ 8	จุดที่ 9	จุดที่ 10	จุดที่ 11	จุดที่ 12	จุดที่ 13	จุดที่ 14	จุดที่ 15
บน	605	713	710	765	837	825	798	627	616	702	642	694	764	973	814
กลาง	535	590	628	654	628	647	587	293	293	340	342	320	465	490	499
ล่าง	375	396	426	476	458	446	368	250	215	262	252	264	337	365	365
ตำแหน่ง	จุดที่ 16	จุดที่ 17	จุดที่ 18	จุดที่ 19	จุดที่ 20	จุดที่ 21	จุดที่ 22	จุดที่ 23	จุดที่ 24	จุดที่ 25	จุดที่ 26	จุดที่ 27	จุดที่ 28	จุดที่ 29	จุดที่ 30
บน	688	617	920	1110	799	739	858	965	998	1157	868	1039	1191	990	1135
กลาง	622	440	476	521	551	525	575	626	622	910	659	699	658	497	570
ล่าง	468	325	373	405	412	450	493	541	516	658	425	451	485	368	386
ตำแหน่ง	จุดที่ 31	จุดที่ 32	จุดที่ 33	จุดที่ 34	จุดที่ 35	จุดที่ 36	จุดที่ 37	จุดที่ 38	จุดที่ 39	จุดที่ 40	จุดที่ 41	จุดที่ 42	จุดที่ 43	จุดที่ 44	จุดที่ 45
บน	1225	1228	965	1101	1165	970	890	1154	1178	908	990	699	770	469	485
กลาง	569	984	447	576	571	594	513	491	728	592	723	591	381	427	368
ล่าง	419	799	343	394	372	398	390	314	523	470	551	421	612	271	305
ตำแหน่ง	จุดที่ 46	จุดที่ 47	จุดที่ 48	จุดที่ 49	จุดที่ 50	จุดที่ 51	จุดที่ 52	จุดที่ 53	จุดที่ 54	จุดที่ 55	จุดที่ 56	จุดที่ 57	จุดที่ 58	จุดที่ 59	จุดที่ 60
บน	509	545	437	485	469	443	721	1089	1116	932	810	859	829	686	661
กลาง	428	490	438	414	414	334	590	781	879	781	677	690	599	525	521
ล่าง	339	311	414	359	258	272	459	612	702	619	470	505	371	347	347
ตำแหน่ง	จุดที่ 61	จุดที่ 62	จุดที่ 63	จุดที่ 64	จุดที่ 65	จุดที่ 66									
บน	664	1029	1129	1159	1138	1056									
กลาง	483	938	988	993	971	716									
ล่าง	350	647	700	658	758	636									

หมายเหตุ: รายละเอียดการตรวจวัดในภาพที่ 15

ตารางที่ ก.10 การตรวจวัดค่าความสว่างของพื้นที่ใช้งานและชั้นวางของหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ (คำ) ณ ร้านสะดวกซื้อ

ตำแหน่ง	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	จุดที่ 8	จุดที่ 9	จุดที่ 10	จุดที่ 11	จุดที่ 12	จุดที่ 13	จุดที่ 14	จุดที่ 15
บน	560	684	831	872	794	830	745	637	707	679	581	768	872	908	844
กลาง	503	580	641	685	594	705	559	327	313	321	375	456	457	472	534
ล่าง	371	472	537	551	493	581	430	247	241	302	304	383	381	398	409
ตำแหน่ง	จุดที่ 16	จุดที่ 17	จุดที่ 18	จุดที่ 19	จุดที่ 20	จุดที่ 21	จุดที่ 22	จุดที่ 23	จุดที่ 24	จุดที่ 25	จุดที่ 26	จุดที่ 27	จุดที่ 28	จุดที่ 29	จุดที่ 30
บน	923	792	744	1074	1116	764	860	956	995	1132	820	1053	1045	923	1048
กลาง	675	490	529	520	542	530	635	687	643	998	617	762	733	462	506
ล่าง	545	365	427	514	613	468	495	568	598	725	456	523	530	320	453
ตำแหน่ง	จุดที่ 31	จุดที่ 32	จุดที่ 33	จุดที่ 34	จุดที่ 35	จุดที่ 36	จุดที่ 37	จุดที่ 38	จุดที่ 39	จุดที่ 40	จุดที่ 41	จุดที่ 42	จุดที่ 43	จุดที่ 44	จุดที่ 45
บน	1159	1193	954	1027	1128	908	978	1084	1150	966	951	721	530	497	535
กลาง	540	988	706	549	583	638	628	648	749	716	705	596	430	423	370
ล่าง	448	805	338	433	446	433	404	418	577	540	591	445	272	308	327
ตำแหน่ง	จุดที่ 46	จุดที่ 47	จุดที่ 48	จุดที่ 49	จุดที่ 50	จุดที่ 51	จุดที่ 52	จุดที่ 53	จุดที่ 54	จุดที่ 55	จุดที่ 56	จุดที่ 57	จุดที่ 58	จุดที่ 59	จุดที่ 60
บน	527	557	631	588	534	514	706	900	1132	1110	1009	804	802	690	698
กลาง	404	412	479	472	423	358	618	772	809	791	788	645	597	559	580
ล่าง	332	324	385	327	279	314	502	652	639	592	599	459	412	377	440
ตำแหน่ง	จุดที่ 61	จุดที่ 62	จุดที่ 63	จุดที่ 64	จุดที่ 65	จุดที่ 66									
บน	697	1052	1038	1085	1052	946									
กลาง	541	810	913	779	764	615									
ล่าง	407	700	612	515	548	458									

หมายเหตุ: รายละเอียดการตรวจวัดในภาพที่ 15

ตารางที่ ก.11 การตรวจวัดค่าความสว่างของพื้นที่ใช้งานและพื้นวางของหลอดไฟฟ้า LED (เข้า) ณ ร้านสะดวกซื้อ

ตำแหน่ง	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	จุดที่ 8	จุดที่ 9	จุดที่ 10	จุดที่ 11	จุดที่ 12	จุดที่ 13	จุดที่ 14	จุดที่ 15
บน	531	681	755	800	759	822	740	575	440	614	541	554	663	771	629
กลาง	482	541	652	709	583	672	591	277	290	327	325	315	585	399	417
ล่าง	415	475	543	543	465	513	461	221	252	271	223	255	294	314	313
ตำแหน่ง	จุดที่ 16	จุดที่ 17	จุดที่ 18	จุดที่ 19	จุดที่ 20	จุดที่ 21	จุดที่ 22	จุดที่ 23	จุดที่ 24	จุดที่ 25	จุดที่ 26	จุดที่ 27	จุดที่ 28	จุดที่ 29	จุดที่ 30
บน	772	635	729	813	806	669	648	661	738	843	733	781	790	707	737
กลาง	583	436	458	481	518	418	480	503	502	743	499	520	483	384	402
ล่าง	494	288	398	428	433	336	377	412	417	614	332	356	354	311	326
ตำแหน่ง	จุดที่ 31	จุดที่ 32	จุดที่ 33	จุดที่ 34	จุดที่ 35	จุดที่ 36	จุดที่ 37	จุดที่ 38	จุดที่ 39	จุดที่ 40	จุดที่ 41	จุดที่ 42	จุดที่ 43	จุดที่ 44	จุดที่ 45
บน	846	881	702	774	827	650	681	714	822	614	683	543	351	361	411
กลาง	470	737	513	406	406	419	370	317	505	405	518	457	221	321	304
ล่าง	296	626	246	283	317	249	261	209	418	336	442	305	101	195	231
ตำแหน่ง	จุดที่ 46	จุดที่ 47	จุดที่ 48	จุดที่ 49	จุดที่ 50	จุดที่ 51	จุดที่ 52	จุดที่ 53	จุดที่ 54	จุดที่ 55	จุดที่ 56	จุดที่ 57	จุดที่ 58	จุดที่ 59	จุดที่ 60
บน	360	398	425	434	431	457	722	836	837	828	906	604	566	536	480
กลาง	320	355	357	332	301	290	528	674	774	691	625	523	476	384	377
ล่าง	237	259	242	221	242	210	380	528	580	605	533	380	346	281	347
ตำแหน่ง	จุดที่ 61	จุดที่ 62	จุดที่ 63	จุดที่ 64	จุดที่ 65	จุดที่ 66									
บน	481	760	779	799	817	798									
กลาง	263	567	676	636	555	485									
ล่าง	243	375	576	521	488	477									

หมายเหตุ: รายละเอียดการตรวจวัดในภาพที่ 15

ตารางที่ ก.12 การตรวจวัดค่าความสว่างของพื้นที่ใช้งานและชั้นวางของหลอดไฟฟ้า LED (ค่า) ณ ร้านสะดวกซื้อ

ตำแหน่ง	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	จุดที่ 8	จุดที่ 9	จุดที่ 10	จุดที่ 11	จุดที่ 12	จุดที่ 13	จุดที่ 14	จุดที่ 15
บน	539	640	771	781	734	810	751	605	655	696	780	667	762	656	833
กลาง	447	533	633	670	604	695	545	324	325	342	615	324	366	409	611
ล่าง	406	477	551	541	541	553	423	257	303	271	417	267	300	315	432
ตำแหน่ง	จุดที่ 16	จุดที่ 17	จุดที่ 18	จุดที่ 19	จุดที่ 20	จุดที่ 21	จุดที่ 22	จุดที่ 23	จุดที่ 24	จุดที่ 25	จุดที่ 26	จุดที่ 27	จุดที่ 28	จุดที่ 29	จุดที่ 30
บน	660	530	730	771	774	704	726	765	820	790	715	751	750	723	755
กลาง	482	405	421	454	432	452	516	493	518	566	444	536	552	361	393
ล่าง	414	285	336	389	465	339	398	410	485	523	343	413	380	287	333
ตำแหน่ง	จุดที่ 31	จุดที่ 32	จุดที่ 33	จุดที่ 34	จุดที่ 35	จุดที่ 36	จุดที่ 37	จุดที่ 38	จุดที่ 39	จุดที่ 40	จุดที่ 41	จุดที่ 42	จุดที่ 43	จุดที่ 44	จุดที่ 45
บน	851	858	607	750	820	654	738	795	834	619	556	771	451	324	350
กลาง	489	673	382	405	412	419	501	503	543	451	477	406	350	264	280
ล่าง	361	594	283	330	370	325	367	366	424	350	358	294	303	244	263
ตำแหน่ง	จุดที่ 46	จุดที่ 47	จุดที่ 48	จุดที่ 49	จุดที่ 50	จุดที่ 51	จุดที่ 52	จุดที่ 53	จุดที่ 54	จุดที่ 55	จุดที่ 56	จุดที่ 57	จุดที่ 58	จุดที่ 59	จุดที่ 60
บน	331	341	324	350	360	324	641	842	875	834	877	641	659	607	612
กลาง	241	248	256	327	394	283	506	681	672	624	603	498	507	522	523
ล่าง	234	232	245	241	253	264	400	519	570	579	430	370	305	313	297
ตำแหน่ง	จุดที่ 61	จุดที่ 62	จุดที่ 63	จุดที่ 64	จุดที่ 65	จุดที่ 66									
บน	587	810	805	807	769	640									
กลาง	462	659	668	563	579	543									
ล่าง	236	468	444	416	355	320									

หมายเหตุ: รายละเอียดการตรวจวัดในภาพที่ 15