เทคโนโลยีนวัตกรรมประหยัดพลังงานแบบใหม่โดยใช้อนุมานนิวโรฟัซซี่ควบคุมบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในระบบแสงสว่างภายในอาคารที่มีแสงจ้าระคายตา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของหลอด HID

A New Innovative Energy Saving Technology using Neuro-Fuzzy Inference for Electronic Ballasts Control in Indoor Lighting System with Discomfort Glare to Increase Energy Efficiency of HID Lamps

ทรงพล รอดทอง[1] ชำนิ ใจประดิษฐ์ธรรม[2*]และ ไชยวรุฒ จันทร์อุดร[3]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและการจัดการพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต กรุงเทพฯ

[2,3]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต กรุงเทพฯ

[*]E-mail : j_chamni@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอเกี่ยวกับเทคโนโลยีนวัตกรรมด้านประหยัดพลังงานไฟฟ้าแบบใหม่ สำหรับควบคุมอุปกรณ์บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ของระบบแสงสว่างภายในอาคารที่ติดตั้งหลอดดิสชาร์จความเข้มสูง (High-Intensity Discharge Lamp: HID) โดยใช้อนุมานนิวโรฟัซซี่ลอจิกแบบปรับตัวได้ (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference) เป็นตัวควบคุมจำลองวงจรในระบบแสงสว่าง วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานความส่องสว่างของหลอด HID ที่มีแสงจ้าระคายตา ซึ่งเริ่มจากการดำเนินงานวิจัยศึกษา สำรวจพื้นที่ใช้งาน เก็บรวบรวมข้อมูล ออกแบบและวิเคราะห์วงจรการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอด HID ทดสอบวงจรจำลองควบคุมบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ของระบบแสงสว่างที่ติดตั้งหลอด HID ในการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้อนุมานนิวโรฟัซซี่เป็นตัวควบคุมระบบและประเมินผล งานวิจัยแสดงผลการเปรียบเทียบศักยภาพการประหยัดพลังงานจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารแต่ละประเภท ผลวิจัยพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพความส่องสว่างของหลอด HID เฉลี่ย 150 lm/w มีระยะเวลาคืนทุน 3 เดือน สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของห้องจัดเลี้ยงได้ดีที่สุดถึง 8,640 kWh/ปี หรือคิดเป็นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า 65 % มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงรายวันประมาณ 20 % ดังนั้นจะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 75 %

คำสำคัญ: ระบบแสงสว่าง เพิ่มประสิทธิภาพ เทคโนโลยีนวัตกรรม ลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ประหยัดพลังงาน

บทนำ

ปัจจุบันนี้การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพที่ดีจะต้องมีการศึกษาและวางแผนการใช้พลังงานที่เหมาะสม โดยเริ่มศึกษาการใช้พลังงานอย่างถูกวิธีสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้ามีการใช้พลังงานให้น้อยที่สุด บริษัทอุตสาหกรรมมีการแข่งขันค่อนข้างสูงถ้ามีการจัดการพลังงานจะได้เปรียบในแง่ของการลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า สภาวะปัจจุบันนี้การใช้พลังงานได้เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาเป็นสาเหตุให้อัตราการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นทุกๆปี ค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากความต้องการพลังงานสูงสุดเป็นค่าใช้จ่ายที่ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องจ่ายให้กับการไฟฟ้าประมาณ 25 % ของค่าใช้จ่ายพลังงานทั้งหมด การควบคุมความต้องการไฟฟ้าสูงสุดให้มีค่าที่เหมาะสมในระบบแสงสว่างภายในอาคารถือว่าเป็นการลดค่าใช้จ่ายด้านการประหยัดพลังงาน ดังนั้นบทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเทคโนโลยีนวัตกรรมด้านประหยัดพลังงานแบบใหม่ที่มีการควบคุมบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ของระบบแสงสว่างภายในอาคารที่ติดตั้งหลอด HID เพื่อควบคุมความส่องสว่างบนพื้นที่แสงจ้าระคายตาให้พอเหมาะกับสภาวะการทำงาน เพื่อทดสอบวงจรควบคุมกระแสผ่านหลอดโดยใช้อนุมานนิวโรฟัซซี่ควบคุมระบบและเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานความส่องสว่างของหลอดที่ดีจะนำไปออกแบบเพื่อประหยัดพลังงานได้

รหัสบทความ B03-202207150006

การทบทวนวรรณกรรม

การทบทวนวรรณกรรมเป็นการศึกษาแนวคิด ทฤษฎีของตัวแปร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

หลอดดิสชาร์จความเข้มสูง (High-Intensity Discharge Lamp :HID) เป็นที่นิยมมากจึงได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องถ้าต้องการหลอด HID ที่มีอายุการใช้งานนานและมีประสิทธิภาพความส่องสว่างให้พลังงานสูงกว่าหลอดไส้ [1] การประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบจะต้องรักษาระดับความสว่างของหลอด HID และคุณภาพของแสงสว่าง ดังนั้นควรคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงแสงสว่างให้เหมาะสม (ศุลี บรรจงจิตร, 2550)

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ มีหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงหรือไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่ต่ำ 50- 60 Hz ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงมีค่า 25 - 50 kHz เมื่อป้อนให้หลอด HID (ศุภชัย ปัญญาวีร์, 2553) บัลลาสต์ส่วนใหญ่จะใช้วงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์อนุกรมที่ต่อกับโหลดขนานแบบกึ่งบริดจ์ (SRPLI) มีสัญญาณแรงดันเอาท์พุตและกระแสไฟฟ้าสลับจากแหล่งจ่ายจะถูกเรียงกระแสและกรองกระแสเพื่อเปลี่ยนเป็นแหล่งจ่ายกระแสตรงของวงจรผลิตสัญญาณความถี่สูง

การให้แสงสว่างทั่วพื้นที่ภายในอาคารแสดงภาพที่ 1 ลักษณะการติดตั้งดวงโคมในห้องประชุมของโรงแรมซึ่งเป็นวิธีการให้แสงสว่างจากดวงโคมที่มีการกระจายความเข้มส่องสว่างอย่างสม่ำเสมอ ทำให้มีความสว่างเท่ากันตลอดพื้นที่ โดยออกแบบและติดตั้งดวงโคมให้สอดคล้องกับพื้นที่ใช้งานจะช่วยประหยัดพลังงานได้ดี

ภาพที่ 1 การติดตั้งดวงโคมภายในห้องประชุมที่ให้ความสว่างแบบกระจายความเข้มแสง ที่มา: www.lumencraftlighting.com

ระบบอนุมานนิวโรฟัซซี่ลอจิกแบบปรับตัวได้ (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System: ANFIS) เป็นการประยุกต์ใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) คือ ระบบการคำนวณที่สร้างเลียนแบบการทำงานของระบบสมองมนุษย์ ข้อดีเรื่องการเรียนรู้เพื่อใช้ประโยชน์ในการคาดคะเนเหตุการณ์จากข้อมูล ANNประกอบด้วยเซลล์ประสาท (Neural) ที่เชื่อมโยงการทำงานของระบบสมองมนุษย์โดยใช้ฟังก์ชันถ่ายโอน(Transfer) เซลล์ประสาทหลายส่วนจะถูกเชื่อมต่อกันเป็นลักษณะโครงข่ายเป็นชั้น (Layer) เช่นเดียวกับการเชื่อมโยงวงจรของระบบแสงสว่าง ชั้นอินพุต (Input Layer) เป็นส่วนที่รับข้อมูลในแต่ละนิวรอน [2] จะถูกเก็บในรูปค่าถ่วงน้ำหนักของการเชื่อมต่อทั้งโครงข่ายด้วยค่าสุ่มตัวอย่าง (Random Value) ชั้นซ่อน (Hidden Layer)ทำการประมวลผลโดยใช้ฟังก์ชันการแปรรูปที่สร้างจากชุดเรียนรู้ให้เป็นค่าผลลัพธ์ จำนวนชั้นซ่อนอาจมากกว่า 1 ชั้น (P. Phokharatkul and et.al.,2005) และชั้นเอาท์พุต (Output Layer)จะเป็นส่วนแสดงผลลัพธ์สุดท้ายของโครงข่าย ANN จะทำนายคำตอบของปัญหาเมื่อระบบได้รับการเรียนรู้สิ่งใหม่ก็จะทำการปรับค่าตัวแปรให้เหมาะสม (www.lumencraftlighting.com)

รหัสบทความ B-202207150006

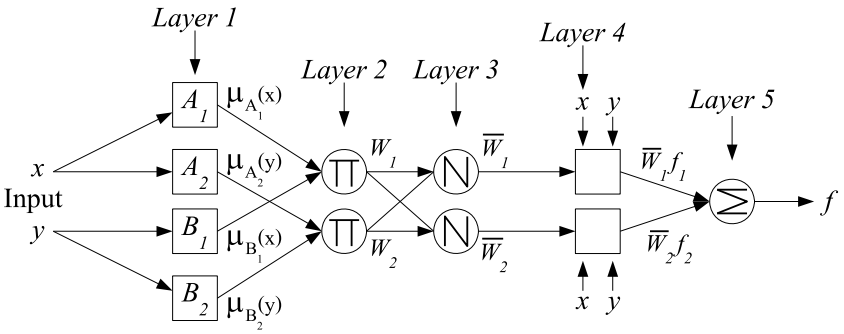
การออกแบบตัวควบคุมอนุมานนิวโรฟัซซี่แบบปรับตัวได้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนอนุมานฟัซซี่ (Fuzzy Inference) และส่วนการเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ (Back Propagation) ของโครงข่ายประสาทเทียมจะต้องอาศัยความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวกับฟัซซี่ลอจิก เพื่อกำหนดโครงสร้างระบบอนุมานนิวโรฟัซซี่ลอจิกแบบปรับตัวได้และอัลกอลิทึมหลายชั้นที่เชื่อมโยงของตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกเป็นสมาชิกและไม่เป็นสมาชิกแสดงดังภาพที่ 2 การสร้างฟังก์ชันสำหรับออกแบบตัวควบคุมจะอาศัยโครงสร้างระบบอนุมานนิวโรฟัซซี่ที่มี 2 อินพุต, 1 เอาท์พุต แต่ละอินพุตแบ่งเป็น 2 ฟัซซี่เซต แต่ละเซตจะประกอบด้วย A_1, A_2 และ B_1, B_2 พารามิเตอร์ของเอาท์พุตเป็น p_L, q_L และ r_L โดยมีกฎจำนวน L กฎ ดังนี้

กฎข้อที่ 1: IF x_1 is A_1 and x_2 is B_1 THEN $f_1 = p_1x_1 + q_1x_2 + r_1$

กฎข้อที่ 2: IF x_1 is A_2 and x_2 is B_2 THEN $f_2 = p_2x_1 + q_2x_2 + r_2$

$\vdots \qquad\qquad \vdots \qquad\qquad \vdots$

กฎข้อที่ L: IF x_1 is A_L and x_2 is B_L THEN $f_L = p_Lx_1 + q_Lx_2 + r_L$



ภาพที่ 2 โครงสร้างระบบอนุมานนิวโรฟัซซี่ลอจิกแบบปรับตัวได้

วิธีการดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยนี้ มีขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษา ค้นคว้าข้อมูลการประหยัดพลังงานในระบบแสงสว่าง และนำไปใช้เพื่อเป็นแนวทางการจัดการพลังงาน
2. ออกแบบวงจรและวิเคราะห์วงจรการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอด HID
3. สำรวจพื้นที่ใช้งานให้แสงสว่างว่าบริเวณใด ทำให้สามารถลดความส่องสว่างพื้นที่นั้นๆ ลงได้
4. เก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละห้องของอาคาร
5. ทดสอบวงจร SRPLI หาสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบแสงสว่างแต่ละห้องภายในอาคาร และควบคุมบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งหลอด HID โดยใช้อนุมานนิวโรฟัซซี่เป็นตัวควบคุมระบบ
6. วิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าในเชิงเปรียบเทียบและหาประสิทธิภาพความส่องสว่างในแต่ละห้องของอาคาร
7. กำหนดแนวทางการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า สังเกตผลที่ได้คำนึงถึงการประหยัดพลังงานไฟฟ้า
8. ปรับปรุงแก้ไขและประเมินผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของการติดตั้งหลอด HID
9. สรุปผลการดำเนินงานและเสนอแนวทางการจัดการพลังงานและประหยัดพลังงานไฟฟ้า

1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

1.1 ข้อมูลวิจัยทั่วไป: อาคารโรงแรมแห่งหนึ่งมีพื้นที่ขนาด 25 x 18 x 4.7 เมตร ห้องประชุมต้องการค่าความเข้มแสง 500 lux ห้องจัดเลี้ยงต้องการค่าความเข้มแสง 350 lux ห้องนอนต้องการค่าความเข้มแสง 200 lux ห้องต้อนรับแขกต้องการค่าความเข้มแสง 286 lux และห้องครัวต้องการค่าความเข้มแสง 150 lux ถ้าพื้นผิวใช้งานมีความสูงจากพื้น 0.85 เมตร โดยห้องประชุมติดตั้งหลอด HID ขนาด 150 W จำนวน 3 แถวๆ ละ 6 ดวงโคม (4 ชม./วัน) ห้องจัดเลี้ยงติด

หลอด HID ขนาด 250 W จำนวน 2 แถวๆ ละ 8 ดวงโคม (6 ชม./วัน) ห้องนอนติดตั้งหลอด HID ขนาด 150 W จำนวน 1 แถวๆ ละ 2 ดวงโคม(8 ชม./วัน) ห้องต้อนรับติดหลอด HID ขนาด 85 W จำนวน 3 แถวๆ ละ 2 ดวงโคม(10 ชม./วัน) ห้องครัวติดหลอด HID ขนาด 65 W จำนวน 2 แถวๆ ละ 4 ดวงโคม (14 ชม./วัน) ค่าฟลักซ์ความส่องสว่าง 2,800 Lumen กำหนดให้ค่าการสะท้อนของเพดาน 0.7 และฝาผนัง 0.3, MF = 0.8, UF = 0.46 แต่ละห้องมีพื้นที่ปรับอากาศ 6,850 m^2 คิดเป็น 70 % และพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 3,150 m^2 คิดเป็น 30 %

1.2 ข้อมูลการใช้พลังงาน การใช้พลังงานภายในอาคารมี 3 ระบบ คือระบบแสงสว่างมีสัดส่วนการใช้พลังงานร้อยละ 49 ระบบปรับอากาศมีสัดส่วนการใช้พลังงานร้อยละ 38 และระบบอื่นๆ มีสัดส่วนการใช้พลังงานร้อยละ 13

1.3 ข้อมูลด้านอุปกรณ์ ได้แก่ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ หลอดดิสชาร์จความเข้มสูง: HID

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1 ลักซ์มิเตอร์ (Lux meter) คือเครื่องมือที่แม่นยำเพื่อวัดแสงสว่างหรือความเข้มแสง หน่วย lux, cd/m^2

2.2 เครื่องคอมพิวเตอร์ และโปรแกรมออกแบบแสงสว่าง Dialux

2.3 วัตต์มิเตอร์ เพื่อตรวจวัดหาพลังงานไฟฟ้า

3. วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

เริ่มต้นตรวจสอบความส่องสว่างของการติดตั้งหลอด HID ภายในอาคารของโรงแรม ได้แก่ ห้องประชุมสัมมนา ห้องจัดเลี้ยง ห้องนอน ห้องต้อนรับแขก และห้องครัว เพื่อวัดหาความเข้มแสงของหลอดด้วยลักซ์มิเตอร์ วิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าและหาประสิทธิภาพความส่องสว่างทั้งก่อนและหลังการปรับเปลี่ยนมาตรการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า เพื่อดูผลกระทบที่เกี่ยวข้องทั้งหมดในระบบแสงสว่างที่ติดตั้งหลอด HID ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์การทำงานของหลอด HID ในช่วงระยะเวลาเดียวกันของการทำงานเครื่องปรับอากาศที่มีการใช้พลังงานในแต่ละวันตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน 2565 ถึง 31 พฤษภาคม 2565 จดบันทึกข้อมูลและทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอด HID แต่ละวันจากการตรวจวัดหาความส่องสว่างในแต่ละห้องเพื่อนำข้อมูลไปใช้คำนวณหาการประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่อไป

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ วิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าในเชิงเปรียบเทียบและหาประสิทธิภาพความส่องสว่างในแต่ละห้องของอาคาร วิเคราะห์ระบบแสงสว่างภายในอาคารของห้องประชุมสัมมนา ห้องจัดเลี้ยง ห้องนอน ห้องต้อนรับแขก และห้องครัวของโรงแรมทั้งก่อนและหลังการปรับเปลี่ยนมาตรการใช้พลังงานโดยใช้อนุมานนิวโรฟัซซี่ลอจิกควบคุมวงจรในระบบแสงสว่าง วิเคราะห์การใช้พลังงานและความต้องการพลังงานไฟฟ้าโหลดสูงสุดของแต่ละห้องภายในอาคารในระบบ โดยอ้างอิงจากกฎกระทรวงตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการจดบันทึกการทำงานของวงจรทดสอบและหลอด HID วัดค่าการใช้พลังงาน คำนวณหาประสิทธิภาพการใช้พลังงานความส่องสว่างของหลอด HID ที่มีแสงจ้าระคายตา วิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงานโดยทำการศึกษามาตรการการประหยัดพลังงานที่เหมาะสมกับอาคารโรงแรมโดยไม่ให้มีผลกระทบกับผู้มาใช้บริการและพนักงานของโรงแรมฯ วิเคราะห์การลดใช้พลังงานต่าง ๆ ของระบบ ได้แก่ การควบคุมปรับความเข้มแสงของหลอด HID ให้เหมาะสมกับค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดภายในอาคาร เพื่อนำไปคำนวณหาค่าใช้จ่ายไฟฟ้าต่อปี

5. การวิเคราะห์วงจร SRPLI ในแต่ละโมเดล

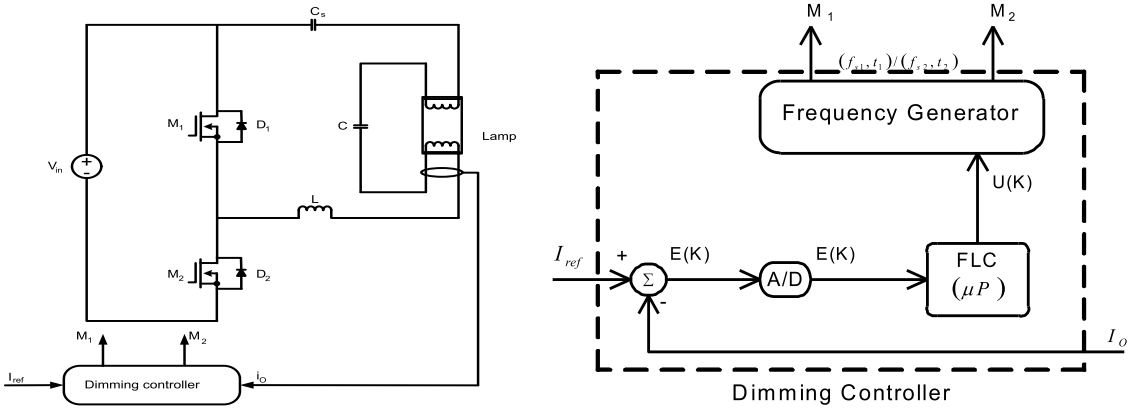
บล็อกไดอะแกรมแสดงดังภาพที่ 3 (ก) จะประกอบด้วยวงจรอินเวอร์เตอร์เป็นตัวกำเนิดความถี่หลักมูลของแรงดันและตัวควบคุมนิวโรฟัซซี่ลอจิกที่มีวงจรกึ่งบริดจ์ [4] ควบคุมกำลังไฟฟ้าของวงจร SRPLI ที่มีการทำงานสวิทซ์ M_1

และ M_2 ในภาคแรงดันศูนย์ และวัดสัญญาณรูปคลื่นด้วยแหล่งจ่ายแรงดันความถี่หลักมูล V_{DC} ดังนั้นวิเคราะห์ในแต่ละโมเดลเพื่อให้มีคุณภาพสูงเพียงพอแล้วแทนหลอดด้วยความต้านทานเทียบเคียง R_{lamp} หากระแสเอาท์พุทจากสมการดังนี้

$$I_{O(n)} = \frac{|I_O(j\omega) // R_S|}{|V_S(j\omega)|} = \frac{|V_O(j\omega) // R_S|}{R_{lamp} / V_S(j\omega)} = \frac{V_{O(n)}}{R_{lamp(n)}} \quad (1)$$

เมื่อ V_o และ I_o คือ แรงดันและกระแสเอาท์พุทของหลอด

V_H และ R_S คือ แรงดันเทียบเคียงและความต้านทานต่ออนุกรมกันภายในหลอดด้วยความถี่ของบัลลาสต์



(ก) (ข)

ภาพที่ 3

ภาพที่ 3 (ข) แสดงบล็อกฟังก์ชันวงจรสมมูลด้วยความถี่หลักมูล ω_n กับตัวควบคุม FLC ในระบบที่ใช้หลอดเป็นตัวควบคุมสัญญาณกระแส I_0 และเปรียบเทียบค่ากระแส I_{ref} ที่แหล่งกำเนิดสัญญาณผิดเพี้ยนแรงดัน $E(t)$ เพื่อทำการแปลงสัญญาณ A/D ให้อยู่ในระบบควบคุม ANFIS ซึ่ง I_{ref} เป็นกระแสอ้างอิงที่จ่ายให้วงจรควบคุม Dimming Controller เพื่อทำการควบคุมแรงดัน $E(k)$ และ $\Delta E(k)$ ปรับค่าให้มีสัญญาณความถี่เชิงมุมและตัวควบคุมสัญญาณเอาท์พุท $U(k)$ ให้มีความเหมาะสม สามารถควบคุมความถี่ f_{S1} และ f_{s2} ณ เวลา t_1 และ t_2 เพื่อต้องการให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านหลอด HID

6. ทดสอบวงจรควบคุมระบบโดยใช้กฎการเรียนรู้ตัวควบคุม Neuro-Fuzzy

การจำลองระบบควบคุมแสงสว่าง และทดสอบวงจรควบคุมให้กระแสผ่านหลอด HID โดยใช้ Adaptive Neuro-Fuzzy logic Control: ANFLC เป็นตัวควบคุมวงจรในระบบ สามารถอธิบายขั้นตอนทดสอบวงจร มีดังนี้ [5]

6.1 กำหนดวัตถุประสงค์ในการควบคุมระบบและใช้กฎเกณฑ์ เช่น ตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมระบบ มีลักษณะรูปแบบผลการตอบสนองที่ต้องการและปัจจัยที่มีผลต่อการผิดพลาดในระบบแสงสว่าง

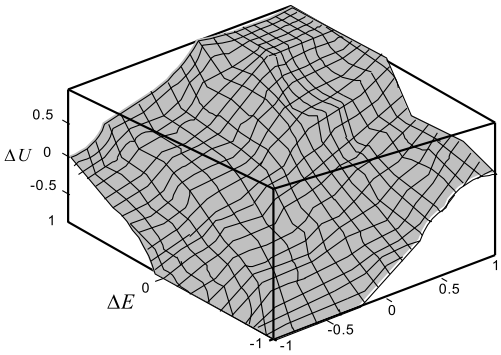
6.2 กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างอินพุทและเอาท์พุตในระบบแสงสว่าง โดยเลือกตัวแปรที่มีค่าน้อยที่สุด

6.3 ใช้โครงสร้างพื้นฐานกฎการเรียนรู้ตัวควบคุม Neuro-Fuzzy กำหนดปัญหาของการควบคุมตัวแปร X, Y ถ้ากำหนดเอาท์พุตแล้ว จะขึ้นอยู่กับจำนวนตัวแปรของอินพุทและเงื่อนไขของแต่ละข้ออินพุทและความซับซ้อนของกฎ

6.4 สร้างสมาชิกใหม่ของฟังก์ชันใช้กฎควบคุม Neuro-Fuzzy บนเส้นโค้งพื้นผิวของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จากการควบคุมความเข้มแสงของหลอด HID [6] โดยตัวควบคุม ANFLC แสดงดังภาพที่ 4

6.5 ส่วนของซอฟต์แวร์ให้สร้างลำดับของฟัซซี่ลอจิกที่จำเป็นที่ต้องการประมวลผลก่อนและหลัง

6.6 ทำการทดสอบระบบแสงสว่าง ประเมินผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้า ปรับปรุงกฎควบคุมและสมาชิกของฟังก์ชันฟัซซี่ลอจิกให้มีความเหมาะสมที่สุด ทดสอบระบบซ้ำอีกครั้งหนึ่งจนกระทั่งผลลัพธ์เป็นที่พอใจได้รับการยอมรับ



ภาพที่ 4 เส้นโค้งพื้นผิวของอุปกรณ์บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จากการควบคุมความเข้มแสงของหลอด HID โดยใช้ตัวควบคุม ANFLC

(ก) (ข)

ภาพที่ 5 (ก) ผลการลดกระจายความส่องสว่างจากแสงจ้าที่ได้จากการใช้แสงสว่างโดยตรงบนพื้นผิว, และ(ข) กรณีไม่ได้ปรับลดการกระจายความส่องสว่างบนพื้นผิวที่ได้จากการใช้แสงสว่างโดยทางอ้อม ทำให้เกิดแสงจ้าพร่านัยน์ตาและแสงจ้าระคายตา [3]

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้พบว่าผลทดสอบวงจรจากภาพที่ 3 ที่ใช้ตัวควบคุม Neuro-Fuzzy ของโครงข่าย ANFIS กำหนดให้มี 2 เลเยอร์ซ่อนได้แก่ เลเยอร์ซ่อนที่ 1, เลเยอร์ซ่อนที่ 2 และเลเยอร์เอาท์พุตจะใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนที่มีกระบวนการเรียนรู้เริ่มต้นจากการตัดสินใจพิจารณาโครงสร้างของโครงข่าย ANFIS ด้วยเลเยอร์ที่ซับซ้อนน้อยที่สุด โดยใช้ฟังก์ชันการแปรรูปในแต่ละขั้นตอนการทดสอบวงจร SRPLI กำหนดค่าของการสุ่มตัวแปรประมาณค่าให้สอดคล้องกับความน่าจะเป็นของฟังก์ชันที่เหมาะสมกับตัวแปรแต่ละตัว ตารางที่ 1 แสดงผลค่าเปรียบเทียบความผิดพลาดในวงจรทดสอบโดยใช้อนุมาน Neuro-Fuzzy ตามจำนวนนิวรอนในแต่ละเลเยอร์ซ่อน และชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนเป็นการเลือกมาจากกระบวนการลองผิดลองถูก ผลความผิดพลาดระหว่างควบคุมโครงข่าย ANFIS โดยใช้ตัวควบคุมอนุมาน Neuro-Fuzzy กับโดยใช้โปรแกรมออกแบบแสงสว่าง Dialux เลือกโมเดลตำแหน่งที่ติดตั้งและชนิดของหลอด HID กำหนดให้โครงสร้างของจำนวนนิวรอนในเลเยอร์ซ่อนที่ 1-2 คือ 11-10 ถึง 20-19 โดยทำการทดสอบ 20 ครั้งและเลือกจำนวนครั้งที่ให้ค่าความผิดพลาดของวงจรทดสอบน้อยที่สุดมาเปรียบเทียบ ผลวิจัยพบว่าการทดสอบด้วยตัวควบคุม Neuro-Fuzzy จะมีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดคือ 0.1712 ณ จำนวนนิวรอน 17-16 แสดงว่าควบคุมได้ดีกว่า เมื่อเทียบกับใช้โปรแกรมออกแบบแสงสว่าง Dialux มีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดคือ 0.1967 ณ จำนวนนิวรอน 12-11 ดังนั้นอธิบายได้ว่าการประมวลผลค่าอินพุทของวงจรในระบบแสงสว่างไม่จำเป็นต้องมีความแม่นยำ ทำให้มีผลสามารถลดการกระจายความส่องสว่างจากพื้นที่แสงจ้าในระบบโดยตรง ห้องควรจะมีดัชนีแสงจ้าจำนวนนิวรอนน้อยกว่า 19 ตามมาตรฐาน IES จะช่วยประหยัดพลังงานยอมรับได้ ถ้าไม่ปรับลดการกระจายความส่องสว่างบนพื้นผิวโดยทางอ้อมทำให้เกิดแสงจ้าพร่านัยน์ตาและระคายตาดังแสดงภาพที่ 5

ผลตารางที่ 2 พบว่าผลที่ได้จากการตรวจวัดห้องจัดเลี้ยงภายในอาคารโรงแรมมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดโดยเฉลี่ย 4,000 W/day พลังงานไฟฟ้าสูญเสียสูงสุดของหลอด HID ประมาณ 720 kWh/month ผลตรวจวัดของห้องนอนมีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำสุดโดยเฉลี่ย 300 W/day พลังงานไฟฟ้าสูญเสียต่ำสุดของหลอด HID ประมาณ 72 kWh/month แต่พบว่าห้องประชุมสัมมนามีค่าตัวประกอบกำลังสูงสุดคือ Cosα = 0.96 มีพลังงานไฟฟ้าสูญเสียเพียง 324 kWh/month เพราะว่าบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีคุณภาพสูงจะมีอายุการใช้งานที่นานและ Cosα ค่าใกล้เคียง 1.0 ถ้าบัลลาสต์มีคุณภาพต่ำจะมี Cosαน้อยลง เมื่อติดตั้งบัลลาสต์ที่มี Cosαน้อยลง จะทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย ซึ่งพลังงานไฟฟ้าสูญเสียจะเป็นสัดส่วนผกผันกับ Cosα ถ้า Cosα มีค่าสูงจะขึ้นอยู่กับค่ามุม α สามารถลดกำลังสูญเสียของบัลลาสต์ได้เฉลี่ย 65 W

ตารางที่ 1 ผลค่าผิดพลาดของระบบเพื่อลดการกระจายความส่องสว่างช่วยประหยัดพลังงานโดยใช้อนุมาน Neuro-Fuzzy

จำนวนนิวรอน ในเลเยอร์ซ่อนที่ 1-2	Test Error	
	ควบคุมโดยใช้อนุมาน Neuro-Fuzzy ในระบบแสงสว่าง	ควบคุมโดยใช้โปรแกรมออกแบบแสงสว่าง Dialux
11-10	0.1932	0.2243
12-11	0.1756	0.1967
13-12	0.1854	0.2059
14-13	0.1802	0.2118
15-14	0.2536	0.2405
16-15	0.2149	0.2234
17-16	0.1712	0.2253
18-17	0.2315	0.2438
19-18	0.2750	0.2849
20-19	0.2416	0.2576

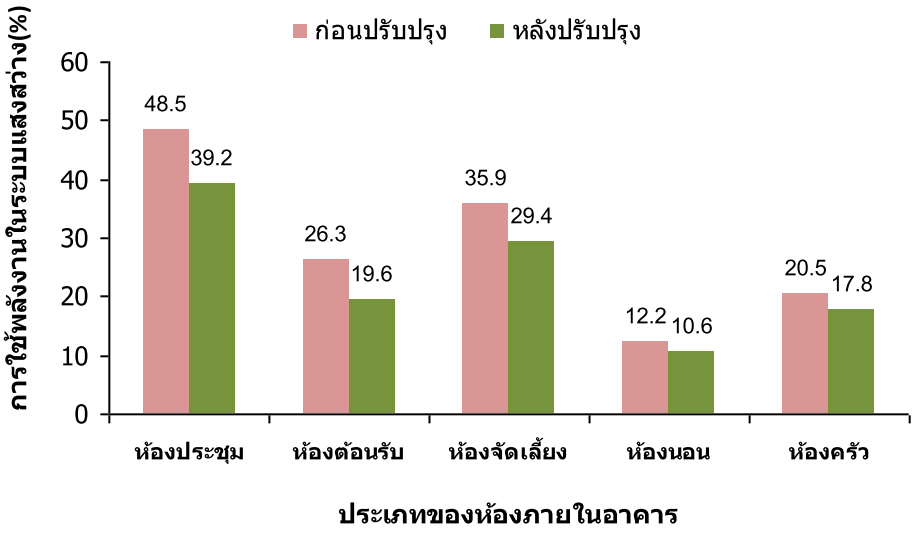
ตารางที่ 2 ผลตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของภายในอาคารโรงแรมจำแนกประเภทของห้องใน 1 เดือน

ประเภทของห้อง	ตัวแปรที่ตรวจวัด				
	พลังงานไฟฟ้า (W/day)	แรงดันใช้งาน U_k (Volt/day)	ลดกำลังสูญเสียบัลลาสต์ (W)	ค่าประกอบกำลัง (Cosα)	พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย (kWh/month)
ห้องประชุม	2,700	220	65	0.96	324
ห้องต้อนรับแขก	510	220	63.5	0.85	153
ห้องจัดเลี้ยง	4,000	220	65	0.90	720
ห้องนอน	300	220	64	0.80	72
ห้องครัว	520	220	63	0.82	218.4

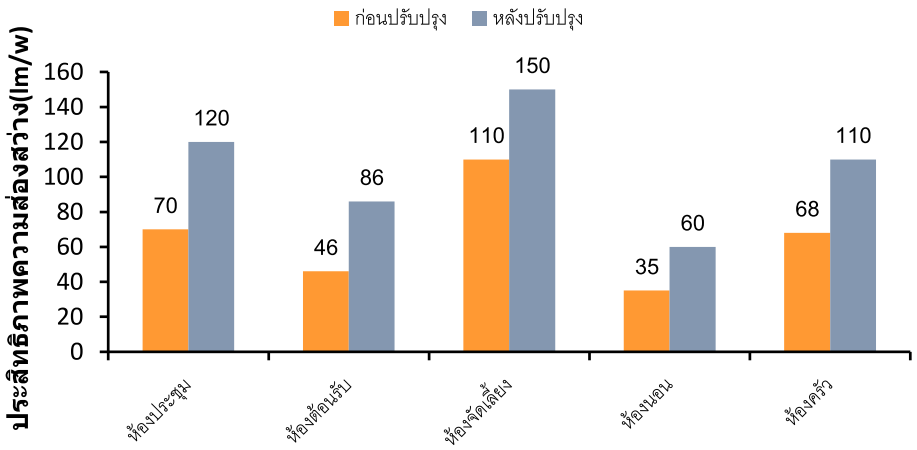
ผลวิเคราะห์ภาพที่ 6 แสดงกราฟสัดส่วนการใช้พลังงานของหลอด HID ในระบบแสงสว่างภายในอาคาร พบว่าก่อนปรับปรุงห้องประชุมสัมมนามีสัดส่วนการใช้พลังงานสูงสุด 48.5 % ห้องนอนมีสัดส่วนการใช้พลังงานต่ำสุด 12.2 แต่ภายหลังปรับปรุงที่มีการควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมอนุมานนิวโรฟัซซี่ พบว่าห้องทุกประเภทมีสัดส่วนการใช้พลังงานลดลง โดยเฉพาะห้องนอนมีสัดส่วนการใช้พลังงานต่ำสุด 10.6 % เพราะว่าหลังปรับปรุงห้องภายในอาคารส่วนมากมีศักยภาพในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าดังนี้ ห้องประชุมสัมมนาประหยัดพลังงานประมาณ 75.6 % ห้องต้อนรับแขกประหยัดพลังงานประมาณ 65.8 % ห้องจัดเลี้ยงประหยัดพลังงานประมาณ 70.5 % ห้องนอนประหยัดพลังงานประมาณ 80 % และห้องครัวประหยัดพลังงานประมาณ 68.9 % ดังนั้นภายในอาคารช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้โดยเฉลี่ยประมาณ 75 %

ผลวิเคราะห์ภาพที่ 7 แสดงกราฟประสิทธิภาพการใช้พลังงานความส่องสว่างของหลอด HID ในระบบแสงสว่างภายในอาคารโรงแรม ก่อนปรับปรุงค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานความส่องสว่างของห้องทุกประเภทลดลง เช่นห้องนอนมีค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำสุดคือ 35 lm/w แต่ภายหลังปรับปรุงการใช้พลังงานโดยใช้ตัวควบคุมอนุมานนิวโรฟัซซี่ พบว่าห้องทุกประเภทจะมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานความส่องสว่างของติดตั้งหลอด HID ค่อยๆเพิ่มขึ้น เช่น ห้องจัดเลี้ยง

มีค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยประมาณ 150 lm/w เพราะว่าการเลือกชนิดของหลอด HID พิจารณาคุณภาพของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้า ควรคำนึงถึงค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานความส่องสว่างในแต่ละชนิดของหลอดด้วย และระดับความเข้มแสงของหลอดในการมองเห็นวัตถุจะมีผลต่อประสิทธิภาพความส่องสว่าง



ภาพที่ 6 ผลสัดส่วนการใช้พลังงานของหลอด HID ในระบบแสงสว่างภายในอาคารก่อนและหลังปรับปรุงที่มีการควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมอนุมานนิวโรฟัซซี่



ภาพที่ 7 ผลประสิทธิภาพความส่องสว่างของหลอด HID ภายในอาคารก่อนและหลังปรับปรุงการใช้พลังงานโดยใช้ตัวควบคุมอนุมานนิวโรฟัซซี่

ผลตารางที่ 3 พบว่าภายหลังปรับปรุงระบบแสงสว่างของการติดตั้งหลอด HID จะมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานความส่องสว่างของหลอด HID ค่าระหว่าง 65-150 lm/w จากการปล่อยประจุที่มีความเข้มสูงเป็นแสงสีขาว มีอายุการใช้งานนานประมาณ 8,000-24,000 ชม. สามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าหลอดอินแคนเดสเซนต์ประมาณ 10-15 lm/w จึงนิยมติดตั้งหลอด HID ในบริเวณพื้นที่ขนาดใหญ่ที่ต้องการความสว่างต่อเนื่อง จากผลการวิจัยสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของห้องจัดเลี้ยงได้ดีที่สุดถึง 8,640 kWh/ปี ดังนั้นลดการใช้พลังงานไฟฟ้าทำให้ประหยัดพลังงานได้ 75 %

ตารางที่ 3 ผลวิเคราะห์ศักยภาพการประหยัดพลังงานและลดใช้พลังงานหลังปรับปรุงในการติดตั้งหลอดภายในอาคาร

รายละเอียด	ประเภทของห้องภายในอาคารโรงแรม				
	ห้องประชุม	ห้องต้อนรับ	ห้องจัดเลี้ยง	ห้องนอน	ห้องครัว
การใช้พลังงานไฟฟ้า(ก่อน): kWh/ปี	5,640	2,459	11,530	1,290	3,746
ลดการใช้พลังงานไฟฟ้า(หลัง): kWh/ปี	3,887	1,836	8,640	864	2,621
ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด: kW	2.7	0.51	4	0.3	0.52
ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน(หลัง) lm/w	120	86	150	65	110
ระยะเวลาคืนทุน (เดือน)	2.15	3	2.26	1.5	1.8
ศักยภาพการประหยัดพลังงาน : %	75.6	65.8	75	80	68.9

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยสามารถอธิบายได้ว่าการวิเคราะห์ผลการอนุรักษ์พลังงาน สามารถแบ่งได้เป็น 2 ระดับ คือมาตรการที่ไม่ต้องลงทุนหรือลงทุนน้อย จะต้องทำการวิเคราะห์เฉพาะผลการประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายที่ลดลง ส่วนมาตรการที่ต้องใช้เงินลงทุนมากจะต้องทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมถึงระยะเวลาคืนทุน และผลตอบแทนในการลงทุนเพื่อให้ผู้ใช้สามารถตัดสินใจในการลงทุนได้ และสามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่อุปกรณ์บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ประมาณ 65 วัตต์ เหตุผลเพราะว่าค่ากระแสที่ไหลผ่านวงจรทดสอบขณะเริ่มต้นทำงานมีค่าสูงมากขึ้น และผลวิจัยพบว่าการควบคุมจำลองวงจรในระบบแสงสว่างโดยใช้ตัวควบคุมอนุมานนิวโรฟัซซี่ลอจิกแบบปรับตัวได้ สามารถทำการปรับลดการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เหมาะสมกับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด (On peak of Maximum Demand) ช่วงหลังทำการปรับปรุงจึงพบว่าความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงรายวันประมาณ 20 % เพราะว่ากระแสไฟฟ้าผ่านหลอด HID เป็นเวลานานจะค่อยๆ ลดน้อยลง เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้บัลลาสต์ธรรมดาที่ให้แสงสว่างเท่ากัน ถ้าเลือกใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต่อเข้ากับวงจร สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่บัลลาสต์ได้ประมาณ 65 วัตต์ ดังนั้นจึงส่งผลช่วยลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าลงได้ในระบบแสงสว่าง และผลการวิจัยพบว่าการลดกระจายความสว่างบนพื้นผิวสามารถป้องกันการเกิดแสงจ้าระคายตาภายในอาคารได้ ทำให้เกิดการมองเห็นได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดความสบายตา อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานความส่องสว่างของหลอด HID เพื่อทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] N. Songvijit and et.al.,“ Program for installing the HID lamps with lighting system control for saving energy,” *Proceeding EECON*, Srinakharinwirot University, pp.387-390, Oct. 20-21, 2008 (in Thai).

[2] P. Phokharatkul and et.al., “ Use of adaptive neuro-fuzzy inference control systems in electrical power generation,”*International conference on ROVISP 2005*, Penang, Malaysia,20-22 July 2005

[3] คู่มือแนวทางการออกแบบความส่องสว่างภายในอาคาร. (2556). สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย TIEA วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ, 11-68.

[4] ธนัดชัย กุลวรวานิชพงษ์ และคณะฯ, (2546). **การควบคุมความสว่างภายในและการประหยัดพลังงานด้วยตัวควบคุมฯ**, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 26 (EECON-26), 6-7 พฤศจิกายน.

[5] ศุลี บรรจงจิตร. (2550). **วิศวกรรมการส่องสว่าง.** สำนักพิมพ์ซีเอ็ด ยูเคชั่น จำกัด.พิมพ์ครั้งที่3,กรุงเทพฯ: 211-298.

[6] ศุภชัย ปัญญาวีร์. (2553). “**อาคารแต่ละประเภทสามารถประหยัดพลังงานได้อย่างไร**”, รวบรวมบทความวารสารเทคนิค EC เรื่องการประหยัดพลังงาน ชุดที่ 1. 225-250.

รหัสบทความ B-202207150006