การจำลองสภาพเสมือนจริงของพื้นที่อาคารสำนักงานเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงานระหว่างเทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป และเทคนิคการให้แสงสว่างในพื้นที่ใช้งานในลักษณะทั่วไป

The Computer Simulation of Office Space to compare Energy Performance between Task – Ambient Lighting and Uniform Lighting

ภคพร เรืองศรี [1] และ วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ [2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ เรื่อง การพัฒนาโคมไฟประหยัดพลังงานซึ่งใช้เทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไปสำหรับอาคารสำนักงาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงานและประสิทธิภาพแสงสว่างระหว่างเทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป และเทคนิคการให้แสงสว่างในพื้นที่ใช้งานในลักษณะทั่วไป โดยใช้วิธีการจำลองสภาพเสมือนจริงของการให้แสงสว่างในพื้นที่อาคารสำนักงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DIALux 4.6 ในขั้นตอนการวิจัยได้จำลองห้องทำงาน ขนาด 27 ตารางเมตร จำนวนสองห้อง ห้องทำงานแรกใช้เทคนิคการให้แสงสว่างในพื้นที่ใช้งานในลักษณะทั่วไป และห้องทำงานที่สองใช้เทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป โดยกำหนดให้ค่าเฉลี่ยของค่าการส่องสว่างที่ระนาบแนวนอนที่ระดับโต๊ะทำงานของทั้งสองห้องมีค่าเท่ากัน

ผลการวิจัยพบว่า ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างภายในของห้องทำงานที่ใช้เทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป มีค่า 7.11 วัตต์/ตารางเมตร ส่วนห้องทำงานที่ใช้เทคนิคการให้แสงสว่างในพื้นที่ใช้งานในลักษณะทั่วไป มีค่า 13.33 วัตต์/ตารางเมตร โดยผลที่ได้นั้นมีค่าน้อยกว่าค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างภายในสำหรับอาคารสำนักงานที่มีค่า 14 วัตต์/ตารางเมตร ซึ่งกำหนดโดยร่างกฎกระทรวงฯ พ.ศ.2550 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสองเทคนิคพบว่า ห้องทำงานที่ใช้เทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไปมีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างภายในที่น้อยกว่าห้องทำงานที่ใช้เทคนิคการให้แสงสว่างในพื้นที่ใช้งานในลักษณะทั่วไป 46.7% เมื่อนำเทคนิคนี้ไปประยุกต์ใช้งานในพื้นที่อาคารสำนักงานทั่วไปจะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับระบบแสงสว่างลงได้ และสามารถนำไปใช้เป็นเกณฑ์ในการพัฒนาออกแบบอุปกรณ์ทางด้านการให้แสงสว่างต่อไปได้ในอนาคต

คำสำคัญ: เทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป, ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างภายใน, อาคารสำนักงาน, ประสิทธิภาพพลังงาน, ประสิทธิภาพแสงสว่าง

[1] นิสิตมหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[2] อาจารย์ประจำภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทนำ

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับดำเนินอาคารแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง และอุปกรณ์ไฟฟ้า ในปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับระบบแสงสว่างในอาคารสำนักงาน มีสัดส่วน 20 – 30 % ซึ่งสูงเป็นลำดับที่ 2 รองจากพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับระบบปรับอากาศ เพื่อลดวิกฤติการณ์ด้านพลังงานโดยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับระบบแสงสว่าง นักวิจัยและนักออกแบบด้านแสงสว่างจึงได้มีการศึกษาสภาพการให้แสงสว่างที่มีอยู่เดิมในอาคารสำนักงาน เพื่อหาแนวทางในการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

การออกแบบระบบแสงสว่างในพื้นที่ใช้งานทั่วไปของอาคารสำนักงาน *[2]* โดยทั่วไปมักจัดวางตำแหน่งดวงไฟแบบสมมาตรเพื่อให้เกิดแสงสว่างอย่างสม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งพื้นที่ แต่ในบางบริเวณ เช่น ทางเดินระหว่างโต๊ะทำงานและเก้าอี้ทำงาน ไม่มีจำเป็นต้องมีค่าการส่องสว่างที่เท่ากับพื้นที่ทำงานบนโต๊ะทำงาน นักวิจัยและนักออกแบบทางด้านแสงสว่างจึงได้เสนอเทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป เพื่อเป็นการช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับระบบแสงสว่างได้ทางหนึ่ง

เทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป (Task – Ambient Lighting) *[5]* เป็นเทคนิคที่มีการให้แสงสว่างในปริมาณสูงเฉพาะพื้นที่ทำงาน (Task Lighting) ตามค่าการส่องสว่างที่ต้องการที่เหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภท และมีการเสริมการให้แสงสว่างทั่วไป (Ambient Lighting) ซึ่งมีค่าการส่องสว่างที่ลดต่ำลงแต่ยังอยู่ในปริมาณที่เพียงพอสำหรับสภาพแวดล้อมภายในทั่วไป

จากการทบทวนวรรณกรรมเบื้องต้น พบว่าในปัจจุบันยังมิได้มีการนำเทคนิคนี้ไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคารสำนักงานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากขาดงานวิจัยสนับสนุนทางด้านเกณฑ์ในการออกแบบและอุปกรณ์ทางด้านการให้แสงสว่าง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการพัฒนาโคมไฟซึ่งใช้เทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไปสำหรับอาคารสำนักงาน โดยหน่วยงานที่รับผิดชอบด้านเกณฑ์ มาตรฐานและข้อกำหนด *[4]* เช่น Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) ได้แนะนำเกณฑ์ค่าการส่องสว่างเฉพาะพื้นที่ทำงานภายในอาคารสำนักงาน *[6]* สำหรับงานเอกสารและงานคอมพิวเตอร์ มีค่า 300 - 500 ลักซ์ และค่าการส่องสว่างทั่วไปสำหรับสภาพแวดล้อมภายใน มีค่า 100 – 150 ลักซ์

งานวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เรื่อง การพัฒนาโคมไฟประหยัดพลังงานซึ่งใช้เทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไปสำหรับอาคารสำนักงาน ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อออกแบบพัฒนาโคมไฟต้นแบบ (Prototype) โดยส่วนหนึ่งของการศึกษาเบื้องต้นได้มีการจำลองสภาพเสมือนจริงของการให้แสงสว่างในพื้นที่อาคารสำนักงานเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงาน และประสิทธิภาพแสงสว่าง ระหว่างเทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป และเทคนิคการให้แสงสว่างในพื้นที่ใช้งานในลักษณะทั่วไป แล้วจึงนำผลการเปรียบเทียบที่ได้มาใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกใช้เทคนิคการให้แสงสว่างสำหรับอาคารสำนักงานที่สามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับระบบแสงสว่าง

วิธีการวิจัย

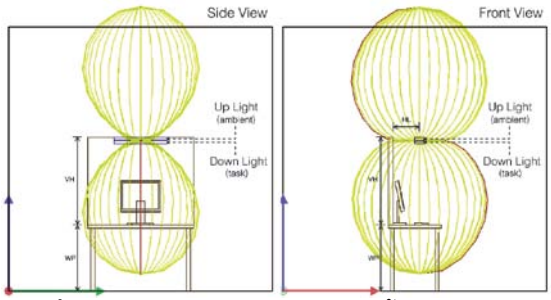
งานวิจัยฉบับนี้ทำการศึกษาโดยใช้วิธีการจำลองสภาพเสมือนจริง (Simulation) ของพื้นที่อาคารสำนักงานในส่วนห้องทำงานที่มีการใช้โคมไฟที่ใช้เทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป และพื้นที่อาคารสำนักงานในส่วนห้องทำงานที่มีการใช้โคมไฟที่ใช้เทคนิคการให้แสงสว่างในพื้นที่ใช้งานในลักษณะทั่วไป โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการจำลองสภาพแสงสว่างภายในอาคาร DIALux 4.6 เป็นเครื่องมือในการศึกษา โดยส่วนประกอบของการจำลองสภาพเสมือนจริง มีดังต่อไปนี้

1) ห้องที่ใช้ในการศึกษา

ห้องที่ใช้ในการศึกษานั้นเป็นห้องทำงาน ขนาด 4.5 x 6.0 x 3.0 เมตร มีพื้นที่ 27 ตารางเมตร ภายในมีโต๊ะทำงานจำนวน 8 ตัว ขนาด 0.60 x 1.20 เมตร มีระนาบทำงาน (Work Plane, WP) สูง 0.75 เมตร พร้อมผนังกั้น (Panel) ซึ่งใช้แบ่งพื้นที่ระหว่างโต๊ะทำงาน พื้นผิววัสดุภายในห้องทำงานมีค่าการสะท้อนแสง (Room Reflectance) ของเพดาน ผนัง และพื้น เท่ากับ 70% 50% และ 20% ตามลำดับ โดยแบ่งตามเทคนิคการให้แสงสว่าง ดังนี้

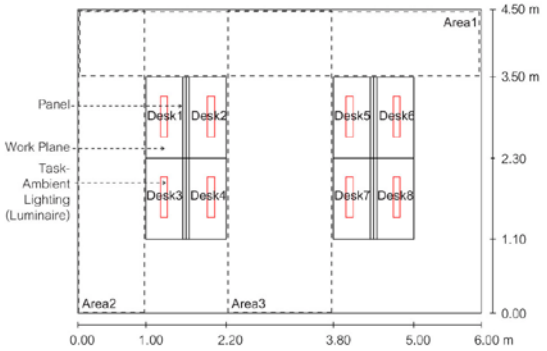
1.1) ห้องทำงานที่ใช้เทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป

ห้องทำงานที่ใช้เทคนิคนี้มีการใช้โคมไฟที่ใช้เทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป (Task – Ambient Lighting) เพื่อให้ได้ค่าการส่องสว่างที่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานที่ต้องการ โดยติดตั้งกับผนังกั้นสำเร็จรูปซึ่งใช้แบ่งพื้นที่ของโต๊ะทำงาน จำนวน 8 ชุด โคมไฟแต่ละชุดประกอบด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 จำนวน 2 หลอด สำหรับการให้แสงสว่างชนิดแสงส่องขึ้น (Up Light) และแสงส่องลง (Down Light) ดังนั้นห้องทำงานที่ใช้เทคนิคนี้จึงมีหลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 จำนวน 16 หลอด แบ่งออกเป็น หลอดเพื่อให้แสงในบริเวณทั่วไป (Ambient Lighting) จำนวน 8 หลอด และหลอดเพื่อให้แสงเฉพาะที่ (Task Lighting) จำนวน 8 หลอด ดังแสดงในภาพที่ 1

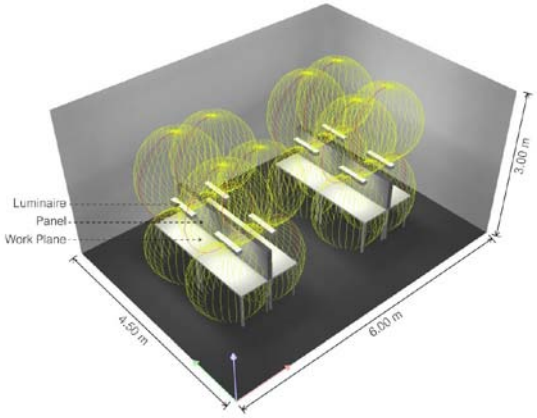


ภาพที่ 1 แสดงตัวอย่างลักษณะแสงส่องขึ้นและส่องลง ของโคมไฟที่ใช้เทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป

การทดสอบประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Performance) คือ ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างภายใน (Lighting Power Density, LPD) นั้นจะคิดเพียงแต่หลอดฟลูออเรสเซนต์เพื่อการให้แสงในบริเวณทั่วไป จำนวน 8 หลอด เท่านั้น



ภาพที่ 2 แสดงผังการติดตั้งดวงโคมและการจัดวางโต๊ะทำงานของห้องทำงานที่ใช้เทคนิค Task – Ambient Lighting



ภาพที่ 3 แสดงมุมมองทัศนียภาพของห้องทำงานที่ใช้เทคนิค Task – Ambient Lighting

การทดสอบประสิทธิภาพแสงสว่าง (Lighting Performance) คือ ค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (Average Illuminance, E_{ave}) และค่าความสม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่างแบบเฉลี่ย (Average Uniformity, U_m) จะวัดจากค่าการส่องสว่างที่ระนาบแนวนอนที่ระดับโต๊ะทำงานตรงบริเวณพื้นที่ทางเดินที่ 1 – 3 (Area 1 – Area 3) และค่าการส่องสว่างที่ระนาบแนวนอนที่ระดับโต๊ะทำงานของโต๊ะทำงานทั้ง 8 ชุด (Desk 1 – Desk 8) ดังแสดงในภาพที่ 2 และภาพที่ 3

1.2) ห้องทำงานที่ใช้เทคนิคการให้แสงสว่างในพื้นที่ใช้งานในลักษณะทั่วไป

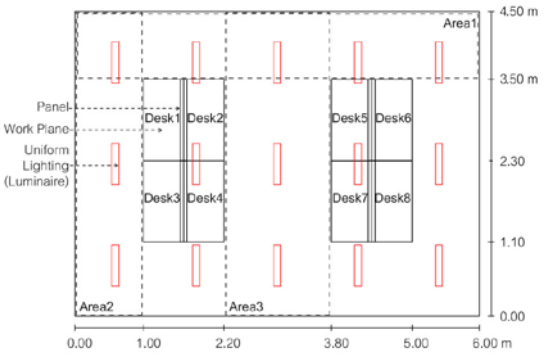
ห้องทำงานที่ใช้เทคนิคนี้มีการออกแบบติดตั้งจำนวนโคมไฟภายในห้องทำงานโดยการใช้โปรแกรม DIALux 4.6 ในการคำนวณจำนวนโคมไฟที่ให้ค่าการส่องสว่างตามเกณฑ์ค่าเฉลี่ยของค่าการส่องสว่างที่

ระนาบแนวนอนที่ระดับโต๊ะทำงานตรงบริเวณพื้นที่ทางเดินที่ 1 – พื้นที่ทางเดินที่ 3 (Area 1 – Area 3) จากการจำลองห้องทำงานรวมที่ใช้เทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป ซึ่งมีค่าเท่ากับ 373 ลักซ์ โดยโปรแกรมได้คำนวณโคมไฟออกมาเป็นจำนวน 15 ชุด ดังแสดงในภาพที่ 4 และภาพที่ 5

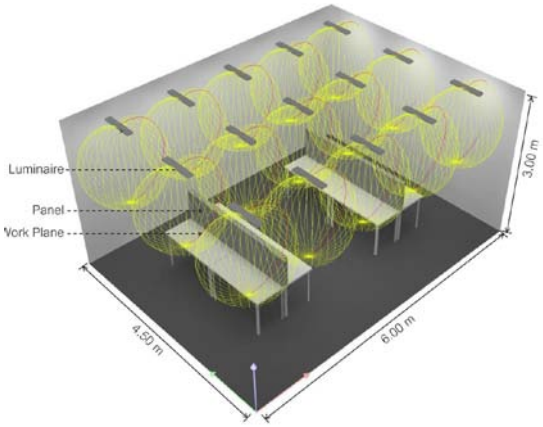
ห้องทำงานที่ใช้เทคนิคนี้มีจำนวนโคมไฟที่ใช้เทคนิคการให้แสงสว่างในพื้นที่ใช้งานในลักษณะทั่วไป จำนวน 15 โคม ซึ่งโคมไฟแต่ละชุดนั้นจะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงสว่าง คือ หลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 เพื่อการให้แสงในบริเวณทั่วไป เฉพาะแสงส่องลง (Down Light) จำนวน 1 หลอด

การทดสอบประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Performance) คือ ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างภายใน (Lighting Power Density, LPD) จะคิดจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 เพื่อการให้แสงในบริเวณทั่วไป จำนวน 15 หลอด

การทดสอบประสิทธิภาพแสงสว่าง (Lighting Performance) คือ ค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (Average Illuminance, E_{ave}) และค่าความสม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่างแบบเฉลี่ย (Average Uniformity, U_m) จะวัดจากค่าการส่องสว่างที่ระนาบแนวนอนที่ระดับโต๊ะทำงานตรงบริเวณพื้นที่ทางเดินที่ 1 – 3 (Area 1 – Area 3) และค่าการส่องสว่างที่ระนาบแนวนอนที่ระดับโต๊ะทำงานของโต๊ะทำงานทั้ง 8 ชุด (Desk 1 – Desk 8) ดังแสดงในภาพที่ 4 และภาพที่ 5



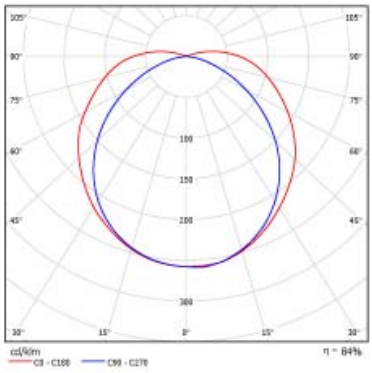
ภาพที่ 4 แสดงผังการติดตั้งดวงโคมและการจัดวางโต๊ะทำงานของห้องทำงานที่ใช้เทคนิค Uniform Lighting



ภาพที่ 5 แสดงมุมมองทัศนียภาพของห้องทำงานที่ใช้เทคนิค Uniform Lighting

2) แหล่งกำเนิดแสงสว่างของโคมไฟ

ผู้วิจัยได้เลือกแหล่งกำเนิดแสงสว่างสำหรับโคมไฟ คือ หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 หุน (5/8") หรือเรียกว่า T5 *[1]* ซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้ากว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 หุน หรือเรียกว่า T8 ที่มีการใช้โดยทั่วไป 30% โดยในการจำลองในโปรแกรม DIALux 4.6 ได้เลือกหลอดฟลูออเรสเซนต์ ยี่ห้อ OSRAM GmbH 72491 LUMILUX FLATLITE® T5-F/P 24W ซึ่งมีค่าพลังงาน 24 วัตต์ และมีประสิทธิภาพทางด้านแสงสว่างสูง (High Output, HO) ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงค่าการกระจายแสงของโคมไฟ LUMILUX FLATLITE T5 24 W HO

3) การทดสอบประสิทธิภาพพลังงาน

การทดสอบประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Performance) จะทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่าง

ภายใน (Lighting Power Density, LPD) *[3]* คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่ของอาคารซึ่งแบ่งออกเป็นตามประเภทพื้นที่การใช้งาน มีหน่วยเป็น วัตต์/ตารางเมตร หรือ วัตต์/ตารางฟุต (Watt/m^2, Watt/ft^2) โดยในการวิจัยฉบับนี้เป็นการวัดค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างเบื้องต้น โดยไม่ได้คำนึงถึงค่ากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปกับอุปกรณ์เสริม ซึ่งได้แก่ อิเลคทรอนิคส์บัลลาสต์ (Electronic Ballast)

4) การทดสอบประสิทธิภาพแสงสว่าง

การทดสอบประสิทธิภาพแสงสว่าง (Lighting Performance) จะทำการวัดค่าดังนี้

4.1) ค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย

ค่าการส่องสว่าง (Illuminance) คือ ปริมาณแสงที่ตกกระทบลงบน 1 หน่วยพื้นที่ใดๆ มีหน่วยเป็นลักซ์ (lux) หรือ ลูเมน/ตารางเมตร (lm/m^2) โดยในการวิจัยนี้จะทำการวัดค่าการส่องสว่างเฉพาะค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (Average Illuminance, E_{ave}) ซึ่งจะทำการวัดที่ระนาบแนวนอนที่ระดับโต๊ะทำงาน (Horizontal Work Plane) ที่ระดับ 0.75 เมตร ของโต๊ะทำงานจำนวน 8 ชุด (Desk 1 – Desk 8) รวมทั้งพื้นที่ทางเดินด้านข้างโต๊ะติดกับผนังห้องทำงาน (Area 1), พื้นที่ทางเดินด้านหลังโต๊ะติดกับผนังห้องทำงาน (Area 2) และพื้นที่ทางเดินตรงกลางระหว่างโต๊ะ (Area 3)

4.2) ค่าความสม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่างแบบเฉลี่ย

ใช้ในการประเมินความพอเพียงของค่าการส่องสว่างบนพื้นที่ใช้งานที่เกี่ยวเนื่องกับความสบายทางสายตา (Visual Comfort) โดยในการวิจัยนี้จะทำการวัดค่าความสม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่างแบบเฉลี่ย (Average Uniformity, U_m) เทียบจากอัตราส่วนระหว่างค่าการส่องสว่างต่ำสุดและค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย ($Um = E_{min}/E_{ave}$)

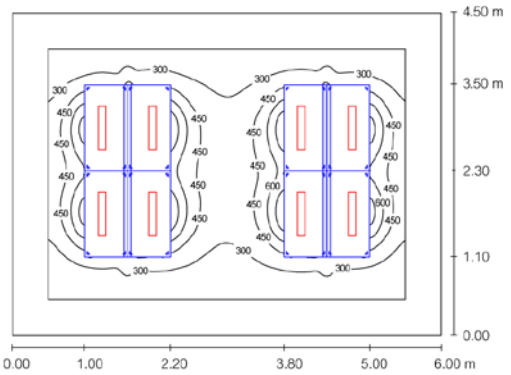
ผลการวิจัย

ผลการวิจัยจากการจำลองห้องทำงานระหว่างเทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป (Task – Ambient Lighting) และเทคนิคการให้แสงสว่างในพื้นที่ใช้งานในลักษณะทั่วไป (Uniform Lighting) โดยในส่วนผลการวิจัยในตารางซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 1 – ตารางที่ 6 นั้น มีการแทนค่าสัญลักษณ์ในตารางดังนี้

E_{max} = ค่าการส่องสว่างสูงสุด (Maximum Illuminance, lx)
E_{min} = ค่าการส่องสว่างต่ำสุด (Minimum Illuminance, lx)
E_{ave} = ค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (Average Illuminance, lx)
U_m = ค่าความสม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่างแบบเฉลี่ย (Average Uniformity)
TAL = เทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป (Task – Ambient Lighting)
UNI = เทคนิคการให้แสงสว่างในพื้นที่ใช้งานในลักษณะทั่วไป (Uniform Lighting)

1.1) ผลการจำลองห้องทำงานที่ใช้เทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป

จากการจำลองสภาพเสมือนจริงห้องทำงานที่ใช้เทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป มีประสิทธิภาพพลังงานและประสิทธิภาพแสงสว่าง ดังแสดงในภาพที่ 7 และตารางที่ 1 – ตารางที่ 3 ดังนี้



ภาพที่ 7 แสดงการกระจายแสงของห้องทำงานที่ใช้เทคนิค Task – Ambient Lighting

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพพลังงานของห้องทำงานที่ใช้เทคนิค Task – Ambient Lighting

Energy Performance : Horizontal Work Plane : TAL				
Area (m^2)	T5 24W HO (Set)	Power /Set (W)	Total Power (W)	LPD (W/m^2)
27.00	8	24.00	192.00	7.11

จากตารางที่ 1 ที่แสดงประสิทธิภาพพลังงานของห้องทำงานซึ่งใช้เทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป พบว่ามีพลังงานไฟฟ้ารวมทั้งสิ้น 192 วัตต์ และค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างภายใน (LPD) 7.11 วัตต์/ตารางเมตร

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพแสงสว่างของโต๊ะทำงานทั้ง 8 ชุด ของห้องทำงานที่ใช้เทคนิค Task – Ambient Lighting

Lighting Performance : Horizontal Work Plane : TAL				
Desk + Area	Illuminance, E (lx)			
	E_{min}	E_{max}	E_{ave}	U_m
D1	410.00	1158.00	810.00	0.51
D2	438.00	1191.00	844.00	0.52
D3	409.00	1160.00	810.00	0.50
D4	437.00	1191.00	843.00	0.52
D5	441.00	1191.00	843.00	0.52
D6	405.00	1155.00	808.00	0.50
D7	441.00	1195.00	846.00	0.52
D8	406.00	1156.00	808.00	0.50
Average	423.38	1174.63	826.50	0.51

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพแสงสว่างของพื้นที่ทางเดิน 3 พื้นที่ ของห้องทำงานที่ใช้เทคนิคTask – Ambient Lighting

Lighting Performance : Horizontal Work Plane : TAL				
Desk + Area	Illuminance, E (lx)			
	E_{min}	E_{max}	E_{ave}	U_m
A1	134.00	414.00	207.00	0.65
A2	125.00	833.00	270.00	0.46
A3	173.00	922.00	350.00	0.49
Average	178.00	921.00	373.00	0.53

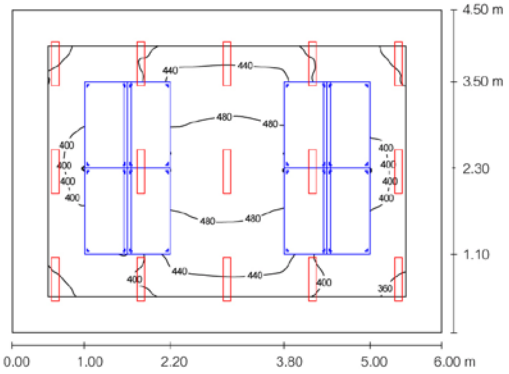
จากตารางที่ 2 และตารางที่ 3 ที่แสดงประสิทธิภาพแสงสว่างของห้องทำงานซึ่งใช้เทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป พบว่า

ค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (E_{ave}) ที่ระนาบแนวนอนที่ระดับโต๊ะทำงานเฉพาะพื้นที่โต๊ะทำงานของโต๊ะตัวที่ 1 – โต๊ะตัวที่ 8 คือ 808 – 846 ลักซ์ มีค่าเฉลี่ย 826 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่างแบบเฉลี่ย (U_m) ของโต๊ะตัวที่ 1 – โต๊ะตัวที่ 8 คือ 0.5 – 0.52 มีค่าเฉลี่ย 0.51

ค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (E_{ave}) ที่ระนาบแนวนอนที่ระดับโต๊ะทำงานเฉพาะพื้นที่โต๊ะทำงานของค่าการส่องสว่างพื้นที่ทางเดิน 3 พื้นที่ คือ พื้นที่ทางเดินด้านข้างโต๊ะติดกับผนังห้องทำงาน (A1) 207 ลักซ์ พื้นที่ทางเดินด้านหลังโต๊ะติดกับผนังห้องทำงาน (A2) 270 ลักซ์ และพื้นที่ทางเดินตรงกลางระหว่างโต๊ะ (A3) 350 ลักซ์ มีค่าเฉลี่ย 373 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่างแบบเฉลี่ย (U_m) ของพื้นที่ทางเดินด้านข้างโต๊ะติดกับผนังห้องทำงาน (A1) 0.65 พื้นที่ทางเดินด้านหลังโต๊ะติดกับผนังห้องทำงาน (A2) 0.46 และพื้นที่ทางเดินตรงกลางระหว่างโต๊ะ (A3) 0.49 มีค่าเฉลี่ย 0.53

1.2) ผลการจำลองห้องทำงานที่ใช้เทคนิคการให้แสงสว่างในพื้นที่ใช้งานในลักษณะทั่วไป

จากการจำลองสภาพเสมือนจริงห้องทำงานที่ใช้เทคนิคการให้แสงสว่างในพื้นที่ใช้งานในลักษณะทั่วไป มีประสิทธิภาพพลังงาน ดังแสดงในภาพที่ 8 และตารางที่ 4 – ตารางที่ 6 ดังนี้



ภาพที่ 8 แสดงการกระจายแสงของห้องทำงานที่ใช้เทคนิค Uniform Lighting

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพพลังงานของห้องทำงานที่ใช้เทคนิค Uniform Lighting

Energy Performance : Horizontal Work Plane : UNI				
Area (m^2)	T5 24W HO (Set)	Power /Set (W)	Total Power (W)	LPD (W/m^2)
27.00	15	24.00	360.00	13.33

จากตารางที่ 4 ที่แสดงประสิทธิภาพพลังงานของห้องทำงานซึ่งใช้เทคนิคการให้แสงสว่างในพื้นที่ใช้งานในลักษณะทั่วไป พบว่ามีพลังงานไฟฟ้ารวมทั้งสิ้น 360 วัตต์ และค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างภายใน (LPD) 13.33 วัตต์/ตารางเมตร

ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพแสงสว่างของโต๊ะทำงานทั้ง 8 ชุด ของห้องทำงานที่ใช้เทคนิค Uniform Lighting

Lighting Performance : Horizontal Work Plane : UNI				
Desk + Area	ILLUMINANCE (lx)			
	E_{min}	E_{max}	E_{ave}	U_m
D1	241.00	360.00	321.00	0.75
D2	358.00	473.00	401.00	0.89
D3	245.00	360.00	324.00	0.76
D4	361.00	472.00	403.00	0.90
D5	356.00	473.00	402.00	0.89
D6	271.00	357.00	327.00	0.83
D7	361.00	473.00	405.00	0.89
D8	274.00	357.00	329.00	0.83
Average	308.38	415.63	364.00	0.84

ตารางที่ 6 ประสิทธิภาพแสงสว่างของพื้นที่ทางเดิน 3 พื้นที่ ของห้องทำงานที่ใช้เทคนิค Uniform Lighting

Lighting Performance : Horizontal Work Plane : UNI				
Desk + Area	ILLUMINANCE (lx)			
	E_{min}	E_{max}	E_{ave}	U_m
A1	278.00	443.00	345.00	0.77
A2	268.00	403.00	341.00	0.77
A3	366.00	499.00	433.00	0.82
Average	304.00	448.33	373.00	0.79

จากตารางที่ 5 และตารางที่ 6 ที่แสดงประสิทธิภาพแสงสว่างของห้องทำงานซึ่งใช้เทคนิคการให้แสงสว่างในพื้นที่ใช้งานในลักษณะทั่วไป พบว่า

ค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (E_{ave}) ที่ระนาบแนวนอนที่ระดับโต๊ะทำงานเฉพาะพื้นที่โต๊ะทำงานของโต๊ะตัวที่ 1 – โต๊ะตัวที่ 8 คือ 321 – 405 ลักซ์ มีค่าเฉลี่ย 364 ลักซ์ และมีค่าความสม่ำเสมอของปริมาณ

แสงสว่างแบบเฉลี่ย (U_m) ของโต๊ะตัวที่ 1–โต๊ะตัวที่ 8 คือ 0.75 – 0.90 มีค่าเฉลี่ย 0.84

ค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (E_{ave}) ที่ระนาบแนวนอนที่ระดับโต๊ะทำงานเฉพาะพื้นที่โต๊ะทำงานของค่าการส่องสว่างพื้นที่ทางเดิน 3 พื้นที่ คือ พื้นที่ทางเดินด้านข้างโต๊ะติดกับผนังห้องทำงาน (A1) 345 ลักซ์ พื้นที่ทางเดินด้านหลังโต๊ะติดกับผนังห้องทำงาน (A2) 341 ลักซ์ และพื้นที่ทางเดินตรงกลางระหว่างโต๊ะ (A3) 433 ลักซ์ มีค่าเฉลี่ย 373 ลักซ์ และมีค่าความสม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่างแบบเฉลี่ย (U_m) ของพื้นที่ทางเดินด้านข้างโต๊ะติดกับผนังห้องทำงาน (A1) 0.81 พื้นที่ทางเดินด้านหลังโต๊ะติดกับผนังห้องทำงาน (A2) 0.79 และพื้นที่ทางเดินตรงกลางระหว่างโต๊ะ (A3) 0.85 มีค่าเฉลี่ย 0.81

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยจากการจำลองห้องทำงานทั้งสองห้องเพื่อเปรียบประสิทธิภาพพลังงาน ระหว่างเทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป และเทคนิคการให้แสงสว่างในพื้นที่ใช้งานในลักษณะทั่วไป สามารถอภิปรายและสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1) ผลกระทบของเทคนิคการให้แสงสว่างต่อประสิทธิภาพพลังงาน

จากการพิจารณาค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างภายในของห้องทำงานที่มีขนาดเท่ากัน โดยห้องทำงานที่ใช้เทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป มีค่า 7.11 วัตต์/ตารางเมตร และห้องทำงานที่ใช้เทคนิคการให้แสงสว่างในพื้นที่ใช้งานในลักษณะทั่วไป มีค่า 13.33 วัตต์/ตารางเมตร ดังนั้นห้องทำงานที่ใช้เทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไปจึงมีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างภายในที่น้อยกว่าห้องทำงานที่ใช้เทคนิคการให้แสงสว่างในพื้นที่ใช้งานในลักษณะทั่วไป 46.7%

ห้องทำงานที่ใช้เทคนิคการให้แสงสว่างในพื้นที่ใช้งานในลักษณะทั่วไป ต้องใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 จำนวน 15 หลอด สำหรับการให้แสงในบริเวณทั่วไป มากกว่าห้องทำงานที่ใช้เทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป ซึ่งใช้เพียง 8 หลอด สำหรับการให้แสงในบริเวณทั่วไป เพื่อให้ได้ค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (E_{ave}) ของพื้นที่ทางเดินทั้ง 3 พื้นที่ ที่มีค่าเท่ากันทั้ง 2 ห้อง คือ 373 ลักซ์ ดังนั้นห้องทำงานที่ใช้เทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป จึงมีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างภายในที่มีประสิทธิภาพพลังงานที่ดีกว่า ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างภายในสำหรับอาคารสำนักงานที่มีค่า 14 วัตต์/ตารางเมตร ซึ่งกำหนดโดยร่างกฎกระทรวงฯ พ.ศ.2550

2) ผลกระทบของเทคนิคการให้แสงสว่างต่อประสิทธิภาพแสงสว่าง เมื่อพิจารณาที่โต๊ะทำงานทั้ง 8 ชุด

จากค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (E_{ave}) และค่าความสม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่างแบบเฉลี่ย (U_m) ซึ่งพิจารณาที่ระนาบแนวนอนที่ระดับโต๊ะทำงานเฉพาะพื้นที่โต๊ะทำงานของโต๊ะทำงานทั้ง 8 ชุด แบ่งออกเป็นห้องทำงานที่ใช้เทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไปและห้องทำงานที่ใช้เทคนิคการให้แสงสว่างในพื้นที่ใช้งานในลักษณะทั่วไป พบว่า

ห้องทำงานที่ใช้เทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป ในกรณีที่พิจารณาจากโต๊ะตัวที่ 1 – โต๊ะตัวที่ 8 มีค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (E_{ave}) คือ 808 – 846 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่างแบบเฉลี่ย (U_m) คือ 0.5 – 0.52 ส่วนในกรณีที่พิจารณาจากโต๊ะทุกตัวรวมกัน มีค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (E_{ave}) 826 ลักซ์ และมีค่าความสม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่างแบบเฉลี่ย (U_m) 0.51 ในขณะที่ห้องทำงานที่ใช้เทคนิคการให้แสงสว่างในพื้นที่ใช้งานในลักษณะทั่วไป ในกรณีที่พิจารณาจากโต๊ะตัวที่ 1 – โต๊ะตัวที่ 8 มีค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (E_{ave}) คือ 321 – 405 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่างแบบเฉลี่ย (U_m) คือ 0.75 – 0.90 ส่วนในกรณีที่พิจารณาจากโต๊ะทุกตัวรวมกัน มีค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (E_{ave}) 364 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่างแบบเฉลี่ย (U_m) 0.84

ห้องทำงานที่ใช้เทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไปนั้น มีค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (E_{ave}) ที่โต๊ะตัวที่ 1 – โต๊ะตัวที่ 8 ที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน แม้ว่าจะมีค่าความสม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่างแบบเฉลี่ย (U_m) ที่ค่อนข้างต่ำ โดยเมื่อพิจารณาค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (E_{ave}) ของโต๊ะตัวที่มีค่ามากที่สุด มีค่ามากกว่า โต๊ะตัวที่มีค่าน้อยที่สุด 4.7% ในขณะที่ห้องทำงานที่ใช้เทคนิคการให้แสงสว่างในพื้นที่ใช้งานในลักษณะทั่วไป มีค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (E_{ave}) ที่โต๊ะตัวที่ 1 – โต๊ะตัวที่ 8 ที่ค่อนข้างแตกต่างกัน แม้ว่าจะมีค่าความสม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่างแบบเฉลี่ย (U_m) ที่ค่อนข้างสูง โดยเมื่อพิจารณาค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (E_{ave}) ของโต๊ะตัวที่มีค่ามากที่สุด มีค่ามากกว่า โต๊ะตัวที่มีค่าน้อยที่สุด 26.17%

3) ผลกระทบของเทคนิคการให้แสงสว่างต่อประสิทธิภาพแสงสว่าง เมื่อพิจารณาที่พื้นที่ทางเดิน 3 พื้นที่

จากค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (E_{ave}) และค่าความสม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่างแบบเฉลี่ย (U_m) ซึ่งพิจารณาที่ระนาบแนวนอนที่ระดับโต๊ะทำงาน เฉพาะพื้นที่ทางเดิน 3 พื้นที่ แบ่งออกเป็น ห้องทำงานที่ใช้เทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป และห้องทำงานที่ใช้เทคนิคการให้แสงสว่างในพื้นที่ใช้งานในลักษณะทั่วไป พบว่า

ห้องทำงานที่ใช้เทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป ในกรณีที่พิจารณาจากพื้นที่ทางเดินด้านข้างโต๊ะติดกับผนังห้องทำงาน (A1) มีค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (E_{ave}) 207 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่างแบบเฉลี่ย (U_m) 0.65 พื้นที่ทางเดินด้านหลังโต๊ะติดกับผนังห้องทำงาน (A2) มีค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (E_{ave}) 270 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่างแบบเฉลี่ย (U_m) คือ 0.46 พื้นที่ทางเดินตรงกลางระหว่างโต๊ะ (A3) มีค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (E_{ave}) 350 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่างแบบเฉลี่ย (U_m) 0.49 เมื่อพิจารณาจากพื้นที่ทางเดินทั้ง 3 พื้นที่รวมกัน มีค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (E_{ave}) 373 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่างแบบเฉลี่ย (U_m) 0.53 ในขณะที่ห้องทำงานที่ใช้เทคนิคการให้แสงสว่างในพื้นที่ใช้งานในลักษณะทั่วไป ในกรณีที่พิจารณาจากพื้นที่ทางเดินด้านข้างโต๊ะติดกับผนังห้องทำงาน (A1) มีค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (E_{ave}) 345 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่างแบบเฉลี่ย (U_m) 0.81 พื้นที่ทางเดินด้านหลังโต๊ะติดกับผนังห้องทำงาน (A2) มีค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (E_{ave}) 341 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่างแบบเฉลี่ย (U_m) 0.79 พื้นที่ทางเดินตรงกลางระหว่างโต๊ะ (A3) มีค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (E_{ave}) 433 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่างแบบเฉลี่ย (U_m) 0.85 และเมื่อพิจารณาจากพื้นที่ทางเดินทั้ง 3 พื้นที่รวมกัน มีค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (E_{ave}) 373 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่างแบบเฉลี่ย (U_m) 0.81

ห้องทำงานที่ใช้เทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไปนั้น มีค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (E_{ave}) ที่พื้นที่ทางเดิน 3 พื้นที่ ค่อนข้างแตกต่างกัน และมีค่าความสม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่างแบบเฉลี่ย (U_m) ที่ค่อนข้างต่ำ โดยเมื่อพิจารณาค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (E_{ave}) ของพื้นที่ทางเดินที่มีค่ามากที่สุด มีค่ามากกว่า พื้นที่ทางเดินมีค่าน้อยที่สุด 69.08% ในขณะที่ห้องทำงานที่ใช้เทคนิคการให้แสงสว่างในพื้นที่ใช้งานในลักษณะทั่วไป มีค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (E_{ave}) ที่โต๊ะพื้นที่ทางเดิน 3 พื้นที่ ที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน และมีค่าความสม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่างแบบเฉลี่ย (U_m) ที่ค่อนข้างสูง โดยเมื่อพิจารณาค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ย (E_{ave}) ของพื้นที่ทางเดินที่มีค่ามากที่สุด มีค่ามากกว่า พื้นที่ทางเดินที่มีค่าน้อยที่สุด 26.98%

ข้อเสนอแนะ

1) การใช้งานภายในห้องทำงาน

หากนำเทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป มาใช้ภายในห้องทำงานภายในสำนักงาน ที่ต้องการความสม่ำเสมอของแสงสว่างในพื้นที่ เพื่อทดแทนเทคนิคการให้แสงสว่างในพื้นที่ใช้งานในลักษณะทั่วไป ที่มีการใช้งานอยู่เดิมใน

ลักษณะทั่วไปนั้น ในการใช้งานเมื่อเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์สำหรับส่องขึ้น เพื่อการให้แสงในบริเวณทั่วไป ไม่ครบทุกตำแหน่งโต๊ะ ในกรณีที่โคมไฟได้ติดตั้งกับผนังกั้นสำเร็จรูปซึ่งใช้แบ่งพื้นที่ของโต๊ะทำงานทุกตัวภายในอาคารสำนักงานแบบเปิด อาจทำให้เกิดเงามืด (Veiling) บนฝ้าเพดาน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการมองเห็น (Visual Performance) ของผู้ใช้งานอาจลดลง

หากนำเทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป มาใช้ภายในห้องทำงานภายในสำนักงาน ที่ต้องการความสม่ำเสมอของแสงสว่างในพื้นที่ มาใช้เป็นส่วนเสริมในการให้แสงสว่างให้กับพื้นที่ นอกเหนือจากเทคนิคการให้แสงสว่างในพื้นที่ใช้งานในลักษณะทั่วไป ที่มีการใช้งานอยู่เดิมในลักษณะทั่วไปนั้น อาจช่วยให้ลดจำนวนหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ติดตั้งบนเพดานเพื่อการให้แสงในบริเวณทั่วไป

2) การใช้งานภายในห้องทำงานส่วนตัว

หากนำเทคนิคการให้แสงเฉพาะที่เพื่อเสริมการให้แสงในบริเวณทั่วไป มาใช้ภายในห้องทำงานส่วนตัว ที่ไม่ต้องการความสม่ำเสมอของแสงสว่างในพื้นที่ อาจมีความเหมาะสมกว่าการนำไปใช้งานภายในห้องทำงานรวมภายในสำนักงาน อีกทั้งการที่โคมไฟสามารถปรับหรี่แสงสว่างนั้น ทำให้เกิดความผ่อนคลายในการใช้งานมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ประสบความสำเร็จได้ด้วยการสนับสนุนทุนวิจัยจากทุนงบประมาณเงินรายได้คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประจำปีงบประมาณ 2552 และทุนอุดหนุนการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2552 จากสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

[1] ฝ่ายบริหารและแผนงานด้านการใช้ไฟฟ้า กฟผ. ข้อมูลหลอดผอมใหม่ เบอร์ 5. **เครือข่ายร่วมลดภาวะโลกร้อนใช้หลอด T5**[ออนไลน์] (แหล่งที่มา: http://dsm.egat.co.th/t5/index.php) [2552, กรกฎาคม 18]

[2] พิบูลย์ ดิษฐอุดม. 2521. **การออกแบบระบบแสงสว่าง**. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[3] AcuityBrands™ Lighting. **ASHRAE 90.1–2004 Definitions**[Online]. Available from:http://www.acuitybrandslighting.com/sustainability/ASHRAE–Definitions.htm [2009, Dec 20]

[4] J. E. Kaufman. 1981. **IES Lighting Handbook 1981: Reference Volume**. New York: Illuminating Engineering Society of North America.

[5] M. D. Egan and V. W. Olgyay. 2002. **Architectural lighting, 2nd ed**. Boston: McGraw-Hill.

[6] *M. Saitoh, Chairman.* ***Committee Report: Task and Ambient Lighting Systems Committee***. *J. Light & Vis. Env. 22, 1 (1998): 63 – 68.*