การออกแบบแสงสว่างสำหรับพื้นที่ที่ใช้คอมพิวเตอร์โดยวิธีการปรับระดับความสว่าง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธาริณี รามสูต
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแนวทางในการออกแบบแสงสว่างสำหรับพื้นที่ที่ใช้คอมพิวเตอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการกำหนดระดับความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงเพื่อป้องกันแสงสะท้อนรบกวนบนจอภาพ วิธีการปรับระดับความสว่างถูกนำมาใช้ในการทดสอบเพื่อหาระดับความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมสำหรับจอภาพชนิดต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย จอคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และ interactive whiteboards ซึ่งเป็นจอภาพขนาดใหญ่ ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ระดับความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถใช้ได้โดยแสงสะท้อนไม่รบกวนผู้ใช้นั้น ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแหล่งกำเนิดแสง จอภาพและมุมมอง และสามารถทำนายได้โดยใช้ตัวแปร อันได้แก่ ขนาดของแหล่งกำเนิดแสงสว่าง ค่าการสะท้อนแสงแบบ specular ผลของการสะท้อนแสงแบบ haze และ ความสว่างของพื้นหลังจอภาพ บทความนี้แสดงให้เห็นถึงแนวทางการนำตัวแปรเหล่านี้มาใช้ในการออกแบบแสงสว่างเพื่อกำหนดระดับความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถใช้ได้ในแต่ละบริเวณที่ใช้คอมพิวเตอร์ หรือเพื่อกำหนดคุณสมบัติของคอมพิวเตอร์ที่สามารถนำมาใช้กับแสงสว่างที่มีอยู่ได้โดยไม่ทำให้เกิดแสงสะท้อนที่รบกวนผู้ใช้จอภาพ

FINAL_NAJUA.indd 403 4/1/2555 12:26:12

บทนำ

ปัจจุบันคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทกับชีวิตประจำวันของคนโดยทั่วไป การใช้คอมพิวเตอร์พบได้ทั่วไปในอาคารประเภทต่างๆ เช่น สำนักงาน สถาบันการศึกษา ห้างสรรพสินค้า โรงพยาบาล ฯลฯ โดยเฉพาะอาคารสองประเภทแรกที่มีการใช้คอมพิวเตอร์อย่างแพร่หลาย การใช้คอมพิวเตอร์ส่งผลต่อการออกแบบแสงสว่างเพราะจอภาพที่แสดงผลจากคอมพิวเตอร์มีความต้องการด้านแสงสว่างต่างจากพื้นผิวปกติ สำหรับพื้นผิวปกติที่ไม่มีแสงในตัว แสงสว่างที่ตกกระทบลงบนพื้นผิวมากขึ้นจะส่งเสริมให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง [Rea and Ouelette, 1991] แต่สำหรับจอภาพซึ่งมีแสงในตัวนั้นหากแสงสว่างที่ตกกระทบลงบนหน้าจอจะทำให้เกิดแสงสะท้อนรบกวนซึ่งลดความสบายและประสิทธิภาพในการมองเห็น กล่าวคือ *หนึ่ง* แสงสะท้อนลดความเปรียบต่าง (Contrast) ระหว่างข้อมูลที่แสดงกับพื้นหลังของจอทำให้มองเห็นได้ยากขึ้น *สอง* แสงสะท้อนดึงความสนใจจากข้อมูลที่แสดงบนจอภาพ *สาม* แสงสะท้อนทำให้เกิดภาพที่ระยะโฟกัสที่แตกต่างจากข้อมูลบนจอภาพ เมื่อสายตาเปลี่ยนระยะโฟกัสไป-มาระหว่างภาพสะท้อนกับข้อมูลบนหน้าจอจะทำให้เกิดความล้าของสายตา [Stewart, 1979; Goodwin, 1987; Hentschel, 1990]

วิธีการป้องกันแสงสะท้อนรบกวนบนจอภาพสามารถทำได้หลายแนวทาง เช่น การปรับทิศทางของจอภาพให้สัมพันธ์กับตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงและผู้ใช้เพื่อมิให้แหล่งกำเนิดแสงปรากฏในเงาสะท้อน อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ไม่สามารถใช้ได้กับทุกกรณี จอภาพที่ยึดติดอยู่กับที่และจอภาพขนาดใหญ่มองเห็นโดยผู้ใช้หลายคนจะไม่สามารถปรับทิศทางเพื่อหลีกเลี่ยงแสงสะท้อนได้สะดวก อีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้คือการจำกัดความสว่าง (Luminance) ของแหล่งกำเนิดแสงที่สะท้อนบนหน้าจอ ในขณะที่วิธีการนี้สามารถแก้ไขปัญหาของแสงสะท้อนได้ที่ต้นเหตุ แต่ทำให้เกิดคำถามว่าการจำกัดแสงสว่างเท่าไหร่จึงจะเหมาะสมกับการใช้คอมพิวเตอร์ในแต่ละกรณี การจำกัดแสงสว่างมากเกินไปทำให้เกิดปัญหาว่าความส่องสว่าง (Illuminance) ไม่เพียงพอกับทำงานชนิดอื่นในบริเวณใกล้เคียงกับคอมพิวเตอร์เช่นการอ่านตัวหนังสือ ในบางกรณีการจำกัดแสงสว่างเพื่อลดแสงสะท้อนบนหน้าจอทำโดยการปิดม่านเพื่อป้องกันแสงธรรมชาติและเปิดไฟฟ้าทดแทนซึ่งทำให้สิ้นเปลืองของพลังงาน เมื่อพิจารณาว่าการใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างคิดเป็นสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 15-25 ของการใช้พลังงานในอาคารในประเทศไทย [กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554] การรู้ปริมาณแสงสว่างที่เหมาะสมที่สามารถใช้ได้กับจอภาพจะช่วยให้เกิดความสบายในการใช้คอมพิวเตอร์ และลดปริมาณการใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่ไม่จำเป็น

บทความนี้ศึกษาแนวทางในการออกแบบแสงสว่างสำหรับพื้นที่ที่ใช้คอมพิวเตอร์เพื่อไม่ให้เกิดแสงสะท้อนรบกวน โดยการหาระดับความสว่างของแหล่งกำเนิดแสง (Light source luminance) ที่ผู้ใช้ยอมรับว่าสามารถใช้ได้กับจอภาพชนิดต่างๆ และศึกษาปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อระดับความสว่างนี้ ปัจจัยเหล่านี้ได้นำมาพัฒนาเป็นแบบจำลองซึ่งสามารถนำมาใช้ในการกำหนดระดับความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่ใช้คอมพิวเตอร์ต่อไป

การสะท้อนแสงบนจอภาพและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

แสงสะท้อนบนจอภาพสัมพันธ์กับคุณสมบัติการสะท้อนแสงของจอภาพซึ่งอธิบายได้ด้วย 3 องค์ประกอบ ได้แก่ การสะท้อนแสงแบบ Diffuse, Specular และ Haze [Kelly et al., 1998] ในการสะท้อนแสงแบบ Diffuse แสงสะท้อนจะกระจายไปทุกทิศทุกทาง ทำให้มองเห็นภาพสะท้อนไม่ชัดเจน แต่แสงสะท้อนที่กระจายไปในบริเวณกว้างจะลดความชัดเจนของข้อมูลบนหน้าจอลงไป ในการสะท้อนแสงแบบ Specular แสงจะสะท้อนไปในมุมสะท้อนที่เท่ากับมุมตกกระทบ ไม่กระจายไปทิศทางอื่น การสะท้อนแบบนี้ทำให้เกิดภาพสะท้อนที่คมชัดแบบภาพสะท้อนบนกระจกเงาซึ่งแย่งความสนใจจากข้อมูลบนหน้าจอ การสะท้อนแบบ Haze มีรูปแบบการสะท้อนผสมกันระหว่างทั้งสองแบบข้างต้นคือแสงสะท้อนจะไม่คมชัดแต่กระจายไปในทิศทางที่ใกล้เคียงกับทิศทางของแสงสะท้อนในแบบ Specular จอภาพแต่ละชนิดมีเทคโนโลยีในการแสดงภาพและการเคลือบผิวต่างๆกันไปจึงทำให้มีองค์ประกอบทั้ง 3 แบบนี้ต่างๆกัน เป็นเหตุให้แสงสะท้อนที่เกิดขึ้นบนหน้าจอมีลักษณะต่างๆกัน และรบกวนการมองเห็นในระดับต่างๆกันไป

แสงสะท้อนที่เกิดขึ้นบนจอภาพในปริมาณน้อยอาจไม่มีผลต่อการใช้จอภาพ แต่เมื่อความเปรียบต่างของความสว่าง (Luminance contrast) ระหว่างแสงสะท้อนกับพื้นหลังของจอภาพมากถึงจุดที่คนเริ่มรับรู้ แสงสะท้อนจะเริ่มรบกวนการมองเห็น [Rea, 1991] งานวิจัยหลายชิ้นได้ชี้ให้เห็นถึงปัจจัยที่มีผลต่อการรบกวนของแสงสะท้อนบนหน้าจอ เช่น ชนิดและคุณสมบัติของจอภาพ, การแสดงภาพสีอ่อนบนพื้นเข้มหรือภาพสีเข้มบนพื้นสีอ่อน (Display polarity) ขนาด, ความสว่าง (Luminance) และความเข้มส่องสว่าง (Luminous intensity) ของแหล่งกำเนิดแสง [Hentschel et al., 1987; Pawlak and Roll, 1990; Wang, 1996; Kubota, 1997; Miller et al., 2001] ผลที่ได้จากงานวิจัยเหล่านี้บางส่วนได้พัฒนามาเป็นคำแนะนำในการออกแบบแสงสว่างสำหรับพื้นที่ที่ใช้คอมพิวเตอร์ในประเทศต่างๆซึ่งโดยมากจะอยู่ในรูปแบบของความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่มากที่สุดที่สามารถใช้ได้กับจอภาพระดับชั้นต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น ในสหราชอาณาจักร Lighting Guide 7: Office Lighting ที่ออกโดย Society of Light and Lighting (SLL) ได้แนะนำค่าความสว่างของโคมไฟสำหรับ

การให้แสงโดยตรงไม่เกิน 1500 cd/m^2 สำหรับจอภาพระดับชั้นที่ 1 และ 2 ที่แสดงข้อมูลสีเข้มบนพื้นสีอ่อน (Positive polarity) และไม่เกิน 1000 cd/m^2 สำหรับจอภาพระดับชั้นที่ 1 และ 2 ที่แสดงข้อมูลสีอ่อนบนพื้นสีเข้ม (Negative polarity) เป็นต้น [SLL, 2005] อย่างไรก็ตามเนื่องจากจอภาพมีการพัฒนาเทคโนโลยีอยู่เสมอ ความสว่างที่สามารถใช้ได้กับจอภาพก็ย่อมเปลี่ยนไป ปริมาณแสงสว่างที่กำหนดไว้อย่างตายตัวจากงานวิจัยในอดีตอาจไม่เหมาะสมสำหรับจอสมัยใหม่ หากปริมาณแสงน้อยเกินไปก็จะทำให้แสงสว่างไม่เพียงพอกับกิจกรรมอื่นๆ หรือหากมากเกินไปจะไม่สามารถป้องกันแสงสะท้อนรบกวนได้อย่างสมบูรณ์ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทราบความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถใช้ได้กับจอชนิดใหม่ๆ นอกจากนี้การทราบปัจจัยที่สัมพันธ์กับการยอมรับแสงสะท้อนของผู้ใช้คอมพิวเตอร์ และรูปแบบของความสัมพันธ์นั้นจะทำให้สามารถทำนายความสว่างของแสงไฟฟ้าหรือแสงธรรมชาติที่เหมาะสมสำหรับจอชนิดใหม่ๆได้ถึงแม้เทคโนโลยีจะมีการพัฒนาไป

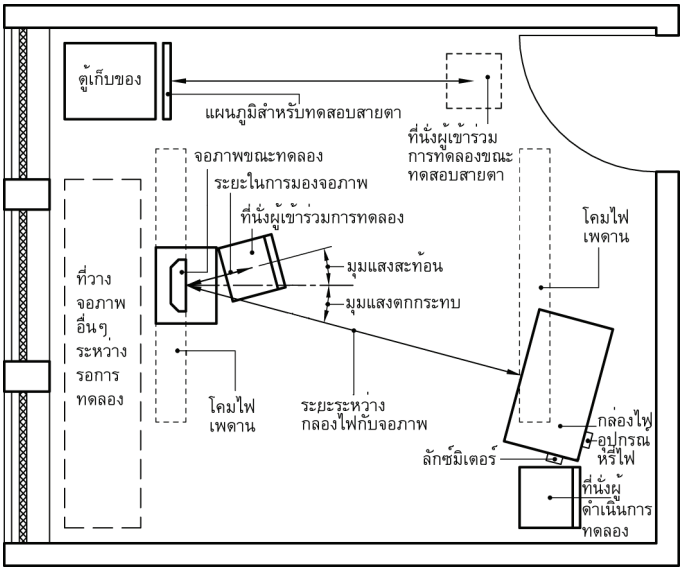
วิธีการปรับระดับความสว่าง

การหาระดับของแสงสะท้อนที่ผู้ใช้ยอมรับได้ทำได้หลายวิธี เช่นการปรับประดับความสว่าง (Luminance adjustment) การให้ค่าระดับ (Rating) หรือการวัดจากความสามารถในการทำงานของผู้ใช้ (Task performance) ในบทความนี้จะกล่าวถึงวิธีการปรับระดับความสว่าง (Luminance adjustment method) ซึ่งเป็นวิธีการเดียวกับในงานวิจัยหลายงานที่เป็นพื้นฐานของแนวคิดในการออกแบบแสงสว่างสำหรับพื้นที่ที่ใช้คอมพิวเตอร์ [Hentschel et al., 1987; Kubota and Takahashi, 1989; Pawlak and Roll, 1990] หลักการของวิธีนี้คือการให้ผู้เข้าร่วมการทดลองปรับระดับความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่สร้างแสงสะท้อนบนหน้าจอเพื่อหาจุดเปลี่ยน (Borderline) ที่แสงสะท้อนทำให้สภาพการมองเห็น บนจอภาพเปลี่ยนจากจุดที่ผู้ใช้ยอมรับได้เป็นยอมรับไม่ได้ การศึกษานี้ประเมินสภาพการมองเห็นบนหน้าจอด้วย 3 เกณฑ์ คือ

1. ความรบกวน (Disturbance) ของแสงสะท้อน โดยผู้ร่วมการทดลองปรับความสว่างเพื่อหาจุดเปลี่ยนที่แสงสะท้อนเริ่มรบกวน หรือ Disturbance borderline
2. ความเปรียบต่าง (Contrast) ของตัวหนังสือบนหน้าจอ โดยผู้ร่วมการทดลองปรับความสว่างเพื่อหาจุดเปลี่ยนที่ตัวหนังสือเริ่มจางจนอ่านได้ยาก หรือ Contrast borderline
3. ความคมชัด (Clarity) ของตัวหนังสือบนหน้าจอ โดยผู้เข้าร่วมการทดลองปรับความสว่างเพื่อหาจุดเปลี่ยนที่ตัวหนังสือเริ่มมัวจนอ่านได้ยาก หรือ Clarity borderline

ค่าความสว่างของแหล่งกำเนิดแสง ณ จุดเปลี่ยนนี้ แสดงระดับแสงสว่างที่มากที่สุดที่สามารถใช้ได้ในการออกแบบแสงสว่างสำหรับพื้นที่ที่ใช้คอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถนำมาศึกษา

ความสัมพันธ์กับปัจจัยต่างๆ เช่น คุณสมบัติของจอภาพหรือแหล่งกำเนิดแสง จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวเนื่อง ผู้ศึกษาจึงได้คัดเลือกปัจจัยที่คาดว่าจะมีส่วนในการกำหนดระดับความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถสะท้อนบนจอภาพโดยที่ผู้ใช้ยอมรับได้ เพื่อนำมาทดลองดังนี้ ชนิดและคุณสมบัติของจอภาพ (7 ระดับ) ขนาดของแหล่งกำเนิดแสง (3 ระดับ) และมุมในการมองจอภาพ (2 ระดับ)

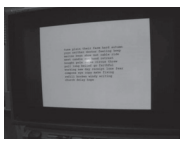


ภาพที่ 1: ผังพื้นของห้องทดลอง

ห้องทดลองและอุปกรณ์ในการทดลอง

การทดลองใช้ห้องขนาดกว้าง 3.4 m ยาว 3.9 m และสูง 3.2 m ตามผังพื้นในภาพที่ 1 ภายในห้องประกอบด้วยที่นั่งสำหรับผู้เข้าร่วมการทดลอง จอภาพคอมพิวเตอร์ และกล่องไฟสำหรับสร้างแสงสะท้อนบนจอภาพ หน้าต่างห้องทดลองถูกปิดสนิทด้วยวัสดุทึบแสงเพื่อป้องกันแสงธรรมชาติ สภาพแสงสว่างโดยทั่วไปภายในห้องทดลองใกล้เคียงในห้องเรียนและสำนักงานทั่วไป โดยให้แสงจากโคมตะแกรงหลอดฟลูออเรสเซนต์ ติดบนเพดาน 2 โคมตามที่ระบุในผัง ระดับความส่องสว่างบนหน้าจอต่างๆ ในห้องอันเนื่องมาจากโคมไฟติดเพดานนี้โดยเฉลี่ยประมาณ 200 ลักซ์ โคมไฟติดเพดานนี้ไม่ปรากฏในภาพสะท้อนบนจอภาพในขณะทดลองแต่อย่างใด

ตารางที่ 1 : จอภาพที่ใช้ในการทดลอง

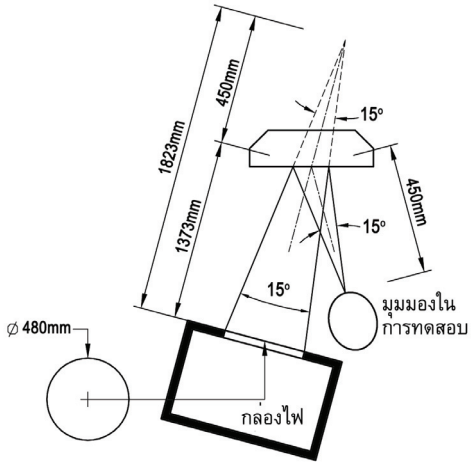
จอภาพ	รหัส	ลักษณะของจอภาพ
	CRTP	จอ CRT ขนาด 17" แสดงตัวหนังสือดำบนพื้นขาวขณะทดลอง
	LCGP	จอ LCD ขนาด 15.4" widescreen ผิวหน้าจอมัน มี Anti-reflection treatment แสดงตัวหนังสือดำบนพื้นขาวขณะทดลอง
	LCMP	จอ LCD ขนาด 17" ผิวหน้าจอด้าน มี Anti-glare treatment แสดงตัวหนังสือดำบนพื้นขาวขณะทดลอง
	PIWP	ระบบ Interactive whiteboard แบบ Front-projection ประกอบด้วย จอ interactive whiteboard ขนาด 48" ซึ่งมี โปรเจคเตอร์ติดตั้งอยู่ด้านหน้าเพื่อฉายภาพไปบนจอ จอภาพแสดงตัวหนังสือดำบนพื้นขาวขณะทดลอง
	OIWP	ระบบ Interactive whiteboard แบบ Flat screen overlay ประกอบด้วย จอพลาสมา ขนาด 42" และ แผ่น Interactive overlay ซึ่งซ้อนอยู่บนหน้าจอ แสดงตัวหนังสือดำบนพื้นขาวขณะทดลอง
	CRTN	จอ CRT ขนาด 17" เหมือน จอ CRTN แต่แสดงตัวหนังสือขาวบนพื้นดำขณะทดลอง
	LCGN	จอ LCD ขนาด 15.4" widescreen ผิวหน้าจอมัน มี Anti-reflection treatment เหมือนจอ LCGP แต่แสดงตัวหนังสือขาวบนพื้นดำขณะทดลอง

การทดลองใช้จอภาพทั้งหมด 5 จอ จอภาพเหล่านี้เป็นตัวแทนของจอภาพที่พบได้ในห้องเรียนและสำนักงาน คือ จอคอมพิวเตอร์ 3 จอ (CRTN, LCGN, LCMP) และจอ interactive whiteboard[1] 2 จอ (PIWP, OIWP) ในปัจจุบันโปรแกรมคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่จะแสดงข้อมูลเข้มบนพื้นสีอ่อน (Positive polarity) ดังนั้นการทดลองจึงใช้จอทั้ง 5 ชนิดแสดงตัวหนังสือดำบนพื้นขาว อย่างไรก็ตามยังมีบางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ใช้การแสดงข้อมูลสีอ่อนบนพื้นสีเข้ม (Negative polarity) ซึ่งทำให้ผู้ใช้เห็นแสงสะท้อนชัดเจนขึ้น เพื่อ

ศึกษากรณีของจอภาพที่เห็นแสงสะท้อนได้ง่าย จอภาพ 2 ชนิด (CRTP, LCGP) จึงถูกเลือกมาทำการทดสอบโดยแสดงตัวหนังสือขาวบนพื้นดำ (CRTN, LCGN) ดังนั้นการทดลองจึงใช้จอภาพทั้งหมด 7 รูปแบบตามตารางที่ 1 จอภาพเหล่านี้มีคุณสมบัติทางด้านความสว่าง (ความสว่างของภาพที่แสดงบนจอภาพ, ความสว่างของพื้นหลัง) และคุณสมบัติด้านการสะท้อนแสง (ค่าการสะท้อนแสงแบบ Specular, ค่าการสะท้อนแสงแบบ Diffuse และการสะท้อนแสงแบบ Haze) ต่างกันออกไป ระหว่างทดลองจอภาพจะถูกตั้งไว้ให้มีความสว่างสูงสุด และแสดงสไลด์คำภาษาอังกฤษจำนวน 50 คำซึ่งพิมพ์ด้วยตัวอักษรขนาด 12 points อนึ่ง รายละเอียดเกี่ยวกับคุณสมบัติของจอภาพที่ใช้ในการทดสอบและวิธีการวัดคุณสมบัติของจอภาพสามารถติดตามได้จากงานวิจัยของ Ramasoot [2011]

ขณะทดลองจอภาพจะถูกทดสอบด้วยแสงสะท้อนจากแหล่งกำเนิดแสงซึ่งได้แก่ กล่องไฟขนาด กว้าง 40 cm ยาว 90 cm สูง 59 cm ภายในติดตั้งหลอด หลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 21W, CCT 4000K, CRI 85 จำนวน 16 หลอด ระดับความสว่างของกล่องไฟควบคุมด้วยดิมเมอร์ซึ่งหรี่ไฟได้ตั้งแต่ 1–100% ด้านหน้าของกล่องไฟเจาะเป็นช่องกรุด้วยแผ่นอะคริลิกขาวขุ่นเพื่อให้แสงออกมามีความสม่ำเสมอ และปิดด้วยหน้ากากซึ่งเจาะเป็นช่องวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆกัน เพื่อใช้สร้างแสงสะท้อนวงกลม 3 ขนาด คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง 1^{o}, 10^{o} และ 15^{o} ขนาดเชิงมุมนี้วัดจากตำแหน่งที่ผู้ใช้จอภาพมองเห็นแสงสะท้อนดังภาพที่ 2 แสงสะท้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1^{o} นั้นจำลองขนาดของแสงสะท้อนบนจอภาพที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสงขนาดเล็ก เช่น โคมไฟบนเพดาน แสงสะท้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10^{o} และ 15^{o} จำลองขนาดของแสงสะท้อนที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสงขนาดใหญ่ เช่น หน้าต่าง หรือผนัง การเปลี่ยนขนาดของแสงสะท้อนทำโดยการเข็นกล่องไฟเข้าใกล้หรือห่างออกจากจอภาพและการสลับหน้ากากที่ปิดอยู่หน้าช่องแสงของกล่องไฟ เนื่องด้วยข้อจำกัดของหน้ากากและกล่องไฟที่สามารถสร้างแหล่งกำเนิดแสงขนาดใหญ่ที่สุดคือเส้นผ่านศูนย์กลาง 48 ซม.เท่านั้น หากใช้กล่องไฟสร้างเงาสะท้อนขนาด 15^{o} บนจอภาพขนาดใหญ่จะต้องเลื่อนกล่องไฟเข้าใกล้จอภาพและผู้เข้าร่วมการทดลองซึ่งทำให้รบกวนการมองจอภาพ ดังนั้นการทดสอบแสงสะท้อนขนาด 15^{o} จึงสามารถกระทำได้กับจอภาพขนาดเล็ก (CRTP, LCGP, LCMP, CRTN, LCGN) เท่านั้น

ในการทดลอง กล่องไฟจะถูกวางหันหน้าเข้าหาจอภาพทำมุม 15^{o} หรือ 30^{o} กับเส้นตั้งฉากจากจอภาพ เพื่อศึกษาอิทธิพลของมุมมองต่อระดับความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่ผู้ใช้ยอมให้สะท้อนบนหน้าจอได้ ที่นั่งของผู้เข้าร่วมการทดลองจะหันเข้าหาจอภาพเช่นกันทำมุมเท่ากันกับเส้นตั้งฉากจากจอภาพแต่ในทิศทางตรงกันข้าม (ภาพที่ 1) ทั้งนี้เพื่อให้ผู้เข้าร่วมทดลองเห็นแสงสะท้อนจากมุมสะท้อนที่เท่ากับมุมตกกระทบของแสงไฟ ระยะห่างระหว่างผู้เข้าร่วมการทดลอง จอภาพ และกล่องไฟมีขนาดต่างๆกันไปเพื่อให้มองเห็นตัวหนังสือในขนาดที่เท่ากันและมองเห็นแสงสะท้อนในขนาดที่กำหนดไว้ (วงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 1^{o},10^{o} หรือ15^{o})



ภาพที่ 2: การคำนวณขนาด (visual size) ของแสงสะท้อนบนจอภาพที่เกิดจากกล่องไฟ

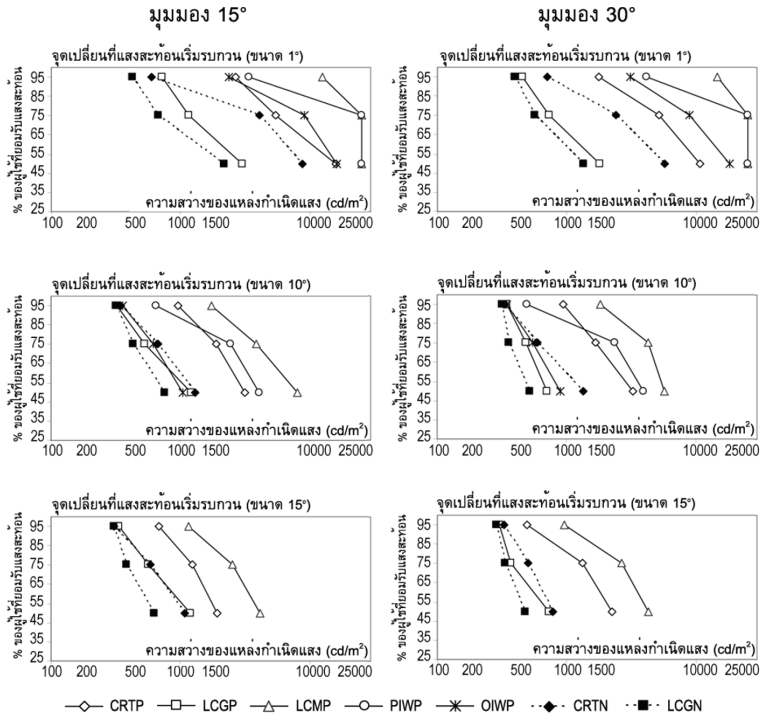
การทดลอง

การทดลองใช้ผู้ร่วมการทดลองทั้งหมด 40 คน มีอายุตั้งแต่ 18–80 ปี (อายุเฉลี่ย 45 ปี) ทดลองทีละ 1 คน การทดลองแบ่งเป็น 38 ช่วงซึ่งมาจาก 38 รูปแบบของการสับเปลี่ยนจอภาพ 7 ระดับ มุมมอง 2 ระดับ และขนาดแหล่งกำเนิดแสง 3 ระดับ(แหล่งกำเนิดแสงขนาดใหญ่สุดทดสอบกับ 5 จอเท่านั้น) ลำดับของการทดลองทั้งหมดเกิดจากการสุ่ม ทั้งนี้เพื่อป้องกันความลำเอียง (bias) จากการเรียนรู้และคาดคะเนผลที่จะเกิดขึ้นอันจะทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน

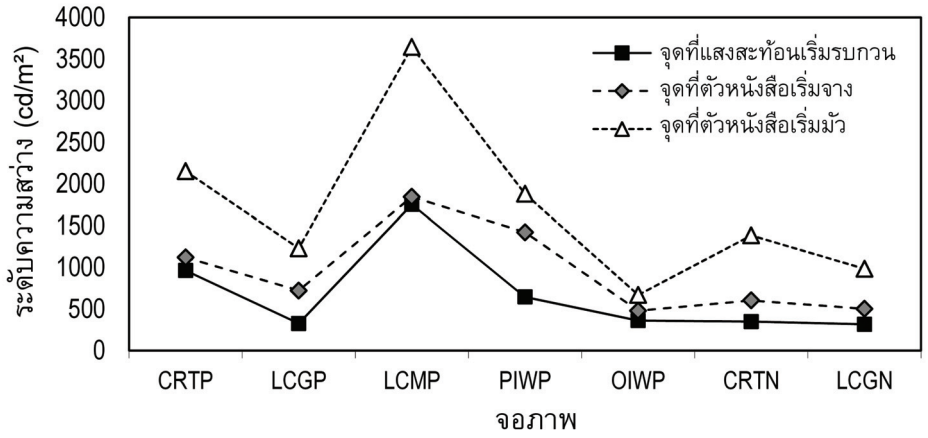
การทดลองในแต่ละช่วง (1 จอ 1 มุมมอง และ 1 ขนาดแหล่งกำเนิดแสง) เริ่มต้นโดยผู้ดำเนินการทดลองตั้งความสว่างเริ่มต้นของกล่องไฟที่ระดับสูงสุด (25000 cd/m^2) หรือต่ำสุด (0 cd/m^2) จากนั้นจึงให้ผู้ร่วมการทดลองอ่านตัวหนังสือบนหน้าจอซึ่งมี/ไม่มีแสงสะท้อนจากกล่องไฟ แล้วใช้ดิมเมอร์ปรับความสว่างของกล่องไฟเพิ่มขึ้นหรือลดลง เพื่อหาจุดที่แสงสะท้อนเปลี่ยนจากระดับที่ยอมรับได้เป็นยอมรับไม่ได้โดยใช้เกณฑ์การประเมินแสงสะท้อนที่กำหนดไว้ เมื่อได้ปรับความสว่างจนได้ระดับดังกล่าวแล้ว ผู้ร่วมการทดลองจึงบอกผู้ดำเนินการทดลองเพื่อบันทึกค่าความสว่างของกล่องไฟ ณ จุดนั้นๆ ก่อนที่ปรับกลับเป็นค่าเริ่มต้นอีกครั้ง เนื่องจากการศึกษานี้ใช้เกณฑ์ในการประเมินแสงสะท้อน 3 เกณฑ์ (1. ความรบกวนของแสงสะท้อน 2. ความเปรียบต่างของตัวหนังสือ 3. ความคมชัดของตัวหนังสือ) ดังนั้นในแต่ละช่วงของการทดลองผู้เข้าร่วมการทดลองจึงต้องปรับแสงสว่างทั้งหมด 3 ครั้ง เมื่อครบแล้วผู้ดำเนินการทดลองจะสลับจอภาพ หรือ มุมมอง หรือขนาดของแหล่งกำเนิดแสง และดำเนินการทดลองต่อไปจนครบทั้ง 38 รูปแบบ

ผลการทดลอง

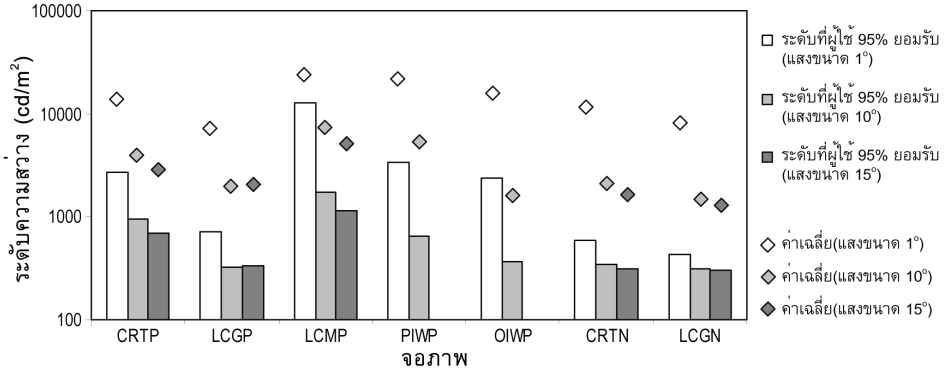
ภาพที่ 3 แสดงตัวอย่างผลที่ได้จากการทดลอง คือ ความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถใช้ได้กับจอภาพชนิดต่างๆ โดยการพิจารณาจากจุดเปลี่ยนที่แสงสะท้อนบนจอภาพเริ่มรบกวน (Disturbance borderline) ซึ่งเป็นหนึ่งใน 3 เกณฑ์ที่ใช้ในการศึกษานี้จากแนวคิดทางการยศาสตร์ (Ergonomics) ที่สภาพแวดล้อมจะถูกออกแบบเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ที่อยู่ระหว่างเปอร์เซ็นไทล์ที่ 5 และ 95 ของประชากร [Pheasant, 1987] ผลการทดลองจึงนำมาวิเคราะห์เพื่อหาเปอร์เซ็นไทล์ที่ 5 หรือระดับความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่ 95% ของผู้ร่วมทดลองสามารถยอมรับได้ และนำมาใช้เป็นค่ากลางในการกำหนดความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมแทนที่การใช้ค่าเฉลี่ย (ในกรณีที่ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติหากนำค่าเฉลี่ยมาใช้ในการออกแบบแสงสว่างจะหมายความว่าจะมีผู้ใช้ถึง 50% ที่จะรู้สึกว่าแสงสะท้อนบนจอภาพรบกวน ในทางตรงกันข้ามที่เปอร์เซ็นไทล์ที่ 5 จะมีผู้ใช้เพียง 5% ที่รู้สึกว่าแสงสะท้อนรบกวน) การเลือกใช้ค่าระดับที่ผู้ใช้ 95% สามารถยอมรับได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยอื่นที่ใช้วิธีการปรับแสงสว่างเช่นเดียวกัน [Pawlak and Roll, 1990]



ภาพที่ 3: ความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถใช้ได้กับจอภาพชนิดต่างๆ โดยการพิจารณาจากจุดเปลี่ยนที่แสงสะท้อนบนจอภาพเริ่มรบกวน (Disturbance borderline) สำหรับแหล่งกำเนิดแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1°, 10° และ 15° ที่มุมมอง 15° และ 30° จากเส้นตั้งฉากกับจอภาพ



ภาพที่ 4: การเปรียบเทียบระดับความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถใช้ได้กับจอภาพชนิดต่างๆ โดยใช้เกณฑ์พิจารณาที่แตกต่างกัน 3 อย่าง: 1. จุดเปลี่ยนที่แสงสะท้อนเริ่มรบกวน 2. จุดเปลี่ยนที่ตัวหนังสือเริ่มจางจนอ่านได้ยาก และ 3. จุดเปลี่ยนที่ตัวหนังสือเริ่มมัวจนอ่านได้ยาก (แผนภูมิแสดงระดับความสว่างที่ผู้ใช้ 95% ยอมรับได้ ของแหล่งกำเนิดแสงขนาด 10° ที่มุมมอง 15°)



ภาพที่ 5: การเปรียบเทียบระดับความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงขนาดต่างๆ ที่แสงสะท้อนเริ่มรบกวน สำหรับจอทั้ง 7 แบบ (แผนภูมิแสดงระดับความสว่างที่ผู้ใช้ 95% ยอมรับได้ และระดับความสว่างที่ค่าเฉลี่ยของผู้ใช้ทั้งหมด)

การศึกษานี้พิจารณาความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ได้กับจอภาพโดยใช้เกณฑ์ 3 อย่าง: 1. จุดเปลี่ยนที่แสงสะท้อนเริ่มรบกวน (Disturbance borderline) 2. จุดเปลี่ยนที่ตัวหนังสือเริ่มจางจนอ่านได้ยาก (Contrast borderline) และ 3. จุดเปลี่ยนที่ตัวหนังสือเริ่มมัวจนอ่านได้ยาก (Clarity borderline) คำถามที่เกิดขึ้นคือควรจะนำเกณฑ์ใดมาใช้ในการออกแบบระดับแสงสว่างที่เหมาะสม ภาพที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบระดับความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถใช้ได้กับจอภาพชนิดต่างๆ โดยใช้เกณฑ์การพิจารณาทั้ง 3 อย่าง: จะเห็นภาพรวมว่า Disturbance borderline มีค่าต่ำกว่า Contrast borderline และ Clarity borderline ซึ่งหมายความว่าเมื่อความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงเพิ่มขึ้นและแสงสะท้อนบนหน้าจอเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสงสะท้อนจะเริ่มรบกวนผู้ใช้ก่อนที่ตัวหนังสือบนจอจะเริ่มจางหรือมัวจนอ่านได้ยาก นอกจากนี้เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างจุดเปลี่ยนตามเกณฑ์ทั้งสามโดยใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation analysis) ก็พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ระหว่าง Disturbance และ Contrast borderline ($r=0.86$, $p<0.01$), ระหว่าง Disturbance และ Clarity borderline ($r=0.87$, $p<0.01$) และ ระหว่าง Contrast และ Clarity borderline ($r=0.90$, $p<0.01$) ซึ่งแสดงว่าจอภาพที่มี Disturbance borderline สูงก็จะมี Contrast และ Clarity borderline สูงด้วย ทั้งหมดนี้ทำให้ได้ข้อสรุปว่าความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงสูงสุดที่สามารถใช้ได้โดยไม่เกิดแสงสะท้อนรบกวนควรใช้มาเป็นเกณฑ์หลักในการออกแบบแสงสว่างที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่ใช้จอคอมพิวเตอร์ เพราะหากแสงสะท้อนบนหน้าจออยู่ในระดับที่ไม่รบกวน ก็จะมีความเป็นไปได้สูงที่ความเปรียบต่างและความคมชัดของตัวหนังสือบนหน้าจอจะยังอยู่ในระดับที่ผู้ใช้ยอมรับได้ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงถือระดับความสว่างที่แสงสะท้อนเริ่มรบกวนเป็นหลักในการกำหนดระดับความสว่างที่สามารถใช้ได้ในพื้นที่ที่ใช้คอมพิวเตอร์

ภาพรวมของผลการทดลองดังที่แสดงไว้ในภาพ 3, 4 และ 5 ทำให้ได้ข้อสังเกตว่าระดับความสว่าง ของแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถใช้ได้กับแต่ละจอภาพนั้นมีความแตกต่างกันไปตาม จอภาพ และขนาดของแหล่งกำเนิดแสง โดยระดับความสว่างที่สามารถใช้ได้กับจอภาพที่แสดงตัวหนังสือสีอ่อนบนพื้นสีเข้ม (CRTN, LCGN) จะต่ำกว่าจอภาพแบบเดียวกันที่แสดงตัวหนังสือสีเข้มบนพื้นสีอ่อน (CRTP, LCGP) ระดับความสว่างที่สามารถใช้ได้กับจอภาพที่มีผิวมันกว่า (LCGP, OIWP) จะต่ำกว่าจอภาพที่มีผิวด้านกว่า (CRTP, LCMP, PIWP) ระดับแสงสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถใช้ได้สำหรับแต่ละจอนั้นจะลดลงเมื่อขนาดของแหล่งกำเนิดแสงใหญ่ขึ้น ระดับความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถใช้ได้สำหรับแต่ละจอภาพนี้มีความแตกต่างกันบ้าง เมื่อเปลี่ยนแปลงมุมที่ผู้ใช้มองเห็นหน้าจอจาก 15° เป็น 30° แต่ไม่มากนัก การวิเคราะห์ทางสถิติสนับสนุนข้อสังเกตข้างต้น การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ (Repeated-measures ANOVA) แสดงให้เห็นว่าปัจจัยทั้งสามที่ทดสอบ (จอภาพ ขนาด

ของแหล่งกำเนิดแสง และมุมมอง) มีความสัมพันธ์กับระดับความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่ผู้ใช้ยอมรับ โดยมีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความสว่างที่สามารถใช้ได้กับแต่ละจอภาพอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.01$) มีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่มีขนาดต่างๆกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.01$) และที่มุมมองต่างๆกัน ยังมีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถใช้ได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.01$) นอกจากนี้ยังพบอิทธิพลร่วมระหว่างจอภาพและขนาดของแหล่งกำเนิดแสง ($p<0.01$) และอิทธิพลร่วมระหว่างจอภาพและมุมมอง ($p<0.01$) ต่อระดับความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่ผู้ใช้ยอมรับได้ แต่ไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างขนาดของแหล่งกำเนิดแสงและมุมมอง ดังนั้นลักษณะของการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยความสว่างที่สามารถยอมรับได้ไปตามขนาดของแหล่งกำเนิดแสงที่มุมมองแตกต่างกันนั้นไม่มีความแตกต่างกัน

การพัฒนาแบบจำลองเพื่อทำนายระดับความสว่างที่สามารถใช้ได้ในพื้นที่ที่ใช้คอมพิวเตอร์

ภาพรวมของผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า มีความเป็นไปได้ที่จะนำตัวแปรต่างๆที่แสดงคุณสมบัติของจอภาพ แสงสว่าง หรือ มุมมอง มาพัฒนาแบบจำลองเพื่อทำนายระดับความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่ผู้ใช้ 95% ยอมรับได้ ตัวแปรต่างๆที่แสดงคุณสมบัติทั้งสาม[2] จึงถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกหาตัวแปรที่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงระดับความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่ผู้ใช้ 95% ยอมรับได้ (L_A) จากการสร้างแบบจำลองด้วยการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนแบบเป็นขั้นตอน (Stepwise Multiple Regression Analysis) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหล่านี้กับความสว่างของแหล่งกำเนิดแสง(L_A) ไม่อยู่ในรูปของเส้นตรงแต่เป็นความสัมพันธ์แบบลอการิทึม และแบบจำลองดีที่สุดที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง $\log_{10} L_A$ และตัวแปรที่แสดงคุณสมบัติของจอภาพและแสงสว่างได้ โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงซ้อน (Multiple Coefficient of Determination: r^2) สูงสุดภายใต้ตัวแปรน้อยที่สุด สามารถพัฒนาได้โดยใช้ตัวแปร 4 ตัว[3] ดังนี้

1. ค่าการสะท้อนแสงแบบ Specular (Specular reflectance: ρ_S) ของจอภาพ ρ_S ของแต่ละพื้นผิวจะต่างกันไปตามขนาดของแหล่งกำเนิดแสงและมุมที่ทำการวัด การวัดจอเพื่อหาค่า ρ_S สามารถทำได้โดยใช้วิธีการที่ระบุไว้ใน BS EN ISO 9241-7:1998 และ BS EN ISO 13406-2:2001 [BSI, 1998; BSI, 2002] โดย เมื่อได้ค่าต่างๆแล้วจะสามารถคำนวณหาค่า ρ_S ได้โดยใช้สมการที่ 1

$$\rho_S = R_S = L_S / L_A \qquad [1]$$

เมื่อ ρ_S = ค่าการสะท้อนแสงแบบ specular (Specular reflectance)

R_S = Reflectometer value for specular reflection

L_S = ความสว่างของแสงสะท้อนในแบบ specular (Specular reflected luminance)

L_A = ความสว่างของแหล่งกำเนิดแสง (Light source luminance)

2. ผลของการสะท้อนแสงแบบ Haze (Effect of haze reflection: H) ซึ่งคำนวณโดยใช้วิธีการที่ Howlett [2003] ได้เสนอไว้สำหรับการวัดผลของการกระจายแสงสะท้อนหรือ Blur effect Howlett ได้เสนอว่า Blur effect สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างแสงสะท้อนที่วัดได้ (Measured L_{DS}) ที่ประกอบด้วยการสะท้อนแสงแบบ Specular, Diffuse และ Haze กับ แสงสะท้อนจากการคำนวณที่ประกอบด้วยการสะท้อนแสงแบบ Specular และ Diffuse เท่านั้น (Calculated L_{DS}) ดังนั้นอัตราส่วนที่ได้นี้จึงแสดงปริมาณของการสะท้อนแสงแบบ Haze (สมการที่ 2 และ3) เนื่องจากคำว่า Blur effect อาจทำให้เกิดความคลุมเครือดังนั้นการศึกษานี้จึงเรียกอัตราส่วนนี้ว่า ผลของการสะท้อนแสงแบบ Haze (Effect of haze reflection) ซึ่งจะทำให้ชัดเจนขึ้นว่าเป็นปริมาณการสะท้อนแสงในรูปแบบใด การคำนวณ H นั้นอาศัยตัวเลขที่ได้จากการวัดจอภาพตามมาตรฐาน BS EN ISO 9241-7:1998 [BSI, 1998] ซึ่งทดสอบจอภาพโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงสองขนาดคือ 1^o และ 15^o จากการวัดจอภาพชนิดต่างๆพบว่า จอ LCD ผิวมันมีค่า H อยู่ที่ประมาณ 13 ค่า H ของจอ LCD ผิวด้านอยู่ประมาณ 1.2 ส่วนค่า H ของจอ CRT ผิวด้านอยู่ที่ประมาณ 3

$$\text{Effect of haze reflection} = \text{Measured } L_{DS} \,/\, \text{Calculated } L_{DS} \quad [2]$$

$$\text{Calculated } L_{DS} = (\rho_D * E_{(EXT)}/\pi) + (\rho_{S\,(SML)} * L_{A(EXT)}) \quad [3]$$

เมื่อ Measured L_{DS} = แสงสะท้อนที่เกิดจากการใช้แหล่งกำเนิดแสงขนาด 15^o ซึ่งใช้ในการวัดจอ

Calculated L_{DS} = แสงสะท้อนที่คำนวณได้ซึ่งประกอบด้วยการสะท้อนแสงแบบ specular และ diffuse

ρ_D = ค่าการสะท้อนแสงแบบ Diffuse (Diffuse reflectance)

$E_{(EXT)}$ = ความส่องสว่างบนจอภาพที่เกิดจากการใช้แหล่งกำเนิดแสงขนาด 15^o

$\rho_{S\,(SML)}$ = ค่าการสะท้อนแสงแบบ Specular (Specular reflectance) ของแหล่งกำเนิดแสงขนาด 1^o

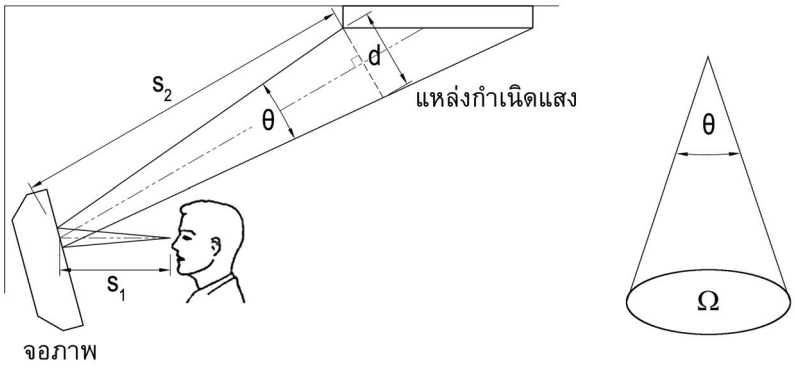
$L_{A(EXT)}$ = ความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงขนาด 15^o

3. ความสว่างของพื้นหลังที่แสดงบนจอภาพ (Background luminance: L_B) ในหน่วย cd/m^2 ความสว่างของพื้นหลังของจอภาพนั้นเป็นตัวแปรขึ้นอยู่กับ ความสามารถในการเปล่งแสงออกมาของจอภาพและรูปแบบการแสดงภาพของจอภาพ ว่าแสดงข้อมูลสีเข้มบนพื้นสีอ่อน (Positive polarity) หรือ แสดงข้อมูลสีอ่อนบนพื้นสีเข้ม (Negative polarity) การวัดจอใช้วิธีการตามมาตรฐาน BS EN ISO 9241-7:1998 [BSI, 1998] เช่นเดียวกัน
4. ขนาดของแหล่งกำเนิดแสงเมื่อวัดจากมุมมองที่ผู้ใช้เห็นแสงสะท้อน (Size of the light source: Ω) เป็นตัวแปรที่นอกจากจะขึ้นอยู่กับขนาดที่แท้จริงของแหล่งกำเนิดแสงแล้ว ยังขึ้นอยู่กับตำแหน่งและระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดแสง, จอภาพ และ ผู้ใช้ (ภาพที่ 6) ขนาดของแหล่งกำเนิดแสงนี้วัดจากขนาดของมุมตัน (Solid angle) ของแหล่งกำเนิดแสงที่ผู้ใช้มองเห็นในเงาสะท้อนบนหน้าจอ มีหน่วยเป็นสเตอเรเดียน (Steradian) การคำนวณขนาดนี้สามารถทำได้โดยการหาขนาดเชิงมุมของแหล่งกำเนิดแสงในหน่วยองศา (θ) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ 4 และนำขนาดนี้ไปคำนวณหาขนาดมุมตันของแหล่งกำเนิดแสง โดยขนาดของมุมตันในหน่วยสเตอเรเดียน (Ω) ที่เกิดจากทรงกรวยที่มีมุมที่ยอดในรูปตัดกว้าง θ (ภาพที่ 6) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5

$$\theta = 2[\arctan (d/2)/(s_1+s_2)] \quad [4]$$

$$\Omega = 2\pi [1-\cos (\theta/2)] \quad [5]$$

เมื่อ s_1 = ระยะในการมองจอภาพ
s_2 = ระยะทางระหว่างจอภาพกับแหล่งกำเนิดแสง
d = ขนาดของแหล่งกำเนิดแสงในทิศทางของจอภาพ
θ = ขนาดเชิงมุมของแหล่งกำเนิดแสง
Ω = ขนาดมุมตันของแหล่งกำเนิดแสง



ภาพที่ 6: การคำนวณขนาดของแหล่งกำเนิดแสงที่สะท้อนบนจอภาพในหน่วยองศาและขนาดของมุมตันของแหล่งกำเนิดแสงที่สะท้อนบนจอภาพในหน่วยสเตอเรเดียน

แบบจำลองในการทำนายความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถใช้ได้กับพื้นที่ที่ใช้คอมพิวเตอร์โดยแสงสะท้อนยังไม่รบกวนผู้ใช้ แสดงได้ดังสมการที่ 6 โดยแบบจำลองนี้มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงซ้อน (r^2) = 0.86 หรือเปอร์เซ็นต์ที่ตัวแปรอิสระสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามอันได้แก่ $\log_{10} L_A$ สูงถึง 86%

$$\text{Log}_{10} L_A = 3.013 + (-10.668*\rho_s) + (0.043*H) + (0.001*L_B) + (-4.550*\Omega) \quad [6]$$

เมื่อ L_A = ความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถใช้ได้โดยแสงสะท้อนไม่รบกวนผู้ใช้คอมพิวเตอร์

ρ_S = ค่าการสะท้อนแสงแบบ specular สำหรับแหล่งกำเนิดแสงและทิศทางการมองนั้นๆ

H = ผลของการสะท้อนแสงแบบ haze

L_B = ความสว่างของพื้นหลังที่แสดงบนจอภาพ

Ω = ขนาดของแหล่งกำเนิดแสงเมื่อวัดจากมุมมองที่ผู้ใช้เห็นแสงสะท้อน

แบบจำลองนี้สามารถทำให้ง่ายขึ้นสำหรับการนำไปใช้ ด้วยการปัดค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficient) ดังสมการที่ 7 ซึ่งสามารถเขียนสมการนี้ได้ใหม่ในรูปของ L_A ดังสมการที่ 8 แบบจำลองที่ทำให้ง่ายขึ้นนี้ยังคงสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ L_A ซึ่งได้จากการทดลองปรับระดับความสว่างได้ถึง 84% (r^2=0.84) ความสามารถในการทำนาย L_A ของแบบจำลองนั้นแตกต่างกันไปสำหรับแต่ละจอภาพโดยอยู่ระหว่าง 80–99%

$$\text{Log}_{10} L_A = 3 + (-11*\rho_s) + (0.043*H) + (0.001*L_B) + (-4.6*\Omega) \quad [7]$$

$$L_A = 10^3 * 10^{-11\rho_S} * 10^{0.043H} * 10^{0.001L_B} * 10^{-4.6\Omega} \quad [8]$$

เมื่อพิจารณาแบบจำลอง จะพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละตัวกับความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถใช้ได้นั้นสอดคล้องกับการมองเห็นของคนเรา การมองเห็นสิ่งต่างๆรวมทั้งแสงสะท้อนนั้นเกิดขึ้นเมื่อความเปรียบต่างความสว่าง (Luminance contrast) ระหว่างสิ่งนั้นๆกับพื้นหลังสูงกว่าระดับเริ่มต้นของการมองเห็น (Threshold) ระดับเริ่มต้นนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของสิ่งต่างๆและความสว่างที่ปรับสายตาไว้ (Adaptation luminance) นอกจากนี้การมองเห็นนั้นยังขึ้นอยู่กับความชัดเจนของขอบ ขอบที่ไม่ชัดเจนจะมีการเปลี่ยนแปลงความสว่างอย่างช้าๆซึ่งทำให้ความเปรียบต่างความสว่างของสิ่งนั้นนั้นดูเสมือนว่าลดลงกว่าที่เป็นจริง จึงมองเห็นได้ยากขึ้น [Rea, 1991] ตัวแปรต่างๆในแบบจำลองนี้ส่งผลกระทบต่อความเปรียบต่างความสว่างและขอบของแสงสะท้อนในรูปแบบต่างๆกันจึงทำให้มีความสัมพันธ์กับค่า L_A หรือความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถใช้ได้โดยไม่เกิดแสงสะท้อนรบกวนในรูปแบบต่างๆกันไป ความสัมพันธ์นี้สามารถนำมาใช้เป็นหลักในการออกแบบแสงสว่างเพื่อหลีกเลี่ยงเงาสะท้อนได้ ดังนี้

จอภาพที่มีผิวมัน (มีค่าการสะท้อนแสงแบบ Specular หรือ ρ_S สูง) จะทำให้ความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถใช้ได้โดยไม่เกิดแสงสะท้อน (L_A) ต่ำลง เนื่องจากค่า L_A แปรผกผันกับ ρ_S (ภาพที่ 7) ความสัมพันธ์นี้เป็นเพราะค่าการสะท้อนแสงแบบ Specular ทำให้แสงสะท้อนมีความสว่างสูงและความเปรียบต่างเมื่อเทียบกับพื้นหลังที่สูง นอกจากนี้ค่าการสะท้อนแสงแบบ Specular ยังทำให้แสงสะท้อนมีความคมชัดจึงทำให้มองเห็นแสงสะท้อนได้ง่ายขึ้น

จอภาพที่มีการเคลือบผิวให้ด้านขึ้นซึ่งทำให้มีการสะท้อนแสงแบบ Haze (H) สูง จะทำให้ความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถใช้ได้โดยไม่เกิดแสงสะท้อน (L_A) สูงขึ้น เนื่องจาก L_A แปรผันตาม H (ภาพที่ 7) ความสัมพันธ์นี้เป็นเพราะการสะท้อนแสงแบบนี้ช่วยลดความคมชัดของขอบเงาสะท้อนลง เมื่อขอบไม่ชัดจึงดูเสมือนว่าความเปรียบต่างของความสว่างระหว่างแสงสะท้อนกับพื้นหลังลดลง จึงทำให้ผู้ใช้สามารถยอมรับแสงสะท้อนที่มีความสว่างสูงขึ้นได้

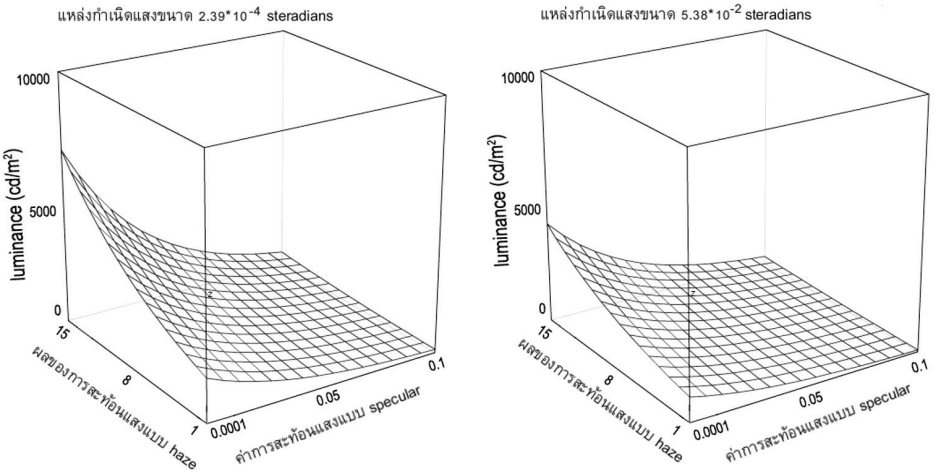
จอภาพที่มีความสว่างของพื้นหลัง (L_B) สูงจะทำให้ความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถใช้ได้โดยไม่เกิดแสงสะท้อน (L_A) สูงขึ้น เนื่องจาก L_A แปรผันตาม L_B (ภาพที่ 8) ความสัมพันธ์นี้เป็นเพราะความสว่างของพื้นหลังที่มากขึ้นจะช่วยลดความเปรียบต่างของความสว่างระหว่างแสงสะท้อนกับพื้นหลัง การมองเห็นแสงสะท้อนจึงยากขึ้น ความสัมพันธ์นี้เป็นผลให้จอภาพที่แสดงข้อมูลสีเข้มบนพื้นหลังสีอ่อนซึ่งมี L_B สูง จะมองเห็นแสงสะท้อนได้ยากกว่าจอภาพที่แสดงข้อมูลสีอ่อนบนพื้นหลังสีเข้มซึ่งมี L_B ต่ำ

ขนาดของแหล่งกำเนิดแสง (Ω) ที่มีขนาดใหญ่ จะทำให้ความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถใช้ได้โดยไม่เกิดแสงสะท้อน (L_A) สูงขึ้น เนื่องจาก L_A แปรผกผันกับ Ω (ภาพที่ 8) ความสัมพันธ์นี้เป็นเพราะเมื่อขนาดของแสงสะท้อนใหญ่ขึ้นจะทำให้ระดับเริ่มต้นของความเปรียบต่างความสว่างที่มองเห็นแสงสะท้อนนั้นต่ำลงผู้ใช้จึงมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงได้ง่ายขึ้น

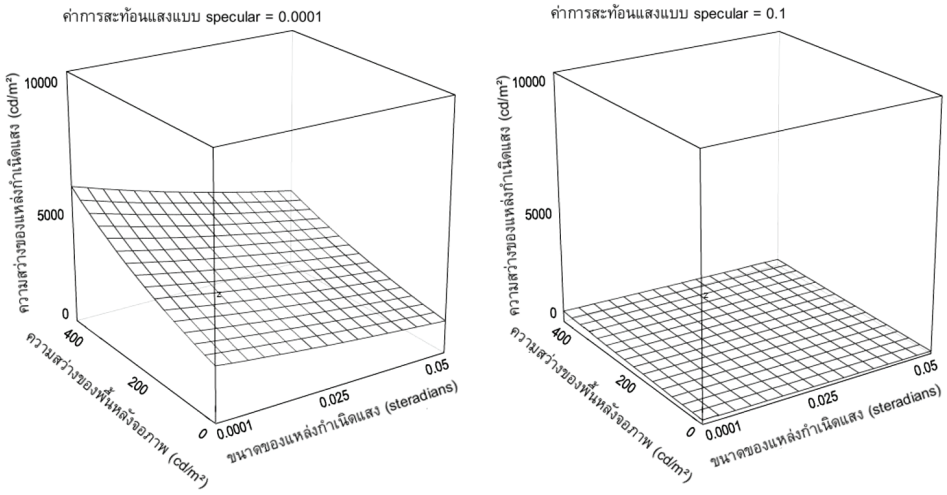
แนวทางในการนำแบบจำลองเพื่อทำนายระดับความสว่างไปใช

1. การกำหนดแสงสว่างที่เหมาะสมสำหรับจอภาพที่มีอยู่แล้ว ซึ่งสามารถทำได้โดยการวัดคุณสมบัติของจอภาพ อันได้แก่ ค่าการสะท้อนแสงแบบ Specular (ρ_S), ผลของการสะท้อนแสงแบบ Haze (H), ความสว่างของพื้นหลังบนหน้าจอ (L_B) เมื่อทราบค่าต่างๆแล้วจะสามารถใช้แบบจำลองเพื่อคำนวณหาระดับความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงสูงสุดที่สามารถใช้ได้สำหรับแหล่งกำเนิดแสงขนาดหนึ่งๆ ข้อดีของแบบจำลองนี้คือ แบบจำลองช่วยให้เกิดความยืดหยุ่นในการออกแบบแสงสว่าง เช่น หากแหล่งกำเนิดแสงที่ต้องการใช้เช่น โคมไฟ มีความสว่างสูงมาก ก็สามารถใช้แบบจำลองนี้คำนวณหาขนาดของแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมที่จะทำให้แสงสะท้อนไม่รบกวนได้ การลดขนาดของแหล่งกำเนิดแสงสามารถทำได้เพียงการ

ปรับตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงให้อยู่ห่างจากจอภาพและผู้ใช้มากขึ้นเนื่องจากแบบจำลองนี้ใช้ขนาดเชิงมุมของแหล่งกำเนิดแสงที่สัมพัทธ์กับตำแหน่งของจอภาพและผู้ใช้เป็นหลัก



ภาพที่ 7: แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถใช้ได้กับค่าการสะท้อนแสงแบบ Specular และผลของการสะท้อนแสงแบบ Haze ซึ่งคำนวณไว้โดยใช้แบบจำลอง (สำหรับกรณีที่แหล่งกำเนิดแสงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1^{o} และ 15^{o} ความสว่างของพื้นหลังคงที่อยู่ที่ 200 cd/m^2)



ภาพที่ 8: แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถใช้ได้ กับความสว่างของพื้นหลังของจอภาพ และขนาดของแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งคำนวณไว้โดยใช้แบบจำลอง (สำหรับกรณีที่ค่าการสะท้อนแสงแบบ Specular ของจอภาพอยู่ที่ 0.0001 และ 0.1 และผลการสะท้อนแสงแบบ Haze สำหรับจอภาพเท่ากับ 8)

ยกตัวอย่างการนำไปใช้แบบนี้ เช่น ต้องการใช้จอ LCD จอหนึ่งในห้องที่มีโคมคอมแพกต์ฟลูออเรสเซนต์บนเพดานที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.20 m ในทิศทางของจอภาพ ระยะในการมองจอภาพปกติประมาณ 0.50 m หากวางจอภาพให้ห่างจากโคมไฟ 3.00 m เงาสะท้อนของโคมไฟในจอภาพนั้นจะมีขนาดเชิงมุมประมาณ 3.27° และมีขนาดของมุมตันประมาณ $2.56*10^{-3}$ สเตอเรเดียน หากจอภาพนั้นมี ρ_S เท่ากับ 0.03, H เท่ากับ 1.5 และ L_B เท่ากับ 250 cd/m^2 เมื่อใช้แบบจำลองในการคำนวณจะได้ว่า โคมไฟนี้จะมีความสว่างได้ถึงประมาณ 939 cd/m^2 ได้โดยที่แสงสะท้อนไม่รบกวนการมองเห็นบนจอภาพ

2. การกำหนดคุณสมบัติของจอภาพที่เหมาะสมกับแสงสว่างที่มีอยู่ เมื่อทราบขนาดของแหล่งกำเนิดแสง และความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงนั้นๆ ก็สามารถใช้แบบจำลองเพื่อหาคุณสมบัติของจอภาพ อันได้แก่ ค่าการสะท้อนแสงแบบ Specular (ρ_S), ผลของการสะท้อนแสงแบบ Haze (H), ความสว่างของพื้นหลังบนจอภาพ (L_B) ที่สามารถใช้ได้โดยที่แสงสะท้อนไม่รบกวนการมองเห็น เนื่องจากแบบจำลองนี้ใช้ความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงเป็นหลัก ดังนั้นจึงมีความสะดวกที่จะใช้อุปกรณ์ เช่น Luminance meter วัดความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงได้โดยตรงซึ่งอาจเป็นความสว่างของผิวโคมไฟในกรณีใช้แสงไฟฟ้า หรือ ในกรณีแสงธรรมชาติอาจเป็นความสว่างของท้องฟ้าที่มองเห็นจากหน้าต่างเป็นต้น ข้อดีของการใช้แบบจำลองในรูปแบบนี้คือ สามารถออกแบบแสงสว่างให้มีปริมาณที่เหมาะสมกับกิจกรรมอื่นๆภายในห้อง (เช่น การอ่านหนังสือ) จากนั้นจึงใช้แบบจำลองคำนวณหาคุณสมบัติของจอภาพที่เหมาะสมกับแสงสว่างที่มีอยู่ได้ วิธีนี้จะทำให้สามารถรักษาคุณภาพการมองเห็นสำหรับกิจกรรมบนจอคอมพิวเตอร์และนอกจอคอมพิวเตอร์ได้ในเวลาเดียวกัน และเนื่องด้วยจอคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่หลากหลายและก้าวหน้าไปมาก ดังนั้นการหาจอคอมพิวเตอร์ที่มีคุณสมบัติตามที่แบบจำลองคำนวณได้ จึงไม่น่าจะเป็นเรื่องยากในปัจจุบัน

ยกตัวอย่างการนำไปใช้ เช่น ต้องการหาจอ LCD ขนาดใหญ่วางไว้หน้าห้องบรรยายซึ่งมีผนังด้านตรงกันข้ามกับจอภาพมีหน้าต่างกระจกฝ้าขนาดกว้าง 2.40 m สูง 1.00 m เมื่อนำเอา Luminance meter ไปวัดความสว่างของหน้าต่างนั้นจากทิศของจอภาพได้ค่าเป็น 1000 cd/m^2 หากจอ LCD อยู่ห่างจากหน้าต่างนั้นประมาณ 5.00 m และมีระยะห่างระหว่างจอภาพกับผู้ชมประมาณ 2.00 m จะทำให้เงาสะท้อนของหน้าต่างบนจอภาพนั้นมีขนาดของมุมตันประมาณ $4.84*10^{-2}$ สเตอเรเดียน หากจอ LCD มี ρ_S เท่ากับ 0.03, H เท่ากับ 1.5 จะได้ว่าจอภาพนั้นจะต้องมีความสว่างอย่างน้อย 486 cd/m^2 แสงสะท้อนจากหน้าต่างดังกล่าวจึงจะไม่รบกวนการมองเห็นบนจอภาพ

ถึงแม้ว่าแบบจำลองนี้จะสามารถทำนายการเปลี่ยนแปลง L_A อันเนื่องมาจากตัวแปรต่างๆของจอภาพและแหล่งกำเนิดแสงสว่างโดยมีความแม่นยำสูง อย่างไรก็ตามการนำแบบจำลองนี้ไปใช้ในการออกแบบควรคำนึงถึงข้อจำกัดของแบบจำลองบางประการ กล่าวคือ หนึ่ง แบบ

จำลองนี้พัฒนาจากการทดลองที่ใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีความสม่ำเสมอ ความสว่างสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยจึงเป็นค่าเดียวกันคือค่า L_A ในความเป็นจริงแล้วแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นต้นกำเนิดของการสะท้อนบนจอภาพนั้นอาจมีความสว่างต่างๆกันไป ดังนั้น เพื่อให้มั่นใจว่าสามารถป้องกันแสงสะท้อนที่รบกวนบนจอภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ ค่า L_A ที่คำนวณได้จากแบบจำลองนี้ให้ถือว่าเป็นค่าสูงสุดของความสว่างที่สามารถใช้ได้ สอง แบบจำลองนี้พัฒนาจากการทดลองที่ใช้แหล่งกำเนิดแสงสะท้อนแหล่งเดียว ดังนั้น หากต้องการนำแบบจำลองไปใช้ในกรณีที่มีแสงสะท้อนจากแหล่งกำเนิดแสงหลายแหล่ง ควรยึดแหล่งกำเนิดแสงที่มีแนวโน้มเกิดเงารบกวนสูงสุด(มีขนาดใหญ่สุดและมีความสว่างสูงสุด)เป็นหลักในการคำนวณ และ สาม แบบจำลองนี้พัฒนาจากการทดลองที่ใช้แหล่งกำเนิดแสงรูปทรงกลม แบบจำลองจึงเหมาะสมกับการนำไปใช้กับแหล่งกำเนิดแสงที่มีรูปร่างกระชับ เส้นรูปน้อยเมื่อเทียบกับพื้นที่ (เช่น วงกลม สี่เหลี่ยมจัตุรัส) สำหรับแหล่งกำเนิดแสงที่มีรูปร่างต่างจากนี้มากเช่น แหล่งกำเนิดแสงที่มีรูปร่างเชิงเส้น ในปัจจุบันยังมิได้มีการทดลองนำแบบจำลองไปใช้ ความแม่นยำของแบบจำลองในการทำนายค่า L_A สำหรับแหล่งกำเนิดแสงรูปร่างอื่นๆจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปในอนาคต

บทสรุป

การศึกษาการยอมรับแสงสะท้อนบนจอภาพด้วยวิธีการปรับระดับความสว่าง แสดงให้เห็นถึงระดับความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่ผู้ใช้สามารถยอมรับได้สำหรับจอภาพชนิดต่างๆ จากการทดสอบด้วยเกณฑ์การพิจารณาแสงสะท้อนที่แตกต่างกันพบว่าเมื่อความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงเพิ่มขึ้น แสงสะท้อนบนจอจะเริ่มรบกวนการมองเห็นจนผู้ใช้รับไม่ได้ ก่อนที่ตัวหนังสือบนจอจะเริ่มจางหรือมัวจนอ่านได้ยาก ซึ่งทำให้ความรบกวนของแสงสะท้อนมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นเกณฑ์หลักในการออกแบบแสงสว่างสำหรับพื้นที่ที่ใช้คอมพิวเตอร์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระดับความสว่างของแหล่งกำเนิดแสง ณ จุดที่แสงสะท้อนจะเริ่มรบกวนนี้สัมพันธ์กับชนิดของจอภาพ ขนาดของแหล่งกำเนิดแสง และมุมที่ผู้ใช้มองจอภาพ จากการคัดเลือกตัวแปรต่างๆ ที่สัมพันธ์กับปัจจัยที่กล่าวมา ทำให้ได้ แบบจำลองในการทำนายระดับความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถใช้ได้กับพื้นที่ที่ใช้คอมพิวเตอร์โดยใช้พารามิเตอร์ 4 ตัว ดังนี้ ค่าการสะท้อนแสงแบบ Specular (Specular reflectance), ผลของการสะท้อนแสงแบบ Haze (Effect of haze reflection) ความสว่างของพื้นหลังบนหน้าจอ (Background luminance) และขนาดของแหล่งกำเนิดแสงสว่างในหน่วยสเตอเรเดียน แบบจำลองนี้สามารถช่วยการออกแบบแสงสว่างให้เหมาะสมกับพื้นที่ที่ใช้คอมพิวเตอร์ได้ในสองรูปแบบ คือ หนึ่ง การคำนวณหาความสว่างของแสงสว่างที่เหมาะสมกับคุณสมบัติของจอคอมพิวเตอร์ที่มีอยู่แล้ว และ สอง การคำนวณหาคุณสมบัติของจอคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสมกับสภาพแสงสว่างที่มีอยู่โดยไม่ทำให้เกิดแสงสะท้อนที่รบกวนการมองเห็นบนหน้าจอ

เชิงอรรถ

1 Interactive whiteboard หรือกระดานโต้ตอบเป็นจอภาพขนาดใหญ่ที่มีลักษณะพิเศษคือมีพื้นผิวหน้าที่สามารถสัมผัสด้วยมือหรือปากกาพิเศษ เพื่อให้โต้ตอบกับคอมพิวเตอร์ได้ จอภาพชนิดนี้นำมาใช้มากในห้องเรียนสมัยใหม่ และห้องประชุมสัมมนา

[2] ตัวอย่างของตัวแปรเหล่านี้ เช่น ค่าการสะท้อนแสงแบบspecular (specular reflectance), ค่าการสะท้อนแสงแบบ diffuse (diffuse reflectance), ผลของการสะท้อนแสงแบบhaze (effect of haze reflection), ความสว่างของภาพที่แสดงบนหน้าจอ (foreground luminance), ความสว่างของพื้นหลังบนหน้าจอ(background luminance) ซึ่งแสดงคุณสมบัติของจอภาพ ขนาดเชิงมุม (angular size) และมุมตัน (solid angle) ซึ่งแสดงขนาดของแหล่งกำเนิดแสง และมุมที่ผู้ใช้มองจอภาพในหน่วยองศา (degree) และเรเดียน (radian)

[3] จะสังเกตได้ว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นไม่ได้ใช้ตัวแปรที่แสดงมุมที่ผู้ใช้มองจอภาพ เพราะจากการวิเคราะห์แล้วตัวแปรเหล่านี้ไม่ได้ทำให้แบบจำลองสามารถทำนายระดับความสว่างได้ดีขึ้น แต่เนื่องจากตัวแปรที่แสดงคุณสมบัติของจอภาพนั้นมีความแตกต่างไปเนื่องจากมุมมองอยู่แล้ว (เช่น ค่าการสะท้อนแสงแบบ specular, ผลของการสะท้อนแสงแบบ haze, ความสว่างของพื้นหลังบนหน้าจอ ที่มุม 15° และที่มุม 30° จะแตกต่างกัน) จึงมีความเป็นไปได้ว่าปัจจัยที่เกี่ยวกับมุมมองได้ถูกรวมไว้ในตัวแปรเหล่านี้ไปแล้ว

บรรณานุกรม

British Standards Institution. *Ergonomic requirements for office work with visual display terminal (VDTs) – Part 7: Requirements for display with reflections. British Standard. BS EN ISO 9241-7:1998.* London, BSI. 1998.

British Standards Institution. *Ergonomic requirements for office work with visual displays based on flat panels – Part 2: Ergonomic requirements for flat panel displays. British Standard. BS EN ISO 13406-2:2002.* London, BSI. 2002.

Goodwin, P. E. Evaluation of methodology for evaluating lighting for offices with VDTs. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 1987. 16: pp.39-51.

Hentschel, H. J. *The visual ergonomics of video display terminals.* **Siemens Review,** 1990. 57(4): pp.25-26.

Hentschel, H. J. *et al. Energy-effective direct/indirect office and VDU-lighting systems: Test and application.* **Journal of the Illuminating Engineering Society,** 1987. 16(2): pp.89-105.

Howlett, O. *Reflectance characteristics of display screen equipment: application to workplace lighting design.* in **Lighting Research and Technology,** 2003. 35(4): pp.285-296.

Kelley, E. F. *et al.* The Three Components of Reflection. *Information Display.* 1998. 10: pp.24-29.

Kubota, S. *Effects of the reflection properties of liquid-crystal displays on subjective ratings of disturbing reflected glare.* in **J. Light & Vis. Env.,** 1997. 21(1): p.33-42.

Kubota, S. and M. *Takahashi Permissible Luminance of Disturbing Reflections of Light Source on CRT Displays.* in **Jap. Illum. Eng. Soc. J.,** 1989. p.314-318.

Miller, N. J. *et al. A metric for judging acceptability of direct luminaires in computer offices.* in **Journal of the Illuminating Engineering Society,** 2001. 30(2): p.12-29.

Pawlak, U. and K.-F. Roll. *VDTs: Setting Levels for Reflected Luminance.* in **Siemens Review,** 1990. (4): p.27-29.

Pheasant, S. *Ergonomics: Standards and guidelines for designers.* Milton Keynes, British Standards Institution. 1987.

Ramasoot, T. *Investigation of Lighting and Disturbing Reflections on Display Screens: A New Model for Judging Acceptability.* PhD Thesis. Sheffield, The University of Sheffield. 2010.

Rea, M. S. *Solving the Problem of VDT Reflections.* in **Progressive Architecture,** 1991. p.35-40.

Rea, M. S. and M. J. *Ouellette Relative visual performance: A basis for application.* in **Lighting Research and Technology,** 1991. 23(3): p.153-144.

SLL. **Lighting guide 7: Office Lighting.** London, Society of Light and Lighting. 2005.

Stewart, T. *Problems caused by the continuous use of visual display units.* in **Lighting Research Technology,** 1979. 12(1): p.26-36.

Wang, X. **An Assessment of Reflected Images in a VDT Screen.** Master of Science Thesis, Rensselaer Polytechnic Institute. 1996.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. ระบบฐานข้อมูลอนุรักษ์พลังงาน [online], Available from: http://ee.dede.go.th. 2554. [Accessed 6 กุมภาพันธ์ 2554].

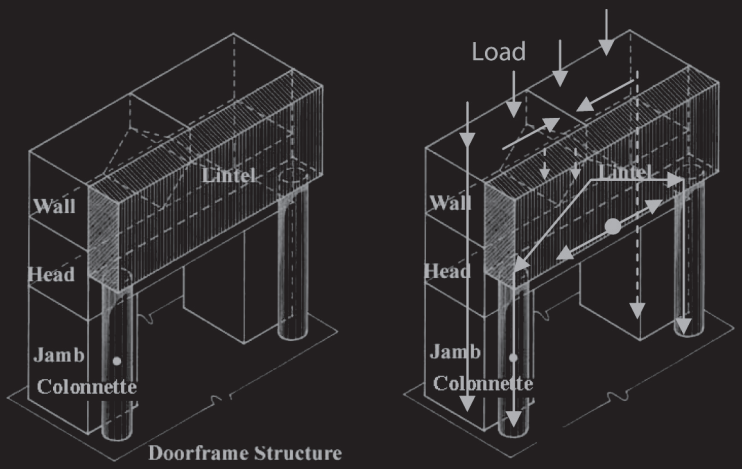
Lighting design for computerized space using the luminance adjustment method

Tarinee Ramasoot
Faculty of Architecture, Silpakorn University

Abstract

This paper presents an approach of lighting design for computerized space. This approach is based on the acceptable luminance of the light sources such as luminaires or windows that can be used without disturbing reflections on display screens. A luminance adjustment method was used in a test to identify the acceptable luminance for a range of screens including PC screens and interactive whiteboards.

The findings suggest that the luminance of light source that can be used with a display screen without disturbing reflections can be predicted using knowledge of key lighting and display parameters. The paper discusses how these parameters can be used in lighting design to predict the luminance of light sources that can be exposed to display screens or to predict the properties of display screens that can be used with existing lighting.


Load
Lintel
Wall
Head
Jamb
Colonnette
Lintel
Wall
Head
Jamb
Colonnette
Doorframe Structure