บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

จากการศึกษาและทดสอบในการวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ความสว่างระนาบนอน (Horizontal Illumination) จากการคำนวณและแผนภูมิ ความสว่างระนาบตั้ง (Vertical Illumination) จากการทดลองในหุ่นจำลองและแผนภูมิ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 ความสว่างระนาบนอน (Horizontal Illumination)

จากการคำนวณ พิจารณาตำแหน่ง รูปแบบ และความสูงที่สัมพันธ์กับห้องเรียน จะมีตัวแปรที่มีอิทธิพลสำคัญ คือ

1. ประสิทธิภาพของหลอดไฟฟ้าและบัลลาสต์

จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า การเลือกใช้หลอดไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง คือ มีค่าลุเมนต่อวัตต์มากจะช่วยลดจำนวนการใช้หลอดไฟฟ้าต่อพื้นที่ลงได้ ส่งผลให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้บัลลาสต์ที่มีคุณภาพสูงด้วย แต่การเลือกใช้หลอดไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงต้องคำนึงถึงแสงจ้าที่ก่อให้เกิดแสงแยงตาที่เกินกว่าระดับที่สายตายอมรับได้

2. มุมลำแสงที่ออกจากดวงโคม

จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า หลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นแหล่งกำเนิดแสงแนวเส้น(Line Source) ซึ่งมีมุมครึ่งลำแสง(Half Beam Angle)ทางด้านข้างและทางด้านหัว-ท้ายของดวงโคมไม่เท่ากัน เมื่อนำมุมลำแสงไปใช้ในการกำหนดตำแหน่งในผังดวงโคมที่มีมุมลำแสงต่อเนื่อง คลอบคลุมพื้นที่ จะมีผลต่อระดับความสูงจากพื้นของดวงโคมนั้น หากมีระดับความสูงน้อยกว่าระดับการใช้งานปกติของห้อง เช่น ขอบบนสุดของกระดาน ต้องกำหนดความสูงของดวงโคมให้สัมพันธ์กับห้องด้วย การกำหนดความสูงของดวงโคมให้สูงกว่าระดับความสูงที่เกิดจากการพิจารณาด้วยมุมลำแสง มุมลำแสงของดวงโคมจะต้องถูกบังคับให้แคบลงด้วยโคมและแผ่นสะท้อนแสง เพื่อให้ยังต่อเนื่อง ครอบคลุมพื้นที่เดิม และยังคงระดับความสว่างตามมาตราฐาน

แสงที่ออกจากดวงโคมแบ่งออกเป็นแสงตรงที่เกิดจากหลอดไฟฟ้าและแสงสะท้อนที่ได้จากแผ่นสะท้อนแสง (Reflector) ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อบังคับทิศทางของแสงให้ตกลงบนขอบเขตพื้นที่ที่ต้องการพิจารณาระดับความสว่างให้เป็นไปตามระดับมาตรฐาน ส่วนพื้นที่ข้างเคียงที่ต้องการระดับความสว่างน้อยกว่า เช่น พื้นที่ทางเดินรอบห้อง จะได้รับแสงกระจายจากดวงโคมและแสงสะท้อนจากองค์ประกอบของห้อง

5.1.2 ความสว่างระนาบตั้ง (Vertical Illumination)

จากการศึกษามุมสะท้อนแสงที่เกิดจากวัสดุกระดาน จะมีตัวแปรที่มีอิทธิพลสำคัญ คือ

1. มุมแสงกระจายที่เกิดจากผิววัสดุกระดาน
2. มุมตกกระทบที่เกิดจากตำแหน่งของดวงโคม

จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า ผิวของวัสดุกระดานที่มีความมันเงา(White Board) จะมีมุมกระจายแสงที่เกิดจากมุมสะท้อนหลัก อยู่ในช่วงประมาณ 20 องศาใกล้เคียงกัน มุมตกกระทบมากที่สุด ที่สามารถนำไปใช้งานได้อยู่ในช่วง 55 องศา จากระนาบกระดาน

เนื่องจากปริมาณความสว่างของแสงที่ตกลงบนพื้นที่ใดๆ (Working Plane) จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของแสงบนระนาบนั้นๆ ที่กระทำกับเส้นตั้งฉากกับระนาบ มุมดังกล่าวจะแปรผกผันกับค่าความเข้มของปริมาณแสงสว่างบนระนาบ มุมตกกระทบ 55 องศาจึงเป็นมุมตกกระทบที่ให้ปริมาณความสว่างของแสงบนกระดานมากที่สุด โดยแสงกระจายที่เกิดจากมุมสะท้อนหลักไม่รบกวนต่อสายตาผู้เรียน

5.2 ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

จากผลการศึกษาวิจัย ปริมาณการใช้พลังงานเพื่อการส่องสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์มาตรฐาน หลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูง และหลอดฟลูออเรสเซนต์TL5 โดยการเปรียบเทียบระหว่างการเปิด-ปิดดวงโคมตามลักษณะการกระจายแสงธรรมชาติของหลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูง และหลอดฟลูออเรสเซนต์TL5 กับหลอดฟลูออเรสเซนต์มาตรฐาน รวมถึงการเกิดแสงแยงตาจากดวงโคมของหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั้ง 3 ประเภท พบว่า เมื่อหลอดฟลูออเรสเซนต์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ให้ความสว่างมากขึ้น จะเกิดแสงแยงตามากขึ้น แต่จากมุมเงยและระยะการมองของผู้เรียนในห้องกรณีศึกษานี้ หลอดทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณแสงแยงตาต่ำกว่าระดับความจ้าที่สายตายอมรับได้

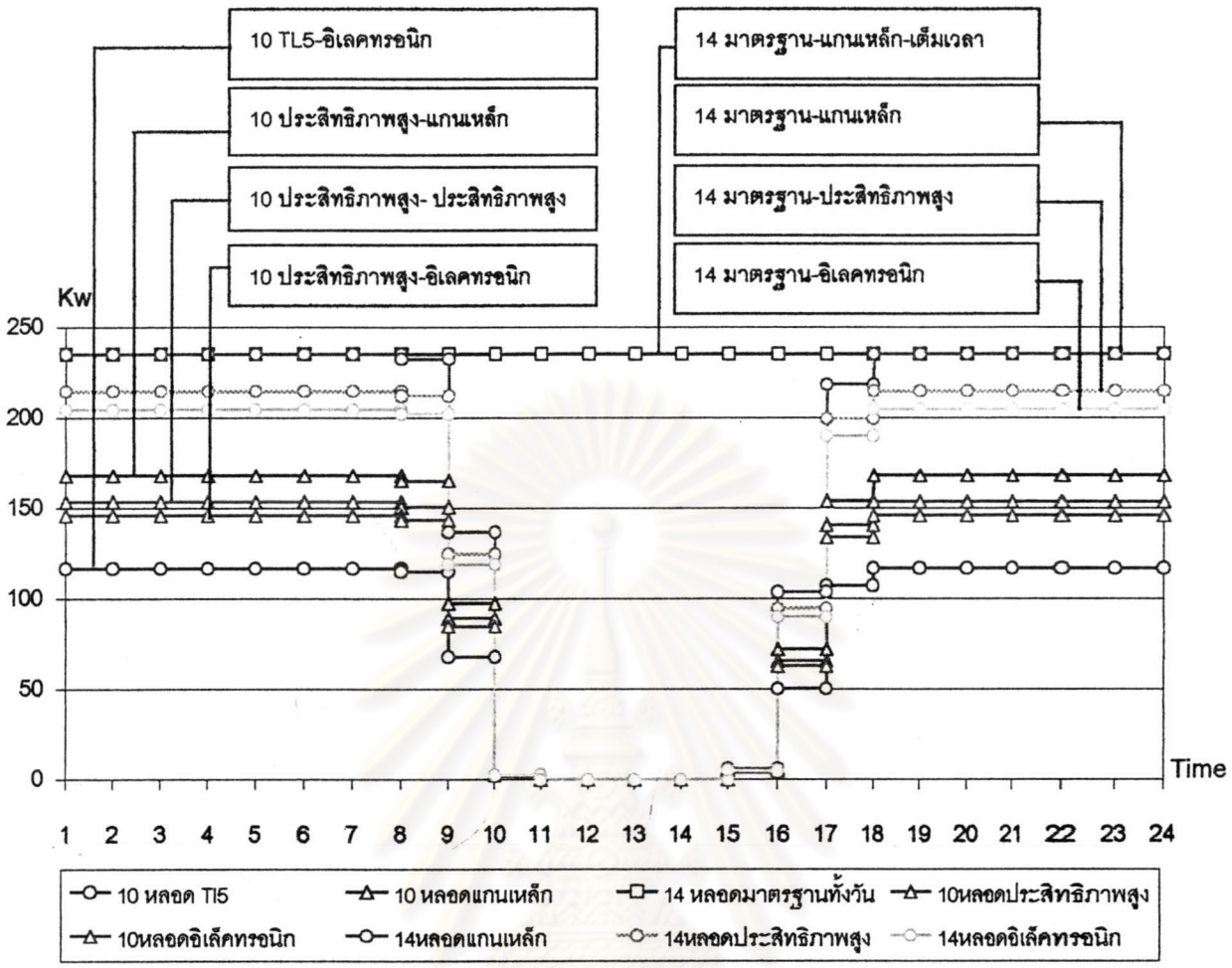
ปริมาณการใช้พลังงานที่ระดับความสว่างมาตรฐาน 500 ลักซ์ หลอดฟลูออเรสเซนต์มาตรฐาน จะต้องใช้หลอดไฟฟ้าทั้งหมด 14 หลอดต่อพื้นที่ห้อง หลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูงจะต้องใช้หลอดไฟฟ้าทั้งหมด 10 หลอดต่อพื้นที่ห้อง และหลอดฟลูออเรสเซนต์TL5 จะต้องใช้หลอดไฟฟ้าทั้งหมด 10 หลอดต่อพื้นที่ห้อง เมื่อนำมาพิจารณาปริมาณการใช้พลังงานทั้งปี โดยการกำหนดปริมาณการกระจายแสงธรรมชาติจากข้อมูลสภาพอากาศปี 1999 โดยนำค่าความสว่างภายนอกที่มีค่าความถี่สูงที่สุดในช่วงเวลานั้นๆ มาเป็นตัวแทน เพื่อหาลักษณะการกระจายแสงภายในห้องและพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของดวงโคมของหลอดทั้ง 3 ชนิด กับลักษณะการกระจายแสง พบว่า

ตารางที่ 5.1 แสดงปริมาณการใช้พลังงานต่อปีของหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั้ง 3 ชนิด

หลอด	บัลลาสต์	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า(กิโลวัตต์)											
		7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
14หลอดเต็มเวลา	แกนเหล็ก	235.06	235.06	235.06	235.06	235.06	235.06	235.06	235.06	235.06	235.06	235.06	235.06
14หลอด	แกนเหล็ก	235.06	232.30	136.62	2.85	0	0	0	0	5.70	103.50	218.22	235.06
มาตรฐาน	ประสิทธิภาพสูง	214.62	212.10	124.74	2.60	0	0	0	0	5.20	94.50	199.24	214.62
	อิเล็กทรอนิก	204.40	202.00	118.80	2.48	0	0	0	0	4.96	90.00	189.76	204.40
10หลอด	แกนเหล็ก	167.90	165.04	97.612	2.85	0	0	0	0	5.70	72.128	153.91	167.90
ประสิทธิภาพสูง	ประสิทธิภาพสูง	153.30	150.69	89.124	2.60	0	0	0	0	5.20	65.856	140.53	153.30
	อิเล็กทรอนิก	146.00	143.52	84.88	2.48	0	0	0	0	4.96	62.72	133.84	146.00
10หลอดTL5	อิเล็กทรอนิก	116.80	114.81	67.904	1.98	0	0	0	0	3.96	50.176	107.07	116.80

ตารางที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานต่อปที่ลดลงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั้ง 3 ชนิด

หลอด	บัลลาสต์	24 ชั่วโมง (Kw/yr)	8:00-16:00 (Kw/yr)	พลังงานลดลง (Kw/yr)	การใช้พลังงาน (%)
หลอดมาตรฐาน-เต็มเวลา	แกนเหล็ก	5641.44	2115.54		100
หลอดมาตรฐาน (14)	แกนเหล็ก	3990.04	480.97	1634.57	22.73
	ประสิทธิภาพสูง	3643.08	439.15	1676.39	20.76
	อิเลคทรอนิก	3469.60	418.24	1697.30	19.77
หลอดประสิทธิภาพสูง(10)	แกนเหล็ก	2847.86	343.34	1772.20	16.23
	ประสิทธิภาพสูง	2600.22	313.48	1802.06	14.82
	อิเลคทรอนิก	2476.40	298.56	1816.98	14.11
หลอด TL5 (10)	อิเลคทรอนิก	1981.12	238.84	1876.70	11.29



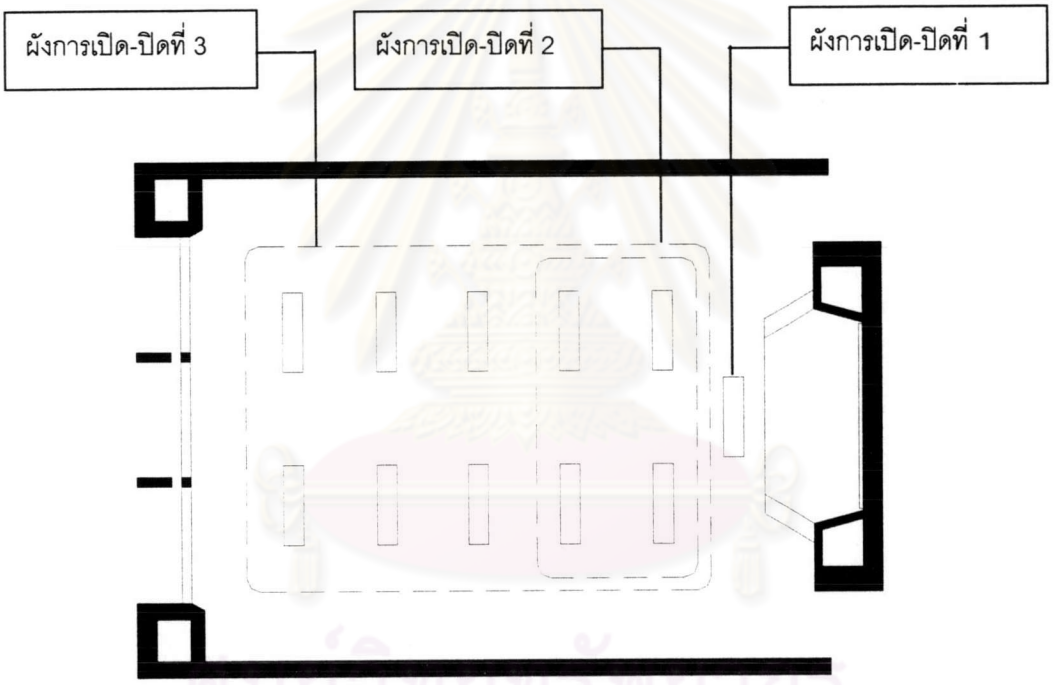
แผนภูมิที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ TL5 และหลอดฟลูออเรสเซนต์มาตรฐาน

เมื่อกำหนดระดับความสว่างตามมาตรฐาน 500 ลักซ์ บนพื้นที่ใช้งาน 36.4 ตร.ม. ความต้องการปริมาณหลอดไฟฟ้าแต่ละชนิดจะต่างกัน และปริมาณการใช้พลังงานต่อปีจะลดลงเมื่อเทียบกับหลอดมาตรฐาน-บัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็ก14หลอด เปิดใช้งานในช่วง 8:00-17:00 เต็มเวลา

- หลอดมาตรฐานใช้ทั้งหมด 14 หลอด สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ 1634.57-1676.39-1697.30 กิโลวัตต์ คิดเป็น 77.27-79.24-80.23%
- หลอดประสิทธิภาพสูงใช้ทั้งหมด 10 หลอด สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ 1772.20-1802.06-1816.98 กิโลวัตต์ คิดเป็น 83.77-85.18-85.89%
- หลอดTL5 ใช้ทั้งหมด 10 หลอด สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ 1876.70 กิโลวัตต์ คิดเป็น 88.71% ตามแต่ชนิดของบัลลาสต์

5.3 รูปแบบของผังการเปิด-ปิดดวงโคม

จากการนำผังดวงโคมแบบ 10 หลอด มาพิจารณาร่วมกับลักษณะการกระจายของแสงธรรมชาติภายในห้อง ตลอดทั้งปี พบว่า ลักษณะการกระจายของแสงธรรมชาติจากช่องเปิดด้านข้างร่วมกับช่องเปิดด้านข้างส่วนบน ในแต่ละเดือนมีลักษณะใกล้เคียงกัน คือมีระดับความสว่างที่เพียงพออยู่ในช่วง 300-500 ลักซ์ ลึกประมาณ 5 เมตร จากตำแหน่งช่องเปิดด้านข้างเข้าไปด้านในห้อง การจัดผังการเปิด-ปิดดวงโคม นอกจากการจัดแบบไล่เรียงจากแนวช่องเปิดจนถึงด้านในห้องแล้ว ยังสามารถจัดผังการเปิด-ปิดดวงโคมเป็น 2 ส่วน เพื่อช่วยให้การใช้งานทำได้ง่ายและสะดวก แต่ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเป็นการใช้งานแบบเฉลี่ยเป็นพื้นที่ ตามลักษณะการกระจายของแสงธรรมชาติ



รูปที่ 5.1 แสดงผังการเปิด-ปิดวงจร

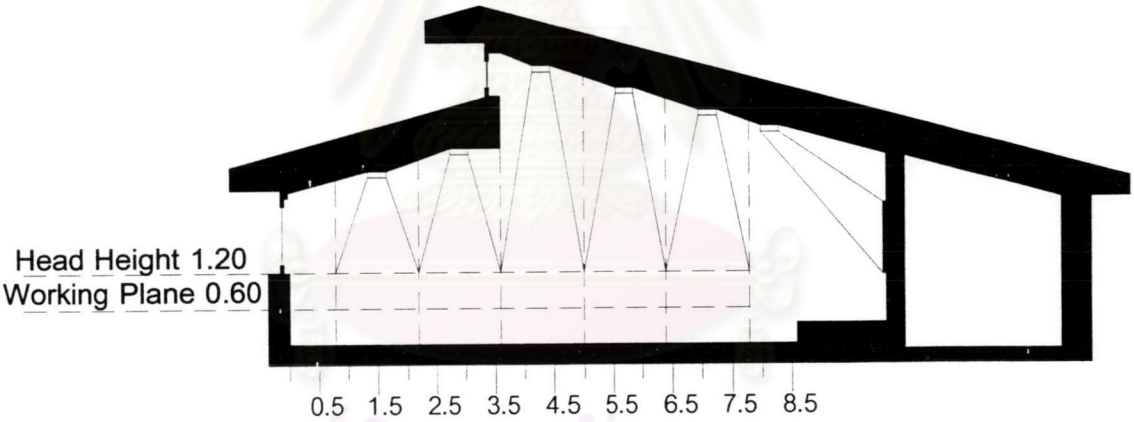
เมื่อพิจารณาลักษณะการกระจายของแสงธรรมชาติ ร่วมกับผังการเปิด-ปิดดวงโคมนี้จะพบว่า เมื่อระดับความสว่างจากแสงธรรมชาติลดลงจนต่ำกว่าระดับมาตราฐาน ลักษณะการกระจายแสงจะลดลงจากทางด้านในห้องไปหาด้านที่เป็นช่องเปิดด้านข้าง การใช้งานผังเปิด-ปิดดวงโคมจึงเริ่มจากผังที่ 2 ก่อนเนื่องจากระดับความสว่างจากแสงธรรมชาติบริเวณใกล้ตำแหน่งช่องเปิดด้านข้างยังคงเพียงพอตามมาตรฐาน และเมื่อระดับความสว่างจากแสงธรรมชาติลดลงอีกจึงเปลี่ยนจากผังที่ 2 ไปเป็นผังที่ 3 เพื่อชดเชยระดับความสว่างทั้งห้อง ส่วนผังการเปิด-ปิดที่ 1ใช้

ส่องสว่างในส่วนกระดานตลอดเวลาใช้งาน เนื่องจากบริเวณกระดานต้องการความสว่างแต่ต้องไม่สะท้อนเข้าตาผู้เรียน แสงประดิษฐ์จึงสามารถบังคับมุมตกกระทบและมุมสะท้อนของแสงได้ดีกว่าแสงธรรมชาติ

5.4 การนำไปประยุกต์ใช้

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีในการออกแบบแผ่นสะท้อนแสงของดวงโคม(Reflector) ได้พัฒนาไปมากทั้งทางด้านเทคนิค และวัสดุที่ใช้ทำแผ่นสะท้อนแสง การออกแบบแผ่นสะท้อนแสงจึงสามารถนำแสงที่กระจายออกจากด้านข้างและด้านบนของหลอดไฟฟ้ามาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังสามารถบังคับมุมลำแสงให้ตกลงบนพื้นที่ใช้งานตามขอบเขตที่ต้องการ โดยไม่ขึ้นอยู่กับระดับความสูงของดวงโคมจากพื้น

ดังนั้น ดวงโคมที่นำมาใช้งานร่วมกับช่องแสงธรรมชาติด้านข้างส่วนบน จึงติดตั้งไว้ที่ระดับฝ้าเพดาน เพื่อไม่ให้ดวงโคมบดบังความสว่างจากแสงธรรมชาติ โดยยังคงสามารถบังคับมุมลำแสงให้ตกลงบนพื้นที่ใช้งานที่ต้องการจากมุมสูง ซึ่งมีระดับความจ้าที่สายตายอมรับได้มากกว่า



รูปที่ 5.2 แสดงการนำดวงโคมไปประยุกต์ใช้

5.5 ข้อเสนอแนะ

- การใช้ดวงโคมฟลูออเรสเซนต์ร่วมกับแผ่นสะท้อนแสงที่มีคุณภาพสูง มีค่าการสะท้อนแสงสูงและมีค่ากระจายแสงต่ำ ควรคำนึงถึง แสงจ้าจากดวงโคม และการมองเห็นเงาสะท้อนของหลอดไฟฟ้าจากความเงาของแผ่นสะท้อนแสง ก่อให้เกิดแสงแยงตา จึงควรเพิ่มครีบ(Fin Louver) กันแสง เพื่อช่วยในการบังคับมุมลำแสงและปิดมุมมองที่เกิดแสงแยงตา

- การจัดผังดวงโคมโดยกำหนดขอบเขตพื้นที่ที่มุมลำแสงตกลง ให้ต่อเนื่องกันไป หากดวงโคมมีประสิทธิภาพการกระจายแสงใต้ดวงโคมไม่เหมาะสม ระดับความสว่างที่ระดับใช้งานจะไม่สม่ำเสมอ ในการออกแบบผังดวงโคมจึงควรกำหนดขอบเขตพื้นที่ให้ซ้อนเหลื่อมกัน เพื่อให้แสงจากแต่ละดวงโคมสอดประสานกัน คลอบคลุมพื้นที่อย่างสม่ำเสมอ
- การจัดผังดวงโคมโดยกำหนดตำแหน่งดวงโคม และขอบเขตของมุมลำแสงให้สัมพันธ์กับพื้นที่ใช้งานที่ต้องการระดับความสว่าง 500 ลักซ์ บริเวณโดยรอบพื้นที่ใช้งานจะได้รับแสงสะท้อนและกระจาย จากพื้นผิวต่างๆ ภายในห้อง เช่น ผิวพื้น ผนัง ฝ้าเพดาน และผิวโต๊ะ ในระดับความสว่างที่เพียงพอต่อการใช้งานเป็นทางเดินโดยรอบ แต่หากต้องการให้เกิดบรรยากาศแบบแสงกระจาย (Diffuse light) ทั่วทั้งห้อง ซึ่งช่วยให้เกิดความเปรียบ(Contrast)ต่างน้อยลง จะต้องประกอบด้วยดวงโคมที่ให้แสงลักษณะกระจายขึ้นสู่ฝ้าเพดาน(Indirect light) และฝ้าเพดานที่สามารถสะท้อนแสงได้สูง เพื่อให้เกิดการกระจายแสงลงสู่พื้น แต่ดวงโคมประเภทนี้จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ต่ำ และสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าเพื่อให้ได้ระดับความสว่างเพียงพอตามที่ต้องการ อย่างไรก็ตาม อาจพิจารณาเลือกใช้ดวงชนิดกึ่งกระจายแสงขึ้น (Semi-indirect luminaire) เพื่อให้ความต้องการทั้งทางด้านบรรยากาศและประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย