

บทที่ 2

ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ในการศึกษาแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ได้แบ่งหัวข้อที่สำคัญในการศึกษาออกเป็น 2 หัวข้อ คือ

1. ศึกษาและวิเคราะห์ทฤษฎีพื้นฐานในการคำนวณ
2. ศึกษาและวิเคราะห์โปรแกรมด้านแสงสว่างที่ได้มีการจัดทำมาแล้ว

2.1 การศึกษาและวิเคราะห์ทฤษฎีพื้นฐานในการคำนวณ

หลักการออกแบบระบบแสงสว่าง ทฤษฎีพื้นฐานในการคำนวณ ข้อกำหนด และค่ามาตรฐานต่าง ๆ ได้อ้างอิงมาจากทฤษฎีการคำนวณในหนังสือ เทคนิคการส่องสว่าง (ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540) ได้มีการปรับปรุงให้เหมาะสม และสอดคล้องกับการใช้งานในประเทศไทย มีรายละเอียดโดยสังเขป ดังนี้

2.1.1 หลักการออกแบบแสงสว่าง

1. ลูเมนและแคนเดลา (Lumen and Candela) เป็นหน่วยวัดปริมาณแสง แสง 1 ลูเมน หมายถึง ปริมาณแสงที่ส่องบนพื้นที่หนึ่งตารางเมตรบนพื้นผิวทรงกลมที่มีรัศมี 1 เมตร โดยมีแหล่งกำเนิดแสง 1 แคนเดลา หรือ 1 กำลังเทียน วางที่ศูนย์กลางของทรงกลมนั้น แหล่งกำเนิดแสง P แคนเดลาให้ปริมาณแสง $4\pi P$ ลูเมน

2. อิลลูมิแนนซ์ (Illuminance) หมายถึง ความส่องสว่างที่กระทบลงบนวัตถุ หรือเรียกว่า ความส่องสว่างมีหน่วยเป็น ลูเมน/ m^2 หรือ ลักซ์ ถ้าหน่วยเป็นลูเมน/ $ฟุต^2$ ความส่องสว่างก็เป็น ฟุตแคนเดล

1 ลักซ์ มีค่าประมาณ 10 เท้าของฟุตแคนเดล

ความส่องสว่าง หรืออิลลูมิแนนซ์ = ปริมาณแสง (ลูเมน) / พื้นที่ (m^2)

3. อุณหภูมิสี สีของแสงมักบอกด้วยอุณหภูมิสี หรือเคลวิน ซึ่งมีสีต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 2.1
การเปรียบเทียบอุณหภูมิสี สี และชนิดของหลอด

อุณหภูมิสี (องศาเคลวิน)	สี	เทียบได้กับสีของหลอด
2,200	เหลืองจัด	หลอดโซเดียมความดันต่ำ
2,500	เหลืองทอง	หลอดโซเดียมความดันสูง
2,800	เหลืองอ่อน	หลอดอินแคนเดสเซนต์
3,000	เหลืองขาว	หลอดฮาโลเจน
3,500	เหลืองแดง	หลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิดวอร์มไวท์ (warm white)
4,000	ขาวเย็น	หลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิดคูลไวท์ (cool white)
6,500	ขาวปนฟ้า	หลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิดเดย์ไลท์ (day light)

ที่มา: ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540, น. 1-14.

4) มาตรฐานทางแสงสว่าง เช่น IES (USA) IES (BS) เป็นต้น อาจกำหนดลูมินแนนซ์ หรือความส่องสว่างต่างกันสำหรับการใช้งานในพื้นที่อย่างเดียวกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพการใช้ชีวิต สภาพอากาศ เป็นต้น IES (Illuminating Engineering Society) เป็นหน่วยงานหรือสมาคมที่มีกิจกรรมทางด้านแสงสว่าง ซึ่งในแต่ละประเทศมีหน่วยงานหรือสมาคมดังกล่าว IES ของแต่ละประเทศนั้นอาจไม่เหมือนกันและไม่เกี่ยวข้องกันเลย ส่วนมาตรฐานที่กำหนดเป็นมาตรฐานสากลที่ไม่ขึ้นกับประเทศใดประเทศหนึ่ง ได้แก่ CIE (International Commission on Illumination) เพื่อเป็นแนวทางให้ทราบค่าความสว่างในแต่ละพื้นที่ ความส่องสว่างในตารางจะมี 3 ค่า คือ ค่าต่ำ ค่าเฉลี่ย ค่าสูง เนื่องจาก ความส่องสว่างมักมีค่าหนึ่งค่าใด เช่น เป็นพื้นที่ใช้สำหรับผู้ชราต้องใช้ ความส่องสว่างสูงกว่าค่าเฉลี่ย เช่น ทางเดิน ค่าเฉลี่ย 100 ลักซ์ ให้ใช้ 150 ลักซ์ เป็นต้น โดยทั่วไปใช้ความส่องสว่างค่าเฉลี่ย หรือค่ากลาง CIE ได้กำหนดลูมินแนนซ์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน (ดังตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2

ความส่องสว่างสำหรับพื้นที่และการทำงานต่าง ๆ กัน

ย่านความส่องสว่าง (ลักซ์)	ชนิดพื้นที่ใช้งาน
20 - 30 - 50	ทางเดิน และพื้นที่ทำงานภายนอก
50 - 100 - 150	ทางเดินภายใน และการแวะผ่านระยะสั้น ๆ
100 - 150 - 200	ห้องที่ไม่ได้ใช้ทำงานแบบต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน ๆ
200 - 300 - 500	งานที่ใช้สายตาไม่มาก เช่น งานในโรงงานชิ้นงานใหญ่ เป็นต้น
300 - 500 - 750	งานที่ใช้สายตาปานกลาง เช่น สำนักงาน เป็นต้น
500 - 750 - 1,000	งานที่ใช้สายตามาก เช่น งานเขียนแบบ เป็นต้น
750 - 1,000 - 1,500	งานที่ใช้สายตามาก ๆ เช่น งานประกอบชิ้นส่วนเล็ก เป็นต้น
1,000 - 1,500 - 2,000	งานที่ใช้สายตาเป็นพิเศษ เช่น งานชิ้นส่วนเล็กมาก เป็นต้น
มากกว่า 2,000	งานที่ใช้สายตาเพื่อการทำงานที่พิถีพิถัน เช่น ผ่าตัด เป็นต้น

ที่มา: ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540, น. 1-6.

การจัดแบ่งค่าความส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ตามมาตรฐาน CIE โดยแบ่งตามชนิดของพื้นที่ใช้งานได้ (ดังตารางที่ 2.3)

ตารางที่ 2.3

ความส่องสว่างสำหรับพื้นที่ทำงานต่าง ๆ ตามมาตรฐานของ CIE

ชนิดของพื้นที่ หรืองาน	ย่านความส่องสว่าง (ลักซ์)
1. พื้นที่อาคารทั่วไป	
1) ทางเดิน	50-100-150
2) บันได บันไดเลื่อน	100-150-200
3) ที่เก็บของ ห้องเก็บของ	100-150-200
2. สำนักงาน	
1) สำนักงานทั่วไป พิมพ์ดีด ห้องคอมพิวเตอร์	300-500-750

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

ชนิดของพื้นที่ หรืองาน	ย่านความส่องสว่าง (ลักซ์)
2) สำนักงานเขียนแบบ	500-750-1,000
3) ห้องประชุม	300-500-750
3. ร้านค้า	
1) ในอาคารพาณิชย์	500-750
2) ในที่อื่น ๆ	300-500
3) ในซูเปอร์มาร์เกต	500-750
4. โรงเรียน	
1) ห้องบรรยาย	300-500-750
2) ห้องกระดาน	300-500-750
3) ห้องเขียนแบบ	500-750-1,000
4) ห้องทดลอง	300-500-750
5) ห้องศิลปะ	300-500-750
6) โรงปฏิบัติการ	300-500-750
5. ห้องสมุด	
1) หิ้งหนังสือ	150-200-300
2) โต๊ะอ่านหนังสือ	300-500-750
3) เคาน์เตอร์	200-300-500
6. อุตสาหกรรม	
1) งานหยาบ เครื่องมือหนัก	200-300-500
2) งานขนาดกลาง เครื่องจักร	300-500-750
3) งานละเอียด อิเล็กทรอนิกส์	500-750-1,000
4) งานละเอียดมาก เครื่องมือวัด	1,000-1,500-2,000
7. ห้องประชุม	
1) โรงภาพยนตร์	50-100-150
2) เอนกประสงค์	150-200-300

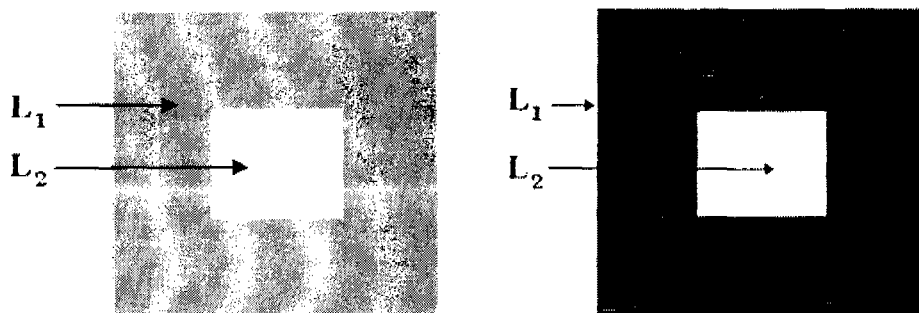
ที่มา: ฐานาญ ห่อเกียรติ, 2540, น. 4-4.

5. คอนทราสต์ (contrast) หมายถึง ความส่องสว่างวัตถุที่ต้องการมองเห็นกับความส่องสว่างรอบข้าง คอนทราสต์มาก ทำให้มองเห็นวัตถุได้ง่ายขึ้น เช่น วัตถุสีขาวบนพื้นดำทำให้มองเห็นได้ง่ายกว่า วัตถุสีดำบนพื้นดำ แต่ถ้าคอนทราสต์มากเกินไป ส่งผลให้การมองเห็นไม่ดี เพราะสายตาล้า คอนทราสต์กำหนดได้ด้วยอัตราส่วนของความแตกต่างของอิทธิภูมิแสงระหว่างวัตถุและอิทธิภูมิแสงภาพแวดล้อม ดังสมการดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{คอนทราสต์} &= (L_2 - L_1) / L_1 \\ \text{เมื่อ } L_1 &= \text{อิทธิภูมิแสงของสภาพแวดล้อม} \\ L_2 &= \text{อิทธิภูมิแสงของวัตถุ} \end{aligned}$$

ภาพที่ 2.1

อิทธิภูมิแสงของวัตถุเมื่อเทียบกับสภาพแวดล้อม



ก. อิทธิภูมิแสงของวัตถุและสภาพรอบข้างใกล้เคียง ทำให้มองเห็นได้ยาก

ข. อิทธิภูมิแสงของวัตถุและสภาพรอบข้างต่างกัน ทำให้เห็นวัตถุได้ง่าย

ที่มา: ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540, น. 1-11

6. ประสิทธิภาพ หมายถึง ปริมาณแสงลูเมนต่อวัตต์ทางไฟฟ้า ส่วนหลอดที่มีประสิทธิภาพมากหมายถึง ให้ปริมาณแสง (ลูเมน) ออกมาต่อวัตต์มากกว่าหลอดประเภทอื่น การให้แสงสว่างที่ต้องการประหยัดไฟฟ้า ควรใช้หลอดที่มีค่าประสิทธิภาพมาก

7. ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างและอุณหภูมิสี ความส่องสว่างที่เหมาะสมกับอุณหภูมิสีหลอด คือ ต้องไม่จ้าหรือทึมเกินไป พื้นที่ใดที่ต้องการความส่องสว่างต่ำ ควรใช้หลอดที่มีองศาเคลวินต่ำ ควรใช้หลอดอินแคนเดสเซนต์ หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบวอร์มไวท์ หรือหลอด

ทั้งสเตนฮาโลเจน ส่วนพื้นที่ใดที่ต้องการความส่องสว่างมาก ควรใช้หลอดที่มีอุณหภูมิสูง เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดเดย์ไลท์ หรือคูลไวท์ เป็นต้น

8. ความสม่ำเสมอของการส่องสว่าง

1) ในพื้นที่ที่ต้องการความส่องสว่างสม่ำเสมอ ควรมีความส่องสว่างสม่ำเสมอ หรืออัตราการส่องสว่างต่ำสุดต่อความส่องสว่างเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 0.8

2) ในพื้นที่ที่ไม่จำเป็นต้องมีความส่องสว่างสม่ำเสมอ ความสว่างโดยรอบบริเวณทำงานควรมีความส่องสว่างไม่น้อยกว่า $1/3$ ของความสว่างที่โต๊ะหรือพื้นที่ทำงาน เช่น ที่โต๊ะทำงานมีความส่องสว่าง 500 ลักซ์ บริเวณรอบข้างควรมีความส่องสว่างโดยประมาณไม่น้อยกว่า $500/3 = 170$ ลักซ์ เป็นต้น ในพื้นที่ทำงานข้างเคียง ไม่ควรมีความส่องสว่างต่างกันมากกว่า 5: 1 เช่น ในห้องทำงานที่มีความสว่าง 500 ลักซ์ เมื่อเดินออกจากห้องแล้ว ความส่องสว่างด้านนอกไม่ว่าจะเป็นทางเดิน ไม่ควรมีความส่องสว่างน้อยกว่า 100 ลักซ์ เป็นต้น

9. ประเภทของหลอดไฟ หลอดไฟฟ้ามียหลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทต่างมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป โดยลักษณะการนำไปใช้งานเป็นตัวกำหนดชนิดของหลอดไฟ เพื่อให้มีความเหมาะสมในการใช้งานและวัตถุประสงค์ ประเภทของแสงประดิษฐ์แบ่งได้ดังต่อไปนี้

หลอดไฟฟ้า สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1) หลอดอินแคนเดสเซนต์ หรือหลอดไส้ (incandescent lamp) เป็นหลอดมีไส้ ซึ่งทำด้วยทั้งสเตน เป็นหลอดไส้ที่มีประสิทธิภาพหรือลูเมนต่อวัตต์ต่ำ แต่ให้แสงที่อบอุ่น และมีอายุการใช้งานสั้นประมาณ 1,000 - 3,000 ชั่วโมง มีอุณหภูมิสีประมาณ 2,500 - 3,000 องศาเคลวิน สีของหลอดออกโทนเหลืองจนถึงเหลืองออกขาว ให้แสงที่ถูกต้อง หรือค่า CRI 100 % มักนำไปใช้ในบ้านพักอาศัย โรงแรม เป็นต้น หลอดอินแคนเดสเซนต์สามารถแบ่งออกได้หลายชนิดตามรูปร่างและโครงสร้าง ดังนี้

(1) หลอด GLS (General Service Lamp) นิยมใช้กันอยู่ทั่วไปตั้งแต่เดิมจนถึงปัจจุบันมีสองแบบ ได้แก่ หลอดใส และหลอดเคลือบ อายุการใช้งานประมาณ 1,000 ชั่วโมง ซึ่งนับว่าอายุการใช้งานสั้นมาก หากเทียบกับหลอดชนิดอื่น ๆ

(2) หลอด PAR (Parabolic Aluminized Reflector) เป็นแก้ว 2 ชั้นประกบกัน หลอดประเภทนี้มักใช้ในการส่องสว่างแบบเน้น และเป็นหลอดที่ใช้กันมาก เพราะหาซื้อง่ายในท้องตลาด แต่ให้ความร้อนสูง จึงต้องส่องโดยเว้นระยะห่างอย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 1 เมตร

(3) หลอดเปลวเทียนและหลอดบิงปอง มักเลือกใช้เป็นหลอดไฟตกแต่ง และเลือกใช้แทนหลอด GLS ในกรณีที่ไม่มีพื้นที่ติดตั้งมาก เพราะมีขนาดเล็กกว่าหลอด GLS

(4) หลอดฮาโลเจนแรงดันต่ำ มักเลือกใช้ในการส่องเน้นให้สีออกขาว และให้ความร้อนสูง จึงต้องส่องโดยเว้นระยะห่างอย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 1 เมตร เป็นหลอดที่ไม่มีกระจกป้องกัน และต้องไม่สัมผัสถูกตัวหลอด เพราะอาจทำให้อายุการใช้งานสั้นลง

(5) หลอดทั้งสแตนฮาโลเจน ใช้งานได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร มีอุณหภูมิสีประมาณ 3,000 องศาเคลวิน มีขนาดเล็ก ต้องไม่สัมผัสถูกตัวหลอด เพราะอาจทำให้อายุการใช้งานสั้นลง

(6) หลอดอื่น ๆ เช่น หลอดที่ใช้กับเครื่องฉายสไลด์ หลอดถ่ายรูป เป็นต้น ส่วนใหญ่ใช้ในกรณีที่ต้องการบีบลำแสงให้แคบลง เพื่อการส่องเน้นหรือส่องเป็นลำ

2) หลอดดิสชาร์จ (discharge lamp) เป็นหลอดที่ไม่ต้องใช้ไส้หลอด ดังนี้

(1) หลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นหลอดดิสชาร์จที่นิยมใช้กันมาก เพราะประหยัดไฟฟ้าและหาซื้อได้ง่าย มีประสิทธิภาพประมาณ 50 - 80 ลูเมนต่อวัตต์ ประหยัดค่าไฟฟ้าได้มากกว่าหลอดอินแคนเดสเซนต์ 5 - 8 เท่า สีของหลอดฟลูออเรสเซนต์ มี 3 ชนิด ได้แก่

- หลอดเดย์ไลท์ (daylight) มีอุณหภูมิสีประมาณ 5,500 - 6,000 เคลวิน สีออกขาวปนฟ้า นิยมใช้งานกับค่าลักซ์ ที่สูงขนาด 700 - 800 ลักซ์ หรือสูงกว่า

- หลอดคูลไวท์ (cool white) มีอุณหภูมิสีประมาณ 4,000 - 4,500 เคลวิน สีขาวเย็นฟ้า เหมาะใช้กับความส่องสว่าง 500 ลักซ์

- หลอดวอร์มไวท์ (warm white) มีอุณหภูมิสีประมาณ 3,000 - 3,500 เคลวิน สีขาวออกแดง เหมาะใช้งานกับความส่องสว่างที่ไม่สูงกว่า 300 ลักซ์ ควรใช้ในบริเวณที่ไม่ต้องการความส่องสว่างมาก แต่อบอุ่น

(2) หลอดคอมแพคท์ฟลูออเรสเซนต์ (compact fluorescent) หรือหลอดตะเกียบ มีทั้งชนิดเดย์ไลท์ หลอดคูลไวท์ และวอร์มไวท์ มีอายุการใช้งานประมาณ 5,000 - 8,000 ชั่วโมง และมีประสิทธิภาพ 50 - 80 ลูเมนต่อวัตต์

(3) หลอดปรอทความดันสูง หรือหลอดแสงจันทร์ มีประสิทธิภาพสูง และถูกพัฒนามาเพื่อใช้แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์

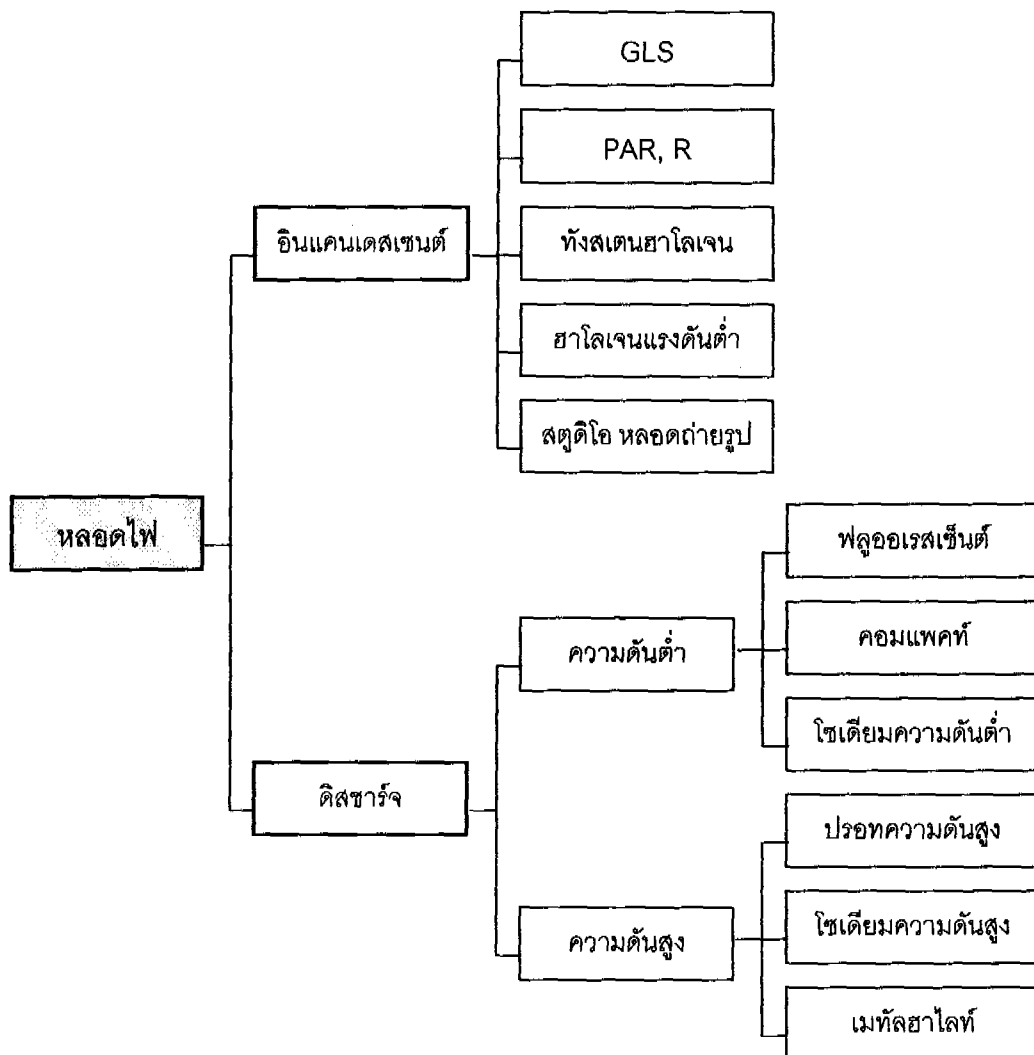
(4) หลอดโซเดียมความดันสูง หลอดไฟที่มีสีเหลืองมี 2 แบบ ได้แก่ หลอดโซเดียมความดันสูง และความดันต่ำ ซึ่งมีสีเหลืองจัดกว่าหลอดไฟโซเดียม ให้ประสิทธิภาพในการมองเห็นดีที่สุด เพราะตาคนเราไวต่อแสงสีเหลืองมากที่สุด

(5) หลอดโซเดียมความดันต่ำ เป็นหลอดไฟที่มีสีเหลืองจัด และมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการบรรดาหลอดไฟทั้งหมด และประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่สุด คือ มีประสิทธิภาพประมาณ 120 - 200 ลูเมนต่อวัตต์ เพื่อให้เกิดความประหยัด เนื่องจาก ต้องเปิดตลอดทั้งคืน จึงไม่เน้นเรื่องความถูกต้องของสี (CRI)

(6) หลอดเมทัลฮาไลด์ เหมือนกับหลอดดิสชาร์จอื่น ๆ มีข้อดี คือ มีสเปกตรัมแสงทุกสีทำให้สีเกือบทุกชนิดเด่นภายใต้หลอดชนิดนี้ แสงที่ออกมามีตั้งแต่ 3,000 - 4,500 องศาเคลวิน ขึ้นอยู่กับขนาดวัตต์

ภาพที่ 2.2

การแบ่งประเภทของหลอดไฟ



ที่มา: ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540, น. 2-5.

2.1.2 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อความส่องสว่าง

1. ฟลักซ์ส่องสว่างที่ติดตั้งต่อตารางเมตร (install luminous flux per square meter)

ถ้าพารามิเตอร์อื่น ๆ คงที่ ความสว่างจะเป็นสัดส่วนกับ ฟลักซ์ส่องสว่างที่ติดตั้งต่อขนาดพื้นที่ของพื้นที่ห้องนั้น ดังนี้

$$\begin{aligned}
 E &= \Phi / (A \times B) \\
 \text{เมื่อ } E &= \text{ความสว่าง (Lux)} \\
 \Phi &= \text{ฟลักซ์ส่องสว่างที่ติดตั้ง} \\
 (A \times B) &= \text{ขนาดพื้นที่ห้อง}
 \end{aligned}$$

2. ลักษณะการกระจายแสงจากโคมไฟ (the zonal flux distribution of the luminaire)

ตามวิธีคำนวณของ CIE ได้พิจารณาลักษณะคุณสมบัติการกระจายแสงของโคม ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ใช้สำหรับคำนวณตามวิธีแบบประยุกต์ของ CIE นี้

3. ลักษณะการติดตั้งโคมไฟ (geometry of the installation) การจัดเรียงโคมไฟสามารถกำหนดได้โดย 5 ตัวแปรดังนี้

- 1) ระยะระหว่างโคมไฟแถวบนสุดกับฝ้าผนังที่ใกล้ที่สุดตามแนวยาวของห้อง
- 2) ระยะระหว่างโคมไฟแถวบนสุดกับฝ้าผนังที่ใกล้ที่สุดตามแนวกว้างของห้อง
- 3) ระยะห้อยโคมไฟ (suspension height)
- 4) จำนวนโคมไฟตามด้านกว้างของห้อง (number of luminaires crosswise)
- 5) จำนวนโคมไฟตามด้านยาวของห้อง (number of luminaires lengthwise)

ถ้าพารามิเตอร์ทุกตัวคงที่ เมื่อระยะระหว่างโคมไฟแถวบนสุดกับฝ้าผนังที่ใกล้ที่สุดลดลง โคมไฟแถวบนสุดอยู่ชิดผนังมากขึ้น จะทำให้ความสว่างบนพื้นที่ทำงานน้อยลง และความสว่างบนฝ้าผนังสูงขึ้น เมื่อทุกพารามิเตอร์คงที่ รวมถึงค่าการส่องสว่างที่ติดตั้งและขนาดของห้องพบว่า จำนวนโคมไฟมีผลต่อความสว่างของพื้นผิวน้อยกว่าอิทธิพลของระยะแขวนโคมไฟ และการเปลี่ยนแปลงระยะแขวนโคมไฟมีผลต่อขนาดของห้อง และอัตราส่วนระยะห้อยดวงโคมด้วย

4. การสะท้อนของพื้นผิว (reflectance of the surface) ความสว่างของพื้นผิวของห้องสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ เกิดจากความส่องสว่างที่ส่องลงมาจากโคมไฟ และจากความส่องสว่างที่สะท้อนไปมาระหว่างพื้นผิว ถ้าทุกพารามิเตอร์มีค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวต่าง ๆ

เพิ่มขึ้น ทำให้ฟลักซ์ส่องสว่างในส่วนที่สะท้อนไปมามีค่าสูงขึ้น คือ ระดับความสว่างสูงขึ้น ข้อสำคัญ อีกประการหนึ่งคือ ค่าการสะท้อนแสงของระนาบในแนวระดับที่ความสูงเท่ากับพื้นที่ทำงาน

5. สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุต่าง ๆ มีผลต่อการส่องสว่างมาก โดยเฉพาะ ภายในอาคาร ห้องที่มีกำแพง เพดาน พื้น ที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุสูง ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานมาก ดังนั้น การใช้จำนวนดวงโคมน้อย เพราะมีการสะท้อนของแสง เนื่องจาก วัสดุที่อยู่รอบข้างมาก

การคำนวณโดยวิธีลูเมน ต้องใช้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้น กำแพง และ เพดาน เพื่อนำไปใช้เปิดหาค่า CU หรือสัมประสิทธิ์ในการใช้งานของโคม (ดังตารางที่ 2.4)

ตารางที่ 2.4

ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัตถุ

สี	p	วัสดุ	p
ขาว	0.70 - 0.80	น้ำเงิน	0.10 - 0.15
ครีมอ่อน	0.70 - 0.80	แดงเข้ม	0.10 - 0.15
เหลืองอ่อน	0.55 - 0.65	เทาเข้ม	0.10 - 0.15
เขียวอ่อน	0.45 - 0.50	น้ำเงินเข้ม	0.05 - 0.10
ชมพู	0.45 - 0.50	ดำ	0.04
ฟ้าอ่อน	0.40 - 0.45	อิฐแดง	0.05 - 0.25
เทาอ่อน	0.40 - 0.45	คอนกรีต	0.15 - 0.40
เนื้ออ่อน	0.25 - 0.35	สีโอ๊คอ่อน	0.15 - 0.20
เหลืองเข้ม	0.25 - 0.35	ขาวซีนาเมล	0.65 - 0.75
น้ำตาลอ่อน	0.25 - 0.35	กระจกใส	0.06 - 0.08
เขียว	0.25 - 0.35	ไม้สีครีม	0.50 - 0.60
ส้ม	0.20 - 0.25	พลาสติกเอร์	0.80
เขียวส้ม	0.10 - 0.15	วอลนัตเข้ม	0.15 - 0.20

ที่มา: ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540, น. 4-5.

2.1.3 วิธีการคำนวณ

1. การคำนวณด้วยวิธีลูเมน (Lumen Method) ในกรณีที่ต้องการแสงสว่างอย่างสม่ำเสมอ ให้คุณสมบัตการสะท้อนแสงของวัสดุทั้งผนัง พื้น และเพดาน มาประกอบการพิจารณาด้วย มักเป็นพื้นที่ทำงานที่ต้องใช้สายตามาก เช่น สำนักงาน โรงเรียน ห้องประชุม เป็นต้น

การคำนวณการส่องสว่างโดยวิธีลูเมน สามารถใช้สมการการคำนวณ ดังนี้

$$E = N \times L \times MF \times CU / A$$

เมื่อ E = ความส่องสว่าง (ลักซ์)

N = จำนวนหลอด

L = ปริมาณแสง (ลูเมน/ หลอด)

MF = แฟคเตอร์ในการบำรุงรักษา

CU = สัมประสิทธิ์การใช้งาน

A = พื้นที่ (ตารางเมตร)

ความส่องสว่าง E หาได้จากมาตรฐานต่าง ๆ เช่น IES CIE JIS ที่กำหนดความส่องสว่างของเนื้อที่ใช้งานไว้ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยอย่างต่ำที่คิดจากระดับที่ทำงาน เช่น ความส่องสว่างสำนักงานใช้ 500 ลักซ์ หมายถึง ความส่องสว่างบนโต๊ะทำงานที่ระดับ 0.7 เมตรเหนือพื้น ควรมีความส่องสว่างอย่างน้อย 500 ลักซ์ เป็นต้น

แฟคเตอร์ในการบำรุงรักษา MF มีค่ามากขึ้นกับการบำรุงรักษา เมื่อหลอดไฟนั้นไม่ได้ทำความสะอาด จึงให้แสงสว่างที่น้อยลง ค่า MF เป็นค่าเฉลี่ยที่ให้แสงออกมา

สัมประสิทธิ์การใช้งาน CU หมายถึง อัตราส่วนปริมาณแสงที่ออกมาจากโคมและสะท้อนพื้น เพดาน และกำแพง ก่อนลงมาถึงโต๊ะทำงานต่อปริมาณแสงที่ออกมาจากหลอด โคมที่มีแผ่นกรองแสงปิด ให้ปริมาณแสงออกมาน้อยกว่าโคมที่ไม่มีแผ่นกรองแสง โคมที่มีแผ่นกรองแสงหรือห้องที่มีเพดาน กำแพง และพื้นเป็นสีทึบยอมให้การสะท้อนแสงน้อย คือให้ค่า CU น้อย ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานจึงขึ้นอยู่กับชนิดของโคม และสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของเพดาน กำแพง และพื้น ซึ่งค่า CU ของดวงโคมนั้นได้จากผู้ผลิต

ก่อนจะหาค่า CU จากตารางผู้ผลิตต้องได้ค่าบางอย่าง เพื่อนำไปเปิดตารางหาค่าดังกล่าว คือ Room Cavity Ratio (RCR) ค่า RCR สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$RCR = 5 \times H \times (L + W) / (L \times W)$$

เมื่อ L = ความยาวห้อง (เมตร)

W = ความกว้างห้อง (เมตร)

H = ความสูงห้องเหนือโต๊ะทำงาน (เมตร)

เช่น ห้องสูง 3 เมตร โต๊ะทำงานอยู่ที่ระดับ 0.7 เมตร มีค่า $H = 3 - 0.7 = 2.3$ เมตร
เป็นต้น ระบุการทำงานที่ใช้สำหรับโต๊ะทำงานที่เหมาะสมสำหรับคนไทย 0.75 เมตร

สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่เพดาน กำแพง และพื้น เพื่อนำไปเปิดตารางสัมประสิทธิ์การใช้งานที่ผู้ผลิตกำหนดมาให้ ทั่วไปใช้สำหรับเพดาน 70 % ใช้สำหรับกำแพง 50 % ใช้สำหรับพื้น 20 % หมายถึง เพดานที่มีสีอ่อนมาก เช่น ขาวครีม เป็นต้น ส่วนผนังมีสีโทนปานกลางไปทางอ่อน และพื้นมีสีเข้ม เมื่อนำค่า RCR และสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของเพดาน กำแพง และพื้น ไปเปิดตาราง สามารถหาสัมประสิทธิ์การใช้งาน และนำไปแทนค่าเพื่อหาจำนวนหลอดและโคมต่อไป

1) การคำนวณด้วยวิธีลูเมน ใช้สมการที่แสดงไว้ตอนต้น ดังนี้

$$E = N \times L \times MF \times CU / A$$

เมื่อ E = ความส่องสว่าง (ลักซ์)

N = จำนวนหลอด

L = ปริมาณแสง (ลูเมน/หลอด)

MF = แฟคเตอร์ในการบำรุงรักษา

CU = สัมประสิทธิ์ในการใช้งาน

A = พื้นที่ (ตารางเมตร)

ขั้นตอนในการคำนวณมีดังนี้

(1) หาสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของเพดาน กำแพง และพื้น ในกรณีทั่วไปที่ไม่ทราบค่าให้ใช้ค่าเฉลี่ย 70/ 50/ 30 ตามลำดับ

(2) นำค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงและค่า RCR ไปหาสัมประสิทธิ์การใช้งาน CU จากตารางของผู้ผลิต หรือจากตารางมาตรฐาน IES ที่กำหนดไว้

(3) นำค่า CU แทนค่าเพื่อหาจำนวนหลอดหรือความสว่างแล้วแต่ต้องการตามสมการข้างต้น

ตัวอย่างการคำนวณโดยวิธีลูเมน

โดยให้หาจำนวนหลอดที่ต้องใช้สำหรับส่องสว่าง 500 ลักซ์ ในสำนักงานขนาด 6 x 10 เมตร ซึ่งมีความสูงห้อง 2.7 เมตร และโต๊ะมีความสูง 0.7 เมตร โคมไฟให้ใช้แบบตัวกรองแสงแบบเกล็ดแก้ว หลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ ซึ่งยาว 1.2 เมตร มีปริมาณแสง 3,000 ลูเมน/หลอด

$$\begin{aligned} \text{RCR} &= 5 \times H (L + W) / (L \times W) \\ &= 5 \times (2.7 - 0.7) \times (6 + 10) / (6 \times 10) \\ &= 2.67 \end{aligned}$$

เมื่อพิจารณาโคมแบบตัวกรองแสงแบบเกล็ดแก้ว โดยพิจารณาตารางประกอบที่ค่า RCR = 2.67 ซึ่งอยู่ระหว่างค่า 2 และ 3 หาค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{CU} &= 0.58 - (0.58 - 0.52) \times 0.67 = 0.54 \\ \text{MF} &= 0.75 \text{ สำหรับงานสำนักงาน} \\ \text{L} &= 3,000 \text{ ลูเมน} \\ \text{E} &= 500 \text{ ลักซ์} \\ \text{N} &= E \times A / (L \times \text{MF} \times \text{CU}) \\ &= 500 \times 60 / (3,000 \times 0.75 \times 0.54) \\ &= 24.7 \text{ หรือ } 25 \text{ หลอด} \end{aligned}$$

เมื่อได้จำนวนหลอดสำหรับความส่องสว่าง 500 ลักซ์แล้ว ต้องหาต่อไปว่า ควรใช้โคมไฟจำนวนต่อโคมเท่าใด และการติดตั้งโคมควรเป็นอย่างไร

จากการคำนวณดังกล่าว ทำให้ทราบว่า เมื่อนำค่าที่คำนวณไปทำการติดตั้งแล้ว ความส่องสว่างเมื่อเริ่มทำการติดตั้งจะมีค่าสูงมาก ประมาณ $500 / 0.75 = 666$ ลักซ์ เพราะหลอดยังใหม่ไม่มีฝุ่นเกาะที่หลอด และปริมาณแสงของหลอดยังไม่ได้ลดลง ดังนั้น ความส่องสว่างที่คำนวณออกมานั้น หมายถึง ความส่องสว่างที่ได้เมื่อติดตั้งไปแล้วหลายเดือนที่หลอดทำงานไปและมีฝุ่นผงเกาะ

(1) การหาจำนวนหลอดจากตารางสำเร็จรูป โดยคำนวณจำนวนหลอดที่ใช้งาน เมื่อกำหนดความส่องสว่างมาให้ได้ โดยใช้ตารางสำเร็จรูปที่คำนวณจากตารางสัมประสิทธิ์การใช้งานของ IES และหาค่าวัดต่อตารางเมตรต่อ 100 ลักซ์ ของโคมชนิดต่าง ๆ (ดังตารางที่ 2.5)

ตารางที่ 2.5

วัดต่อตารางเมตรต่อ 100 ลักซ์ ที่ค่า RCR ต่าง ๆ กันของโคมชนิดต่าง ๆ กัน

RCR	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
#20 2x36W IND.TYPE WHITE REFLECTOR	1.596	1.786	2.027	2.273	2.500	2.831	3.125	3.488	3.847	4.286	4.687
#21 2x36W IND.TYPE DIFFUSE ALUM. REFLT.	1.667	1.830	2.027	2.273	2.500	2.831	3.125	3.488	3.847	4.286	4.687
#22 2x36W FIN & V WHITE REFLECTOR	1.765	1.949	2.174	2.419	2.678	3.000	3.333	3.659	4.055	4.546	5.000
#23 2x36W FIN & V DIFFUSE ALUM. REFLT.	1.899	2.084	2.308	2.587	2.831	3.191	3.488	3.847	4.286	4.687	5.172
#27 2x36W SURFACE MOUNT BARE LAMP	1.531	1.807	2.112	2.419	2.727	3.125	3.488	3.947	4.412	4.838	5.357
#31 2x36W PRISMATIC WRAP AROUND	1.949	2.239	2.543	2.831	3.125	3.488	3.847	4.286	4.687	5.172	5.769
#40 2x36W FLAT PRIS. 1' WIDE	2.239	2.459	2.777	3.061	3.409	3.847	4.167	4.687	5.172	5.769	6.250
#41 4x36W FLAT PRIS. 2' WIDE	2.084	2.308	2.587	2.885	3.261	3.659	4.055	4.546	5.000	5.556	6.250
#37 2x36W DROP WHITE DIFFUSER 1' WIDE	2.344	2.632	3.000	3.409	3.847	4.286	4.838	5.357	6.000	6.521	7.143
#38 4x36W DROP WHITE DIFFUSER 2' WIDE	2.143	2.419	2.727	3.061	3.488	3.947	4.412	4.838	5.357	6.000	6.521
#39 2x36 OR 4x40W WHITE DIFFUSER	2.273	2.543	2.885	3.191	3.659	4.055	4.546	5.000	5.556	6.250	6.818

ที่มา: ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540, น. 4-18.

ตัวอย่างการคำนวณโดยใช้ตารางข้างต้นนี้ เช่น

ห้องขนาด 6 x 4 เมตร สูง 3 เมตร พื้นที่ทำงาน 0.7 เมตร ถ้าต้องการความส่องสว่าง 500 ลักซ์ โดยใช้โคมไฟแบบแผ่นกรองแสงเกล็ดแก้วแบบแบน (flat prismatic)

$$\begin{aligned}
 \text{RCR} &= 5 \times H (L + W) / (L \times W) \\
 &= 5 \times (3 - 0.7) \times (6 + 4) / (6 \times 4) \\
 &= 4.8
 \end{aligned}$$

ใช้โคมเบอร์ 40 หรือ 41 ถ้าใช้เบอร์ 40 ที่ $RCR = 4.8$ ได้วัตต์ต่อตารางเมตรต่อ 100 ลักซ์

$$= 3.409 + 0.8 \times (3.847 - 3.409)$$

$$= 3.759$$

ห้องขนาด 6×4 เมตร ถ้าต้องการค่าความสว่าง 500 ลักซ์ ต้องใช้หลอดไฟ $6 \times 4 \times 3.759 \times 5 = 451$ วัตต์ หรือใช้หลอด 36 วัตต์ ทั้งหมด $451 / 36 = 12.525$ หรือ 14 หลอด

ขั้นต่อไปหาว่าโคมควรใช้ชนิดกี่หลอด เพื่อประหยัดที่สุด และได้แสงสว่างตามต้องการ เช่น 14 หลอด ถ้าใช้ชนิด 2 หลอดต่อโคม จะได้ 7 โคม แต่ถ้าใช้ 3 หลอดต่อโคม จะได้ 5 โคม ยิ่งใช้จำนวนโคมน้อยลงจะประหยัดมากขึ้น แต่ถ้าใช้จำนวนโคมน้อยลงมากเกินไป ระยะห่างระหว่างโคมก็มาก ทำให้บริเวณระหว่างโคมมืดเกินไป

(2) การหาจำนวนหลอดต่อโคมและจำนวนโคม ต้องทราบระยะห่างระหว่างโคมให้มากที่สุดที่ผู้ผลิตกำหนด ซึ่งไม่ทำให้แสงระหว่างโคมต่ำเกินไป โดยทั่วไปผู้ผลิตกำหนดเป็นค่าดังกล่าว เป็นระยะห่างระหว่างโคมมากที่สุด/ความสูง (SM/H) คือ อัตราส่วนระยะห่างระหว่างโคมเหนือโต๊ะทำงานต้องไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนด

สมมติจากตัวอย่างข้างต้น $SM/H = 1.1$ เช่น ห้องที่มีความสูง 2.5 เมตร เมื่อคิดระนาบทำงานที่ 0.7 เมตร ความสูงโคมเหนือโต๊ะทำงาน เท่ากับ $2.5 - 0.7 = 1.8$ เมตร ดังนั้น เมื่อคิดระยะห่างโคมไม่ควรมากกว่า $1.8 \times 1.1 = 1.98$ เมตร

การใช้จำนวนหลอดต่อโคมให้มากที่สุด จะเป็นการประหยัดที่สุด เพราะจำนวนโคมใช้น้อยที่สุด และตำแหน่งการติดตั้งน้อย ที่ควรระวัง คือ เมื่อใช้จำนวนหลอดต่อโคมมากที่สุด แสงระหว่างโคมนั้นต้องไม่มืดเกินไป

การหาจำนวนโคมในแต่ละครั้งที่สมมติจำนวนโคมต่อหลอดแล้ว ต้องให้จำนวนหลอดรวมไม่น้อยกว่าค่าที่คำนวณได้ เช่น ตัวอย่างข้างต้นของห้องขนาด 6×4 เมตร สูง 3 เมตร ต้องการความสว่างได้ 500 ลักซ์ และหาจำนวนหลอดได้ 14 หลอด ถ้าใช้ 3 หลอดต่อโคม ต้องใช้ 5 โคม (รวม 15 หลอด) ถ้าใช้ 14 หลอดต่อโคม ต้องใช้ 4 โคมเป็นอย่างน้อย (รวม 16 หลอด) คือ เมื่อคิดจำนวนหลอดแล้ว ต้องมีค่ามากกว่า 14 หลอด เมื่อนำจำนวนโคมที่ได้ออกมาและลองคิดดูแล้ว พิจารณาระยะห่างระหว่างโคมต่อความสูงโคมเหนือพื้นที่ทำงานมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดหรือไม่

การติดตั้งโคมห่างจากผนังเท่าใด มีกฎเกณฑ์ว่าให้แสงด้านข้างมาก เช่น โคมแบบหลอดเปลือย โคมแบบตัวกรองแสงขาวรุ่นชนิด drop white diffuser และ โคมแบบอะลูมิเนียมสะท้อนแสง ให้ติดตั้งโคม โดยใช้เกณฑ์ห่างจากผนังเท่ากับครึ่งหนึ่งของระยะห่างระหว่างโคม โคมที่ให้แสงด้านข้างออกมาน้อย เช่น โคมแบบตัวกรองแสงขาวเรียบ โคมแบบตัวกรองแสงเกล็ดแก้วเรียบ ให้ติดตั้งห่างกำแพงเท่ากับ $1/3$ ของระยะห่างระหว่างโคม เป็นต้น

การหาจำนวนหลอดต่อโคม เพื่อไม่ให้เกิดแสงสว่างระหว่างโคมมีมากเกินไป ใช้เฉพาะกรณีที่ต้องการความส่องสว่างสม่ำเสมอเท่านั้น หากเป็นกรณีติดตั้งโคมไฟที่ทางเดิน ซึ่งต้องการความส่องสว่างสูงมาก อาจไม่สามารถทำให้แสงสม่ำเสมอได้ ดังนั้น การพิจารณาจำนวนหลอดต่อโคมที่เหมาะสม เพื่อให้แสงระหว่างโคมไม่มากเกินไป ใช้เฉพาะกรณีที่ต้องการแสงสว่างสม่ำเสมอที่ใช้งานเท่านั้น เช่น สำนักงาน โรงเรียน เป็นต้น

ตัวอย่างการคำนวณหาจำนวนหลอดต่อโคมและจำนวนโคม

สมมติห้องทำงานขนาด 8×16 เมตร ความสูงฝ้าเหนือพื้น 2.8 เมตร ต้องการติดตั้งโคมไฟอะลูมิเนียมตาม IES เบอร์ 28 ซึ่งกำหนดระยะห่างมากที่สุด/ความสูงโคมเหนือโต๊ะทำงาน = $1.5 / 1.1$ ให้มีความส่องสว่าง 500 ลักซ์ ที่ระนาบโต๊ะทำงานสูง 0.7 เมตร ให้คำนวณจำนวนโคมที่ใช้ จำนวนหลอดต่อโคม

$$\begin{aligned} RCR &= 5 \times H \times (L + W) / (L \times W) \\ &= 5 \times (2.8 - 0.7) \times (8 + 16) / (8 \times 16) \\ &= 1.97 \end{aligned}$$

เมื่อนำค่านี้ไปเปิดตาราง IES เบอร์ 28 ได้ค่า $CU = 0.64$ และเมื่อคิดค่า $MF = 0.75$

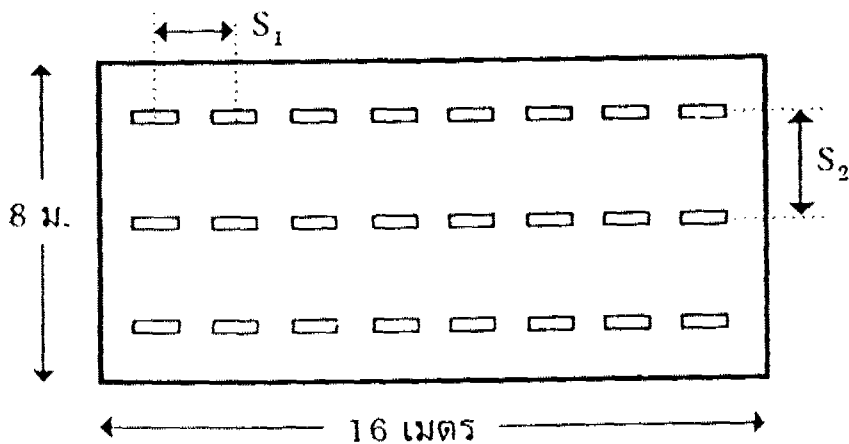
$$\begin{aligned} E &= N \times L \times MF \times CU / A \\ 500 &= N \times 3,000 \times 0.75 \times 0.64 \times (8 \times 16) \\ N &= 44 \end{aligned}$$

ถ้าใช้ 2 หลอดต่อโคม ต้องใช้ทั้งหมด 22 โคม และเมื่อนำมาจัดจำนวนแถวแล้วได้ 3×8 เมตร และเมื่อคิดระยะติดตั้งต่อความสูงได้ $S1/H = 0.95$, $S2/H = 1.39$ ซึ่งต่ำกว่า

ที่กำหนดไว้ที่ค่า 1.5/1.1 หากเพิ่มจำนวนหลอดต่อโคมเป็น 3 หลอดต่อโคม ได้ทั้งหมด $44/3 = 15$ โคม และเมื่อมาจัดวางจำนวนแถวได้ 3×5 เมตร หรือ 2×8 เมตร ให้ระยะห่าง/ความสูง ได้ 1.29/1.52 และ 1.9/0.95 ซึ่งค่าด้านใดด้านหนึ่งมากกว่าค่า 1.5/1.1 ดังนั้น ภาพที่ 2.3 โคมที่เหมาะสมที่สุด คือ โคมแบบ 2 หลอดต่อดวงโคม (ขำนาญ ห่อเกียรติ, 2540, น. 4-21)

ภาพที่ 2.3

แผนผังการจัดวางโคมเพื่อหาระยะห่างระหว่างโคมต่อความสูงโคมเหนือระนาบทำงาน



$$\text{ความสูง } 2.8 - 0.7 = 2.1$$

$$S_1 = 16 / 8 = 2$$

$$S_2 = 8 / 3 = 2.7$$

$$S_1 / H = 2 / 2.1 = 0.95$$

$$S_2 / H = 2.7 / 2.1 = 1.29$$

ที่มา: ขำนาญ ห่อเกียรติ, 2540, น. 4-21.

สำหรับค่าความกว้างและความยาวของห้องที่ใช้ประกอบการคำนวณนั้น เพื่อต้องการให้ทราบว่าค่าที่คำนวณออกมานั้นใช้ข้อมูลขนาดห้องเท่าใด เพราะค่าสัมประสิทธิ์การใช้งาน สำหรับห้องขนาดต่าง ๆ ไม่เท่ากัน เช่น ขนาดห้อง 6×6 เมตร เพื่อใช้สำหรับงานติดตั้งในพื้นที่ขนาดใหญ่ ได้แก่ พื้นที่ขนาด 15×15 เมตร ถ้านำไปใช้ในการคำนวณจะได้ค่าสัมประสิทธิ์

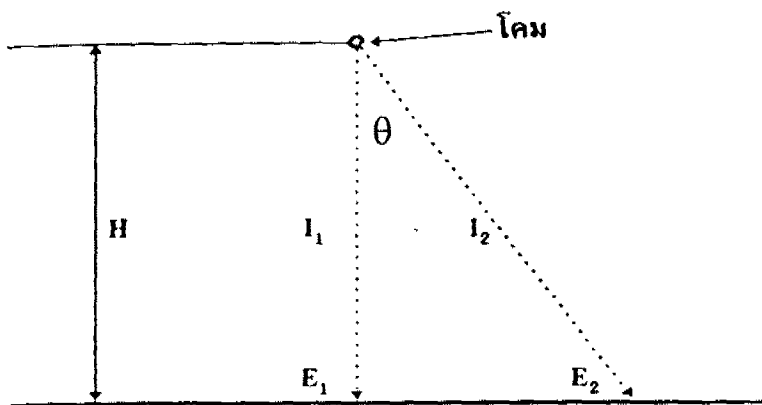
มีค่ามาก ทำให้ได้ใช้โคมน้อย แต่เมื่อติดตั้งในพื้นที่ที่มีการกั้นบริเวณ (partition) ทำให้ความส่องสว่างลดลงมาก ดังนั้น จึงกำหนดพื้นที่สำหรับการคำนวณที่ 6×6 เมตร

2) การคำนวณแบบจุดต่อจุด (point-by-point method) เป็นการคำนวณหาความสว่างที่จุดที่ต้องการ การคำนวณแบบนี้ จำเป็นต้องทราบกราฟกระจายแสงของโคม และการคำนวณนั้นเสียเวลามาก หากต้องคำนวณหลายค่า จำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์ช่วย เพื่อไม่ให้เสียเวลามากเกินไป เช่น การส่องสว่างไฟถนนจำเป็นต้องคำนวณหลายค่าเพื่อหาค่าเฉลี่ย การส่องสว่างในสนามกีฬาโดยเฉพาะสนามกีฬาขนาดใหญ่ที่ต้องอาศัยการคำนวณแบบจุดต่อจุดช่วย การใช้คอมพิวเตอร์เข้าช่วยก็เหมาะสมสำหรับกรณีนี้ แต่ถ้าคำนวณบางค่าเพื่อประกอบการพิจารณาสามารถคำนวณด้วยมือได้ เช่น การคำนวณความส่องสว่างเนื่องจากโคมไฟส่องสว่างแบบสปอตเพื่อใช้กับรูปปั้นหรือรูปภาพ หรือนั้นเป็นจุด สามารถคำนวณด้วยมือเพื่อหาค่าความส่องสว่างใต้โคมที่จุดที่ต้องการ เป็นต้น

สูตรการคำนวณการส่องสว่างแบบจุดต่อจุด เป็นการคำนวณค่าความสว่างในระนาบทำงาน มีสมการดังนี้

ภาพที่ 2.4

การคำนวณแสงสว่างแบบจุดต่อจุด



ที่มา: ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540, น. 4-31.

ความส่องสว่างใต้โคมสามารถหาได้จากสมการ ดังนี้

$$E_1 \quad = \quad I / H^2$$

- E1

=

ความส่องสว่างในแนวตั้งฉากกับแสง (ลักซ์)
- I

=

ความเข้มแสง (แคนเดลา)
- H2

=

ระยะทางจากโคมไปยังจุดที่ต้องการ (เมตร)

โดยทั่วไประดับของความสว่างที่กำหนดในห้องแต่ละชนิดว่ามีค่าเท่าใดนั้น เป็นค่าความสว่างในเทอมของค่าความสว่างเฉลี่ยบนพื้นที่ทำงาน (working plane) พื้นที่ทำงานมักเป็นพื้นที่ในแนวราบสูงขึ้นมาจากพื้นประมาณ 0.75 หรือ 0.85 เมตร สามารถคำนวณได้โดย

$$E_2 \quad = \quad I_2 \times \text{Cos}^3\theta / H^2$$

- เมื่อ

Ep

=

ระดับความสว่างในแนวราบที่จุด P
- I (γ)

=

ความเข้มชั้นส่องสว่างที่มุม γ
- H

=

ความสูงของแหล่งกำเนิดแสง

ถ้ามีดวงโคมหลายโคม สามารถหาค่าความส่องสว่างได้ที่จุด P ได้ โดยคิดค่าความสว่างที่จุด P จากผลของดวงโคมแต่ละโคมแล้วนำมารวมกันได้

- Ep (total)

=

Ep1 + Ep2 + Ep3 + ... + Epi
- เมื่อ

Ep (total)

=

ผลรวมค่าความสว่างในแนวราบที่จุด P ของดวงโคมทั้งหมด
- Epi

คือ

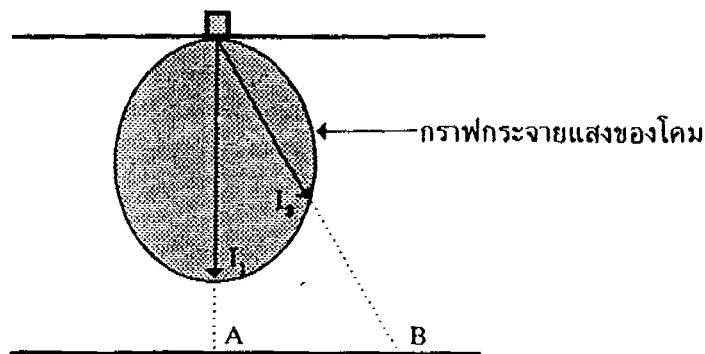
ค่าความสว่างในแนวราบที่จุด P ของดวงโคมที่ i

การคำนวณความส่องสว่างแบบจุดต่อจุด นอกจากต้องคำนวณความส่องสว่างแล้ว ควรคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางของวงแสงด้วย โดยทั่วไปความส่องสว่างที่ใช้ เพื่อการคำนวณเส้น

ผ่านศูนย์กลางของวงแสง คือ 1,000 ลักซ์ เพราะที่ความส่องสว่างประมาณ 1,000 ลักซ์ สามารถเห็นเป็นวงแสงที่ค่อนข้างชัด

ภาพที่ 2.5

การคำนวณจุดต่อจุดจากโคม

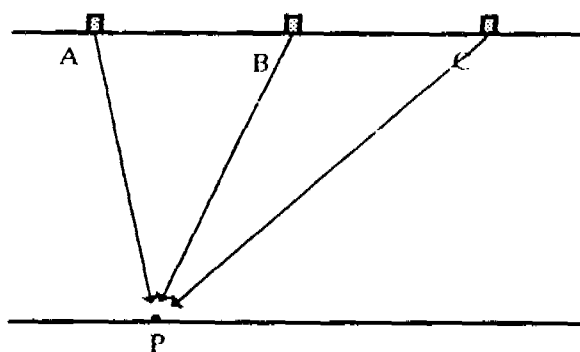


ที่มา: ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540, น. 4-32.

จากภาพที่ 2.5 เมื่อต้องการคำนวณความส่องสว่างที่จุด A หรือ B ต้องหาความเข้มแสง (แคนเดลา) จากกราฟกระจายแสงของโคมในทิศทางที่ส่องไปที่ A และ B ก่อนที่จะใช้สูตรในสมการข้างต้น

ภาพที่ 2.6

การหาความส่องสว่าง เนื่องจากหลายโคม

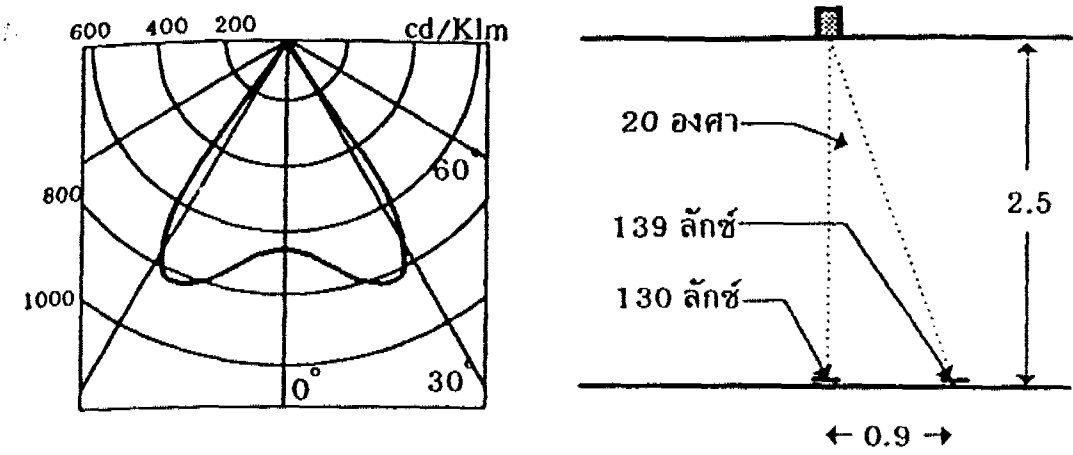


ที่มา: ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540, น. 4-32.

กรณีที่มีโคมหลายโคมสามารถหาความส่องสว่างที่จุดใด ๆ เนื่องจากโคมแต่ละโคม นำมารวมกัน (ดังภาพที่ 2.6) เมื่อต้องการหาความส่องสว่างที่จุด P ต้องหาความส่องสว่าง เนื่องจาก โคม A B และ C ที่จุด P นำมารวมกันแบบพีชคณิต เช่น ความส่องสว่างเนื่องจากโคมไฟ A B และ C ในแนวระดับที่จุด P ได้ค่าเท่ากับ 100 80 และ 30 ลักซ์ตามลำดับ ดังนั้น ความส่องสว่าง ในแนวระดับที่จุด P มีค่า $100 + 80 + 30 = 210$ ลักซ์

ภาพที่ 2.7

กราฟกระจายแสงของโคมหลอด 100W GLS



ที่มา: ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540, น. 4-33.

จากภาพที่ 2.7 ซึ่งเป็นตัวอย่างกราฟกระจายแสงของโคมไฟฟ้าหลอด 100 W GLS และมีปริมาณแสง 1,300 ลูเมน สมมติต้องการหาความส่องสว่างที่พื้นที่ใต้โคมไฟสำหรับความสูง ห้อง 2.5 เมตร และหาความส่องสว่างที่พื้นที่ห่างโคมทำมุม 20 องศา

ได้ความเข้มแสงที่ใต้โคมมีค่า 625 cd/ Klm แต่หลอดมีปริมาณแสง 1.3 กิโลลูเมน

ดังนั้น ความเข้มแสงของโคมมีค่า	$= 625 \times 1.3$	$= 813$ แคนเดลา
ความส่องสว่างใต้โคม	$= 813 / 2.5^2$	$= 130$ ลักซ์
ถ้าคิด MF = 0.8 จะได้ความส่องสว่าง	$= 130 \times 0.8$	$= 104$ ลักซ์
ความเข้มแสงที่มุม 20 องศาได้	$= 810 \text{ cd} / \text{Klm}$	
ความเข้มแสงที่มุม 20 องศา	$= 810 \times 1.3$	$= 1053$ แคนเดลา
ความส่องสว่างที่พื้น	$= 1053 \text{ Cos}^3 20 / 2.5^2$	$= 139$ ลักซ์
ถ้าคิด MF = 0.8 จะได้ความส่องสว่าง	$= 139 \times 0.8$	$= 111$ ลักซ์

การส่องสว่างแบบจุดใช้กับการส่องสว่างในพื้นที่ที่ไม่ต้องการความส่องสว่างสม่ำเสมอ เช่น ในพื้นที่ที่ติดตั้งทั้งโคมฟลูออเรสเซนต์และโคมไฟส่องลง โดยที่โคมฟลูออเรสเซนต์ติดตั้งเหนือโต๊ะทำงาน ส่วนโคมไฟส่องลงติดตั้งที่บริเวณรอบโต๊ะทำงาน ดังนั้น ในกรณีที่ใช้ในการคำนวณแบบลูเมนไม่ได้ เพราะต้องการความส่องสว่างเพียงพื้นที่บางส่วนเท่านั้น เช่น ห้องทำงานที่ต้องการออกแบบให้มีบรรยากาศแบบส่วนตัว จึงไม่ออกแบบให้มีความส่องสว่างสม่ำเสมอ แต่ให้มีความส่องสว่างที่โต๊ะทำงานให้ได้ 500 ลักซ์ ส่วนรอบข้างไม่จำเป็นต้องมีความส่องสว่าง 500 ลักซ์ ดังนั้น จึงใช้การคำนวณแบบจุดต่อจุด แต่วิธีการนี้ต้องทราบความเข้มแสงที่โต๊ะได้โคม เพื่อหาความส่องสว่างที่โต๊ะทำงาน

พิจารณาแผนผังการคำนวณแสงสว่างแบบจุดต่อจุด ซึ่งแสดงค่าที่คำนวณความส่องสว่างที่พื้นที่ใต้โคมที่ความสูงห้องต่าง ๆ กัน โดยคิดระยะนาบทำงานที่ความสูง 0.7 เมตร สำหรับโคม 2 แบบ คือ โคมแบบตัวสะท้อนแสงอะลูมิเนียมแบบกระจุกชนิดมีตัวบังแสงมาก

ที่ความสูง 2.5 เมตร ถ้าใช้โคมแบบที่ 1 ติดตั้งโคม 3×36 วัตต์ ได้ความส่องสว่าง 550 ลักซ์ หรือใช้โคมแบบที่ 2 ติดตั้งโคม 2×36 วัตต์ ได้ความส่องสว่าง 550 ลักซ์ ถ้าเป็นความสูงที่ 2.8 เมตร ใช้โคมแบบที่ 2 ติดตั้ง 3×36 วัตต์ ได้ความส่องสว่าง 480 ลักซ์ หรือถ้าเป็นความสูงห้อง 3 เมตร ใช้โคมแบบที่ 2 แต่ถ้าต้องเปลี่ยนเป็น 4×36 วัตต์ เพราะโคม 3×36 วัตต์ ได้ความส่องสว่างเพียง 400 ลักซ์เท่านั้น

โคมแต่ละผลิตภัณฑ์อาจมีกราฟกระจายแสงของโคมที่แตกต่างกันไป ดังนั้น ถ้าต้องการคำนวณการส่องสว่างที่แน่นอน ให้พิจารณาจากกราฟกระจายแสงของโคมที่ต้องการเลือก ถ้าหากไม่มีข้อมูลที่แน่นอนใช้ตารางดังกล่าวได้ หากนำมาพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างโคมที่ผลิตในประเทศไทย โดยเฉพาะโคมที่ใช้ตัวสะท้อนแสงอะลูมิเนียม นั้น ให้ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานหรือ CU ใกล้เคียงกับที่กำหนดใน IES

การใช้ข้อมูลการแผนผังการคำนวณแสงสว่างแบบจุดต่อจุด มีประโยชน์สำหรับงานที่ต้องการติดตั้งโคมเพียงบางจุดเท่านั้น ทำให้ทราบค่าความส่องสว่างเหนือโต๊ะทำงานได้ ส่วนบริเวณข้างเคียงโต๊ะทำงานสามารถออกแบบให้เป็นแบบไฟส่องสว่างทั่วไป หรือทำเป็นไฟแสงสว่างตกแต่ง

ตารางที่ 2.6
ความส่องสว่างใต้โคมที่ความสูงต่าง ๆ กัน

ชนิด	วัตต์	โคมกว้าง (ซม.)	จำนวน เซลล์	Cd/Klm	ความสูงห้อง (เมตร) WP = 0.7			
					2.5	2.8	3.0	3.5
Type I	3x36	60	3x6	262	730/550	530/400	450/330	300/230
	3x18	60	3x3	243	270/220	200/150	200/150	110/80
Type II	3x36	60	3x13	315	880/660	640/480	540/400	360/270
	2x36	30	2x36	395	730/550	540/400	450/340	300/230
	3x18	60	3x7	271	300/230	220/170	180/140	120/100

ค่าในช่องซ้ายไม่คิด MF ค่าในช่องขวาคิด MF = 0.75

Type I: Recessed-Double Parabolic Satin Finish

Type II: Recessed-Profile Mirror Louver

ที่มา: ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540, น. 4-35.

2.1.4 การส่องสว่างภายในอาคาร

1. ระบบการใช้แสงหลัก หมายถึง แสงสว่างพื้นฐานที่ต้องการใช้งานแบ่งออกเป็น

1) แสงสว่างทั่วไป คือ การให้แสงกระจายทั่วไปเท่ากันทั้งบริเวณพื้นที่ใช้งาน ซึ่งใช้กับความส่องสว่างที่ไม่มากจนเกินไป

2) แสงสว่างเฉพาะที่ คือ การให้แสงสว่างเป็นบางบริเวณเฉพาะที่ทำงานเท่านั้น เพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยไม่ต้องให้สม่ำเสมอเหมือนกับแบบแรก

3) แสงสว่างเฉพาะที่และทั่วไป คือ การให้แสงสว่างทั้งแบบทั่วไปทั้งบริเวณ และเฉพาะที่ที่ใช้งาน ซึ่งมักใช้กับงานที่ต้องการความส่องสว่างสูง และไม่สามารถให้แสงสว่างทั่วไปได้ เพราะเปลืองค่าไฟฟ้ามาก

2. การส่องสว่างในบ้านพักอาศัย อพาร์ทเมนต์ และโรงแรม ควรให้แสงแบบอบอุ่น ส่วนใหญ่จึงใช้แสงสีเหลืองจากหลอดอินแคนเดสเซนต์ การใช้หลอดคอมแพคท์แบวอร์มไวท์

(warm white) จะได้แสงสีเหลืองคล้ายกัน ทางเดินที่ต้องเปิดไฟทั้งคืน ควรใช้หลอดคอมแพคท์ ฟลูออเรสเซนต์ เพราะมีอายุการใช้งานนานกว่าหลอดมีไส้ถึง 4 - 8 เท่า การส่องสว่างสำหรับพื้นที่ทั่วไปใช้ 100 - 120 ลักซ์ (ดังตารางที่ 2.7)

ตารางที่ 2.7
ความส่องสว่างในพื้นที่ใช้งานต่าง ๆ ในบ้านพักอาศัย

พื้นที่ต่าง ๆ	ความส่องสว่างที่พื้นที่ (ลักซ์)	ความส่องสว่างรอบข้าง (ลักซ์)
ทางเข้า	150/500	60/100
ห้องครัว	500/750	250/350
ห้องทานอาหาร	300	100
ห้องนั่งเล่น	60/300	60
ห้องทำงาน	300	150
ห้องน้ำ	500	200
ห้องน้ำแขก	250	100
ห้องเปลี่ยนเสื้อผ้า	500	200
ห้องนอนใหญ่	300/500	100/150
ห้องนอนเด็ก	300	150
ทางเดิน	150	50
บันได	200	60
ถนนทางเข้าบ้าน	300	100

ที่มา: ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540, น. 5-4.

3. การส่องสว่างในสำนักงาน ต้องได้แสงสว่างที่สม่ำเสมอ ยกเว้นห้องต้อนรับแขกหรือบริเวณที่ไม่ได้ใช้งานไม่ต้องให้มีแสงสว่างสม่ำเสมอ การส่องสว่างทั่วไปใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิดคูโลวท์และเดย์ไลท์

โคมไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้กันมาก ได้แก่ โคมตัวสะท้อนแสงอะลูมิเนียม หรือโคมแบบมีแผ่นกรองแสงแบบขาวขุ่น และแบบเกล็ดแก้วในพื้นที่ที่ต้องการแสงบาดตาน้อย แต่โคมประเภทนี้เปลืองค่าไฟฟ้ามากกว่าโคมตัวสะท้อนแสงอะลูมิเนียม

4. การส่องสว่างในโรงงานอุตสาหกรรมต่างจากการส่องสว่างในสำนักงาน คือ เพดานอาจมีความสูงมากกว่าในสำนักงาน เมื่อมีความสูงมากการติดตั้งโคมไฟสามารถติดตั้งห่างกันได้มาก ระหว่างโคม โดยได้ความส่องสว่างที่สม่ำเสมอ เมื่อสามารถติดตั้งห่างกันได้ ต้องใช้โคมที่มีหลอดที่มีวัตต์สูง ถ้าโรงงานมีความสูงไม่เกิน 5 - 7 เมตร ใช้โคมไฟฟลูออเรสเซนต์ หรืออาจใช้โคมไฟหลอดดิสชาร์จ์ได้ ถ้าความสูงอยู่ในช่วง 4 - 7 เมตร แต่ถ้าเป็นโรงงานที่มีความสูงมากกว่า 7 เมตรขึ้นไป จึงควรเลือกใช้โคมไฟแบบไฮเบย์ ซึ่งใช้จำนวนโคมน้อยกว่าโคมแบบอื่น โคมฟลูออเรสเซนต์ที่นิยมสำหรับเพดานที่ไม่สูงเกิน 4 เมตร โดยควรเป็นชนิดที่ดูแลรักษาง่าย โคมไฟฟ้าที่เหมาะสมกับโรงงาน ได้แก่ หลอดเมทัลฮาไลต์ หลอดปรอทความดันสูง และหลอดโซเดียมความดันสูง

5. การส่องสว่างในโรงเรียน โคมไฟที่ใช้ทั่วไปเป็นโคมฟลูออเรสเซนต์แบบมีครีป และใช้แขวนจากเพดาน โคมไฟฟลูออเรสเซนต์ควรติดตั้งแนวยาวของดวงโคมตามทิศทางของการมองเห็น เพื่อไม่ให้เกิดเงาระหว่างโคมที่โต๊ะเรียน

1) ห้องบรรยาย ควรมีการส่องสว่างประมาณ 500 ลักซ์ และการส่องสว่างที่หน้ากระดาน 700 ลักซ์

2) ห้องประชุมใหญ่ การส่องสว่างทั่วไปในห้องประชุมประมาณ 200 ลักซ์ และการส่องสว่างหน้าเวทีใช้ 1,000 - 2,000 ลักซ์

3) ห้องสมุด ต้องการแสงสว่างในการมอง อ่าน และเขียน 3 ที่ คือ หิ้งหนังสือ โต๊ะอ่านหนังสือ และบริเวณตู้คั่นดัชนีหนังสือ การส่องสว่างภายในห้องสมุดมีค่าความส่องสว่างประมาณ 300 ลักซ์

4) อาคารอเนกประสงค์ โดยทั่วไปจะมีเพดานสูงจึงควรใช้โคมที่ใส่หลอดดิสชาร์จ์ประเภทปรอทความดันสูงหรือเมทัลฮาไลต์ เพื่อแสงสว่างทั่วไป และควรมีโคมหลอดฮาโลเจน เพื่อสามารถหรี่แสงได้ตามต้องการ เมื่อต้องการใช้งานบางอย่าง เช่น การฉายวิดีโอ สไลด์ เป็นต้น

6. การส่องสว่างในโรงพยาบาล หลอดไฟที่เหมาะสมสำหรับการตรวจรักษาโรคทั่วไป คือ หลอดคูโลวท์ ยกเว้นโรคผิวหนัง ที่ต้องใช้หลอดเดย์ไลท์จะเหมาะกว่า ดวงโคมที่เหมาะสมสำหรับงานในโรงพยาบาลในบริเวณที่มีคนไข้ คือ โคมที่มีแผ่นกรองแสงขาวขุ่นหรือเกล็ดแก้ว

1) ห้องตรวจคนไข้ การส่องสว่างที่เหมาะสมสำหรับห้องตรวจคนไข้ทั่วไป คือ อย่างน้อย 200 ลักซ์ หากการตรวจรักษาต้องใช้สายตามาก ต้องมีการส่องสว่างมากกว่านี้ และ อาจมีค่าถึง 2,000 ลักซ์

2) แสงสว่างจากโคมไฟผ่าตัด ซึ่งเป็นโคมไฟสำเร็จรูป อาจมีกำลังแสงถึง 10,000 - 20,000 ลักซ์ ดังนั้น แสงรอบข้างอื่น ต้องมีการส่องสว่างมากตามด้วย เพื่อไม่ให้เกิดหน้ามืด เนื่องจาก การส่องสว่างที่ต่างกันมาก

3) โคมไฟเพื่อการส่องสว่างทั่วไปภายในห้อง ซึ่งควรให้ความสว่างมากพอให้เกิด ความส่องสว่างไม่แตกต่างกันมากจากการส่องสว่างที่เกิดจากโคมไฟผ่าตัด การส่องสว่างทั่วไป ภายในห้องอาจใช้ประมาณ 1,000 ลักซ์ และเพื่อการทำงานที่สะดวกด้วย เช่น หยิบเครื่องมือ ผ่าตัด หรืออุปกรณ์อื่น ๆ ที่จำเป็นในช่วงที่มีการผ่าตัด เป็นต้น

4) ห้องจ่ายยา ควรมีการส่องสว่างที่มากเพียงพอ เพื่ออ่านชื่อยาได้อย่างชัดเจนที่ ความส่องสว่างประมาณ 300 ลักซ์

7. การส่องสว่างในพิพิธภัณฑ์ เป็นการส่องสว่างที่ต้องระวังเรื่องการทำ ความเสียหาย กับสิ่งที่นำมาแสดง เนื่องจาก แสงอัลตราไวโอเลตและแสงอินฟราเรดที่มาจากหลอดไฟ เพื่อชะลอ ให้เกิดความเสียหายน้อยลงจึงควรให้แสงสว่างทั่วไปไม่เกิน 50 ลักซ์ การส่องสว่างภายใน พิพิธภัณฑ์จึงไม่ควรมีค่ามาก เนื่องจาก แสงอินฟราเรดและอัลตราไวโอเลตจะทำให้วัตถุเสียหาย เร็วขึ้น (ดังตารางที่ 2.8)

ตารางที่ 2.8

ความส่องสว่างที่เหมาะสมสำหรับวัตถุชนิดต่าง ๆ

ชนิดวัตถุ	ความส่องสว่าง (ลักซ์)
โลหะ หิน เซรามิค เพชรพลอย	ไม่จำกัด
ภาพสีน้ำมัน เขา กระดูก ไม้	150
ผ้า เลื่อ ภาพสีน้ำมัน แสตมป์ กระดาษ ภาพพิมพ์ ภาพเขียน	50

ที่มา: ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540, น. 5-61.

8. การส่องสว่างในร้านค้าและศูนย์การค้า แบ่งเป็น 2 อย่าง คือ การให้แสงสว่างทั่วไป ใช้โคมอินแคนเดสเซนต์หรือโคมฟลูออเรสเซนต์ และการให้แสงสว่างแบบเน้น มักใช้โคมอินแคนเดสเซนต์หรือโคมไฟแรงดันต่ำ

1) ห้างสรรพสินค้า ต้องการการส่องสว่างค่อนข้างสูงโดยทั่วไปใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ และบริเวณที่ต้องการเน้น ใช้ไฟสปอตติดรางบริเวณที่ขายสินค้าที่มีราคาแพง ส่วนใหญ่ใช้หลอดอินแคนเดสเซนต์เป็นแสงสว่างทั่วไป

2) สินค้าประเภทเพชรพลอย ควรใช้ไฟจากหลอดอินแคนเดสเซนต์ ส่วนประเภทเสื้อผ้าควรใช้หลอดที่มี CRI สูง เพื่อให้เสื้อผ้ามีความสวยงาม ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์

3) หลอดปรอทความดันสูง และหลอดเมทัลฮาไลด์ ใช้กันมากในซูเปอร์มาร์เก็ต และห้างสรรพสินค้า เพราะให้ขนาดวัตต์สูง ทำให้ไม่ต้องใช้จำนวนโคมมากเหมือนหลอดฟลูออเรสเซนต์

4) ร้านค้าใช้ค่าส่องสว่างประมาณ 700 - 1,500 ลักซ์

5) หลอดไฟฟ้า ต้องพิจารณาเรื่องแสงสี และอายุการใช้งานด้วย หลอดฮาโลเจนแรงดันต่ำเหมาะที่จะใช้สำหรับการส่องสว่างสินค้าให้เด่นในจุดที่ต้องการเน้น

ตารางที่ 2.9

ค่าความส่องสว่างทั่วไปในห้างสรรพสินค้า

รายละเอียด	ความส่องสว่าง (ลักซ์) ร้านค้าในห้างสรรพสินค้า	ความส่องสว่าง (ลักซ์) ร้านค้าในที่อื่น ๆ
แสงสว่างทั่วไปในร้านค้า	500 - 1,000	300 - 500
ส่องเน้นในร้านค้า	1,500 - 3,000	750 - 1,500
แสงสว่างทั่วไปในตู้กระจก	1,000 - 2,000	500 - 1,000
ส่องเน้นในตู้กระจก	5,000 - 10,000	3,000 - 5,000

ที่มา: จำนวนกฎ ห่อเกียรติ, 2540, น. 5-66.

ตารางที่ 2.10

ความส่องสว่างสำหรับห้างสรรพสินค้าสัมพันธ์กับคุณภาพแสง

รายละเอียด	ลักซ์	องศาเคลวิน
อาหารกระป๋อง	500	3,000/ 5,000
เนื้อ	300	3,000
ปลา	500	4,000
ผลไม้	500	3,000
ขนม	500	3,000/ 3,300
ดอกไม้	750	4,000
เครื่องเขียน	500	3,000
เฟอร์นิเจอร์	500	3,000
เครื่องครัว	500	3,000/ 5,000
เครื่องกีฬา	600	3,000/ 4,000
ของเล่น	500	3,000/ 4,000
ยา	300/ 500	3,000/ 4,000
เครื่องสำอาง	500	3,000
พรม	700	3,000
เครื่องหนัง	500	3,000
ผ้า	500	3,300
รถยนต์	1,000	4,000
เครื่องตกแต่งบ้าน	200	2,600
พื้นที่ทางเดิน	50	2,600/ 4,000
ที่จอดรถ	50	2,600
สวน	50/ 150	4,000
บริเวณขนถ่ายสินค้า	150	2,600/ 4,000

ที่มา: ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540, น. 5-65.

2.2 การศึกษาและวิเคราะห์โปรแกรมด้านแสงสว่างที่ได้มีการจัดทำมาแล้ว

จากการศึกษาลักษณะของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับเรื่องของแสงสว่างภายในอาคาร และการคำนวณการจัดวางตำแหน่งดวงโคมที่ได้มีการจัดทำมาแล้ว ซอฟต์แวร์ที่ช่วยในงานด้านแสงสว่างที่มีอยู่ในปัจจุบัน ส่วนมากเกือบทั้งหมดจะผลิตและพัฒนาขึ้นจากต่างประเทศ อีกทั้ง ค่าการกระจายแสงและค่าต่าง ๆ ของดวงโคม เป็นดวงโคมของผู้ผลิตจากต่างประเทศแทบทั้งสิ้น สามารถแบ่งประเภทของโปรแกรมด้านแสงสว่างตามลักษณะการใช้งานได้ดังต่อไปนี้

1. ซอฟต์แวร์ประเภทงานเขียนแบบและงานนำเสนอ (lighting software plot and visualization) เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการนำเสนอซึ่งอาจเป็นภาพนิ่ง ได้แก่ โปรแกรม 3ds Max 6.0

2. ซอฟต์แวร์ประเภทงานเอกสาร (paperwork) เช่น ใช้ในการคำนวณแสง ค่าการกระจายแสง และการตกกระทบ เป็นต้น แสดงผลเป็นค่ากราฟตัวเลข ผู้ใช้ต้องเป็นผู้ที่มีความรู้พื้นฐานในการออกแบบแสงสว่างมาพอสมควร ได้แก่ โปรแกรม Lightscape 3.2 โปรแกรม DIALux 3

3. ซอฟต์แวร์ในงานทางเทคนิค (technical) ใช้ในอุตสาหกรรมด้านแสงสว่าง ผู้ผลิตดวงโคมทำการพัฒนาขึ้น เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต ซึ่งผู้ใช้ต้องมีความชำนาญเฉพาะด้าน

4. ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการควบคุมแสงสว่าง (lighting control) เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการควบคุม และจัดการปริมาณการส่องสว่างด้วยคอมพิวเตอร์เหมาะกับองค์กรที่มีการจัดการระบบที่ดีและมีทุนทรัพย์

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้คัดเลือกและนำมาวิเคราะห์ประกอบไปด้วย

1. โปรแกรมจำลองสภาพแสง Lightscape Version 3.2

2. โปรแกรมจำลองสภาพแสง และการจัดวางตำแหน่งดวงโคมภายในอาคาร DIALux 3

โดยมีหัวข้อในการวิเคราะห์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ แบ่งออกได้เป็นดังนี้

1. ระบบการทำงาน

2. ระบบการป้อนข้อมูล

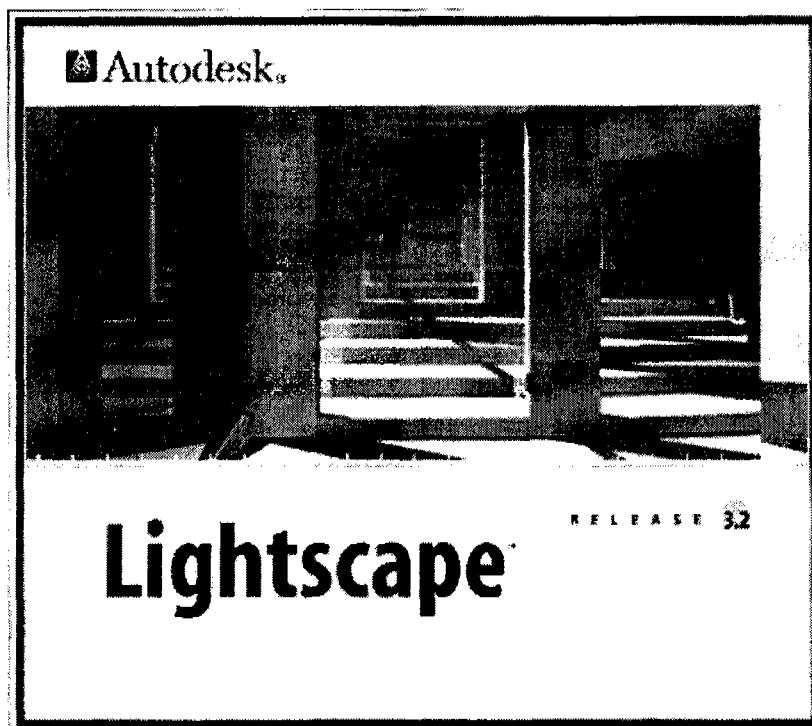
3. ระบบการประมวลผล

4. ระบบการแสดงผล

2.2.1 โปรแกรมจำลองสภาพแสง Lightscape Version 3.2

ภาพที่ 2.8

ลักษณะของโปรแกรม Lightscape Version 3.2



ที่มา: Autodesk Co.,Ltd., 1999.

1. ข้อมูลเบื้องต้น เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ถูกพัฒนาขึ้น โดยบริษัท Autodesk จำกัด ประเทศสหรัฐอเมริกา มีวัตถุประสงค์ในการจำลองสภาพแสงสว่างโดยใช้วิธีการคำนวณแบบจุดต่อจุด และการสะท้อนรังสีของแสงบนพื้นผิวทุกพื้นผิว (radiosity) ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมาก โปรแกรมนี้ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows

1) ดวงโคมและการจัดแสง ดวงโคม (luminaires) ที่ใช้โปรแกรม Lightscape แต่ละดวงมีคุณสมบัติ ลักษณะทางกายภาพ ตามข้อมูลของบริษัทผู้ผลิต เช่น Bega Erco Kurt Versen Lithonia Peerless เป็นต้น อีกทั้งสามารถเลือกใช้ดวงโคมจากบริษัทผู้ผลิตอื่น ๆ ที่ไม่มีอยู่ในโปรแกรมได้ โดยใช้ไฟล์ IES ที่มาจากผู้ผลิตดวงโคม การจัดแสงมีทั้งการให้แสงประดิษฐ์ภายในอาคารและการจัดแสงธรรมชาติ บางครั้งต้องใช้การจัดแสงทั้งสองประเภทร่วมกัน เพื่อให้ได้แสงที่

ถูกต้องตามความเป็นจริงมากที่สุด การคำนวณจะคำนวณการสะท้อนแสงบนพื้นที่ทุกจุด โดยสะท้อนไปมา เป็นวิธีการคำนวณที่ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำ (ดังภาพที่ 2.9)

ภาพที่ 2.9

ตัวอย่างภาพที่สร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรม Lightscape ในการจำลองสภาพแสง



ที่มา: Autodesk Co.,Ltd., 1999.

2) ประเภทผู้ใช้งาน ได้แก่ นักเขียนภาพ perspective นักออกแบบแสงสว่าง สถาปนิก และ interior designer

3) ระดับผู้ใช้งาน มีความชำนาญในการใช้คอมพิวเตอร์มาก และมีพื้นฐานความรู้ในเรื่องการออกแบบแสง

4) ลักษณะหน้าต่างของโปรแกรม เช่นเดียวกับโปรแกรมที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows ทั่วไป คือ มีลักษณะเป็นหน้าต่างแบ่งเป็นหมวดหมู่ มีส่วนของเมนู และทูลบาร์ มีช่องให้ป้อนข้อมูล

5) เทคนิควิธีการที่ใช้ในการคำนวณ การคำนวณแบบ Radiosity คือ การคำนวณการสะท้อนเข้าไปเข้ามาบนทุกพื้นผิว และการคำนวณการสะท้อนแสงแบบ Raytrace

6) ปัจจัยสภาพแวดล้อมภายนอก มีการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์

7) การแสดงผลของการคำนวณ แผลงผลออกมาเป็นภาพและเส้นแสงแสดงความสว่างของแสง

8) ผลลัพธ์ของโปรแกรม Lighting Analysis, Image File, VRML และ Animation

9) ข้อดีของการใช้โปรแกรม

(1) ให้ผลลัพธ์การคำนวณแสงสว่างที่มีความแม่นยำ เทียบตรง และได้ภาพที่เหมือนจริงมาก

(2) มี Library ให้เลือกมากมาย เช่น ดวงโคมจากบริษัทผู้ผลิต วัสดุ เป็นต้น และสามารถนำไฟล์จากโปรแกรม 3 มิติ ต่าง ๆ มาใช้งานได้

(3) เป็นโปรแกรมการออกแบบแสงสว่างที่มีประสิทธิภาพมาก

10) ข้อเสียของการใช้โปรแกรม

(1) ผู้ใช้ต้องมีพื้นฐานความรู้ในเรื่องระบบแสงสว่าง และต้องมีความเชี่ยวชาญในการทำงาน 3 มิติ ไม่เหมาะกับผู้ใช้ทั่วไป เนื่องจากการใช้งานยาก ต้องมีการศึกษาการใช้งานในระดับหนึ่ง

(2) ใช้ทรัพยากรของเครื่องในการคำนวณมาก และใช้เวลาคำนวณนาน

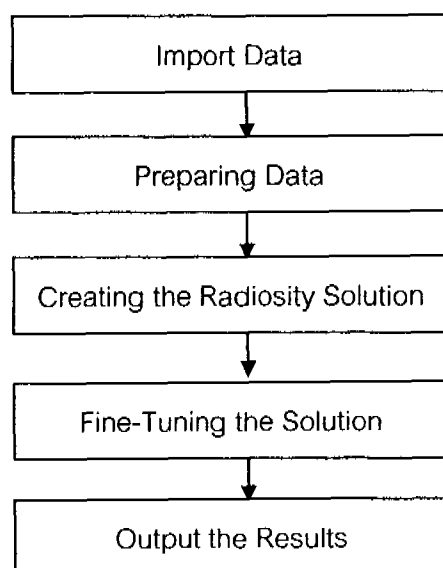
(3) ต้องใช้เวลาในการเรียนรู้การใช้งานโปรแกรม

(4) การป้อนข้อมูลค่อนข้างสับสน และผู้ใช้งานต้องมีพื้นฐานความรู้ในการใช้งานโปรแกรมอยู่บ้าง

2. ระบบการทำงาน (ดังภาพที่ 2.10)

ภาพที่ 2.10

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม Lightscape



ที่มา: Autodesk Co.,Ltd., 1999.

1) import data เป็นขั้นตอนการนำข้อมูลเข้ามาใช้ จากโปรแกรม Auto CAD หรือ 3D Modeling

2) preparing data เป็นขั้นตอนการเตรียม modeling ในกระบวนการคำนวณรังสีตกกระทบ

(1) ใส่ material บนพื้นผิวของวัตถุ

(2) ใส่ตำแหน่ง เลือกรูชนิด และกำหนดลักษณะทางกายภาพของดวงโคม

3) creating the radiosity solution เป็นขั้นตอนเริ่มต้นการคำนวณแสง

(1) เตรียมรูปทรงเพื่อใช้ในการคำนวณและกำหนดความละเอียดในการกระจายแสงเพื่อให้เกิดความแม่นยำ

(2) เริ่มต้นกระบวนการคำนวณ

4) fine-tuning the solution เป็นขั้นตอนการปรับเปลี่ยนแก้ไขลักษณะพื้นผิวและคุณสมบัติการกระจายแสงของดวงโคม

5) output the results เป็นขั้นตอนแสดงผลลัพธ์ มีหลายวิธีดังนี้

(1) ภาพนิ่ง สามารถเพิ่มการคำนวณค่าการสะท้อนและ effect ของแสง โดยกระบวนการ RayTrace

(2) สร้างภาพเคลื่อนไหวในตัวโปรแกรมเลย หรือโอนไปยังโปรแกรมอื่น

(3) export ข้อมูลแบบ VRML Model ให้กับโปรแกรมอื่นในขั้นตอน radiosity solution

(4) Export ข้อมูลเป็นภาพมุกกว้าง (panoramic image) ในขั้นตอน radiosity solution โดยปราศจากการ RayTrace

3. ข้อมูลเบื้องต้นระบบการป้อนข้อมูลระบบการป้อนข้อมูลของโปรแกรม Lightscape สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1) การป้อนข้อมูลโดยการป้อนค่าด้วยตนเอง (ดังภาพที่ 2.11)

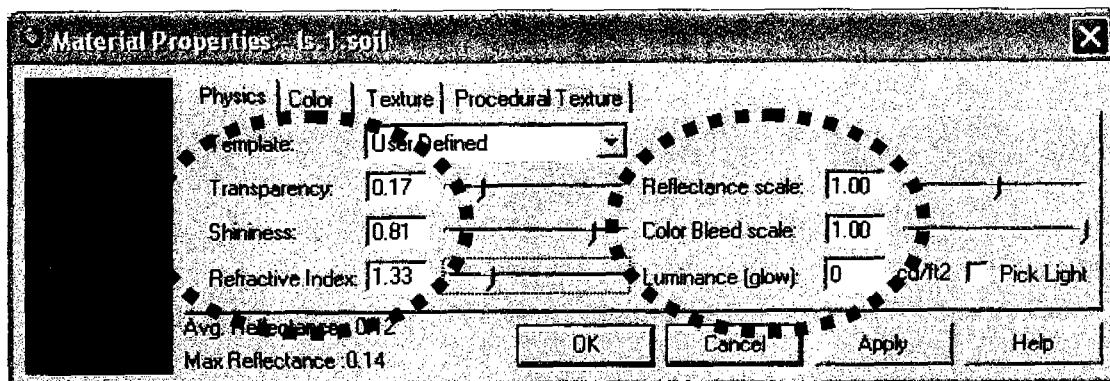
2) การป้อนข้อมูลโดยการเลือกจากค่าที่กำหนดมาให้ (ดังภาพที่ 2.12)

3) การป้อนข้อมูลโดยการเลื่อน / ปรับเปลี่ยนค่า (ดังภาพที่ 2.13)

4) การใช้เมาส์ช่วยในการปรับตำแหน่ง (ดังภาพที่ 2.14)

ภาพที่ 2.11

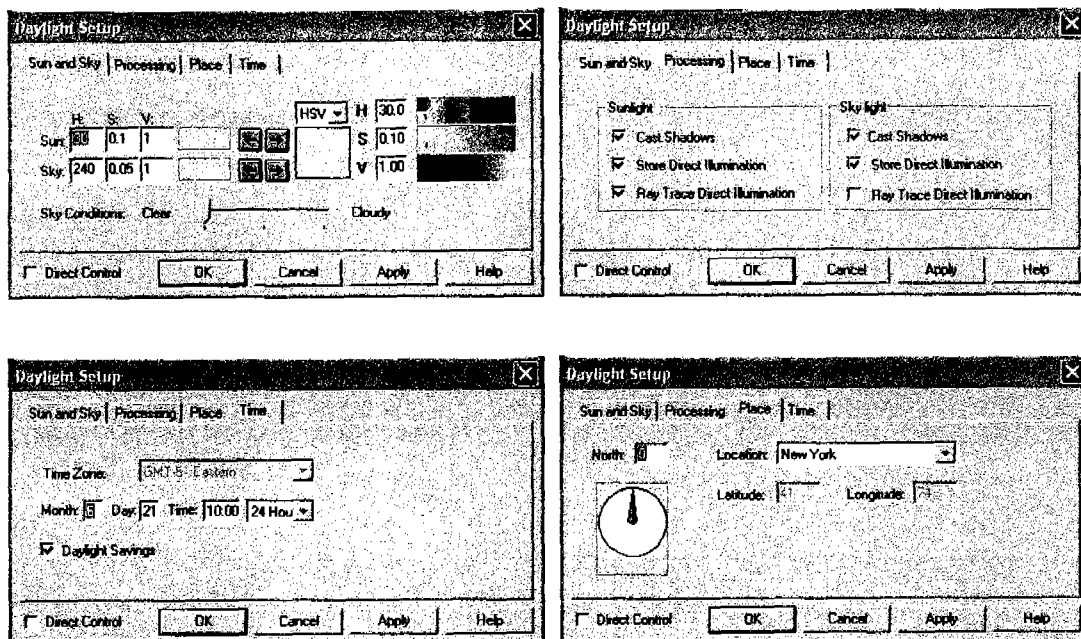
การป้อนข้อมูลโดยการป้อนค่าด้วยตนเอง



ที่มา: Autodesk Co.,Ltd., 1999.

ภาพที่ 2.12

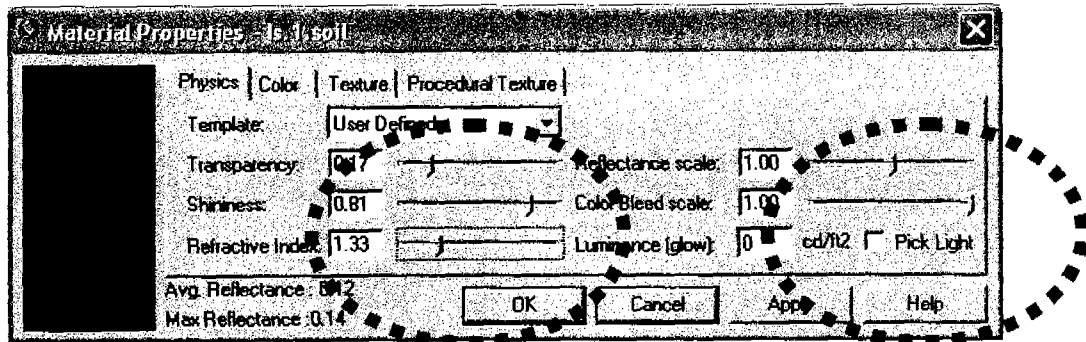
การป้อนข้อมูลโดยการเลือกจากค่าที่กำหนดมาให้



ที่มา: Autodesk Co.,Ltd., 1999.

ภาพที่ 2.13

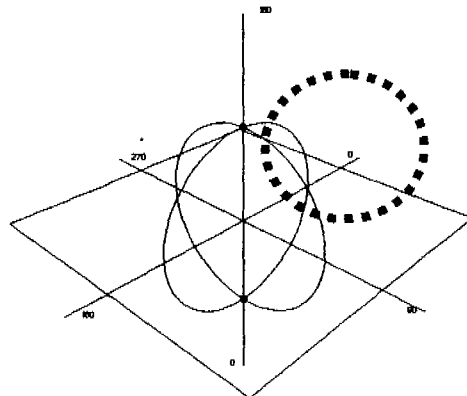
การป้อนข้อมูลโดยการเลื่อน/ปรับเปลี่ยนค่า



ที่มา: Autodesk Co.,Ltd., 1999.

ภาพที่ 2.14

การใช้เมาส์ช่วยในการปรับตำแหน่ง

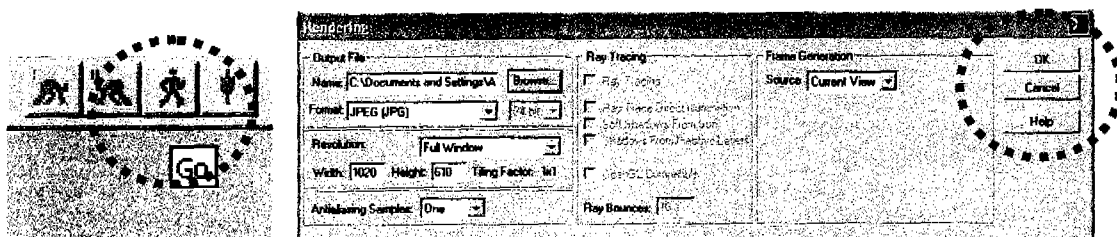


ที่มา: Autodesk Co.,Ltd., 1999.

4. ระบบการประมวล เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการป้อนข้อมูลแล้ว หากต้องการทราบผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจะต้องทำการสั่งให้ประมวลผลทุกครั้ง (ดังภาพที่ 2.15)

ภาพที่ 2.15

ระบบการประมวลผล



ที่มา: Autodesk Co.,Ltd., 1999.

5. ระบบการแสดงผล

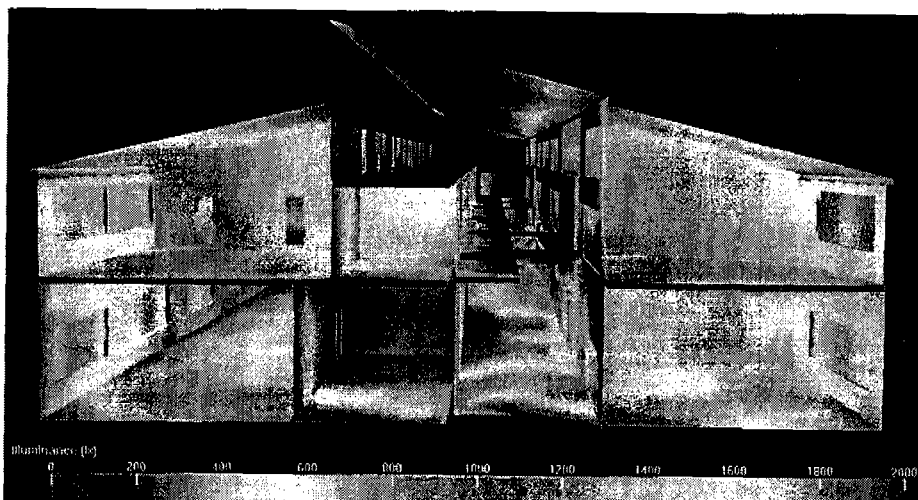
- 1) การแสดงผลด้วยรูปภาพ (ดังภาพที่ 2.16)
- 2) การแสดงผลด้วยการเทียบค่าสี (ดังภาพที่ 2.17)

ภาพที่ 2.16
การแสดงผลด้วยรูปภาพ



ที่มา: Autodesk Co.,Ltd., 1999.

ภาพที่ 2.17
การแสดงผลด้วยการเทียบค่าสี



ที่มา: Autodesk Co.,Ltd., 1999.

6. ขั้นตอนการใช้งานโดยสังเขป

1) ส่วนเมนูหลัก (main menu) เมื่อเข้าสู่โปรแกรม Lightscape จะพบกับหน้าจอเมนูหลัก ซึ่งเป็นส่วนแรกของการเริ่มต้นการทำงาน ในเมนูหลักประกอบด้วย พื้นที่ทำงาน ปุ่มคำสั่งเมนูคำสั่ง และรายการผลิตภัณฑ์แบ่งออกตามประเภท เช่น รายการวัสดุ รายการดวงโคม รายการเลย์เออร์ และรายการวัตถุ เป็นต้น (ดังภาพที่ 2.18)

2) ส่วนปุ่มคำสั่ง (toolbar buttons) เป็นกลุ่มของปุ่มคำสั่งที่แบ่งตามลักษณะการใช้งาน ใช้สำหรับการกำหนดค่าการปรับเปลี่ยน การเลือกวัตถุ กำหนดมุมมอง กำหนดการแสดงผล และเริ่มต้นการคำนวณ ประกอบด้วย ส่วนต่าง ๆ เช่น Display, Projection, Radiosity Processing, Selection, Shading, Standard, Tables, Transformation, View Control เป็นต้น (ดังภาพที่ 2.19)

3) ส่วนรายการวัตถุและรายการเลย์เออร์ (toggle block and layer tables) เป็นส่วนเก็บรายชื่อวัตถุที่ทำการสร้างขึ้น ด้วยโปรแกรม Lightscape หรือนำเข้ามาจากโปรแกรม 3 มิติอื่น ๆ สามารถทำการเพิ่มและแก้ไขได้ เมื่อแก้ไขเสร็จแล้วกดปุ่ม "File / Save As" เพื่อบันทึก เพื่อให้สามารถนำกลับมาใช้อีกมณครั้งต่อ ๆ ไป (ดังภาพที่ 2.20)

4) ส่วนรายการวัสดุ (toggle material tables) เป็นส่วนเก็บรายการวัสดุ และสามารถปรับค่าได้ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ เช่น Physics, Color, Texture, Procedural Textile เป็นต้น (ดังภาพที่ 2.21)

5) ส่วนรายการดวงโคม (toggle luminaire tables) เป็นส่วนเก็บรายการดวงโคม เพื่อนำไปใช้คำนวณค่าความส่องสว่างสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ เช่น Source Type, Source Transformation, Lamp Color Specification, Intensity เป็นต้น (ดังภาพที่ 2.22)

6) ส่วนพื้นที่ทำงาน (working area) เป็นส่วนสำคัญในการคำนวณ เนื่องจากพื้นที่ห้องที่ถูกวาดเป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลในการคำนวณ โดยมีรายละเอียดในการกำหนดค่าต่าง ๆ เช่น Coordinates, Grid เป็นต้น (ดังภาพที่ 2.23)

7) ส่วนแสดงผลการคำนวณด้วยรูปภาพ เป็นผลลัพธ์การคำนวณการจัดแสง เมื่อเลือกที่เมนู File/ Render จะปรากฏทูลบ็อกซ์ rendering ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ เช่น Output file, Resolution, Antialias Samples, Ray Tracing, Frame Generation เป็นต้น (ดังภาพที่ 2.24)

8) เมื่อทำการคำนวณผลเรียบร้อยแล้ว เมื่อเลือกที่เมนู Light/Analysis จะปรากฏทูลบ็อกซ์ การวิเคราะห์แสงสว่าง ข้อมูลที่แสดงแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ Display, Statistic และ Grid (ดังภาพที่ 2.25)

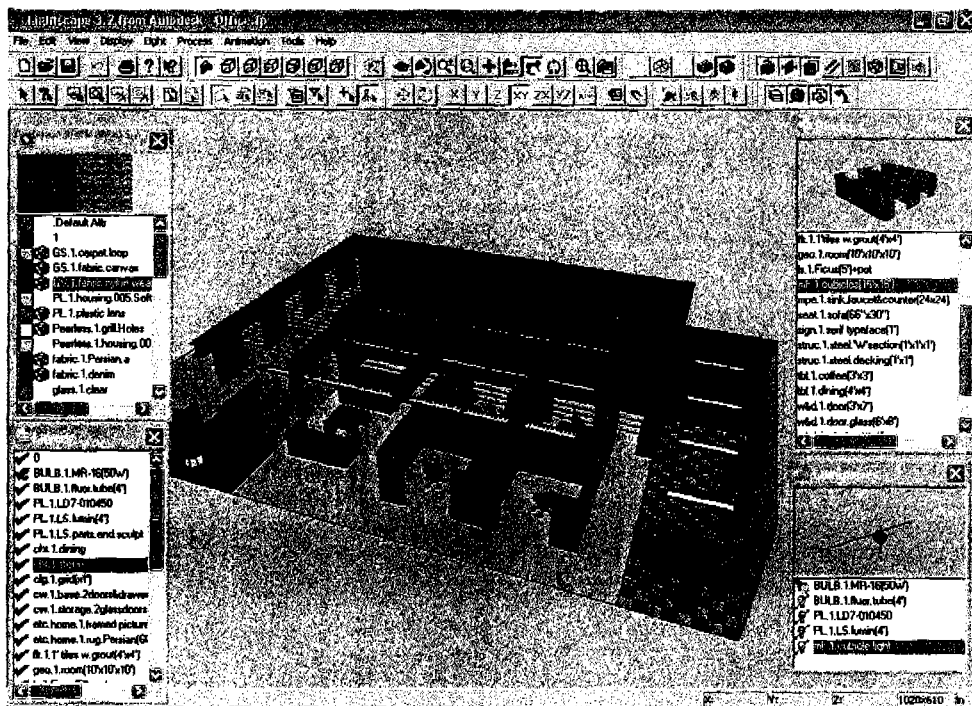
(1) Display เป็นรูปแบบการแสดงผล ประกอบด้วย การแสดงผลแบบเทียบค่าสี การแสดงผลแบบเทียบค่าสีเทา และการแสดงผลแบบรูปภาพ เลือกรูปแบบค่าการส่องสว่างในหน่วยลักซ์หรือ แคนเดลาต่อตารางเมตร

(2) Statistic เป็นรูปแบบการแสดงผลของการคำนวณแบบจุดต่อจุด ค่าการส่องสว่าง สูงสุด - ต่ำสุดบนพื้นผิว และค่าการส่องสว่างเฉลี่ยบนพื้นผิว โดยให้คลิกที่จุดที่ต้องการทราบค่าความส่องสว่าง

(3) Grid เป็นกำหนดการแสดงผลแบบตัวเลข เรียงเป็นระเบียบปรากฏบนพื้นผิว สามารถกำหนดค่าความละเอียดของการแสดงผล และจำนวนตัวเลขทศนิยม

ภาพที่ 2.18

หน้าจอหลักของโปรแกรม Lightscape



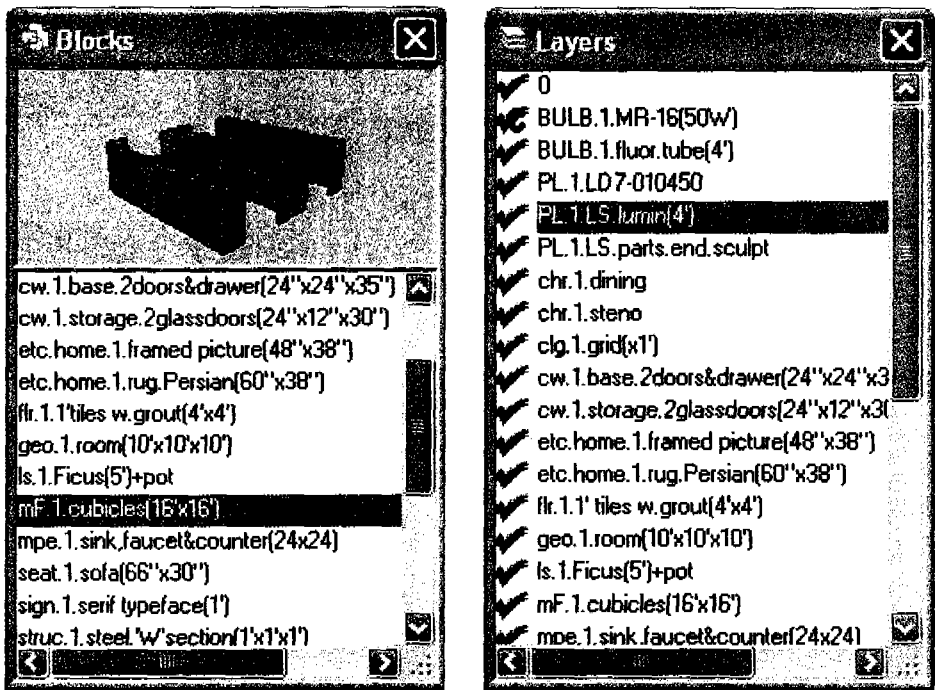
ที่มา: Autodesk Co.,Ltd., 1999.

ภาพที่ 2.19
ทูลบาร์ของโปรแกรม Lightscape



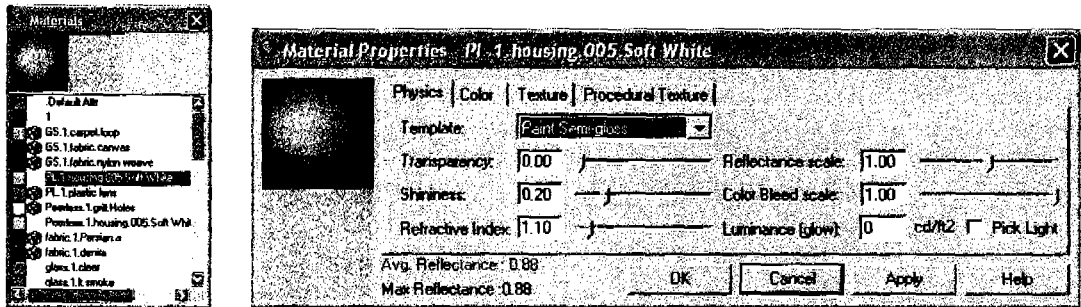
ที่มา: Autodesk Co.,Ltd., 1999.

ภาพที่ 2.20
รายการวัตถุ และรายการเลเยอร์



ที่มา: Autodesk Co.,Ltd., 1999.

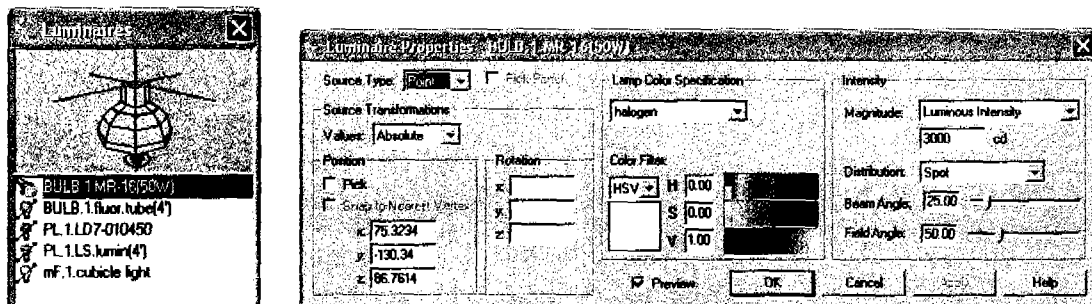
ภาพที่ 2.21
รายการวัสดุ



ที่มา: Autodesk Co.,Ltd., 1999.

ภาพที่ 2.22

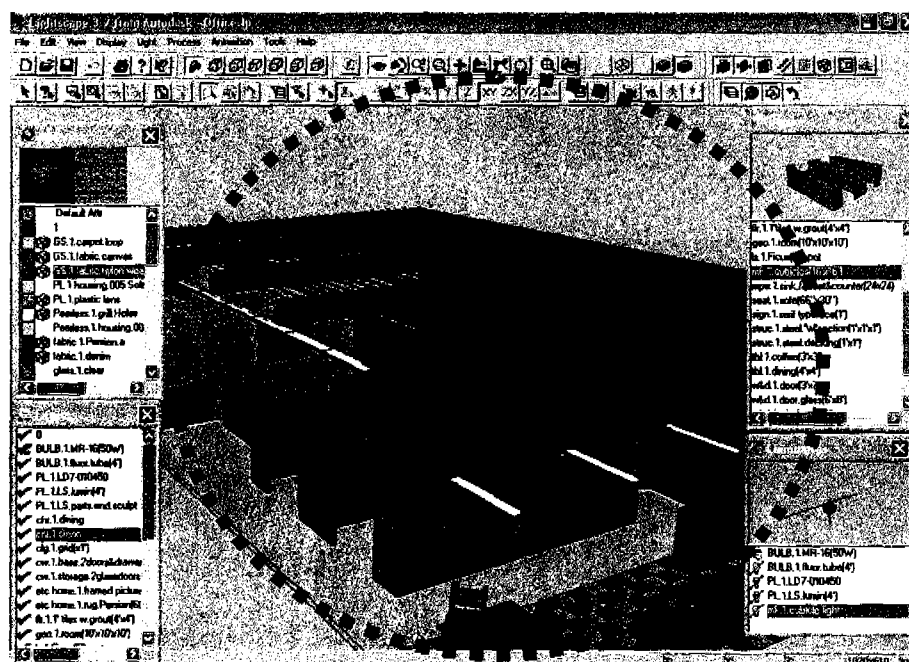
รายการดวงโคม



ที่มา: Autodesk Co.,Ltd., 1999.

ภาพที่ 2.23

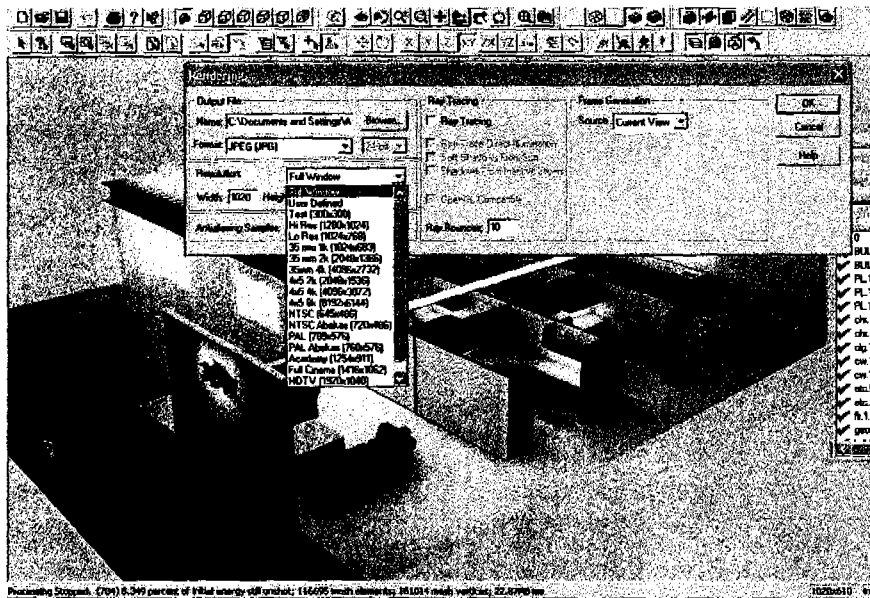
พื้นที่ทำงานของโปรแกรม Lightscape



ที่มา: Autodesk Co.,Ltd., 1999.

ภาพที่ 2.24

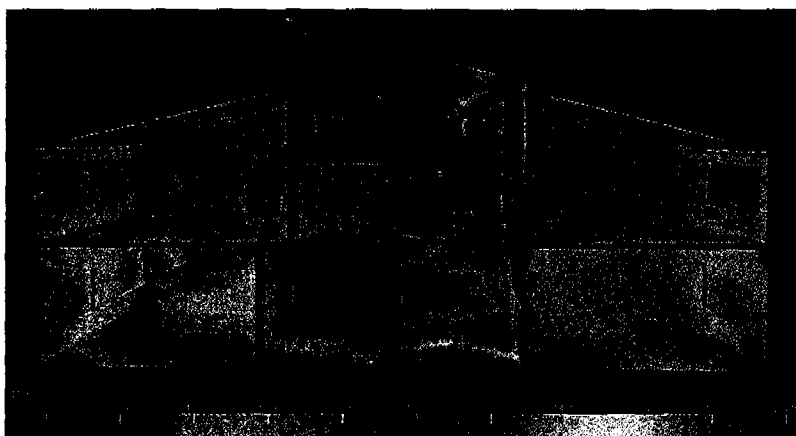
ผลลัพธ์การคำนวณด้วยรูปภาพและเมนูแปลงเป็นไฟล์ภาพ



ที่มา: Autodesk Co.,Ltd., 1999.

ภาพที่ 2.25

ผลลัพธ์การคำนวณแบบการเทียบค่าสีและแบบตัวเลข



ที่มา: Autodesk Co.,Ltd., 1999.

2.2.2 โปรแกรมจำลองสภาพแสงสว่างและการจัดวางตำแหน่งดวงโคมภายในอาคาร DIALux 3

ภาพที่ 2.26

ลักษณะของโปรแกรม DIALux



ที่มา: DIAL Co.,Ltd., 2003.

1. ข้อมูลเบื้องต้น เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท DIAL จำกัด ประเทศเยอรมัน มีวัตถุประสงค์ เพื่อช่วยในการจัดวางดวงโคม สามารถจำลองสภาพแสงสว่าง เพื่อดูผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น โปรแกรมนี้เปิดให้มีการใช้งานได้ฟรี ไม่จำกัดเรื่องลิขสิทธิ์ มีเป้าหมายในการขยายตัวในอนาคตโดยให้ผู้ผลิตดวงโคมบริษัทต่าง ๆ ในยุโรป ที่ต้องการเข้าร่วมในการพัฒนาฐานข้อมูลของผลิตภัณฑ์ ทำการส่งข้อมูลผลิตภัณฑ์ให้ผู้จัดทำโปรแกรมบรรจุลงในฐานข้อมูลดวงโคม เพื่อให้ผู้ใช้เลือกใช้งานสามารถนำไฟล์เขียนแบบ (DXF file) เข้ามาใช้งานได้โปรแกรมนี้ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows

1) ดวงโคมและการจัดแสง การจัดแสงจะไม่คำนึงถึงการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้งาน จะใช้เพียงแสงประดิษฐ์เพียงอย่างเดียว และพื้นที่ใช้งานเป็นพื้นที่ปิด ไม่มีแสงสว่างจากภายนอกบริเวณ ดวงโคมที่ใช้ในโปรแกรมเป็นดวงโคมจากยุโรป ได้แก่ AEG, Bega, Erco, Osram, Philips เป็นต้น โดยจัดทำในรูปแบบของ plug-in ฐานข้อมูลดวงโคมที่ต้องทำการติดตั้งเพิ่มเติมเข้าไป การคำนวณจะคำนวณการสะท้อนแสงบนพื้นที่ทุกจุด โดยสะท้อนไปมาทุกระนาบ เป็นวิธีการคำนวณที่ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ค่อนข้างแม่นยำ แต่จะแสดงค่าความสว่างในรูปแบบ grayscale ไม่นำค่าสีมาใช้ในการคำนวณ ใช้เวลาในการคำนวณไม่มากนัก

2) ประเภทผู้ใช้งาน ได้แก่ วิศวกรไฟฟ้า บริษัทผู้ผลิตดวงโคม นักออกแบบแสงสว่าง สถาปนิก และ interior designer

3) ระดับผู้ใช้งาน มีความชำนาญในการใช้คอมพิวเตอร์พอสมควร มีพื้นฐานความรู้ในเรื่องการออกแบบแสงสว่าง และใช้เวลาในการเรียนรู้โปรแกรมไม่นานนัก

4) การแสดงผลของโปรแกรม มีลักษณะเป็นหน้าต่างแบ่งเป็นหมวดหมู่ มีส่วนของเมนู ทูลบาร์ และมีช่องให้ป้อนข้อมูล

5) เทคนิควิธีการที่ใช้ในการป้อนข้อมูล เลือกป้อนข้อมูลเอง หรือใช้ Wizard บังคับให้การป้อนข้อมูลเป็นขั้นตอน และเหมาะกับผู้ใช้ที่เพิ่งเริ่มต้นการใช้โปรแกรม

6) เทคนิควิธีการที่ใช้ในการคำนวณ การคำนวณแบบพังก์ชันส่องสว่างสะท้อนไปมาทุกพื้นผิว

7) ปัจจัยสภาพแวดล้อมภายนอก ไม่คำนึงถึงแสงจากภายนอกและแสงธรรมชาติ และใช้เพียงแสงประดิษฐ์

8) การแสดงผลของการคำนวณ

(1) ภาพ 3 มิติแบบ grayscale สามารถหมุนแบบ interactive เพื่อดูผลลัพธ์ได้

(2) รายละเอียดทางวิศวกรรมของดวงโคมที่เลือกใช้งาน

(3)ผังการจัดวางตำแหน่งดวงโคม และเฟอร์นิเจอร์

(4) แสดงผลแบบตัวเลข และเส้นกราฟ แสดงค่าการส่องสว่างในแต่ละระนาบ

9) ข้อดีของการใช้โปรแกรม

(1) แสดงภาพ 3 มิติแบบ grayscale ทำให้เห็นภาพชัดเจน เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ต่อไป

(2) มี library ดวงโคมจากบริษัทผู้ผลิตมากมาย เป็นโปรแกรมการออกแบบแสงสว่างที่มีประสิทธิภาพ รวมทั้ง แสดงผลการคำนวณที่ละเอียด

10) ข้อเสียของการใช้โปรแกรม

(1) ผู้ใช้ต้องมีพื้นฐานความรู้ในเรื่องแสงสว่าง และต้องมีความเชี่ยวชาญในการทำงาน 3 มิติ ไม่เหมาะกับผู้ใช้ทั่วไป เนื่องจาก มีการใช้งานยาก ต้องมีการศึกษาการใช้งานในระดับหนึ่ง

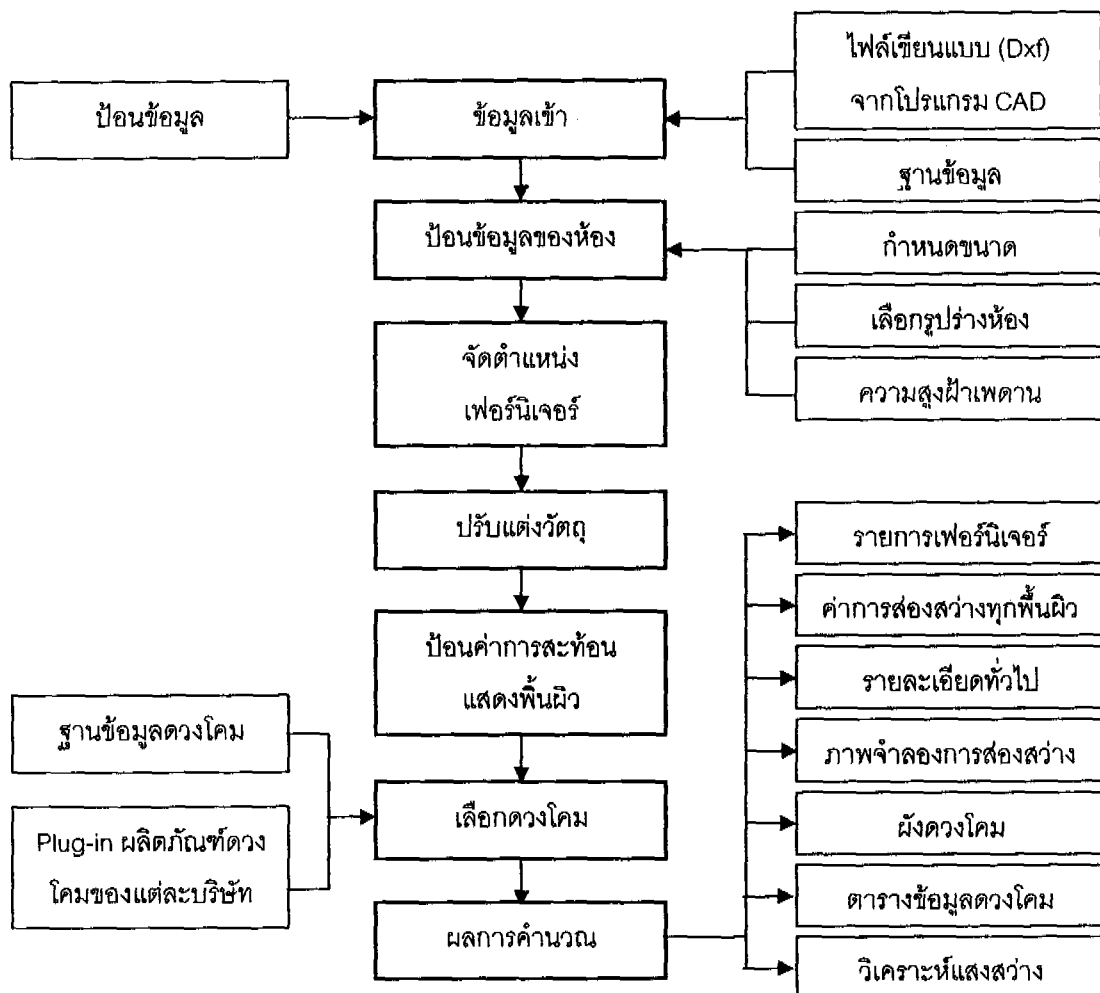
(2) ใช้ทรัพยากรของเครื่องในการคำนวณมาก และใช้เวลาคำนวณนาน

- (3) ต้องใช้เวลาในการเรียนรู้การใช้โปรแกรม
- (4) การป้อนข้อมูลค่อนข้างสับสน และผู้ใช้งานต้องมีพื้นฐานความรู้ในการใช้งานโปรแกรมอยู่บ้าง
- (5) ผู้ใช้ต้องมีความเชี่ยวชาญในเรื่องแสงสว่างมาก และสามารถเข้าใจค่าที่วิเคราะห์ได้

2. ระบบการทำงาน (ดังภาพที่ 2.27)

ภาพที่ 2.27

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม DIALux



3. ข้อมูลเบื้องต้นระบบการป้อนข้อมูล ระบบการป้อนข้อมูลของโปรแกรม DIALux สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

- 1) การป้อนข้อมูลโดยการป้อนค่าด้วยตนเอง (ดังภาพที่ 2.28)
- 2) การป้อนข้อมูลโดยการเลือกจากค่าที่กำหนดมาให้ (ดังภาพที่ 2.29)
- 3) การป้อนข้อมูลโดยใช้เมาส์ช่วยในการปรับตำแหน่ง (ดังภาพที่ 2.30)

ภาพที่ 2.28

การป้อนข้อมูลโดยการป้อนค่าด้วยตนเอง

What is the room's dimensions?

Length (a): m

Width (b): m

How high is the room?

Height: m

How high above the ground is the workplane?

Height: m

Wall Zone: m

The calculation grid on the workplane can be generated as follows. Select the method which suits you.

☐ Automatic

☒ Manually

Distance of points: m

ที่มา: DIAL Co.,Ltd., 2003.

ภาพที่ 2.29

การป้อนข้อมูลโดยการเลือกจากค่าที่กำหนดมาให้

Material

- Standard Ceiling
- Standard Ceiling
- Mortar (light)
- Large Cast
- Plaster of Paris, Plaster Work
- Marble
- Paper
- Metal
- Enamel
- Concrete
- Wood (dark)

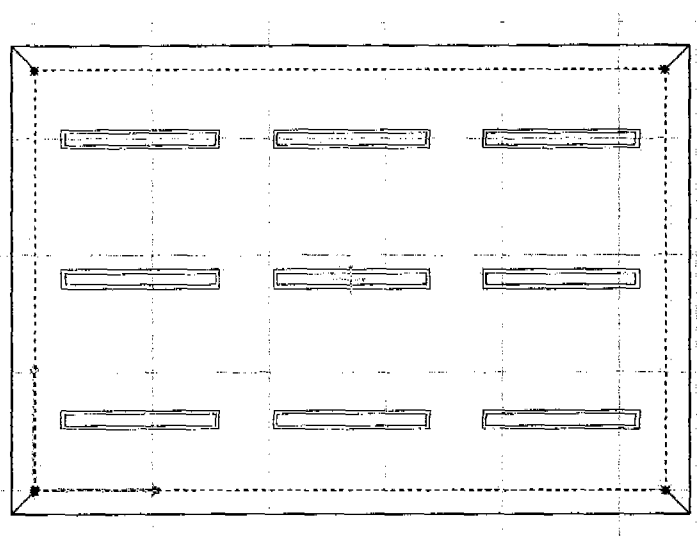
Luminaire

- DIAL 3 BS 900-Leuchte
- DIAL 3 BS 900-Leuchte
- DIAL 29 Mastaufsatzleuchte, 1 HME 80w

ที่มา: DIAL Co.,Ltd., 2003.

ภาพที่ 2.30

การป้อนข้อมูลโดยใช้เมาส์ช่วยในการปรับตำแหน่ง

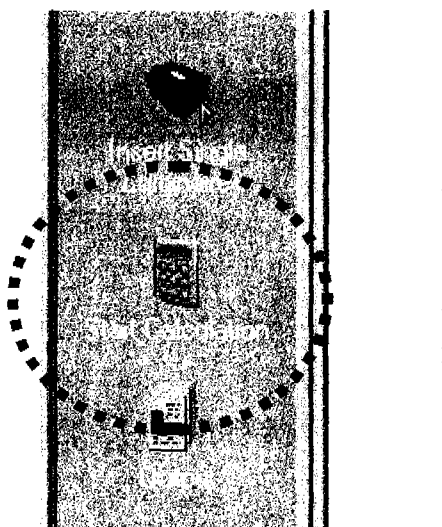


ที่มา: DIAL Co.,Ltd., 2003.

4. ระบบการประมวลผล เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการป้อนข้อมูลแล้ว หากผู้ใช้งานต้องการทราบผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นแล้ว จะต้องทำการสั่งให้ประมวลผลทุกครั้ง (ดังภาพที่ 2.31)

ภาพที่ 2.31

ระบบการประมวลผล



ที่มา: DIAL Co.,Ltd., 2003.

5. ระบบการแสดงผล

- 1) การแสดงผลด้วยตัวอักษร/ ตัวเลข (ดังภาพที่ 2.32)
- 2) การแสดงผลด้วยลายเส้น (ดังภาพที่ 2.33)
- 3) การแสดงผลด้วยการเทียบค่าสี (ดังภาพที่ 2.34)
- 4) การแสดงผลด้วยรูปภาพ (ดังภาพที่ 2.35)

ภาพที่ 2.32

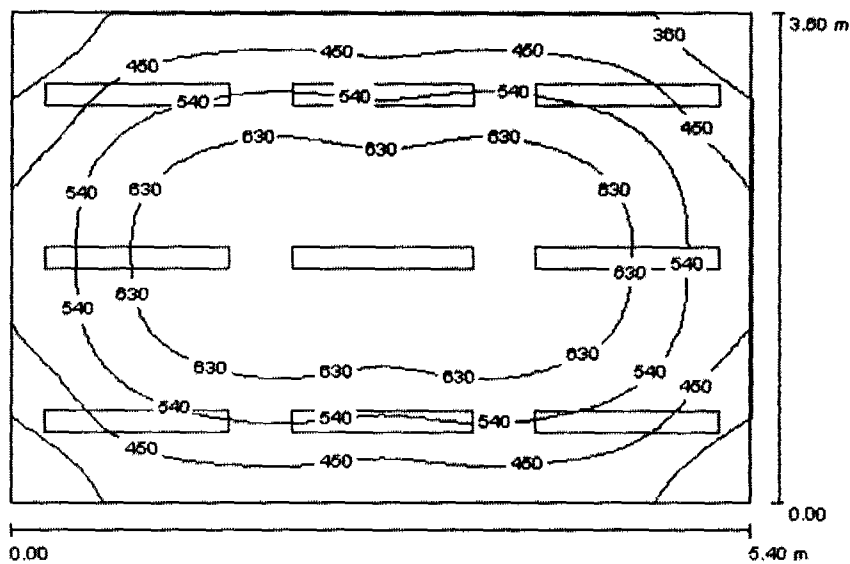
การแสดงผลด้วยตัวอักษร/ ตัวเลข

Surface	Average illuminances [lx]			Reflection factor [%]	Average luminance [cd/m ²]
	direct	indirect	total		
Workplane	467	75	542	/	/
Floor	388	87	475	20	30
Ceiling	0.00	90	90	70	20
Wall 1	107	84	192	50	31
Wall 2	91	83	174	50	28
Wall 3	107	84	192	50	31
Wall 4	91	83	174	50	28

ที่มา: DIAL Co.,Ltd., 2003.

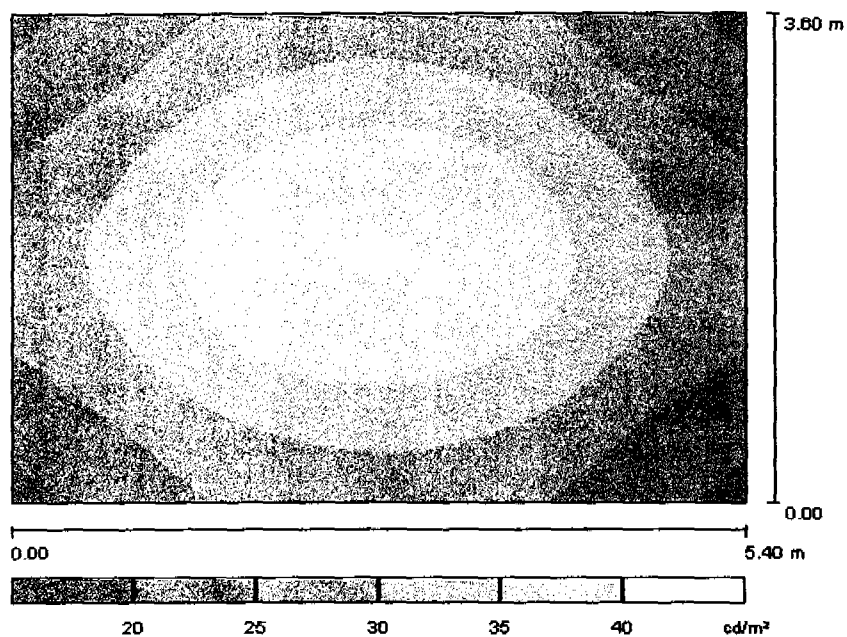
ภาพที่ 2.33

การแสดงผลด้วยลายเส้น



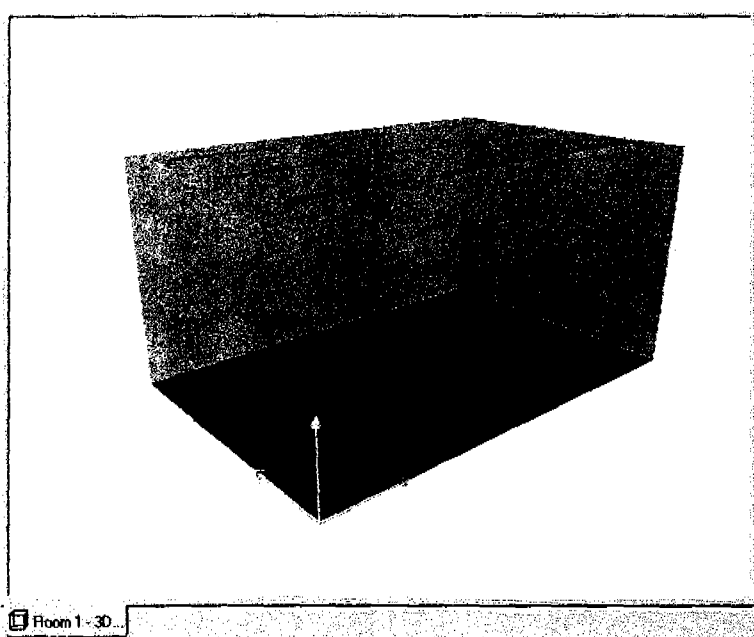
ที่มา: DIAL Co.,Ltd., 2003

ภาพที่ 2.34
การแสดงผลด้วยการเทียบค่าสี



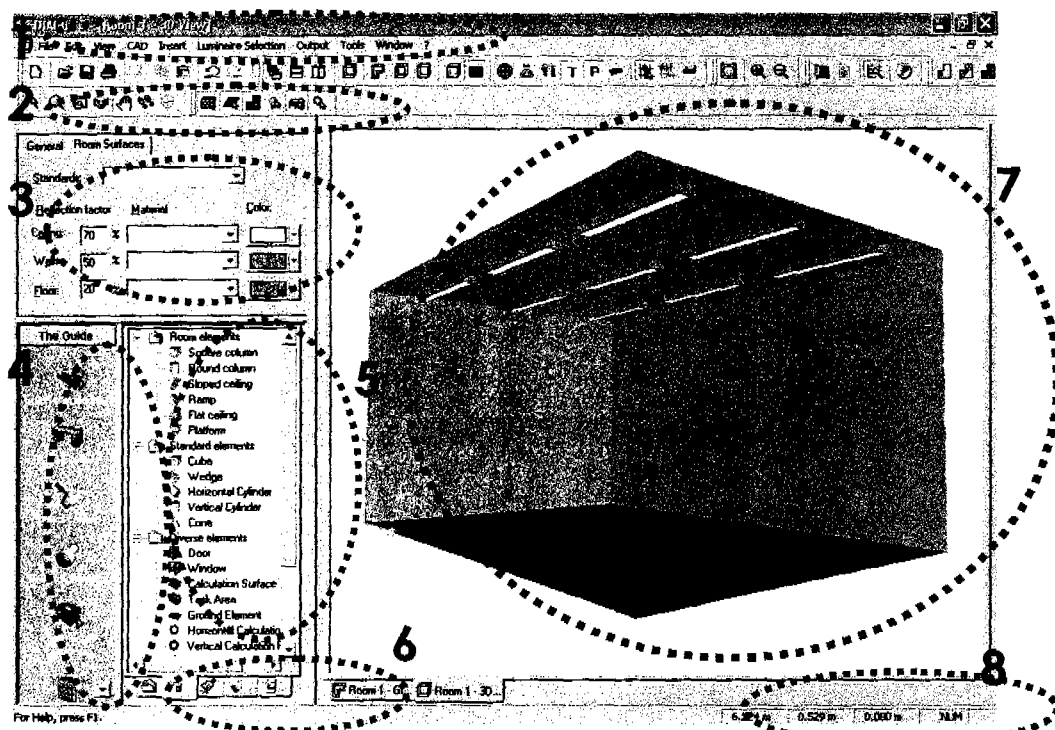
ที่มา: DIAL Co.,Ltd., 2003.

ภาพที่ 2.35
การแสดงผลด้วยรูปภาพ



ที่มา: DIAL Co.,Ltd., 2003.

ภาพที่ 2.36
การแสดงส่วนประกอบของโปรแกรม



ที่มา: DIAL Co.,Ltd., 2003.

6. ส่วนประกอบของโปรแกรม (ดังภาพที่ 2.36)

ส่วนที่ 1 Pull Down Menu จะประกอบไปด้วยชุดคำสั่ง เช่น File, Edit, View, CAD, Inset, Luminaire Selection, Output, Tools, Window, ? (Help) เป็นต้น

ส่วนที่ 2 Toolbars ประกอบไปด้วยกลุ่มคำสั่งซึ่งแบ่งแยกตามประเภทการใช้งาน เช่น Standard, Window, Navigation, Output, Luminaire, Mouse Mode, Selection Filter เป็นต้น

ส่วนที่ 3 The Inspector เป็นส่วนที่ใช้ป้อนข้อมูล ปรากฏช่องให้ป้อนข้อมูลเมื่อคลิกที่ The Guide

ส่วนที่ 4 The Guide เป็นชุดคำสั่งใช้ในการกำหนดขนาดห้อง ดวงโคม เฟอร์นิเจอร์ รูปแบบการจัดเรียงดวงโคม การประมวลผล และการจัดทำรายงาน ประกอบด้วย Custom Edit New Room, Place Furniture, Select Luminaires, Insert Single Luminaire, Start Calculation, Output

ส่วนที่ 5 Project Tree เป็นรายการแบ่งแยกตามหมวดหมู่ เมื่อคลิกที่กลุ่มคำสั่งจะปรากฏรายการย่อยของกลุ่มคำสั่งนั้น

ส่วนที่ 6 Tabbars เป็นรายการแบ่งแยกตามวัตถุและการใช้งาน ประกอบด้วย Project, Furniture, Luminaire, Output

ส่วนที่ 7 CAD Window เป็นพื้นที่แสดงผลการคำนวณในแบบกราฟิก

ส่วนที่ 8 Coordinate เป็นจุดพิกัดของการเคลื่อนเมาส์ในพื้นที่ CAD Window

7. ขั้นตอนการใช้งานโดยสังเขป

1) เมนูหลักของโปรแกรม DIALux (ดังภาพที่ 2.37) แบ่งออกเป็น 6 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 New Interior Project เป็นการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน ด้วยการกำหนดรูปร่างของห้อง ขนาดห้อง และค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวทุกระนาบ

ส่วนที่ 2 New Exterior Project เป็นการออกแบบระบบแสงสว่างภายนอกอาคาร

ส่วนที่ 3 New Street Project เป็นการออกแบบระบบแสงสว่างแนวถนน

ส่วนที่ 4 ส่วน DIALux Wizards เป็นการกำหนดให้ผู้ใช้โปรแกรมป้อนข้อมูลตามขั้นตอนที่ทางโปรแกรมได้กำหนดไว้ เหมาะกับผู้เริ่มใช้งานโปรแกรมหรือต้องการเข้าสู่การป้อนข้อมูลอย่างรวดเร็ว

ส่วนที่ 5 ส่วน Open Last Project เข้าสู่โปรแกรมอย่างรวดเร็ว โดยไม่มีการกำหนดค่าเลย ซึ่งเป็นการทำงานต่อเนื่องกับงานออกแบบระบบแสงสว่างที่มีการตั้งค่าไว้แล้ว

ส่วนที่ 6 ส่วน Open Project เป็นการเปิดไฟล์ที่ได้บันทึกไว้ก่อนหน้านี้

ในขั้นตอนต่อไป กล่าวถึงขั้นตอนการใช้งาน โดยใช้ส่วน DIALux Wizards เนื่องจากเหมาะกับผู้ใช้งานที่มีพื้นฐานความรู้เรื่องแสงสว่าง และไม่คุ้นเคยกับการใช้โปรแกรม รวมทั้งสถาปนิก

2) เลือกรูปแบบการป้อนข้อมูล Quick street planning Quick planning และ Professional quick planning (ดังภาพที่ 2.38)

3) เมื่อเข้าสู่ขั้นตอน Quick Planning จะปรากฏข้อเสนอแนะให้ผู้ใช้โปรแกรมได้ทราบวิธีการใช้งานโปรแกรม ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน คือ การป้อนข้อมูลลักษณะทางกายภาพของห้อง เลือกประเภทดวงโคมและจัดเรียงดวงโคม และขั้นตอนของการคำนวณ (ดังภาพที่ 2.39)

4) เป็นส่วนที่ให้ผู้ป้อนข้อมูลตั้งชื่อห้อง (ดังภาพที่ 2.40)

5) ป้อนข้อมูลโดยการเลือกรูปร่างของห้องให้เหมาะกับโครงการ ประกอบด้วยห้องสี่เหลี่ยม ห้องที่มีรูปร่างตัว L และห้องที่มีลักษณะรูปสามเหลี่ยม (ดังภาพที่ 2.41)

6) ป้อนข้อมูลขนาดห้อง ประกอบด้วย ความกว้าง ความยาว และความสูงของห้อง โปรแกรมจะแสดงรูปร่างของห้องในลักษณะกราฟิกทางช่องขวามือ (ดังภาพที่ 2.42)

7) ป้อนข้อมูล โดยการเลือกวัสดุของพื้นผิวของแต่ละระนาบ ซึ่งโปรแกรมได้เตรียมค่าเริ่มต้นไว้ ส่วนการป้อนข้อมูลนี้ ประกอบด้วย degree of reflection (ค่าการสะท้อนแสง) material (วัสดุ) color (สี) (ดังภาพ 2.43)

8) ป้อนข้อมูลของระนาบทำงาน ซึ่งมีผลต่อการคำนวณแสงสว่าง และการจัดวางตำแหน่งดวงโคม ประกอบด้วย การกำหนดความสูงของระนาบทำงาน wall zone และวิธีการคำนวณ (ดังภาพที่ 2.44)

9) การป้อนข้อมูล maintenance factor และ planning factor มีผลต่อจำนวนดวงโคมที่ต้องการจัดเรียง (ดังภาพที่ 2.45)

10) ป้อนข้อมูลโดยการเลือกดวงโคมและหลอดไฟฟ้า ในฐานข้อมูลที่โปรแกรมได้จัดเตรียมไว้ให้ ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ เช่น luminaire, lamp, luminaire flux เป็นต้น ในรูปจะใช้ดวงโคมห้อยจากฝ้าเพดาน บรรจุหลอดฟลูออเรสเซนต์ จำนวน 1 หลอด มีกำลังไฟฟ้า 54 วัตต์ ให้ค่าความส่องสว่าง 4,650 ลูเมนต่อหลอด (ดังภาพที่ 2.46)

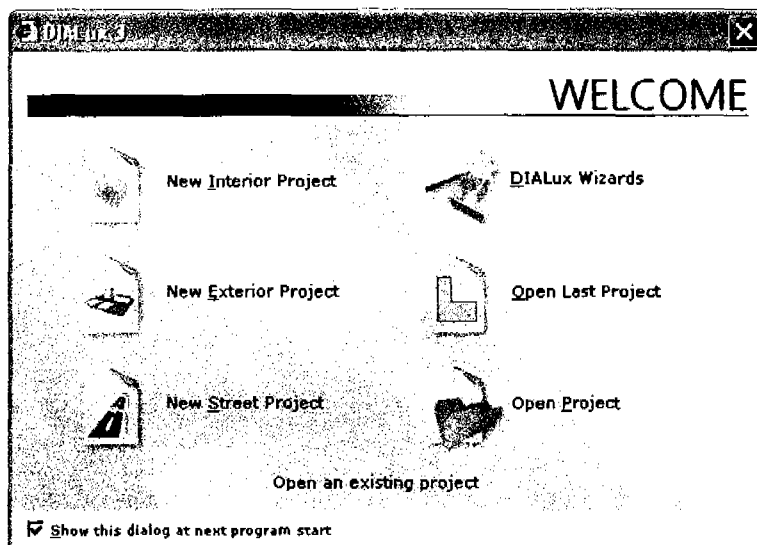
11) ป้อนข้อมูลค่าความส่องสว่างเฉลี่ยในหน่วยของลักซ์ และจำนวนดวงโคมที่ต้องการจัดเรียงในแนวนอน ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ เช่น em, rows, luminaire per row เป็นต้น (ดังภาพที่ 2.47)

12) ป้อนข้อมูลระยะห่างระหว่างดวงโคมแนวแรกกับผนังด้านซ้าย และการป้อนข้อมูลกำหนดให้ดวงโคมเรียงห่างกันหรือชิดกัน ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ เช่น lenthways, across, distance, continuous rows, every second เป็นต้น (ดังภาพที่ 2.48)

13) เมื่อป้อนข้อมูลสมบูรณ์แล้ว จะปรากฏเมนูให้ผู้ใช้งานทราบ และให้เลือกว่าจะทำการคำนวณหรือไม่ ถ้ากำหนดให้โปรแกรมคำนวณ โปรแกรมจะประมวลผลและแสดงผลโดยสรุปเป็นรายงาน (ดังภาพที่ 2.49)

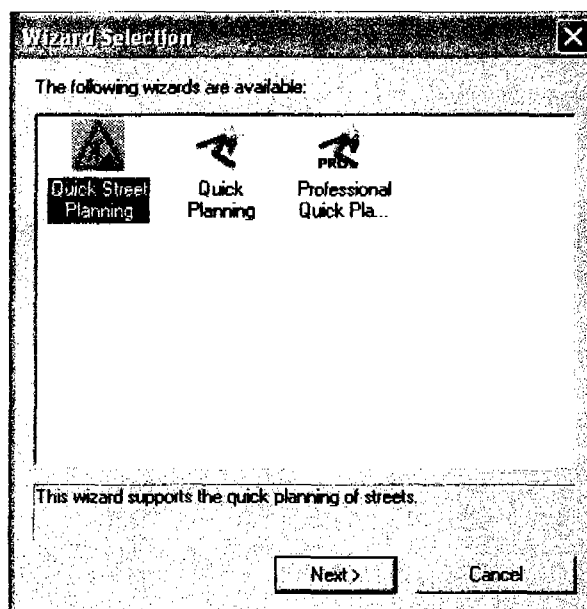
14) รายการผลลัพธ์การคำนวณ ได้แก่ project cover, table of contents, luminaire parts list for project, luminaire data sheet, summary, input protocol, luminaire parts list for room, luminaire coordinates chart, luminaire coordinates list, furniture coordinates chart, furniture coordinates list, calculate surface coordinate, photometric results, ground plan, 3D rendering, isolines, greyscale, value chart และ table ซึ่งมีทั้งการแสดงผลด้วยรูปภาพ ตัวเลข และกราฟิก (ดังภาพที่ 2.50)

ภาพที่ 2.37
เมนูหลักของโปรแกรม DIALux



ที่มา: DIAL Co.,Ltd., 2003.

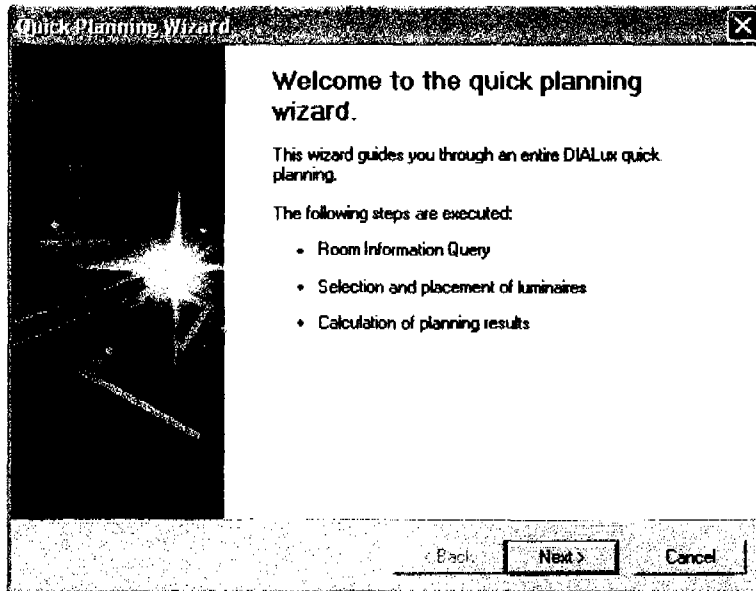
ภาพที่ 2.38
เมนู Wizards



ที่มา: DIAL Co.,Ltd., 2003.

ภาพที่ 2.39

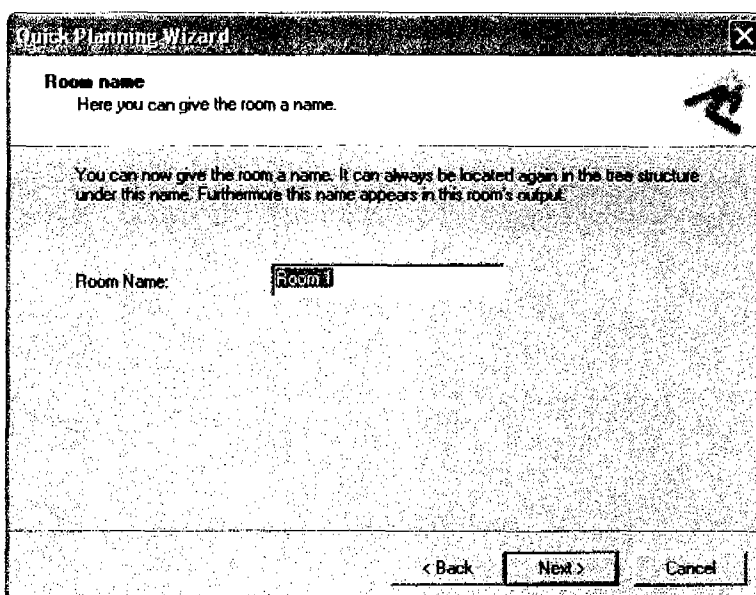
ข้อแนะนำเมื่อเข้าสู่การเริ่มต้นส่วน Quick Planning



ที่มา: DIAL Co.,Ltd., 2003.

ภาพที่ 2.40

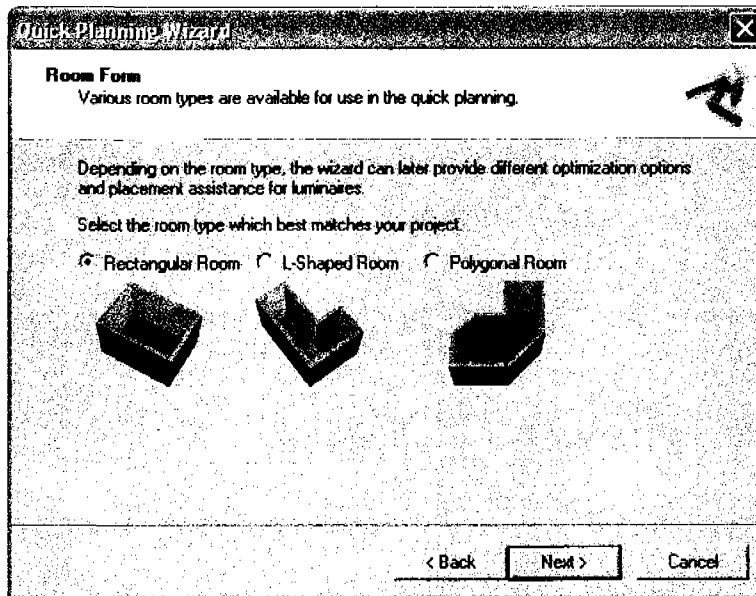
การป้อนข้อมูลชื่อห้อง



ที่มา: DIAL Co.,Ltd., 2003.

ภาพที่ 2.41

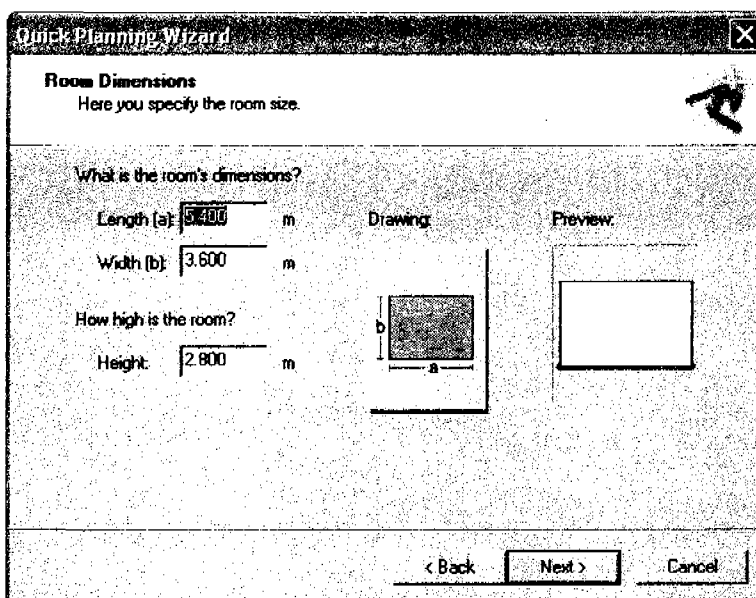
การป้อนข้อมูลโดยการเลือกรูปร่างของห้อง



ที่มา: DIAL Co.,Ltd., 2003.

ภาพที่ 2.42

การป้อนข้อมูลขนาดห้อง



ที่มา : บริษัท DIAL จำกัด, 2003

ภาพที่ 2.43
การป้อนข้อมูลคุณสมบัติเชิงวัสดุต่าง ๆ

Quick Planning Wizard

Material Properties
The material properties of the walls, floor and ceiling influences the distribution of luminaire within the room.

How high are the surfaces' reflection degrees?

	Degree of Reflection	Material	Color
Ceiling:	70 %	Standard Ceiling	[Color Swatch]
Walls:	50 %	Standard Wall	[Color Swatch]
Floor:	20 %	Standard Floor	[Color Swatch]

< Back Next > Cancel

ที่มา: DIAL Co.,Ltd., 2003.

ภาพที่ 2.44
การป้อนข้อมูลต่าง ๆ ของระนาบทำงาน

Quick Planning Wizard

Workplane
The workplane is an imagined surfaces which runs parallel to the floor at a specific height.

How high above the ground is the workplane?

Height: 0.850 m Wall Zone: 0.000 m

The calculation grid on the workplane can be generated as follows.
Select the method which suits you:

☒ Automatic
☐ Manually

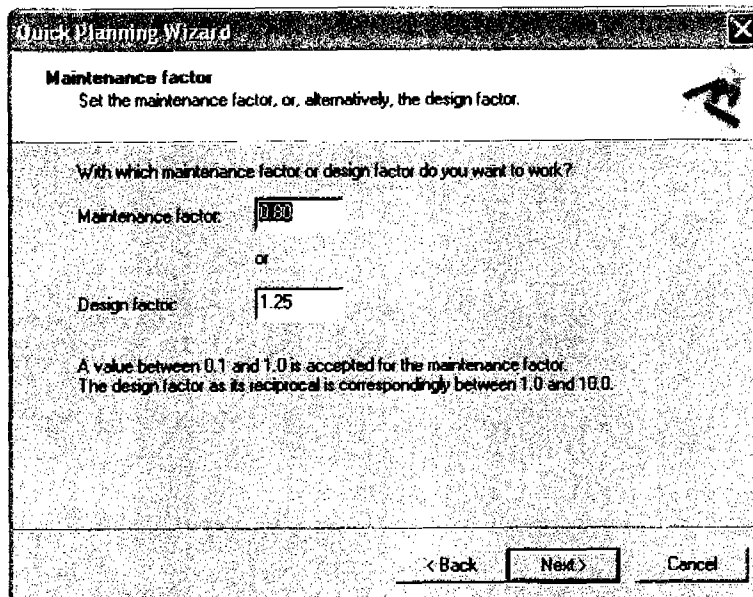
Distance of points: 0.500 m

< Back Next > Cancel

ที่มา: DIAL Co.,Ltd., 2003.

ภาพที่ 2.45

การป้อนข้อมูล maintenance factor และ planning factor



Quick Planning Wizard

Maintenance factor
Set the maintenance factor, or, alternatively, the design factor.

With which maintenance factor or design factor do you want to work?

Maintenance factor:

or

Design factor:

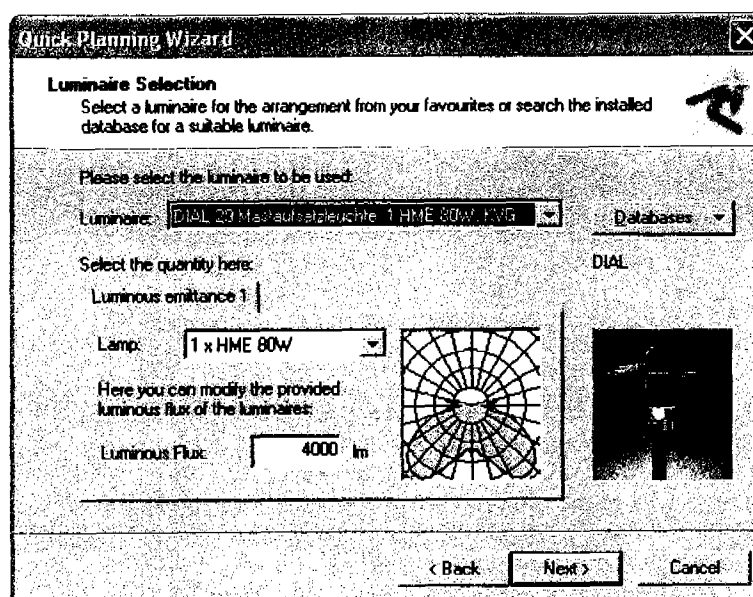
A value between 0.1 and 1.0 is accepted for the maintenance factor.
The design factor as its reciprocal is correspondingly between 1.0 and 10.0.

< Back Next > Cancel

ที่มา: DIAL Co.,Ltd., 2003.

ภาพที่ 2.46

การป้อนข้อมูลการเลือกดวงโคมและหลอดไฟ



Quick Planning Wizard

Luminaire Selection
Select a luminaire for the arrangement from your favourites or search the installed database for a suitable luminaire.

Please select the luminaire to be used:

Luminaires: Databases:

Select the quantity here:

Luminous emittance 1

Lamp:

Here you can modify the provided luminous flux of the luminaires:

Luminous Flux: lm

< Back Next > Cancel

ที่มา: DIAL Co.,Ltd., 2003.

ภาพที่ 2.47

การป้อนข้อมูลค่าความส่องสว่างและการจัดเรียงดวงโคม

Quick Planning Wizard

Quantity
Calculate the number of luminaires required by specifying a desired average illumination or provide the quantity values yourself.

Enter the desired average illumination:
E.m. lx

Or alternatively the desired number of rows and luminaires per row:
Rows:
Luminaires per Row:

Preview:

< Back **Next >** Cancel

ที่มา: DIAL Co.,Ltd., 2003.

ภาพที่ 2.48

การป้อนข้อมูลการจัดเรียงดวงโคม

Alignment
Specify the alignment of the luminaires in the room.

Enter the desired alignment of the luminaires in the room:

☐ lengthways
☒ across

Options may be deactivated to prevent overlapping luminaires.

If required, change the distance between the first row and the left wall (lengthways) or the first column to the bottom wall (across) respectively:

Distance: m

Continuous Luminaire Rows
Arrange the luminaires as continuous luminaire rows.

Select the following option if the luminaires should be placed as continuous luminaire rows:

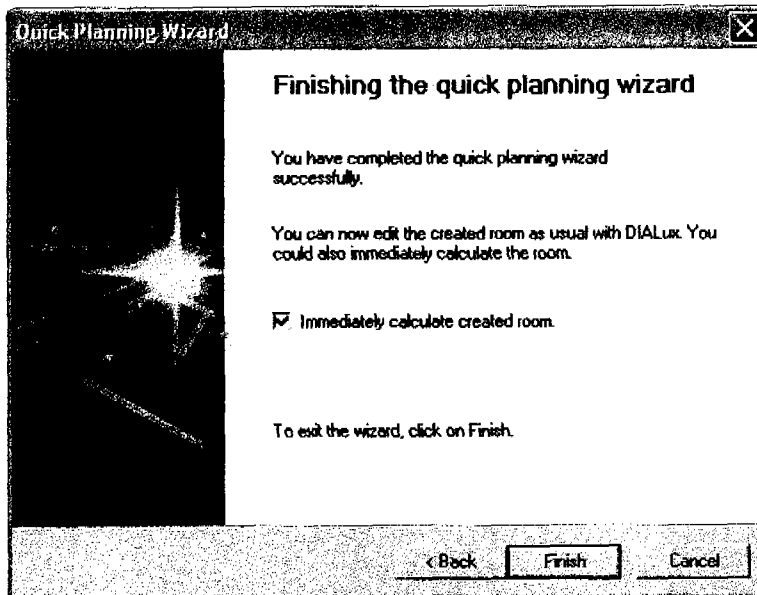
☐ Continuous Rows

Additionally select the following option if only every second element in the continuous luminaire row is a luminaire:

☐ Every second

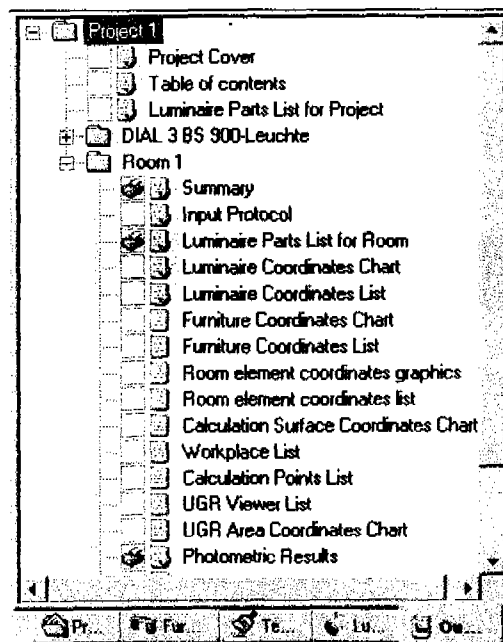
ที่มา: DIAL Co.,Ltd., 2003.

ภาพที่ 2.49
เมนูเมื่อเสร็จสิ้นการจัดเรียงโดยใช้ Wizard



ที่มา: DIAL Co.,Ltd., 2003.

ภาพที่ 2.50
รายการผลลัพธ์การคำนวณของโปรแกรม DIALux



ที่มา: DIAL Co.,Ltd., 2003.

2.2.3 บทวิเคราะห์

จากการศึกษาและวิเคราะห์องค์ประกอบที่ผ่านมาข้างต้น สามารถสรุปแบ่งเป็นหัวข้อตามที่ได้ศึกษาดังนี้

1. ระบบการทำงาน

จากการวิเคราะห์ระบบการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้ทำการศึกษาพบว่าระบบการทำงานส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นเส้นตรง หมายความว่า จะต้องทำงานให้เสร็จสิ้นการทำงานแต่ละกระบวนการก่อน จึงจะข้ามไปทำงานในกระบวนการต่อไปได้ และเมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนป้อนข้อมูลและโปรแกรมรายงานผลออกมาแล้ว หากผู้ใช้ต้องการแก้ไขข้อมูล ต้องย้อนกระบวนการกลับไปยังส่วนการป้อนข้อมูล ทำการแก้ไขข้อมูลแล้วจึงให้โปรแกรมประมวลผลอีกครั้งหนึ่งแล้วรายงานผลออกมา ซึ่งการทำงานในลักษณะนี้ ทำให้การแก้ไขข้อมูลเป็นไปอย่างลำบาก ผู้ใช้โปรแกรมไม่สามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงค่าได้อย่างชัดเจน เนื่องจากต้องย้อนกลับไปดูผลการคำนวณในครั้งก่อนหน้านี้ แล้วจึงค่อยสลับกลับมาดูยังส่วนของการแสดงผล

ในส่วนของหน้าจอแสดงผล ควรกำหนดให้มีการเข้าถึงหรือทำการแก้ไขข้อมูลส่วนอื่นของโปรแกรมได้อย่างอิสระ สามารถเชื่อมต่อข้อมูลทุกส่วนของโปรแกรมอย่างต่อเนื่อง และสามารถแสดงผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโดยทันที จะทำให้ผู้ใช้งานเห็นการเปลี่ยนแปลงของผลการคำนวณทันที เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการป้อนข้อมูล

2. ระบบการป้อนข้อมูล

จากการศึกษาและวิเคราะห์ในส่วนของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ พบว่าสมการที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณมีหลายสมการ ตารางที่ใช้ในการคำนวณมีหลายตาราง และต้องทำการป้อนข้อมูลในแต่ละสมการให้ครบถ้วนจึงจะสามารถคำนวณได้ การป้อนค่าจำนวนมากจึงต้องมีส่วนรับข้อมูลมากตามไปด้วย สร้างความสับสนให้กับผู้ใช้งานได้ อีกทั้ง การป้อนค่ามีรายละเอียดมากเกินไป อาจเกิดความผิดพลาดในการป้อนข้อมูลได้เช่นกัน นอกจากนี้ อาจทำให้ผู้ใช้รู้สึกเกิดความเบื่อหน่ายอีกด้วย

การป้อนค่าต่าง ๆ ที่เป็นเรื่องเฉพาะของสาขาวิชา เช่น ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิว ลักษณะทางกายภาพของวัสดุ การจัดเรียงดวงโคม ค่าการบำรุงรักษา ระยะห่างในการจัดเรียงกราฟการกระจายแสง เป็นต้น มีสถาปนิกและผู้ใช้โปรแกรมเพียงบางกลุ่มเท่านั้น ที่มีความรู้ในเรื่องการออกแบบแสงสว่าง หรือทราบความหมายของข้อมูลที่ป้อนเข้าไปเป็นอย่างดี หรือแม้แต่ว่าบางครั้งผู้ที่มีความรู้ในเรื่องการออกแบบแสงสว่างใช้แล้ว อาจเกิดความสับสนได้เช่นกัน และผู้ใช้

โปรแกรมอาจเป็นบุคคลที่มีความรู้เรื่องแสงสว่างน้อย หรืออาจไม่มีความรู้เลย ดังนั้น จึงต้องคำนึงผู้ใช้โดยทั่วไป โปรแกรมจึงจะมีการใช้งานได้อย่างแพร่หลายมากขึ้น

แนวทางหนึ่งในการออกแบบโปรแกรม เพื่อช่วยในการจัดวางตำแหน่งดวงโคม ส่วนหนึ่งควรมีการเตรียมความรู้พื้นฐานของการป้อนค่าต่าง ๆ ให้สามารถเรียกใช้งานได้อย่างสะดวก ลดขั้นตอนของการป้อนข้อมูลให้น้อยลง สร้างความคุ้นเคยกับผู้ใช้อย่างรวดเร็ว เป็นการสอนให้ผู้ใช้โปรแกรมเรียนรู้วิธีการใช้งาน ให้สามารถคาดการณ์ถึงความน่าจะเป็น ที่ผู้ใช้โปรแกรมกำลังต้องการอยู่ในขณะนั้น แล้วทำการสรุปตัวอย่างทางเลือกออกมาให้ผู้ใช้งาน เช่น เมื่อผู้ใช้งานโปรแกรมป้อนข้อมูล โดยการเลือกค่าที่โปรแกรมจัดเตรียมไว้ให้ ค่าตัวเลขที่ใช้ในการคำนวณจะปรากฏออกมา หากผู้ใช้โปรแกรมไม่มีความรู้เรื่องแสงสว่างหรือไม่ทราบค่าเหล่านี้อย่างแน่ชัดหรือครบถ้วน สามารถดำเนินการคำนวณในขั้นตอนต่อไปได้ แต่ถ้าผู้ใช้งานทราบค่าที่แน่นอนแล้ว สามารถเปลี่ยนแปลงค่าเหล่านี้ได้ตามความเป็นจริงเพื่อการคำนวณที่แม่นยำขึ้น

3. ระบบการประมวลผล

เนื่องจากในลักษณะของการคำนวณที่มีตัวเลขในปริมาณมาก และมีความซับซ้อนของการคำนวณหลายสมการ การทำงานของโปรแกรมส่วนใหญ่เป็นการช่วยอำนวยความสะดวกในการคำนวณเป็นหลัก เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น ซึ่งนับว่าเป็นข้อดีอย่างหนึ่ง แต่ถ้าหากมองในแง่ของการออกแบบสถาปัตยกรรมแล้ว ระบบการทำงานของโปรแกรมนอกจากเป็นเครื่องมือช่วยในการคำนวณแล้ว ควรมีส่วนของการเปรียบเทียบ เพื่อช่วยวิเคราะห์ ปรับเปลี่ยน และควบคุมตัวแปรที่สำคัญ มีผลต่อการเลือกใช้ และจัดวางดวงโคมได้อย่างเหมาะสมและถูกต้อง ทำให้สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลได้หลายมุมมองมากขึ้น และเป็นประโยชน์ในการออกแบบสถาปัตยกรรมอย่างแท้จริง เช่น จากระบบเดิมที่เป็นการป้อนค่าของข้อมูลเข้าไปในโปรแกรม แล้วทำการประมวลผลออกมา เมื่อต้องการการเปลี่ยนแปลงการป้อนค่า แล้วทำการประมวลใหม่ ผลลัพธ์ของข้อมูลเดิมจะถูกลบทิ้ง ซึ่งอาจสร้างความสับสนกับผู้ใช้โปรแกรม เมื่อต้องการเปรียบเทียบการป้อนข้อมูลก่อนหน้านี้นี้ แต่ระบบการทำงานรูปแบบใหม่มีส่วนของการเปรียบเทียบค่า เพื่อให้ผู้ใช้โปรแกรมสามารถย้อนกลับไปดูผลการคำนวณก่อนหน้านี้นี้ได้

4. ระบบการแสดงผล การแสดงผลของโปรแกรมโดยส่วนใหญ่ สามารถแสดงผลแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

- 1) การแสดงผลเป็นตัวอักษร ได้แก่ ตารางแสดงผล
- 2) การแสดงผลเป็นรูปภาพ ได้แก่ รูปภาพ และกราฟเส้น

การแสดงผลทั้ง 2 ส่วนนี้แยกออกจากกัน เมื่อผู้ใช้โปรแกรมต้องการทราบข้อมูลในส่วนใดสามารถเข้าไปดูในส่วนขอประเภทการแสดงผลนั้น ๆ ซึ่งในแต่ละประเภทของการแสดงผล มีการแยกรูปแบบการนำเสนอออกตามรายละเอียดของการเปรียบเทียบข้อมูล ในแต่ละชนิดความต้องการของผู้ใช้โปรแกรม หากสามารถออกแบบให้ส่วนของการแสดงผลอยู่ร่วมกับหน้าจอเดียวกันกับส่วนของรายละเอียดของการป้อนข้อมูลได้ ทำให้สามารถทำการปรับเปลี่ยนข้อมูลหรือแก้ไขผลลัพธ์ได้อย่างสะดวกมากยิ่งขึ้น