โปรแกรมช่วยออกแบบผังการส่องสว่างในอาคาร

Computer Aid Design for Lighting Layout in Building

นาย ภัทรภณ สุริชัย รหัสนิสิต 46361739

นาย จักรกฤษณ์ จันทร์อลงกต รหัสนิสิต 46363123

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 22 พ.ย. 2549
เลขทะเบียน 4900184
เลขเรียกหนังสือ ว ๑๙๑๘๓๘๙
มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปร
ภ ๓๘๙ ป
๒๕๔๙

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2549

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรม

หัวข้อโครงงาน	โปรแกรมช่วยออกแบบผังการส่องสว่างในอาคาร			
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายภัทรภณ	สุริชัย	รหัส	46361739
	นายจักรกฤษณ์	จันทร์อลงกต	รหัส	46363123
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สมยศ	เกียรติวนิชวิไล		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า			
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์			
ปีการศึกษา	2549			

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรม

..... ประธานกรรมการ

(ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล)

..... กรรมการ

(ดร.ชัยรัตน์ พินทอง)

..... กรรมการ

(อาจารย์ปิยดนัย ภาชนะพรรณ์)

หัวข้อโครงงาน	โปรแกรมช่วยการออกแบบผังการส่องสว่างในอาคาร			
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายภัทรภณ	สุริชัย	รหัส	46361739
	นายจักรกฤษณ์	จันทร์อลงกต	รหัส	46363123
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สมยศ	เกียรติวนิชวิไล		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า			
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์			
ปีการศึกษา	2549			

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการประยุกต์ใช้โปรแกรม Microsoft Visual C++ 6.0 และ OpenGL มาใช้ในการเขียนโปรแกรมเพื่อช่วยการออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคาร โดยใช้ทฤษฎีคำนวณแบบ ลูเมนในการออกแบบ โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะเป็นประโยชน์ในการหาจำนวนโคมไฟ ระยะห่างของการจัดวางโคมไฟ และสามารถแสดงเป็นภาพ 3 มิติ จากการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมจากตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ของผู้ดำเนินโครงการ ผลการตรวจสอบสรุปได้ว่าโปรแกรมที่ใช้คำนวณมีความถูกต้องและสามารถนำไปช่วยในการออกแบบในระบบแสงสว่างได้

Project title	Computer Aid Design for Lighting Layout in Building		
Name	Mr. Pattarapon	surichai	ID. 46361739
	Mr. Jakkrit	Janalongkot	ID. 46363123
Project advisor	Dr. Somyot	Kaitwanidvilai	
Major	Electrical Engineering		
Department	Electrical and Computer Engineering		
Academic year	2006		

Abstract

This project applies Microsoft Visual C++ 6.0 and OpenGL to develop a computer aid design program for building Illumination design. The Lumen method is used in this project. The developed program is used to determine the number of lighting, lay outing and display the designed layout in 3D graphic. In conclusion, this program is applicable and can be used as a computer aid design in lighting design and help to Illumination design.

กิตติกรรมประกาศ

การที่โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีทางผู้จัดทำใคร่ขอแสดงความขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่ออาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล ดร.ชัยรัตน์ พินทอง และ อาจารย์ปิยดนัย ภาชนะพรรณ์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรม มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้กรุณาแนวความคิด ช่วยชี้แนะแนวทางในการทำโครงงาน ตลอดจนกรุณาเอื้อเฟื้อเอกสารต่างๆที่เกี่ยวข้องกับโครงงานนี้อีกทั้งช่วยแนะนำแหล่งข้อมูลในการค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติม ทำให้เป็นประโยชน์ต่อการทำโครงงานของผู้จัดทำเป็นอย่างมาก

คณะผู้จัดทำโครงงาน

นายภัทรภณ สุริชัย

นายจักรกฤษณ์ จันทร์อลงกต

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงงานวิจัย	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูป	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบข่ายของโครงงาน	2
1.4 ขั้นตอนดำเนินงาน	2
1.5 แผนการดำเนินงาน	3
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.7 งบประมาณของโครงงาน	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบแสงสว่าง	5
2.1.1 ศัพท์แสงสว่าง (Lighting Vocabulary)	5
2.1.2 หลักการให้แสงสว่าง (Lighting Concept)	5
2.1.3 มาตรฐานในระบบแสงสว่าง (Lighting Standard)	7
2.1.4 การออกแบบแสงสว่างให้ประหยัดพลังงาน	7
2.1.5 การเลือกใช้หลอดไฟฟ้า	10
2.1.6 ประเภทของหลอดไฟ	10
2.1.7 ตัวประกอบที่ใช้เลือกหลอดไฟฟ้า	10
2.1.8 ประสิทธิภาพแสง	11
2.1.9 อายุการใช้งานของหลอดไฟ	12
2.1.10 คุณสมบัติของหลอดไฟที่ต้องพิจารณาในการเลือกหลอดไฟ	13
2.1.11 อุณหภูมิของแสง (color Temperature)	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.12 ค่าดัชนีความถูกต้องของสี (Colour Rendering Index, Ra หรือ CRI)	14
2.1.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสีและความส่องสว่าง	15
2.1.14 ประเภทของหลอดฟลูออเรสเซนต์	15
2.1.15 หลักการออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคาร	20
2.2 OpenGL	24
2.2.1 ความหมายของ OpenGL	24
2.2.2 The OpenGL API	24
2.2.3 Graphic Functions	25
2.2.4 The OpenGL Interface	26
2.2.5 Primitive and Attributes	26
2.2.6 Attributes	29
2.2.7 Control Function	29
2.2.8 Interaction with the Window system	29
2.2.9 Aspect Ratio and Viewports	30
2.2.10 Program structure	30
2.2.11 การแปลงภาพ 3 มิติ	32
บทที่ 3 ขั้นตอนการเขียนโปรแกรม	34
3.1 แผนผังขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคาร	34
3.2 หลักการสำคัญของการสร้างโปรแกรม	35
บทที่ 4 ผลการทดสอบโปรแกรม	36
4.1 การทดสอบครั้งที่ 1	36
4.1 การทดสอบครั้งที่ 2	41
4.1 การทดสอบครั้งที่ 3	46
4.1 การทดสอบครั้งที่ 4	51
4.1 การทดสอบครั้งที่ 5	56
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	58
5.1 วิเคราะห์ผลของการใช้โปรแกรม	58
5.2 สรุปผล	58

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3 ข้อเสนอแนะ	58
เอกสารอ้างอิง	59
ภาคผนวก	60
ประวัติผู้ทำโครงงาน	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของสีและวัสดุ	8
2.2 ประสิทธิภาพแสดงของหลอดแต่ละประเภท	11
2.3 อายุการใช้งานของหลอดแต่ละประเภท	12
2.4 อุณหภูมิของแสง	14
4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคมที่ Pf = 20	36
4.2 ตัวคูณประกอบค่าความถูกต้องสำหรับประสิทธิผลของโพรงพื้นต่างไปจาก 20%	37
4.3 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคมที่ Pf = 20	41
4.4 ตัวคูณประกอบค่าความถูกต้องสำหรับประสิทธิผลของโพรงพื้นต่างไปจาก 20%	41
4.5 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคมที่ Pf = 20	46
4.6 ตัวคูณประกอบค่าความถูกต้องสำหรับประสิทธิผลของโพรงพื้นต่างไปจาก 20%	47
4.5 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคมที่ Pf = 20	51
4.6 ตัวคูณประกอบค่าความถูกต้องสำหรับประสิทธิผลของโพรงพื้นต่างไปจาก 20%	52

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงโดมฟลูออเรสเซนต์เปลือย	15
2.2 แสดงโดมฟลูออเรสเซนต์โรงงาน	16
2.3 แสดงโดมฟลูออเรสเซนต์กรองแสง	16
2.4 แสดงโดมฟลูออเรสเซนต์แบบตะแกรง	17
2.5 แสดงโดมฟลูออเรสเซนต์แบบตะแกรงแบบตัวขวางริ้ว	17
2.6 แสดงโดมฟลูออเรสเซนต์แบบตะแกรงแบบขวางพาราโบลา	18
2.7 แสดงโดมฟลูออเรสเซนต์แบบตะแกรงพาราโบลิกจัตุรัส	18
2.8 แสดงโดมฟลูออเรสเซนต์แบบตะแกรงแบบช่องถี่	19
2.9 อัตราส่วนโพรง	21
2.10 OpenGL Architecture	24
2.11 แสดงระบบกราฟิกที่เปรียบเสมือนกล่องดำ (Black box)	25
2.12 แสดง library organization	26
2.13 แสดง ชนิดของ Points และ Line segment	27
2.14 การสร้างรูป Sierpinkski gasket	31
2.15 แสดงเมตริกซ์การย้ายภาพ	32
2.16 แสดงเมตริกซ์การย่อขยายภาพ	32
2.17 แสดงเมตริกซ์ในการหมุนภาพรอบแกน y	33
2.18 แสดงเมตริกซ์ในการหมุนภาพรอบแกน x	33
2.19 แสดงเมตริกซ์ในการหมุนภาพรอบแกน z	33
3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	34
4.1 แสดงขั้นตอนที่ 1 การทดสอบครั้งที่ 1	38
4.2 แสดงขั้นตอนที่ 2 การทดสอบครั้งที่ 1	38
4.3 แสดงขั้นตอนที่ 3 การทดสอบครั้งที่ 1	38
4.4 แสดงขั้นตอนที่ 4 การทดสอบครั้งที่ 1	39
4.5 แสดงขั้นตอนที่ 5 การทดสอบครั้งที่ 1	39
4.6 แสดงขั้นตอนที่ 6 การทดสอบครั้งที่ 1	39
4.7 แสดงขั้นตอนที่ 7 การทดสอบครั้งที่ 1	40
4.8 แสดงขั้นตอนที่ 8 การทดสอบครั้งที่ 1	40

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 แสดงขั้นตอนที่ 1 การทดสอบครั้งที่ 2	43
4.10 แสดงขั้นตอนที่ 2 การทดสอบครั้งที่ 2	43
4.11 แสดงขั้นตอนที่ 3 การทดสอบครั้งที่ 2	43
4.12 แสดงขั้นตอนที่ 4 การทดสอบครั้งที่ 2	44
4.13 แสดงขั้นตอนที่ 5 การทดสอบครั้งที่ 2	44
4.14 แสดงขั้นตอนที่ 6 การทดสอบครั้งที่ 2	44
4.15 แสดงขั้นตอนที่ 7 การทดสอบครั้งที่ 2	45
4.16 แสดงขั้นตอนที่ 8 การทดสอบครั้งที่ 2	45
4.17 แสดงขั้นตอนที่ 1 การทดสอบครั้งที่ 3	48
4.18 แสดงขั้นตอนที่ 2 การทดสอบครั้งที่ 3	48
4.19 แสดงขั้นตอนที่ 3 การทดสอบครั้งที่ 3	48
4.20 แสดงขั้นตอนที่ 4 การทดสอบครั้งที่ 3	49
4.21 แสดงขั้นตอนที่ 5 การทดสอบครั้งที่ 3	49
4.22 แสดงขั้นตอนที่ 6 การทดสอบครั้งที่ 3	49
4.23 แสดงขั้นตอนที่ 7 การทดสอบครั้งที่ 3	50
4.24 แสดงขั้นตอนที่ 8 การทดสอบครั้งที่ 3	50
4.25 แสดงขั้นตอนที่ 1 การทดสอบครั้งที่ 4	53
4.26 แสดงขั้นตอนที่ 2 การทดสอบครั้งที่ 4	53
4.27 แสดงขั้นตอนที่ 3 การทดสอบครั้งที่ 4	53
4.28 แสดงขั้นตอนที่ 4 การทดสอบครั้งที่ 4	54
4.29 แสดงขั้นตอนที่ 5 การทดสอบครั้งที่ 4	54
4.30 แสดงขั้นตอนที่ 6 การทดสอบครั้งที่ 4	54
4.31 แสดงขั้นตอนที่ 7 การทดสอบครั้งที่ 4	55
4.32 แสดงขั้นตอนที่ 8 การทดสอบครั้งที่ 4	55
4.33 แสดงผลการคำนวณของการเลือกใช้ควงโดมชนิดแรก	56
4.34 แสดงผลการคำนวณของการเลือกใช้ควงโดมชนิดสอง	57

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

ปัจจุบันพลังงานแสงเป็นสิ่งที่สำคัญมากไม่ว่าจะเป็นที่ใด ๆ ต้องมีแสงเข้ามาเกี่ยวข้องเพราะสามารถทำให้มองเห็นได้ และการมองเห็นของคนเรานั้นแต่ละสถานที่ต้องการแสงสว่างไม่เหมือนกัน บางที่ต้องการแสงสว่างน้อย บางที่ต้องการแสงสว่างมาก เพราะที่ที่ต้องการการมองเห็นที่ชัดเจนย่อมต้องการแสงสว่างมากกว่าที่ที่ต้องการการมองเห็นน้อย สายตาของคนหากใช้ในที่ที่มีแสงส่วงไม่เพียงพอแล้วก็อาจทำให้เกิดปัญหา ระยะเวลาการใช้งานของดวงตาสั้นลง เพราะปัญหาส่วนใหญ่ของตาก็มาจากเรื่องแสง ดังนั้นการที่จะสามารถเลือกแสงสว่างที่เพียงพอในสถานที่นั้น ๆเป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการส่องสว่างของแสง ต้องมีคนที่มีความรู้ความสามารถ

แต่ในปัจจุบันการให้ความสำคัญกับเรื่องนี้มีไม่มากนัก บางคนอาจเห็นเป็นเรื่องเล็กน้อย แต่ในทางกลับกันก็มีผู้ที่เห็นความสำคัญ มีวิธีการคำนวนหลายวิธี อาจเป็นการออกแบบโดยวิศวกรรม แต่การคำนวนและออกแบบโดยมนุษย์นั้นย่อมเกิดความผิดพลาดได้ การทำงานโดยใช้ระบบทางคอมพิวเตอร์จึงเป็นสิ่งที่น่าจะมีความแม่นยำมากกว่ามนุษย์ เพราะคอมพิวเตอร์เป็นระบบการทำงานที่มีกฎเกณฑ์ชัดเจน เช่น การคำนวณเป็นต้น

Computer Aid Design for Lighting Layout in Building เป็นโปรแกรมหนึ่งที่สามารถคำนวนแสงสว่างภายในได้ใกล้เคียงการวัดที่วัดโดยใช้เครื่องวัด และมีภาพกราฟฟิกแสดงเป็นตัวอย่าง สามารถคำนวนแสงและนำสิ่งที่เกี่ยวข้องกับแสงมาวิเคราะห์ได้ หลอดไฟเป็นสิ่งที่สำคัญมากเพราะหลอดไฟแต่ละชนิดมีแสงและองค์ประกอบของแสงไม่เท่ากัน แต่การที่เรามองเห็นแสงสว่างไม่ได้เกิดมาจากหลอดไฟเพียงอย่างเดียว ยังมีองค์ประกอบหลาย ๆอย่างที่เกี่ยวข้อง อย่างเช่น ความกว้าง ความสูงของห้อง สีที่ใช้ภายในห้อง Computer Aid Design for Lighting Layout in Building สามารถใช้องค์ประกอบเหล่านี้มาวิเคราะห์และคำนวนแสงได้ เพื่อให้เหมาะสมแก่สถานที่ที่ต้องใช้งานในลักษณะที่แตกต่างกัน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาการคำนวนและออกแบบแสงสว่างภายในที่เหมาะสม

1.2.2 เพื่อแสดงการคำนวนโดยมีแบบจำลองเป็นคอมพิวเตอร์กราฟฟิก

1.2.3 เพื่อศึกษาหลักการเขียนโปรแกรม Visual C++ ร่วมกับ OpenGL

1.3 ขอบข่ายของโครงงาน

1.3.1 สร้างโปรแกรมการคำนวนแสงสว่างภายในโดยใช้โปรแกรม Visual C++ ร่วมกับ OpenGL

1.4 ขั้นตอนของการดำเนินงาน

1.4.1. ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับการเขียนคอมพิวเตอร์กราฟฟิกโดยใช้ Visual C++ และ OpenGL

1.4.2 เขียนโปรแกรมในส่วนของคอมพิวเตอร์กราฟฟิก

1.4.3 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบแสงสว่างภายใน

1.4.4 เขียนโปรแกรมในส่วนของการคำนวนเกี่ยวกับแสงสว่างภายใน

1.4.5 เขียนโปรแกรมในส่วนของการคำนวนเกี่ยวกับแสงสว่างภายใน

1.4.6 สรุปผลและจัดทำรูปเล่มโครงงาน

มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.5 แผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	ปี 2548		ปี 2549					
	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.
1.ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับการเขียนคอมพิวเตอร์กราฟฟิกโดยใช้ Visual C++ และ OpenGL	←	→						
2.เขียนโปรแกรมในส่วนของคอมพิวเตอร์กราฟฟิก		←		→				
3.ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบแสงสว่างภายใน				←		→		
4.เขียนโปรแกรมในส่วนของการคำนวนเกี่ยวกับแสงสว่างภายใน					←		→	
5.เขียนโปรแกรมที่เกี่ยวกับคอมพิวเตอร์กราฟฟิกและการคำนวนแสงสว่างภายในให้สามารถคำนวนร่วมกันได้						←		→
6.สรุปผลและจัดทำรูปเล่มโครงงาน							←	→

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถแสดงเป็นภาพกราฟฟิกเกี่ยวกับการคำนวนแสงสว่างภายในโดยใช้คอมพิวเตอร์กราฟฟิกได้ใกล้เคียงกับการวัดจริงโดยใช้เครื่องวัด

1.6.2 สามารถเข้าใจหลักการออกแบบแสงสว่างภายใน

1.6.3 สามารถเข้าใจหลักการเขียนโปรแกรม Visual C++ ร่วมกับ OpenGL

1.7 งบประมาณของโครงงาน

1.7.1 ค่าถ่ายเอกสารและค่าเข้าเล่มโครงงาน

1.7.2 ค่าแผ่นซีดี

1.7.3 ค่าหนังสือข้อมูลเกี่ยวกับ Visual C++ และ OpenGL

1.7.4 ค่าหมึกพิมพ์

รวมเป็นเงิน 2,000 บาท (สองพันบาทถ้วน)

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบแสงสว่าง

การออกแบบระบบแสงสว่างทั้งภายในอาคารและนอกอาคารผู้ออกแบบจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบแสงสว่างในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบแสงสว่าง

2.1.1 ศัพท์แสงสว่าง (Lighting Vocabulary)

1. ฟลักซ์การส่องสว่าง (Luminous Flux) คือ พลังงานแสงทั้งหมดที่ออกจากแหล่งกำเนิด เช่น หลอดไฟฟ้า มีหน่วยเป็น Lumen

2. ความเข้มของการส่องสว่าง (Luminous Intensity:I) หรือกำลังส่องสว่าง(candle power) มักใช้แสงความเข้มของแสงที่มุมต่างๆของดวงโคม โดยทั่วไปจะวัดเป็นจำนวนเท่าของความเข้มที่ได้จากเทียนไข 1 เล่มจึงมีหน่วยเป็น candela

3. ความส่องสว่าง (Illuminnce : E) คือ ค่าที่บอกว่าพื้นที่นั้นๆ ได้รับแสงสว่างเพียงพอหรือไม่มีหน่วยเป็นลูเมนต่อตร.ม

4. ความสว่าง (Luminance: L) คือปริมาณแสงที่สะท้อนออกจากพื้นผิวใดๆ ในทิศทางใดทิศทางหนึ่งต่อพื้นที่ นิยมใช้ในการกำหนดความสวางของถนนและความสว่างของจอมอนิเตอร์ มีหน่วยเป็น แคนเดลาต่อตารางเมตร (cd/m2)

5. ค่าประสิทธิ์ภาพของโคมไฟ (Luminaire Efficiency) คือ อัตราแสงโดยรวมที่มาจากโคมไฟเมื่อเปรียบเทียบกับแสงที่ออกจากหลอดที่ติดตั้ง ดังนั้นหากเลือกโคมไฟที่มีประสิทธิภาพสูงก็จะได้แสงจากโคมไฟมากและสามารถลดจำนวนโคมที่ใช้ติดตั้งลง ซึ่งจะประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งได้

6. ค่าดัชนีคุณภาพ (quality Index : C.U.) เป็นค่าที่บอกคุณภาพของบัลลาสต์ หมายถึงอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่บัลลาสต์จ่ายให้หลอดหรือกำลังไฟฟ้าที่หลอด กับกำลังไฟฟ้าสูญเสียในบัลลาสต์

2.1.2 หลักการให้แสงสว่าง (Lighting Concept)

ระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่มีประสิทธิภาพสูงนั้น เริ่มจากการทำความเข้าใจกับพื้นที่ที่จะใช้แสงสว่าง คือการศึกษาถึงประเภทหรือชนิดของงานที่จะการทำในพื้นที่นั้น ๆ ว่าเป็นงานชนิดใด มีการทำงานในเวลาใด และต้องการระดับความสว่างสูงต่ำเพียงใด โดยคำนึงถึงขนาด ค่าการสะท้อนแสง ความเปรียบต่างและการเคลื่อนไหวของชิ้นงาน รวมทั้งระยะห่างจากผู้ปฏิบัติงาน ในขณะเดียวกันก็พิจารณาหรือเลือกภาพแวดล้อมที่เหมาะสมให้กับพื้นที่นั้น ๆ ด้วย เช่น ความสูงของเพดาน ช่องแสง นอกจากนี้สีที่ใช้ทาส่วนต่าง ๆ ควรเป็นสีโทนสว่าง เพื่อทำให้แลดูสว่างขึ้น ซึ่งค่าการสะท้อนแสงสว่าง

ของเพดาน ผนัง พื้น และแม้แต่เครื่องจักรอุปกรณ์ ควรมีค่าที่เหมาะสมเพื่อมิให้เกิดแสงบาดตา หรือ ดูมืดเกินไป หลักการให้แสงสว่างที่สำคัญนั้น จะต้องคำนึงถึงจุดมุ่งหมายหลัก 3 ประการ คือ

1. เพื่อการทำงาน อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น แสงสว่างโต๊ะทำงาน แสงส่องให้พืชโต แสงฆ่าเชื้อ แสงสว่างไฟถนน แสงสว่างลานจอดรถ เป็นต้น

2. เพื่อความปลอดภัย เช่น แสงสว่างไฟถนน แสงสว่างไฟรั้ว แสงสว่างระบบรักษาความปลอดภัย แสงสว่างลานจอดรถ

3. เพื่อความสวยงาม และสร้างบรรยากาศที่เหมาะสม เช่น แสงสว่างส่องรูปภาพ แสงสว่างร้านอาหารแสงสว่างประดับอาคารและต้นไม้ เป็นต้น

การปฏิบัติงานภายใต้ระบบแสงสว่างที่เหมาะสม ไม่เพียงแต่จะทำให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถทำงานได้รวดเร็วขึ้น มากขึ้น ประณีตขึ้น ที่สำคัญยังทำให้เกิดความพึงพอใจในการทำงานมากขึ้น ทั้งยังมีผลต่อคุณภาพชีวิตวิตของผู้ปฏิบัติงาน วิธีการให้แสงสว่างที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ

1. การให้แสงสว่างทั่วพื้นที่ (General Lighting)

เป็นวิธีการให้แสงสว่างที่ใช้ทั่วไป โดยการให้แสงสว่างจากโคมไฟที่ติดตั้งกระจายอย่างสม่ำเสมอบนเพดานซึ่งทำให้มีความสว่างเกือบเท่ากันตลอดพื้นที่ จึงทำให้มีข้อดีในแง่ที่สามารถออกแบบได้ง่าย ไม่จำเป็นต้องทราบตำแหน่งโต๊ะทำงานที่แน่นอน และสามารถย้ายตำแหน่งโต๊ะทำงานได้อย่างอิสระ แต่ข้อเสียคือ เป็นวิธีการให้แสงสว่างที่สิ้นเปลืองพลังงานสูง ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับการให้แสงสว่างทางเดิน การให้แสงสว่างสำหรับการทำความสะอาด ห้องทำงานและห้องประชุมทั่วไป

2. การให้แสงสว่างเฉพาะพื้นที่ (Local Lighting)

เป็นวิธีการให้แสงสว่างเสริม ให้ได้ความสว่างสูงในจุดตำแหน่งที่ใช้งานเฉพาะตำแหน่ง ในบริเวณที่อยู่ใกล้ผู้ทำงานหรือชิ้นงาน เพื่อให้แสงสว่างเฉพาะตำแหน่งและทิศทางที่ต้องการเท่านั้น เช่น งานที่ต้องการปริมาณแสงในระดับสูง งานยาก งานที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง ตัวอย่างงานเจียระไนเครื่องปรับ งานอิเล็กทรอนิกส์การให้แสงเพื่อให้มีการส่องสว่างมากเฉพาะที่ จะช่วยประหยัดพลังงานได้มากกว่าการให้แสงสว่างทั่วไป โดยจะต้องควบคุมทิศทางและความสว่างเฉพาะที่และ ความสว่างแวดล้อมให้เหมาะสม

3. การให้แสงสว่างทั่วพื้นที่ และ เฉพาะที่ (General and Localized Lighting)

เป็นวิธีการให้แสงสว่างโดยการออกแบบให้สอดคล้องกับการทำงานในแต่ละพื้นที่ มีแสงสว่างทั่วพื้นที่ประกอบกับ แสงสว่างเฉพาะตำแหน่ง จึงทำให้ประหยัดพลังงานกว่าวิธีแรก แต่ก็มีข้อเสีย คือ การปรับย้ายตำแหน่งพื้นที่ทำงานไม่อิสระเหมาะสำหรับสำนักงานและโรงงานสมัยใหม่ ที่ต้องการประหยัดพลังงาน ที่มีระดับความส่องสว่างเพียงพอการออกแบบระบบแสงสว่างที่ดีนั้น นอกจากจะต้องให้ได้ปริมาณแงสว่างที่เหมาะสมกับการใช้งานแล้ว ยังต้องทำให้ผู้ปฏิบัติงานมีความรู้สึกสบายในการใช้สายตา กล่าวคือ ความจ้าของแสงบนชิ้นงานและสภาพแวดล้อมไม่ควรแตกต่างกันเกิน 3 เท่า ไม่มี

แสงบาดตา โดยตรงจากดวงโคมเกินระดับที่ยอมรับได้ หรือ มีแสงบาดตาโดยอ้อมจากการสะท้อนจากพื้นผิววัตถุมัน ทั้งนี้โดยการเลือกใช้ดวงโคมและการติดตั้งทิศทางให้เหมาะสม ในกรณีที่เกิดเงาเนื่องจากชิ้นงานอยู่ในตำแหน่งที่แสงเข้าไม่ถึง อาจต้องติดตั้งดวงโคมเฉพาะตำแหน่งเข้าช่วย นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงความสะดวกในการบำรุงรักษา ความปลอดภัย และความสวยงามประกอบด้วย

2.1.3 มาตรฐานในระบบแสงสว่าง (Lighting Standard)

การออกแบบแสงสว่าง ต้องให้ได้ระดับความส่องสว่างไม่น้อยกว่าที่กฎหมายกำหนด และควรไม่น้อยกว่าความต้องการในการใช้งาน ซึ่งได้มีมาตรฐานกำหนดค่าความส่องสว่างขั้นต่ำสำหรับการใช้งานแต่ละประเภทไว้โดยมาตรฐานที่ยอมรับในทางวิศวกรรมของประเทศไทย ให้อ้างอิงตามมาตรฐานของสมาคมไฟฟ้าแห่งประเทศไทย (TIEA) มาตรฐานกำหนดค่าความส่องสว่างขั้นต่ำ ไม่ใช่ค่าความส่องสว่างเริ่มต้น ดังนั้นการออกแบบต้องเผื่อการลดลงของความส่องสว่าง จากการเสื่อมของหลอดและจากการลดลงของสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงภายในห้องที่เกิดจากฝุ่น เฟอร์นิเจอร์ และผนังกั้นห้อง ด้วยมาตรฐานด้านแสงสว่างของประเทศไทย ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

TIEA-GD 001 แนวทางการประหยัดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง

TIEA-GD 002 ข้อแนะนำการส่องสว่างสำหรับห้องที่มีจอคอมพิวเตอร์

TIEA-GD 003 ข้อแนะนำระดับความสว่างภายในอาคาร

TIEA-SP 002 ศัพท์ไฟฟ้าสว่าง

2.1.4 การออกแบบแสงสว่างให้ประหยัดพลังงาน

การออกแบบแสงสว่างจำเป็นต้องคำนึงถึงการประหยัดพลังงานแสงสว่างซึ่งจะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง ดังนั้นการที่จะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายและประหยัดพลังงานแสงสว่างสามารถทำได้ดังนี้

การเลือกใช้สีผนังห้องและเฟอร์นิเจอร์ให้ประหยัดพลังงาน (Room and Furniture Color)

การออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างให้ประหยัดพลังงานได้ดีนั้น จำเป็นจะต้องเริ่มต้นด้วยการออกแบบห้องให้มีการสะท้อนแสงภายในห้องที่ดี โดยการเลือกสีวัสดุภายในห้องเป็นสีอ่อน เช่น สีขาว เป็นต้น โดยส่วนประกอบต่าง ๆ ของห้องควรเลือกใช้สีได้แก่

1. เพดาน ควรเลือกสีอ่อน เช่น สีขาว

2. ผนังห้อง ควรเลือกสีอ่อน เช่น สีขาว การทาสีผนังห้อง หรือ การติดวอลล์เปเปอร์ ควรเลือกสีอ่อนห้องที่ตกแต่งด้วยไม้ สีและผิวด้านของไม้จะดูดกลืนแสง หากไม้ยิ่งมีสีเข้มมาก จะยิ่งทำให้ความสว่างภายในห้องลดลงมาก จึงจำเป็นต้องติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงเพิ่มขึ้น หากมีผนังกั้นภายในห้องจะทำให้ความสว่างลดลง อาจจะประมาณ 20 %

3. โต๊ะทำงาน ควรมีสีอ่อน และมีผิวด้านเช่น โต๊ะสีขาวด้าน ไม่ควรใช้โต๊ะทำงานที่มีผิวโต๊ะสีดำและไม่ควรใช้โต๊ะทำงานที่มีผิวมัน

4. เฟอร์นิเจอร์ภายในห้อง เฟอร์นิเจอร์ภายในห้อง หากใช้สีอ่อนจะช่วยทำให้ห้องสว่างเพิ่มขึ้น หากใช้โต๊ะ เก้าอี้ สีเข้ม จะทำให้ความสว่างของห้องลดลง จึงจำเป็นต้องติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงเพิ่มขึ้น กองกระดาษเอกสารในห้อง จะดูดกลืนแสงทำให้ความสว่างลดลงได้ดังนั้นการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างให้ประหยัดพลังงานได้ดีนั้น จำเป็นต้องออกแบบผนังห้องให้มีการสะท้อนแสงที่ดี เพื่อให้เกิดการสะท้อนที่ดี ซึ่งค่าการสะท้อนของสีจะมีค่าแตกต่างกันตามชนิดสีที่ใช้

ตารางที่ 2.1 เปอรเซ็นต์การสะท้อนแสงของสีและวัสดุ [1]

สีและวัสดุ	%การสะท้อนแสง
ดำ	0 - 5
เทา	10 - 60
ขาว	70 - 90
แดง	10 - 55
น้ำเงิน	10 - 50
เขียว	10 - 55
เหลือง	40 - 80
น้ำตาล	20 - 30

การเลือกหลอดไฟให้ประหยัดพลังงาน (Energy Efficient Lamp)

การเลือกหลอดที่มีค่าประสิทธิผลการส่องสว่างสูง (High Luminous Efficacy Lamp) การบอกว่าหลอดชนิดใดประหยัดพลังงานหรือไม่ เราสามารถเปรียบเทียบได้โดยใช้ค่าที่เรียกว่าประสิทธิผลในการส่องสว่าง(Efficacy) แต่หากเปรียบเทียบรวมกำลังทั้งหมดซึ่งรวมถึงกำลังไฟฟ้าสูญเสียในบัลลาสต์ด้วยแล้ว เราก็จะเรียกค่าประสิทธิผลการส่องสว่างของระบบ (System Luminous Efficacy) หลอดไฟฟ้าที่มีใช้กันอยู่มีหลายชนิดด้วยกัน หลอดแต่ละชนิดก็มีคุณสมบัติทางแสงและทางไฟฟ้าแตกต่างกัน ในการเลือกหลอดเพื่อการประหยัดพลังงาน ควรเลือกหลอดที่มีประสิทธิผลการส่องสว่าง (ลูเมนต่อวัตต์) สูง หลอดมีอายุการใช้งานนาน ราคาของหลอดเหมาะสม และคุณสมบัติทางแสงของหลอดเหมาะสมในการนำไปใช้งานด้วย

การเลือกบัลลาสต์ให้ประหยัดพลังงาน

การใช้งานบัลลาสต์ติดตั้งร่วมกับหลอดไฟ จะต้องรู้ชนิดของบัลลาสต์และคุณสมบัติ ซึ่งจะมีดังต่อไปนี้

1. บัลลาสต์ธรรมดาราคาถูก แต่ไม่ประหยัดพลังงาน และ มีความร้อนสูง เหมาะสำหรับงานติดตั้งชั่วคราว เช่น งานวัด

2. บัลลาสต์กำลังสูญเสียต่ำ (low loss ballast) มีราคาแพงขึ้น แต่ช่วยประหยัดพลังงานได้ โดยมีระยะเวลาคืนทุนเร็ว มีอุณหภูมิขณะทำงานต่ำ ปลอดภัยต่อการใช้งานมากขึ้น เหมาะสำหรับงานติดตั้งทั่วไป เช่นสำนักงานทั่วไป บ้าน

3. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (electronic ballast) มีราคาแพงมากขึ้น แต่ช่วยประหยัดพลังงานได้มาก มีอุณหภูมิขณะทำงานต่ำ ปลอดภัยต่อการใช้งานมากขึ้น เหมาะสำหรับงานติดตั้งที่มีจำนวนชั่วโมงใช้งานสูง เช่นโรงงานที่ทำงานตลอด 24 ชม. หลอดที่ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ถูกจ่ายกำลังไฟฟ้าลดลงจาก 36 วัตต์ เหลือ32 วัตต์ ได้โดยเพราะเป็นการจ่ายกำลังไฟฟ้าความถี่สูง ที่สามารถช่วยให้หลอดเปล่งแสงสว่างเพิ่มขึ้นได้ประมาณ 10 % เพื่อให้ประหยัดพลังงาน ส่วนค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในบัลลาสต์จะมีค่าประมาณ 4 วัตต์ (ไม่ใช่1-2วัตต์) แต่ก็มีข้อระวังในการใช้งาน คือ มีระยะเวลาคืนทุนนาน ซึ่งถ้าหากมีอายุการใช้งานสั้น หรือ ระยะเวลารับประกันสั้น ก็อาจไม่คุ้มทุนได้ และต้องระวังเรื่องคุณภาพให้มีการจำกัดฮาร์มอนิกไม่ให้เป็นมลภาวะต่อระบบไฟฟ้าเป็นต้น

ข้อควรระวังในการติดตั้งบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

1. การใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะใช้จำนวนเซอร์กิตเบรกเกอร์มากกว่าการ ใช้บัลลาสต์ธรรมดา หรือบัลลาสต์กำลังสูญเสียต่ำ ประมาณ 20-40 % เพราะค่ากระแสตอนเริ่ม ทำงานมีค่าสูงมากกว่าซึ่งอาจต้องปรับเปลี่ยน เพิ่มแผงสวิตช์ไฟ, เพิ่มจำนวนสวิตช์เปิดปิด เพื่อป้องกันปัญหาเซอร์กิตเบรกเกอร์ทริปขณะหลอดไฟถูกจุดติด พร้อมกันทั้งชั้นหรือทั้งตึก (ตอนที่ไฟฟ้ามาหลังจากที่เกิดไฟดับ) หรือปัญหาหน้าสัมผัสของสวิตช์ปิด-เปิดไฟเกิดอาร์กติดกัน

2. การเลือกบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จำเป็นต้องระวังปริมาณฮาร์มอนิก ซึ่งอาจจำเป็นต้องใช้สายนิวทรอล มีขนาดใหญ่ขึ้นเช่นเป็น 2 เท่าของสายเส้นไฟ เพื่อป้องกันสายนิวทรอลไหม้ พิจารณาการติดตั้งรีแอกเตอร์ฟิลเตอร์ในระบบเพื่อลดฮาร์มอนิก มิฉะนั้นฮาร์มอนิกอาจทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆเช่น หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังสายไฟ คาปาซิเตอร์แบงค์ เสียหายได้

3. การติดตั้งบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ควรต้องมีการต่อลงดินของกล่องบัลลาสต์ การชิลด์สายตามมาตรฐานการติดตั้ง เพื่อป้องกันการส่งคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ เช่น อุปกรณ์สื่อสาร,วิทยุ,คอมพิวเตอร์,อุปกรณ์รักษาความปลอดภัยหรือเครื่องมือวัด,เครื่องมือทางการแพทย์บัลลาสต์ทั้ง 3 ชนิดข้างต้น มีทั้งชนิดค่าตัวประกอบกำลังของวงจร ต่ำ และชนิดค่าตัวประกอบกำลังของวงจรสูง การเลือกใช้ชนิดค่าตัวประกอบกำลังสูงแม้จะมีราคาแพงขึ้น แต่จะสามารถลดกระแสไฟฟ้าในสายไฟลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในสายไฟและลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์ประกอบ เช่น สายไฟ จำนวนเซอร์กิตเบรกเกอร์ ขนาดแผงสวิตช์ไฟ เป็น

2.1.5 การเลือกใช้หลอดไฟฟ้า

การออกแบบระบบแสงสว่างจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าเกี่ยวกับประเภทของหลอดไฟ คุณสมบัติของหลอดไฟแต่ละชนิดและความเหมาะสมของการใช้งานหลอดไฟให้เหมาะสมกับแต่ละสถานที่ในเนื้อหาของบทนี้จะมีการกล่างถึงประเภทของหลอดไฟที่ใช้ในปัจจุบันโดยจะมีการแบ่งตามหลักการที่ให้เกิดแสงสว่างและตัวประกอบที่ต้องคำนึงถึงในการเลือกใช้หลอดไฟ เช่นประสิทธิภาพแสงและอายุการใช้งานของหลอดไฟ เป็นต้น

2.1.6 ประเภทของหลอดไฟ

หลอดไฟฟ้าเกือบทุกชนิดย่อมให้แสงได้ แต่การเลือกใช้ ก็ต้องมีหลักการพิจารณา ซึ่งหลอดไฟฟ้าที่ผลิตออกจำหน่ายเพื่อใช้ในการให้แสงสว่างทั่ว ๆ ไปในปัจจุบันมีอยู่ทั้งหมด 8 ชนิด แบ่งออกได้เป็นสามกลุ่มประเภทของหลอดไฟ ซึ่งแบ่งตามลักษณะของการเกิดแสง

กลุ่มอินแคนเดสเซนต์ ใช้หลักการทำให้วัตุร้อนจนเปล่งแสง มีสองชนิด

1. หลอดอินแคนเดสเซนต์หรือหลอดไส้
2. หลอดทังสเตนฮาโลเจน

กลุ่มปล่อยประจุในก๊าซ ต้องใช้งานร่วมกับบัลลาสต์ แบ่งออกเป็นสองกลุ่มย่อย คือ

2.1.6.1 กลุ่มความดันดันสูง หรือกลุ่มหลอด HID (High Intensity Discharge) มีอยู่ด้วยกันสามชนิด

1. หลอดไอปรอทความดันสูง
2. หลอดเมตัลฮาไลด์
3. หลอดโซเดียมความดันสูง

2.1.6.2 กลุ่มความดันต่ำ มีอยู่ด้วยกันสองชนิด

1. หลอดฟลูออเรสเซนต์
2. หลอดโซเดียมความดันต่ำ

กลุ่มอินแคนเดสเซนต์และปล่อยประจุในก๊าซ หลอดแสงผสม (Blended Light) หรือหลอดไอปรอทความดันสูงที่มีบัลลาสต์ในตัวเอง

2.1.7 ตัวประกอบที่ใช้เลือกหลอดไฟฟ้า

หลอดไฟฟ้าแต่ละชนิดมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน การใช้งานจึงจำเป็นต้องเลือกให้เหมาะกับงานแต่ละประเภทซึ่งตัวประกอบที่ใช้ในการเลือกหลอดไฟฟ้าจะประกอบด้วย

1. ประสิทธิภาพแสง (ลูเมนต่อวัตต์)
2. อายุใช้งาน (ชั่วโมง)
3. คุณสมบัติทางด้านสี
4. ขนาด (รูปร่าง) และกำลังไฟฟ้า
5. เวลาที่ต้องรอเมื่อเปิดใช้งาน (นาที)

6. การเสื่อมสภาพของหลอดไฟฟ้า

7. ลักษณะการติดตั้งใช้งาน

8. อุณหภูมิแวดล้อม

9. ช่วงของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อน

10. ราคา

11. ตัวประกอบอื่น ๆ ที่ต้องพิจารณาเป็นพิเศษ เช่น การหรี่แสง การกระเพื่อมของแสง กระแสจุดหลอด

2.1.8 ประสิทธิภาพแสง

หลอดไฟฟ้าแสงสว่างต่างๆ จะมีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นแสงสว่างไม่เท่ากันความสามารถของหลอดนี้ เราเรียกว่าประสิทธิภาพแสง (Luminous Efficacy; Im/W) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของฟลักซ์ส่องสว่างต่อกำลังไฟฟ้า มีหน่วยวัดเป็นลูเมนต่อวัตต์ ตัวอย่างเช่น หลอดโซเดียมความดันต่ำมีประสิทธิภาพแสงสูง แต่เนื่องจากให้แสงสีเหลืองเพียงสีเดียวทำให้สีของวัตถุผิดเพี้ยนมาก จึงเหมาะกับการใช้ให้แสง เพื่อความปลอดภัยและรักษาความหลอดภัย (Safety and Security Lighting) เช่น ไฟถนนตามทางแยกในชนบท ไฟรั้ว โรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น หลอดที่มีประสิทธิภาพแสงรองจากหลอดโซเดียมความดันต่ำ คือหลอดโซเดียมความดันสูง ให้แสงออกสีเหลืองทองเหมาะกับการใช้แสงสว่างถนนโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับหลอดอินแคนเดสเซนต์ จะเป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพแสงต่ำที่สุดประสิทธิภาพของแสงยิ่งค่าตัวเลขยิ่งมากจะบ่งบอกว่าหลอดไฟชนิดนั้นมีประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างสูง

ตารางที่ 2.2 ประสิทธิภาพแสงของหลอดแต่ละประเภท [5]

ชนิดของหลอด	ประสิทธิภาพแสง (ลูเมนต่อวัตต์)
1.หลอดอินแคนเดสเซนต์	8-20
2.หลอดทังสเตนฮาโลเจน	17-25
3.หลอดแสงผสม	12-30
4.หลอดไอปรอทความดันสูง	35-50
5.หลอดฟลูออเรสเซนต์	45-65
6.หลอดเมตลฮาไลด์	45-70
7.หลอดโซเดียมความดันสูง	60-110
8.หลอดโซเดียมความดันต่ำ	70-155

2.1.9 อายุการใช้งานของหลอดไฟ

อายุการใช้งานของหลอดไฟฟ้า คือจำนวนชั่วโมงที่สามารถเปิดใช้งานได้ก่อนที่หลอดจะขาดหรือเสียสำหรับหลอดอินเดนเดสเซนต์และหลอดทังสเตนฮาโลเจน อายุใช้งานของหลอดจะไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ของการเปิดปิดใช้งาน แต่ถ้าเป็นหลอดพวกปล่อยประจุในก๊าซทั้งหลายความถี่ของการเปิดปิดใช้งานจะมีผลกระทบอย่างมากต่ออายุใช้งานของหลอด ถ้าเปิดปิดบ่อยอายุใช้งานจะสั้นเพราะการเปิดปิดแต่ละครั้งจะทำให้สารที่เคลือบไว้ที่ไส้หลอดหรืออิเล็กโตรดเพื่อสร้างอิเล็กตรอนอิสระ หลุดกระเด็นออกมาจากไส้หลอด เมื่อหลุดออกมามากจะทำให้หลอดทำงานไม่ได้ (ถือว่าหลอดหมดอายุ) ซึ่งอายุการใช้งานของหลอดไฟจะมีค่าแตกต่างกันตามแต่ละชนิด

ตารางที่ 2.3 อายุการใช้งานของหลอดแต่ละประเภท [5]

ชนิดหลอด	อายุใช้งาน(ชั่วโมง)
1.หลอดอินแคนเดสเซนต์	750-1,000
2.หลอดทังสเตนฮาโลเจน	10,000-16,000
3.หลอดแสงผสม	2,000-4,000
4.หลอดไอปรอทความดันสูง	24,000+
5.หลอดฟลูออเรสเซนต์ -แบบอุ่นไส้ -แบบจุดติดเร็ว	 6,000-8,000 20,000
6.หลอดเมตัลฮาไลด์	7,500-20,000
7.หลอดโซเดียมความดันสูง	24,000+
8.หลอดโซเดียมความดันต่ำ	18,000

หลอดฟลูออเรสเซนต์จะกำหนดอายุใช้งานด้วยวัฏจักรการเปิดปิดใช้งาน 3 ชั่วโมงต่อครั้ง (เปิดใช้งาน 2 ชั่วโมง 50 นาที และปิด 10 นาที) เพื่อให้เหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในอาคารสำนักงาน ที่อยู่อาศัย ฯลฯ ถ้าวัฏจักรการเปิดปิดใช้งานแตกต่างไปจาก 3 ชั่วโมงต่อครั้ง อายุใช้งานของหลอดฟลูออเรสเซนต์จะแตกต่างไปจากอายุใช้งานตามที่บริษัทผู้ผลิตได้ระบุไว้ สำหรับหลอดปล่อยประจุในก๊าซประเภทความเข้มแสงสูง (HID : High Intensity Discharge Lamp) คือ หลอดไอปรอทความดันสูง หลอดเมตัลฮาไลด์ หลอดโซเดียมความดันสูง โดยรวมหลอดแสงผสมด้วยนั้น จะกำหนดอายุใช้งานด้วยวัฏจักรการเปิดปิดใช้วานชั่วโมงต่อครั้ง

2.1.10 คุณสมบัติของหลอดไฟที่ต้องพิจารณาในการเลือกหลอดไฟ

การเลือกใช้หลอดไฟฟ้าเพื่อใช้งานจำเป็นต้องพิจารณาองค์ประกอบหลาย ๆ อย่าง ดังต่อไปนี้

1. ประสิทธิ์ผลการส่องสว่าง (Luminance Efficacy) หลอดที่ประหยัดพลังงานจะมีค่าประสิทธิ์ผลการส่องสว่างสูง

2. อายุการใช้งาน (Lamp mortality) หมายถึง ระยะเวลาโดยเฉลี่ย ซึ่งเมื่อใช้งานหลอดไฟครบระยะเวลานั้นแล้ว จะคงเหลือหลอดไฟฟ้าที่ยังคงทำงานอยู่ครึ่งหนึ่ง

3. ความเสื่อมหลอด (Lamp lumen Depreciation) คือ อัตราส่วนปริมาณแสงที่เหลืออยู่เมื่อหลอดไฟฟ้าครบอายุการใช้งานเทียบเท่ากับฟลักซ์ส่องสว่างเริ่มต้น

4. อุณภูมิสี (color temperature) หมายถึง สีของหลอดเทียบได้กับสีที่เกิดเนื่องจากการเผาวัตถุอุดมคติให้ร้อนที่อุณภูมินั้น เช่น หลอดอินแคนเดสเซนมีอุณภูมิสีประมาณ 3000 องศาเคลวิน

5. ความถูกต้องสี (color rendering) สีที่ส่องไปถูกวัตถุให้ความถูกต้องสีมากน้อยเพียงใดหลอดที่มีค่าความถูกต้อง 100 หมายความว่า เมื่อใช้หลอดนี้ส่องวัตถุชิ้นหนึ่งแล้วสีของวัตถุที่เห็นไม่มีความเพี้ยนของสี

6. ระยะเวลาอุ่นหลอด และระยะเวลารอจุดหลอดซ้ำ (Restrike Time) คือช่วงเวลานับจากเริ่มเปิดจนกระทั่งหลอดสว่างเต็มที่ และช่วงเวลาที่ต้องการพักให้หลอดไฟฟ้าคืนตัว ก่อนจะเปิดใช้ใหม่อีกครั้ง

7. มุมองศาในการใช้งานหลอด (Buring position)หมายถึง มุมองศาในการใช้งานหลอด สำหรับการติดตั้งหลอดตามคำแนะนำของผู้ผลิต

8. คุณสมบัติเฉพาะอื่นๆ ที่สำคัญ ได้แก่ ราคาหลอด ขนาดกำลัง และลักษณะการติดตั้ง ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงความสามารถในการหรี่แสง ความทนต่อการสั่นสะเทือนและอุณภูมิ

9. เลือกหลอดที่มีอายุการใช้งานนาน (Long Lamp Life) หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนมีอายุการใช้งานให้เลือกหลากหลาย เช่น 1000 ช.ม – 15000ช.ม ดังนั้นอายุการใช้งานจึงเทียบอายุการใช้งานได้1-15 เท่าของอายุการใช้งานของหลอดไส้ ทั้งนี้บางยี่ห้ออาจไม่เป็นตามนี้ อย่างไรก็ตาม การเลือกหลอดที่ประหยัดพลังงานแล้วเราต้องคำนึงถึงการประหยัดเงินด้วย โดยพิจารณาจากระยะเวลาการคืนทุนด้วย

10. เลือกหลอดที่ให้สีของแสงเหมาะสมกับการใช้งาน (Correct Light Color)เราบอกคุณสมบัติของแสงได้ด้วย ค่าอุณภูมิสองแสง ค่าดัชนีความถูกต้องของสี เป็นต้น

2.1.11 อุณภูมิของแสง (color Temperature)

อุณภูมิของแสงเป็นการระบุสีของแสงที่ปรากฏให้เห็น โดยเทียบกับสีที่เกิดจากการเปล่งสี จากการเผาไหม้วัตถุดำ ที่อุณหภูมิที่กำหนด ซึ่งมีหน่วยเป็นเคลวิน เช่นแสงจากหลอดไส้ที่มีอุณหภูมิสี 2700 k มีอุณหภูมิต่ำแสงที่ได้จะมีโทนสีร้อน (สีแดง) ส่วนพระอาทิตย์ในช่วงกลางวันให้แสงสีขาวจ้านั้นมี

อุณหภูมิประมาณ 5500k หรือหลอดฟลูออเรสเซนคลูไวที่มีอุณภูมิสี 6500k หมายถึงให้สีเทียบเท่าเมื่อเผาวัตถุดำให้ร้อนถึงอุณหภูมิ6500 k วัตถุจะเปล่งแสงออกมาเป็น สีคูลไว หรือ ขาวฟ้า เป็นต้น

ตารางที่ 2.4 อุณหภูมิของแสง [5]

อุณหภูมิสีของแสง(k)	โทนสีของแสง(Color Group)	ตัวอย่างแหล่งกำเนิดแสง
ประมาณ 1,900	สีขาวส้ม (Incandescent)	เทียนไข
ประมาณ 2,700	สีขาวส้ม (Incandescent)	หลอดอินแคนเดสเซนต์
ประมาณ 3,000	สีวอร์มไวต์(ขาวเหลือง)	หลอดทังสเตนฮาโลเจน
ประมาณ 3,500	สีวอร์มไวต์ (ขาวเหลือง)	หลอดไอปรอทความดันสูง หลอดฟลูออเรสเซนต์ สีวอร์มไวต์
ประมาณ 4,000	สีคูลไวต์(ขาวเย็น)	หลอดเมทัลฮาไลด์
ประมาณ 4,500	สีคูลไวต์(ขาวเย็น)	หลอดหลูออเรสเซนต์ สีคูลไวต์
ประมาณ 5,000 – 6,000	สีเดย์ไลท์(ขาว)	แสงอาทิตย์กลางวัน
ประมาณ 6,500	สีขาวฟ้าเย็น	หลอดฟลูออเรสเซนต์สีเดย์ไลท์

การวัดอุณหภูมิสีของแสงแตกต่างจากการวัดอุณหภูมิความร้อน โดยหลอดไฟที่มีอุณหภูมิสีต่ำจะให้โทนสีอุ่นส่วนหลอดที่มีอุณหภูมิสีสูงจะให้โทนสีเย็น ซึ่งจะตรงข้ามกับอุณหภูมิความร้อนการเลือกใช้แสงที่มีอุณหภูมิสีต่างกันจะทำให้ได้บรรยากาศแตกต่างกันไปด้วย โทนสีอุ่นจะให้ความรู้สึกอบอุ่นจึงเหมาะแก่การพักผ่อนส่วนโทนสีเย็นจะให้ความรู้สึกกระฉับกระเฉงจึงเหมาะสำหรับการทำงานสี คูลไวท์และสีเดย์ไลท์เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการความสว่างมาก เช่นห้องทำงานและให้แสงสว่างสำหรับผักผลไม้สีเขียว สี วอร์มไวท์เหมาะสำหรับงานที่ไม่ต้องการความสว่างมากนัก เช่น ห้องนั่งเล่นห้องนอน ห้องอาหาร ภัตตาคารและส่องเนื้อสัตว์

2.1.12 ค่าดัชนีความถูกต้องของสี (Colour Rendering Index ,Ra หรือ CRI)

ค่าดัชนีความถูกต้องของสี (Ra) เป็นค่าที่บอกว่าแสงนั้นทำให้เห็นสีของวัตถุได้ ถูกต้องมากเพียงใด ค่าRa ไม่มีหน่วย มีค่าตั้งแต่ 0 – 100 โดยกำหนดให้แสงอาทิตย์กลางวันเป็นดัชนีอ้างอิงเปรียบเทียบ ที่มีค่า Raเท่ากับ 100 เพราะแสงอาทิตย์ประกอบด้วย Spectrum ครบทุกสีหลอดไส้แม้มีค่าอุณหภูมิสีต่ำ แต่ก็ให้แสงที่มี Spectrum ครบทุกสี จะมีค่า Ra เท่ากับ 100 เช่นกันขณะที่แหล่งกำเนิดแสงอื่นๆ เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งให้ Spectrum ไม่ครบทุกสี จึงอาจให้สีของวัตถุภายใต้แสงนั้นเพี้ยนไปจากความจริงได้ จึงมีค่า Ra ต่ำกว่า 100 ส่วนที่หลอดที่ให้ Spectrum สีที่มีความยาวคลื่นเดียว เช่น หลอด Low pressure sodium ซึ่งให้สีเหลืองถูกต้องแต่สีอื่นเพี้ยนก็จะมีค่า Ra ต่ำ 0-35 เป็นต้น

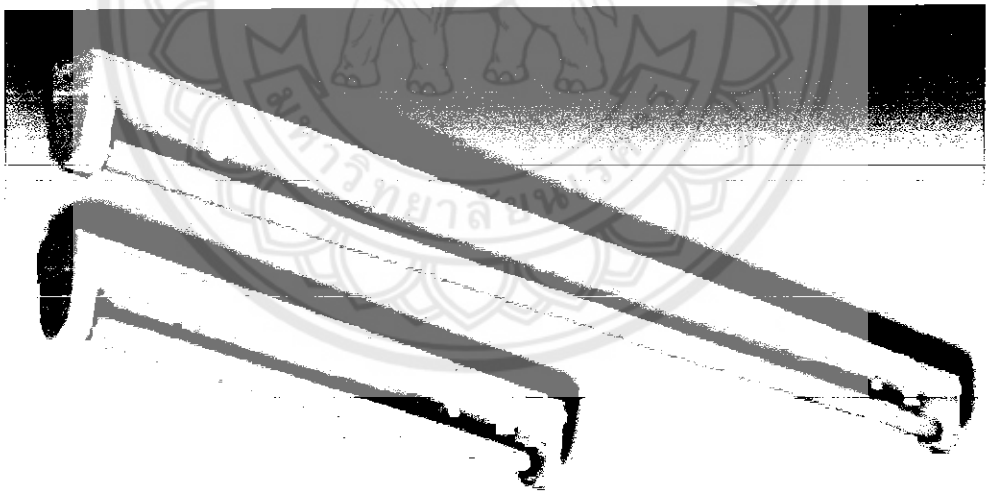
2.1.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสีและความส่องสว่าง

การเลือกชนิดของหลอดที่ใช้ควรให้ความสัมพันธ์กันระหว่างความส่องสว่าง(Lx) และอุณหภูมิสีของหลอด ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างและอุณหภูมิสี ถ้าหลอดที่มีอุณหภูมิสีต่ำควรใช้กับความส่องสว่างต่ำ หลอดที่มีอุณหภูมิสีสูงควรใช้กับความส่องสว่างสูงและถ้าใช้หลอดที่มีอุณหภูมิสีต่ำกับความส่องสว่างสูงจะตกไปในย่านโซนที่ทำให้รู้สึกแสงจ้า และถ้าใช้หลอดที่มีอุณหภูมิสีสูงกับความสว่างต่ำจะไปตกในย่านที่ทำให้รู้สึกทึมตัวอย่างการเลือกสีของหลอดให้สัมพันธ์กับความส่องสว่างของแต่ละงานเช่น ร้านอาหารความสว่าง 200 lux ควรใช้หลอดอุณหภูมิสี 2,000 K ดังนั้นร้านอาหารจึงใช้เทียนไข หรือโคมไฟประดับหลอดอินแคนเดสเซนต์, สำนักงาน ความส่องสว่าง 500 lux ควรใช้หลอดอุณหภูมิสี 4,000 K , ห้องเขียนแบบความส่องสว่าง 200 lux ควรใช้หลอดอุณหภูมิสี 4,500 K ดังนั้นสำนักงานทั่วไปจึงใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ สีคูลไวท์ หรือ ไวท์หรือเดย์ไลท์ เป็นต้น

2.1.14 ประเภทของหลอดฟลูออเรสเซนต์

โคมฟลูออเรสเซนต์เปลือย

- ไม่พิถีพิถันกับแสงบาดตา
- ใช้ในการติดเพดานที่ไม่สูงนัก
- ใช้ในห้องเก็บของ, ที่จอดรถ, พื้นที่มีชั้นวางของ และในที่ใช้งานไม่บ่อยนัก



รูปที่ 2.1แสดงโคมฟลูออเรสเซนต์เปลือย [5]

โคมฟลูออเรสเซนต์โรงงาน

- มีแผ่นสะท้อนแสงเพื่อให้แสงควบคุมแสงให้ไปตามทิศที่เราต้องการ
- โคมไม่มีตัวครอบ ไม่เน้นความสวยงาม และมีแสงบาดตา

รูปที่ 2.2 แสดงโคมฟลูออเรสเซนต์โรงงาน [5]

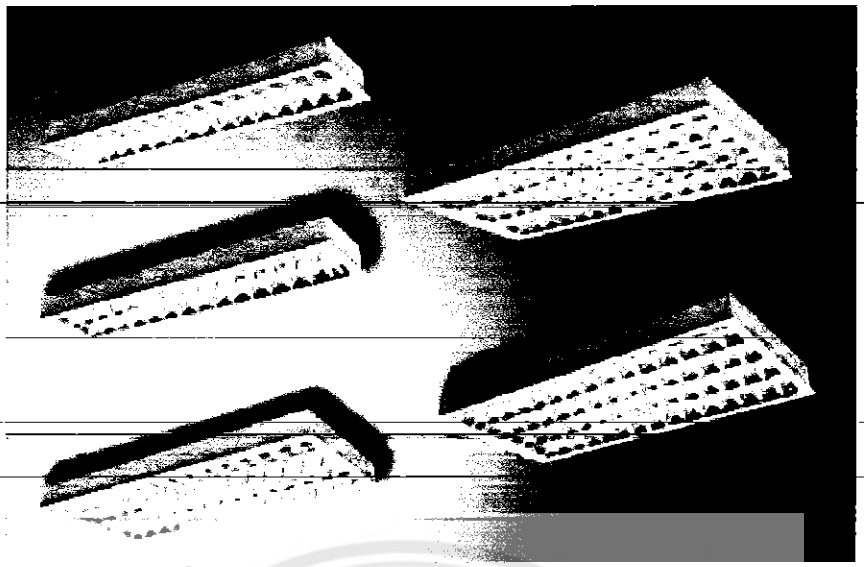
โคมฟลูออเรสเซนต์กรองแสง

- โคมชนิดนี้จะติดฝ้ากันแสง
- เหมาะกับใช้ในโรงพยาบาลในที่ๆไม่ต้องการให้แสงไปรบกวนคนไข้มากนัก และอาจใช้ในห้องประชุมบางแห่ง

รูปที่ 2.3 แสดงโคมฟลูออเรสเซนต์กรองแสง [5]

โคมฟลูออเรสเซนต์แบบตะแกรง

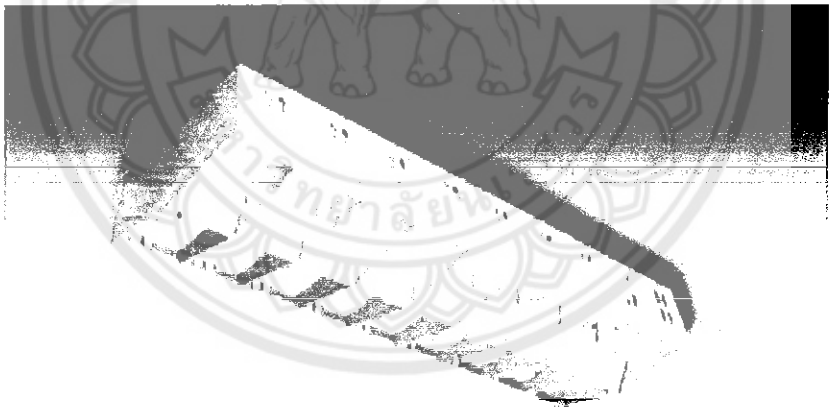
- มีทั้งแบบติดลอยและฝังฝ้า ที่ด้านข้างจะติดแผ่นสะท้อนแสงที่ทำมาจากอลูมิเนียม
- โคมชนิดนี้จำแนกได้ ดังนี้



รูปที่ 2.4 แสดงโคมฟลูออเรสเซนต์แบบตะแกรง [5]

โคมฟลูออเรสเซนต์ แบบตะแกรงแบบตัวขวางริ้ว

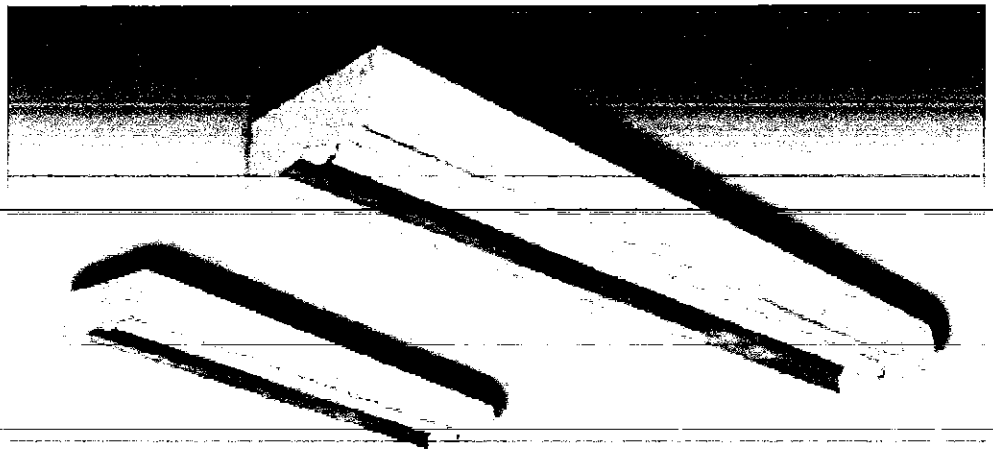
- โคมชนิดนี้จะแบ่งช่องตามยาวตามจำนวนหลอด
- โคมชนิดนี้เหมาะที่จะใช้ในพื้นที่สำนักงานที่มีการใช้ computer น้อย



รูปที่ 2.5 แสดงโคมฟลูออเรสเซนต์ แบบตะแกรงแบบตัวขวางริ้ว [5]

โคมฟลูออเรสเซนต์ แบบตะแกรงแบบตัวขวางพาราโบลา

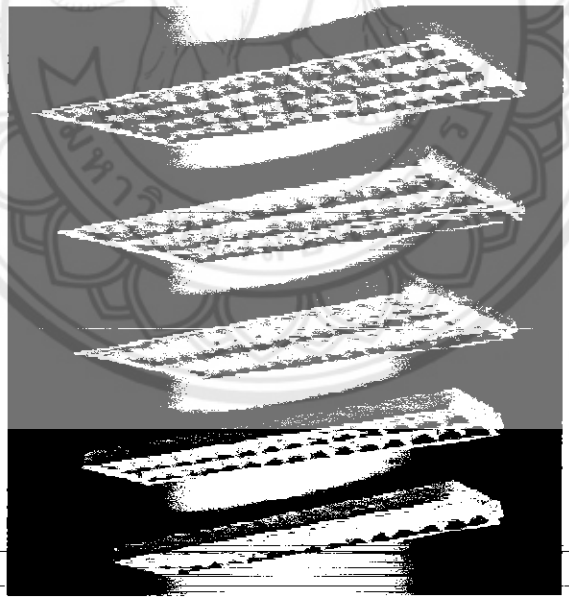
- โคมชนิดนี้มีแสงบาดตาน้อยกว่าแบบตัวขวางริ้ว
- นิยมเอาไปใช้ในสำนักงานที่มี computer รวมถึงห้องประชุม ห้างสรรพสินค้า เป็นต้น



รูปที่ 2.6 แสดงโคมฟลูออเรสเซนต์ แบบตะแกรงแบบตัวขวางพาราโบลา [5]

โคมฟลูออเรสเซนต์ แบบตะแกรงพาราโบลิกจัตุรัส

- **โคม**จะทำลายเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส
- **เป็น**โคมที่ให้แสงนุ่ม และบาดตาน้อย นิยมใช้ในห้องประชุมผู้บริหาร ห้อง**ผู้บริหาร**
- **โคม**ชนิดนี้ให้ประสิทธิภาพแสงที่ต่ำกว่าแบบขวาง แต่คุณภาพแสงดีกว่า



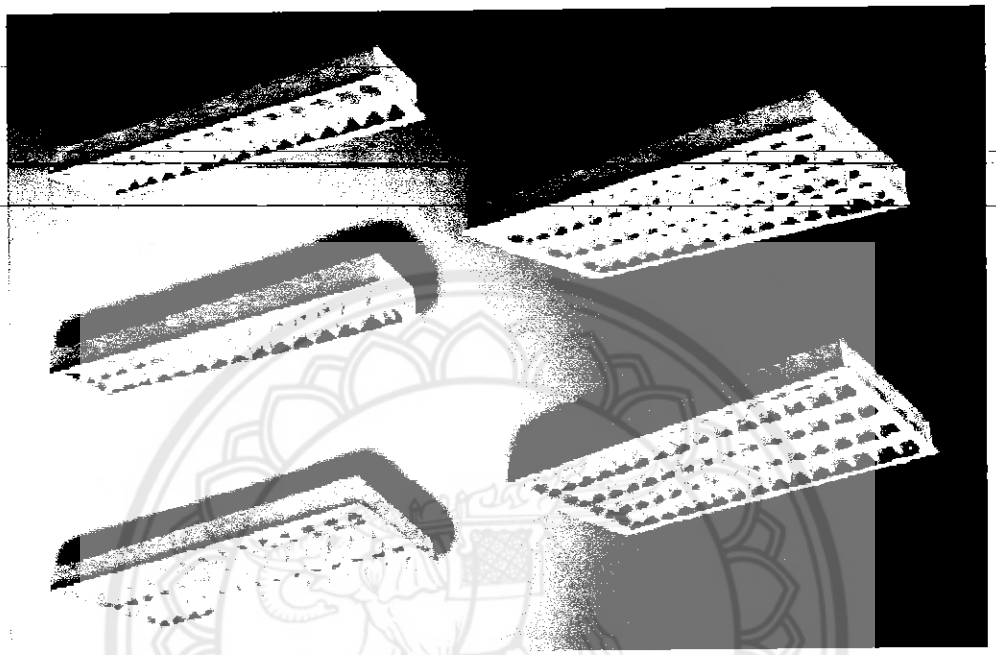
รูปที่ 2.7 แสดงโคมฟลูออเรสเซนต์ แบบตะแกรงพาราโบลิกจัตุรัส [5]

โคมฟลูออเรสเซนต์ แบบตะแกรงช่องถี่

- **เป็น**โคมฟลูออเรสเซนต์ที่มีช่องถี่มาก
- **เป็น**โคมที่ไม่ค่อยประหยัดไฟนัก แต่เน้นเรื่องความสวยงาม และเน้นคุณภาพแสงเพราะมี

แสงที่บาดตาน้อย ใช้ในพื้นที่ๆไม่ต้องการแสงบาดตามาก หรือบริเวณที่ต้องการความสวยงาม เช่นที่บริเวณ เคาเตอร์ต้อนรับหรือประชาสัมพันธ์

การใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์ในการติดตั้งจำเป็นต้องเลือกลักษณะของหลอดไฟให้เหมาะสมกับสถานที่ใช้เพื่อให้ได้ความสว่างเพียงพอและประหยัดค่าใช้จ่าย เช่น



รูปที่ 2.8 แสดงโคมฟลูออเรสเซนต์ แบบตะแกรงช่องถี่ [5]

โคมฟลูออเรสเซนต์เปลือย (Battern ,bare typegeneral – diffuse luminaire)

ใช้กับงานที่ต้องการแสงออกด้านข้าง และไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับแสงบาดตาเหมาะสำหรับเพดานที่ไม่สูง เช่น ติดตั้งภายในตู้ , ไฟหลืบ , บนชั้นวางของ

โคมฟลูออเรสเซนต์กรองแสง

- ชนิดฝังฝ้า
- ชนิดติดลอย (ตัวยู)
- ชนิดติดผนัง (ตัวแอล)
- มี / ไม่มี แผ่นสะท้อนแสงด้านหลังหลอด

ใช้กับงานที่ไม่ต้องการแสงบาดตาจากหลอดต่ำ และไม่ต้องการความเข้มส่องสว่างมากนัก เช่น ห้องพักคนไข้ในโรงพยาบาล , ห้องประชุมโคมชนิดนี้มีแผ่นกรองแสงหลายแบบ เช่น แบบเกร็ดแก้ว , แบบขาวขุ่น ,แบบผิวส้ม

โคมฟลูออเรสเซนต์แบบตะแกรง

- แบบตัวขวาง
- แบบพาราโบลา
- แบบช่องถี่

ให้การกระจายที่มีสามารถความคุมมุมการกระจายแสงให้กว้าง หรือ อสมการได้ ใช้กับงานที่มีการใช้จอภาพ

2.1.15 หลักการออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคาร

ในเนื้อหาของบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคารจะเป็นการให้แสงสว่างด้วยวิธีลูเมนและใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ในการติดตั้ง ซึ่งจะมีสูตรที่จำเป็นในการคำนวณดังต่อไปนี้

การให้แสงสว่างภายในอาคารด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์การคำนวณหาปริมาณแห่งการส่องสว่าง

ปริมาณแห่งการส่องสว่าง = ปริมาณเส้นแรงของแสงสว่างที่ออกมาจากโคมหรือหลอดไฟ (ลูเมน)/พื้นที่ที่ต้องการปริมาณแสงสว่าง (ตารางฟุต)

$$E = \frac{L}{A} \tag{2.1}$$

เมื่อ E = ปริมาณแห่งการส่องสว่าง (lux)

L = ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างที่ออกจากโคมหรือหลอดไฟ (ลูเมน)

A = พื้นที่ที่ต้องการปริมาณแสงสว่าง (ตารางเมตร)

ในทางปฏิบัติ แสงสว่างจะกระจัดกระจายทั่วทั้งห้อง และมีบางส่วนสะท้อนกลับคืนออกมา และบางส่วนก็จะถูกกลืนหายเข้าไปในพื้นผิวนั้น ๆ การที่แสงจะสะท้อนออกมามากหรือน้อยนั้นก็ขึ้นอยู่กับ ความกว้าง ความยาว ความสูงของห้อง ตลอดจนความสามารถในการสะท้อนแสงของพื้นห้อง เพดาน และผนังห้องด้วย ด้วยเหตุดังกล่าว ค่าปริมาณแห่งการส่องสว่าง จึงจะต้องคูณค่าที่เรียกว่าค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (Coefficient of Utilization) ซึ่งค่านี้จะเป็นตัวบอกให้รู้ว่า แสงที่ออกมาจากดวงโคมจะตกลงบนพื้นงานจริงๆ เท่าใด

$$E = \frac{L \times CU}{A} \tag{2.2}$$

เมื่อ CU = ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์

ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (coefficient of utilization : CU) คือ อัตราส่วนของฟลักซ์แสงสว่างที่ตกบนพื้นที่ทำงานกับฟลักซ์แสงสว่างที่ตกบนพื้นที่ทำงานกับฟลักซ์แสงสว่างทั้งหมดที่ส่องออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงซึ่งขึ้นอยู่กับค่าดังต่อไปนี้

1. ประสิทธิภาพการกระจายแสงดวงโคมยิ่งสูงแสงที่จะได้รับบนพื้นที่ทำงานก็ยิ่งสูงด้วย
2. ความสูงของการติดตั้งดวงโคม ยิ่งติดตั้งสูงแสงสว่างที่ตกลงพื้นที่ทำงานก็จะยิ่งลดลง

องค์ประกอบที่สำคัญซึ่งเกี่ยวข้องด้วยดังนี้

1. ดัชนีของห้อง (Room index)
2. การสะท้อนจากพื้นผิว (Surface Reflectance)
3. การแผ่กระจายของแสง (Light Distribution)
4. อัตราส่วนของแสงที่กระจาย (Light Output Ratio)
5. การติดตั้งดวงโคม (Arrangement of Luminaires)

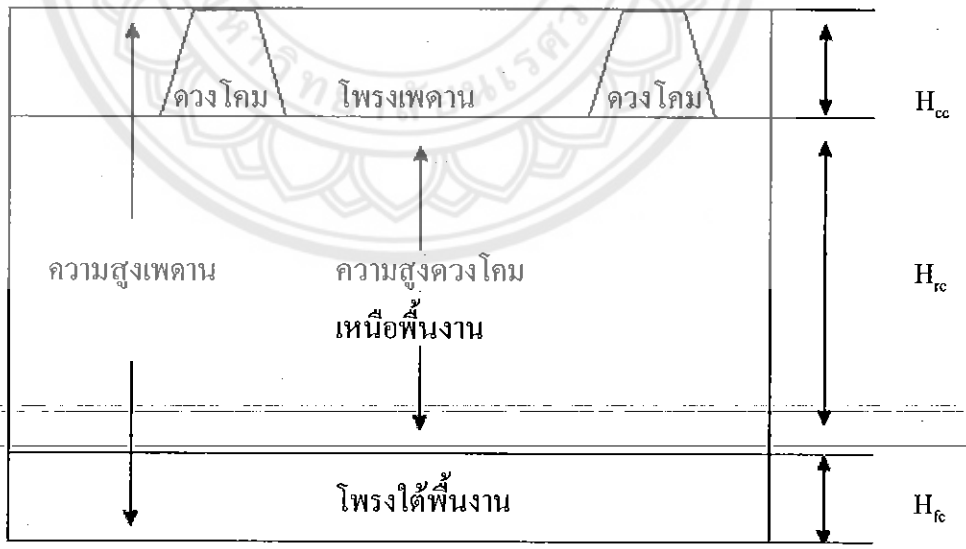
โดยมีรายละเอียดในแต่ละหัวข้อดังนี้

1. ดัชนีของห้อง (Room index)

เมื่อ L คือ ความยาวของห้องมีหน่วยเป็นเมตร

W คือ ความกว้างของห้องมีหน่วยเป็นเมตร

H คือ ความสูงของดวงโคม ห่างจากพื้นที่ที่วิเคราะห์ มีหน่วยเป็นเมตร



รูปที่ 2.9 อัตราส่วนโพรง [1]

อัตราส่วนโพรง

1. อัตราส่วนโพรงเพดาน (Ceiling Cavity Ratio : CCR)

$$CCR = 5\,H_{cc}\,\frac{(W+L)}{(W\times L)} \qquad (2.3)$$

2. อัตราส่วนโพรงห้อง (Room Cavity Ratio : RCR)

$$RCR = 5\,H_{rc}\,\frac{(W+L)}{(W\times L)} \qquad (2.4)$$

3. อัตราส่วนโพรงพื้น (Floor Cavity Ratio : FCR)

$$FCR = 5\,H_{fc}\,\frac{(W+L)}{(W\times L)} \qquad (2.5)$$

การสะท้อนแสงจากพื้นผิวใด ๆ ที่นำมาใช้ในการพิจารณาในการออกแบบแสงสว่าง ภายในอาคารนี้แบ่งได้เป็น 3 ชนิดคือ

1. การสะท้อนแสงจากเพดาน (Ceiling Reflectance) ตัวย่อ (Pc)
2. การสะท้อนแสงจากผนังหรือกำแพง (Wall Reflectance) ตัวย่อ (Pw)
3. การสะท้อนของแสงพื้นที่ที่วิเคราะห์ (Floor Reflectance) ตัวย่อ (Pf)

เมื่อได้ค่าต่างๆ ออกมาแล้ว จึงนำไปประกอบการเปิดตารางหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคมชนิดต่างๆ ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันตามลักษณะดวงโคม และตามลักษณะการใช้งานเมื่อได้ค่า CU นำค่า CU ที่ได้ไปคำนวณหาจำนวนหลอด

$$\text{จำนวนดวงโคม} = \frac{(E\times A)}{(CU\times (Lo)} \qquad (2.6)$$

เมื่อ E = ปริมาณแห่งการส่องสว่าง (ลักซ์)

A = พื้นที่ที่ต้องการปริมาณแสงสว่าง (ตารางเมตร)

CU = ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์

Lo = ปริมาณแสง (ลูเมนต่อหลอด)

ค่าลูเมนของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

1. หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด 18 วัตต์ ค่าลูเมนต่อหลอดเท่ากับ 1600 ลูเมน

2. หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด 36 วัตต์ ค่าลูเมนต่อหลอดเท่ากับ 3350 ลูเมน

$$\text{ระยะห่างระหว่างหลอด} = \sqrt{\frac{(W \times L)}{n}} \qquad (2.7)$$

เมื่อ L คือ ความยาวของห้อง (เมตร)

W คือ ความกว้างของห้อง (เมตร)

n คือ จำนวนดวงโคม

2.2 OpenGL

2.2.1 ความหมายของ OpenGL

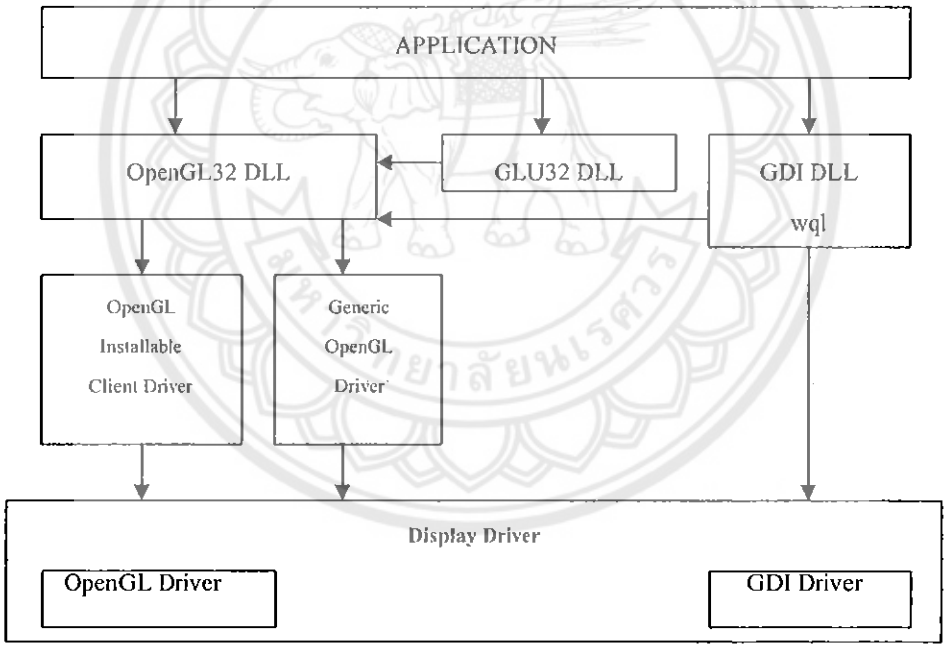
OpenGL คือ software ที่เชื่อมต่อกับ hardware ที่แสดงผลทางด้านกราฟิก มีโครงสร้างเป็น hardware-independent interface และสามารถใช้ได้กับ OS หลายๆ แบบ ซึ่งจะมีคำสั่งวาดภาพพื้นฐาน คือ จุด เส้น และรูปเหลี่ยมต่างๆ และการแสดงภาพ Raster

ภาษาที่สามารถใช้กับ OpenGL มีดังนี้ C/C++ (VC++, Borland C++, C++ Builder, C compiler on UNIX) , Delphi , Visual Basic , Java , Perl , Python , Fortran และ Ada

ลักษณะของ OpenGL

2.2.2 The OpenGL API

OpenGL API (Application Programing Interface) คือ โปรแกรมที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างโปรแกรม Appication กับ Hardware โดยที่โปรแกรมเมอร์ที่เขียน Application ต่างๆ ไม่จำเป็นต้องเขียนให้รู้จักไปถึง Hardware แค่เขียนให้รู้จัก API คล้ายๆเป็นล่ามระหว่าง Software กับ Hareware



รูปที่ 2.10 OpenGL Architecture [6]

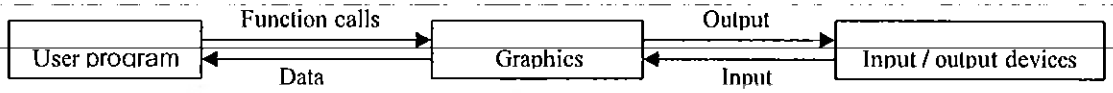
โครงสร้างของ OpenGL มีลักษณะคล้ายกับ API อื่นๆ รวมทั้ง PHIG (Programmer's Hierarchical Interactive Graphic System) และ GKS (Graphic Kernal System)ความรู้ทางด้าน OpenGL สามารถนำไปใช้กับ software อื่นๆ ได้เช่นกัน แม้ว่า OpenGL จะง่ายในการเรียนรู้เมื่อเปรียบเทียบกับ API อื่นๆ แต่มีความสามารถสูงมาก OpenGL จะสนับสนุนทั้งโปรแกรม 2 และ 3 มิติ รวมทั้งสนับสนุนเทคนิคการแสดงภาพระดับสูงด้วย

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์

4900184

2.2.3 Graphic Functions

การทำงานของระบบกราฟิก ผู้ใช้ไม่สามารถรู้ว่ามีการทำงานอย่างไร รู้แต่เพียงว่า input และ output คืออะไร ในระบบกราฟิกจะมีฟังก์ชันที่ถูกเรียกใช้ มีการรับค่าของ input จากอุปกรณ์ต่างๆ เช่น mouse หรือ keyboard หรือจาก input อื่นๆเช่น message จาก operation system จะได้ผลลัพธ์จากการทำงานและแสดงผลยังอุปกรณ์ในการแสดงผล output อาจจะมอง input คือฟังก์ชันที่ผู้ใช้เรียกใช้และ output คือ ผลของการทำงานที่แสดงยังหน้าจอ CRT ดังรูป 2.11 และแม้เราจะใช้ OpenGL ในการทำงานแต่ระบบกราฟิก API อื่นๆก็สามารถนำมาใช้งานร่วมกันได้



รูปที่ 2.11 แสดงระบบกราฟิกที่เปรียบเสมือนกล่องดำ (Black Box) [6]

API ประกอบด้วยฟังก์ชันจำนวนมาก สามารถแบ่งฟังก์ชันออกเป็น 6 กลุ่ม ดังนี้

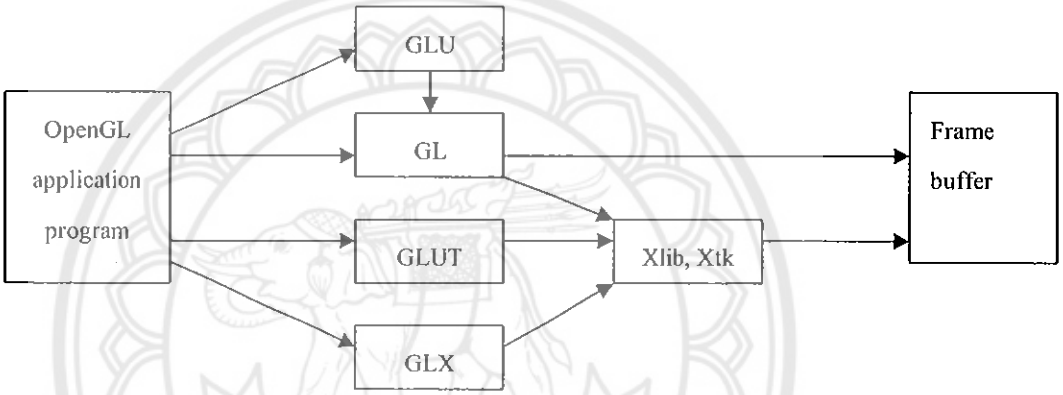
1. **Primitive functions** จะทำการนิยาม low – level object หรือ entities ขนาดเล็กมากที่ระบบสามารถแสดง primitive รวมทั้ง points , line segment , polygons , pixels , test , curves และ surfaces ขึ้นอยู่กับว่าเป็น API ประเภทใด
2. **Attribute function** จะกำหนดวิธีในการแสดงของ primitive บนจอ attribute function จะอนุญาตให้เลือกสีในการแสดง line segment เลือกรูปแบบที่นำไปเติมใน polygon หรือเลือกชนิดของพื้นผิวที่จะระบายในกราฟ
3. **Viewing function** จะอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถเลือกตำแหน่งในการมองภาพได้
4. **Transformation function** จะอนุญาตให้สามารถทำการแปลงภาพได้ เช่น การย้ายภาพ , การย้ายตำแหน่ง หรือการย่อขยาย
5. **Input function** อนุญาตให้ทำการ input ข้อมูลได้หลากหลายมากขึ้น ซึ่งต้องการฟังก์ชันที่ทำการจัดการกับอุปกรณ์ต่างๆเช่น Keyboard , mouse และ data tablets
6. **Control Function** ทำให้สามารถทำการติดต่อกับระบบ window เมื่อเริ่มมีการทำงานของระบบและจัดการกับ error ต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงานของโปรแกรม

2.2.4 The OpenGL Interface

ฟังก์ชัน OpenGL จะขึ้นต้นด้วย gl และถูกเก็บไว้ที่ library ที่เรียกว่า GL ซึ่งจะมี library อื่นที่เกี่ยวข้องอีกไม่มาก

- Graphics utility library (GLU) เป็น library ที่ใช้เฉพาะ GL ฟังก์ชัน แต่ประกอบไปด้วยฟังก์ชันสำหรับการสร้างวัตถุพื้นฐาน เช่น ฟังก์ชันในการสร้างทรงกลม ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องรู้ว่าการสร้างทรงกลมสร้างอย่างไรแต่สามารถเรียกใช้ฟังก์ชันได้เลย GLU เป็น library ที่มีในทุก OpenGL implementation

- OpenGL Utility Toolkit (GLUT) คือ library ระบบกราฟิก เช่น การติดต่อกับการแสดงผลทางหน้าจอต่างๆ ช่วยให้เข้าใจการทำงานของระบบกราฟิกมากขึ้น



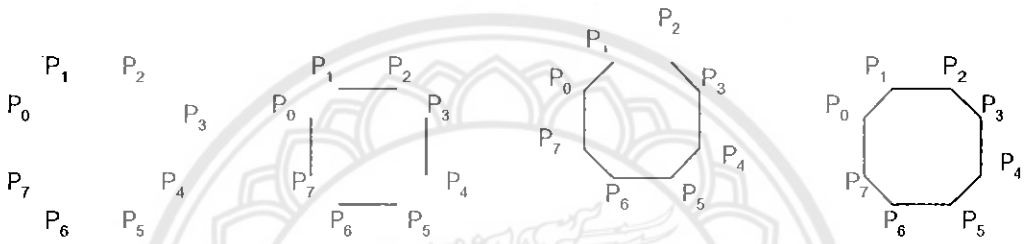
รูปที่ 2.12 แสดง library organization [6]

2.2.5 Primitive and Attributes

OpenGL primitive เบื้องต้นจะประกอบด้วย point ใน space หรือ vertices ดังนั้นโปรแกรมเมอร์จะทำการประกาศตัวแปรต่างๆ ดังรูปแบบดังนี้

```
GlBegin( type );
        glVertex* (…);
        .
        .
        .
        glVertex* (…);
glEnd( );
```

ค่าของ type เป็นตัวกำหนดว่า OpenGL จะมีการแปลความหมายในการสร้างรูปทรงต่างๆ อย่างไร ฟังก์ชัน OpenGL อื่นๆจะมีการเรียกใช้ระหว่าง glBegin และ glEnd เช่น เราสามารถเปลี่ยน attributes หรือ การแสดงตำแหน่งต่อไปของจุดโดยมีการกำหนดค่าใน glBegin และ glEnd หรือระหว่างการเรียกใช้ glVertex ความแตกต่างระหว่างชนิดของรูปทรงต่างๆคือรูปนั้นๆมีภายในหรือไม่ นอกจากชนิดของ point แล้ว ชนิดของรูปพื้นฐานอื่นๆก็จะต้องมีการประกาศไม่ว่าจะเป็นในรูปของกลุ่มของจุดหรือเส้นปิดที่เรียกว่า line segment ซึ่งจะแตกต่างจาก line ธรรมดาตรงที่ line ธรรมดาจะไม่มีจุดสิ้นสุด แต่ละ line segment จะเกิดจากจุดแต่ละคู่ line segment เป็นเอกลักษณ์อย่างหนึ่งของ basic graphic ซึ่งสามารถใช้ line segment ที่ต่อเนื่องกันในการแสดงค่าของข้อมูลในรูปกราฟ โดยสามารถใช้ line segment สำหรับเป็นเส้นขอบของวัตถุ เช่น polygon ที่มีพื้นที่ส่วนของภายใน



รูปที่ 2.13 แสดง ชนิดของ Points และ Line segment [6]

การแสดง line segment สามารถเรียกด้วยฟังก์ชันต่อไปนี้

- Line segments (GL_LINES) ชนิดของ line segment ทำให้เกิดการเชื่อมต่อกันของคู่จุดของแต่ละ segment แต่การแปลความหมายจะทำโดยวิธี pairwise basis ทำให้แต่ละ segment ที่ต่อกันไม่ต่อเนื่อง

- Polylines (GL_LINE_STRIP) รูปแบบของ line strip คือเส้นตรงที่เชื่อมต่อถึงกัน โดยกำหนด 2 จุดแรกก่อนสำหรับวาดเส้นตรง จากนั้นจุดต่อๆไปที่กำหนดขึ้นมา OpenGL จะทำการเชื่อมกับเส้นตรงก่อนหน้านั้น หรือ polyline เส้นโค้งต่างๆ สามารถสร้างได้จากการนำ polyline มาต่อกัน หากต้องการให้ polyline เป็นรูปปิด สามารถทำได้โดยกำหนดให้จุดสุดท้ายเป็นจุดเดียวกันกับจุดเริ่มต้น หรือใช้กำหนดให้ชนิดของ polyline เป็น GL_LINE_LOOP ซึ่งจะวาด line segment จากจุดสุดท้ายมายังจุดเริ่มต้น

Polygon Basics

Line segments และ polylines สามารถสร้างเป็นขอบของวัตถุได้ แต่รูปทรงปิดต่างๆจะมีส่วนภายใน ซึ่งจะเรียกรูปเหล่านี้ว่า Polygon ที่สามารถแสดงคุณสมบัติพิเศษในคอมพิวเตอร์กราฟิกได้ เนื่องจากสามารถแสดงผลได้เร็วและสามารถใช้ในการประมาณพื้นผิวโค้งของรูป ประสิทธิภาพของระบบกราฟิกวัดจากจำนวนของ polygon ที่สามารถแสดงในเวลา 1 วินาที การแสดง polygon สามารถ

ทำได้หลายวิธี เราสามารถแสดงเฉพาะเส้นขอบของรูป , สามารถเติมสีลงไปในส่วนภายในของรูป , การเพิ่มลายเส้นต่างๆ เข้าไป หรือการแสดงรูปและลายเส้นแต่ไม่แสดงเส้นขอบ แม้ว่าเส้นขอบของรูป สามารถสร้างได้อย่างง่ายโดยการกำหนดจุด แต่ถ้าภายในของรูปมีการกำหนดไม่ชัดเจนจะทำให้รูป polygon นั้นถูกสร้างออกมาไม่เป็นไปตามที่ต้องการ

Polygon type in OpenGL

ชนิดของ polygon ใน OpenGL ประกอบไปด้วย

- **Polygon** (GL_POLYGON) มีการใช้ linc loop ในการสร้างภาพ linc segment เชื่อมจุดต่างๆ เข้าด้วยกัน และจุดสุดท้ายจะเชื่อมกับจุดแรกทำให้ได้พื้นที่ภายในของรูป ภายนอกและภายในของรูปจะถูกแบ่งด้วยเส้นขอบของรูป เส้นขอบจะไม่มีความกว้าง แต่ระบบกราฟิกส่วนมากจะสามารถเพิ่มสี , ลายเส้นหรือวาดลายต่างๆ รอบๆส่วนของเส้นขอบได้ แต่ไม่สามารถทำพร้อมกันได้ ใน OpenGL สามารถเรียกใช้ฟังก์ชัน glPolyMode ในการเลือกเส้นขอบได้แทนที่จะเป็นการเพิ่มเอง

- **Triangles and Quadrilaterals** (GL_TRIANGLE_STRIP , GL_TRIANGLE_FAN) เป็นฟังก์ชันสำหรับ polygon เป็นกลุ่มของจุด 3 – 4 ในการสร้างสามเหลี่ยมหรือสร้างรูปหลายเหลี่ยม

- **Strip and Fans** (GL_TRIANGLE_STRIP , GL_QUAD_STRIP , GL_TRIANGLE_FAN) เป็นรูปที่มีพื้นฐานมาจากกลุ่มของรูปสามเหลี่ยมหรือรูปหลายเหลี่ยมด้านไม่เท่าที่มีการใช้จุดและขอบร่วมกันแต่ละจุดที่เพิ่มขึ้นมาใหม่จะถูกรวมกับจุดที่มีอยู่เดิม 2 จุดเพื่อสร้างรูปสามเหลี่ยมรูปใหม่

Text แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ stroke และ raster

- **Stroke text** มีการสร้างขึ้นเหมือนการสร้าง primitive อื่นๆ โดยการใช้จุดในการกำหนด linc segment หรือ เส้นโค้งต่างๆ ในการสร้างตัวอักษร ข้อดีของตัวอักษรแบบนี้คือสามารถกำหนดให้มีคุณสมบัติตามวัตถุอื่นๆ ดังนั้นจึงสามารถทำการเปลี่ยนแปลง หรือสามารถกำหนดมุมมองได้เหมือนกราฟิกแบบ primitive อื่นๆ จุดเด่นของตัวอักษรแบบนี้ คือ สามารถย่อขยายขนาดของตัวอักษรหรือทำการหมุนได้โดยที่ไม่ทำให้เสียรูป ดังนั้นจึงสามารถสร้างตัวอักษรอื่นๆ ได้โดยใช้การแปลงตัวอักษรต้นแบบที่มีการสร้างได้

- **Raster text** เป็นตัวอักษรที่มีการสร้างที่ง่ายและรวดเร็ว มีการสร้างโดยการนำ bit ที่เป็นสี่เหลี่ยมต่อกันเรียกว่า bit blocks แต่ละ block จะแทนด้วย 1 ตัวอักษร โดยแทน bit 0 และ 1 ใน block ตัวอักษรแบบ raster สามารถแทนที่ใน frame buffer โดยวิธีที่เรียกว่า bit block transfer (bitblt) และสามารถเพิ่มขนาดของตัวอักษรแบบ raster โดยวิธี replicating หรือการทำสำเนา pixels การแปลงอื่นๆ เช่นการหมุนอักษร จะไม่สามารถทำได้ เพราะการแปลงจะทำการย้าย bit ทำให้ตำแหน่ง bit ไม่สอดคล้องกับตำแหน่งใน frame buffer และเพราะอักษรแบบ raster จะถูกเก็บไว้ใน ROM ทำให้การเคลื่อนย้ายทำได้ยาก

2.2.6 Attributes

ในระบบกราฟิกสมัยใหม่ มีการแยกได้อย่างชัดเจนถึงชนิดและการทำงานของ primitive การทำงานของ primitive จะแตกต่างกันหาก primitive มีการกำหนด attribute ที่แตกต่างกัน สีเป็น attribute ที่สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจนที่สุด รวมทั้งความหนาของเส้นและลวดลายที่มีการนำมาใส่ใน polygon

แต่ละรูปทรงเรขาคณิตจะมี set ของ attribute เช่น จุดจะมีสีและขนาดเป็น attribute Line segment มีสี , ความหนา และชนิด (รูปทรงตัน , เส้นประ หรือ จุดทึบ) polygon จะมี attribute มากขึ้น เช่นสามารถเพิ่มสีหรือลายเส้นต่างๆ หรือสามารถเลือกให้ไม่มีการเพิ่มลายเส้นลงไปใน polygon ได้ แต่ไม่สามารถแสดงเพียงเส้นขอบของรูปโดยมีสีเข้มมากกว่าภายในได้

2.2.7 Control Function

ระบบกราฟิกไม่ว่าจะเป็น X Window บน UNIX หรือ Window บน PC ก็ต้องมีการติดต่อระหว่างโปรแกรมกับระบบกราฟิก ทั้งระบบปฏิบัติการและระบบ Window ต่างก็มีการทำงานที่ซับซ้อน และผู้ใช้งานระบบได้ก็ต้องมีความรู้เฉพาะในระบบนั้นๆ และในแต่ละระบบก็มีการทำงานที่ไม่เหมือนกัน ในการติดต่อกับระบบกราฟิกจะมีการเรียกฟังก์ชันของ GLUT library มาใช้

2.2.8 Interaction with the Window system

graphic window เป็น window ที่ใช้ในการแสดงผลทางด้านกราฟิก การอ้างจุดใดๆบน window จะต้องมีการอ้างอิงมุมใดมุมหนึ่งของ window เป็นหลัก โดยปกติมุมล่าง-ซ้าย มักจะเป็นจุดกำเนิดมี window coordinates (0,0) อย่างไรก็ตามทุกๆระบบ raster จะมีการกำหนดจุดกำเนิดเหมือนกับของโทรทัศน์ คือจะมีการเรียงลำดับจากบนลงล่างซ้ายไปขวา ดังนั้นจะได้ว่า มุมบนซ้ายคือจุดกำเนิด ใน OpenGL จุดกำเนิดคือ ล่างซ้าย แต่ window system เช่น ตำแหน่งของ mouse จะมีจุดกำเนิดที่บน-ซ้าย ดังนั้นจะต้องมีการเปลี่ยนตำแหน่งจาก coordinate system แบบหนึ่งไปเป็นแบบอื่น

แม้ว่าหน้าจอจะมี resolution คือ 1280 x 1024 pixels Window ที่ใช้จะมีขนาดเท่าใดก็ได้ขึ้นอยู่กับว่าขนาดของ full screen ซึ่ง frame buffer ต้องมีขนาดเท่ากับขนาดของหน้าจอที่ใช้แสดงผล ถ้าใช้ window ขนาด 300 x 400 pixels จะต้องใช้ frame buffer ขนาด 300 x 400 แม้ว่าในการทำงานจะใช้เพียงบางส่วนของ frame buffer ก็ตาม

ก่อนที่จะเปิด window จะต้องมีการติดต่อกันระหว่างระบบ window กับ OpenGL โดยจะมีการเรียกใช้ฟังก์ชันเมื่อเริ่มการทำงาน

glutInit (int *argcp , char **argv)

ผู้ใช้สามารถกำหนด Command line arguments ได้จาก argument ทั้งสองตัว เหมือนในฟังก์ชัน mail ในภาษา C ซึ่งสามารถทำการสร้าง Window โดยใช้ฟังก์ชัน GLUT

glutCreateWindow (char *title)

โดยส่วนบนของ window จะปรากฏ string title

window ที่มีการสร้างขึ้นจะมี default ต่างๆ เช่น การใช้สีเป็นแบบ RGB อยู่แล้วเราสามารถใช้ฟังก์ชัน GLUT กำหนดคุณสมบัติใหม่ก่อนที่จะมีการสร้าง window เช่น

```
glutInitDisplayMode ( GLUT_RBG | GLUT_DEPT | GLUT_DOUBLE );
glutInitWindowSize ( 480 , 640 );
glutInitWindowPosotion ( 0 , 0 );
```

โดยมีการกำหนดให้มีการแสดง window มีขนาด 480 x 640 บนตำแหน่งบน-ซ้ายของหน้าจอ และกำหนดสีเป็นแบบ RGB แทนที่จะเป็นแบบ indexed (GLUT_INDEX) มีการใช้ depth buffer สำหรับ hidden-surface removal และใช้ double buffering แทนการใช้ single buffering (GLUT_SINGLE) default ของระบบคือ สีระบบ RBG , no hiden-surface removal และ single buffering

2.2.9 Aspect Ratio and Viewports

Aspect ratio ของสี่เหลี่ยม คือ ความกว้างและความสูง การแสดงขนาดหรือรูปร่างรูปภาพอิสระอาจจะไม่เป็นไปตามที่ต้องการหาก aspect ratio ของ window ที่กำหนดโดยฟังก์ชัน glortho มีค่าไม่เท่ากับค่าที่กำหนดโดยฟังก์ชัน glutIntWindowSize จะทำให้ภาพที่ออกมามีความบิดเบี้ยว สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาการแสดงภาพบิดเบี้ยวได้หากมั่นใจว่าการขริบภาพของรูปสี่เหลี่ยมและหน้าจอ window มี aspect ratio เท่ากัน อีกวิธีหนึ่งคือการใช้หลักการ Viewports คือ บริเวณสี่เหลี่ยมของการแสดง window โดย default คือขนาดของ window แต่สามารถทำให้ขนาดเล็กลงได้โดยฟังก์ชัน v o i d glViewport (GLint x , GLint y , GLsizei w , GLsizei h)

โดย (x , y) คือมุมล่าง-ซ้ายของ viewport มี w และ h คือ ความกว้างและความสูงของ viewport ชนิดของตัวแปรเป็นตัวเลขทั้งหมด ทำให้สามารถกำหนดตำแหน่งเป็น pixels ได้ และสามารถกำหนดความสูงและความกว้างของ viewport เพื่อให้เหมาะสมกับ aspect ratio ของภาพที่ขลิบทำให้รูปภาพที่ได้ไม่เกิดการบิดเสียรูป

2.2.10 Program structure

ทุกโปรแกรมที่เขียนขึ้นจะมีการนำ GLUT toolkit มาช่วยในการเขียน ดังนั้น main function จะมีการเรียกใช้ฟังก์ชัน GULT ในการสร้าง window และทำให้มั่นใจได้ว่าสามารถทำการแสดงผลการทำงานได้ ในฟังก์ชัน main ยังต้องมีชื่อของฟังก์ชัน callbacks ด้วย ทุกๆฟังก์ชันจะต้องมี display callback และส่วนมากจะเป็นการกำหนดให้มีการทำงานแบบ interactive ฟังก์ชัน myint จะทำการสร้างตัวเลือกแก่ผู้ใช้โดยผ่านฟังก์ชัน OpenGL ใน GL และ GLU library ในโปรแกรมส่วนใหญ่ output ของฟังก์ชันกราฟิกจะถูกสร้างใน display callback

ตัวอย่างการวาดภาพ The Sierpinski Gasket

ปัญหาตัวอย่างของการวาดรูปของ Sierpinski Gasket สามารถทำการสร้างรูปได้ทั้งแบบ recursive และโดยการสุ่ม เริ่มจากกำหนดจุดยอด 3 จุดตามแนวราบ ตำแหน่งของจุดในระบบคือ $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$ โดยมีวิธีการสร้างรูป ดังนี้

1. เลือกจุดยอดของสามเหลี่ยม 1 จุด โดยการสุ่ม
2. หาจุดกึ่งกลางระหว่างจุดที่เริ่มต้นละจุดยอดที่ได้เลือกโดยการสุ่มไว้แล้ว
3. แสดงจุดใหม่ที่ได้จากการแบ่งเส้นตรงตามข้อ 2 โดยการทำเครื่องหมายเอาไว้
4. กำหนดให้จุดใหม่ที่ได้เป็นจะเริ่มต้นใหม่
5. กลับไปทำข้อ 2 ใหม่

ในการสร้างจุดใหม่1 จุดจะมีการแสดงผลที่ได้ทางหน้าจอ ตามรูปที่ 2.14 P_0 คือจุดเริ่มต้น และ P_1 กับ P_2 คือจุด 2 จุดที่สร้างขึ้นมาจาก algorithm นี้

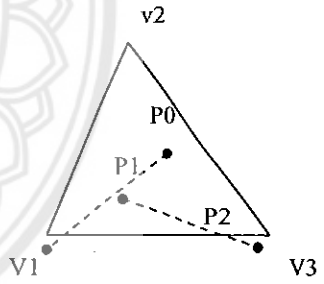
ฟังก์ชันของ OpenGL ที่ใช้ในการแสดงผลของโปรแกรม มีดังนี้

- ฟังก์ชันที่ใช้ในการกำหนด attributes

```
glClearColor( 1.0 , 1.0 , 1.0 , 1.0 , 0.0 ) ; กำหนดให้สีของพื้นหลังเป็นสีขาว
glColor3f( 1.0 , 0.0 , 0.0 ) ; กำหนดให้สีของภาพที่ทำการสร้างเป็นสีแดง
```

- ฟังก์ชันในการกำหนดมุมมองในการมองภาพ

```
glMatrixMode( GL_PROJECTION ) ;
gluLoadIdentity( ) ;
 gluOrtho2D( 0.0 , 500.0 , 0.0 , 500.0 );
 glMatrixMode( GL_MODEVIEW ) ;
```



รูปที่ 2.14 การสร้างรูป Sierpinski gasket[6]

- ฟังก์ชันในการประกาศค่าของตัวแปร

```
typedef Glfloat point2[2] ;
```

- ฟังก์ชันในการล้างหน้าจอ

```
glClear( GL_COLOR_BUFFER_BIT ) ;
```

- ฟังก์ชันที่ใช้ในการแสดงจุดที่ได้จากการทำงานตาม algorithm

```
glBegin( GL_POINTS ) ;
glVertex2fv( p ) ;
glEnd( ) ;
```

2.2.11 การแปลงภาพ 3 มิติ

ในระบบ 3 มิติการแปลงเบื้องต้นประกอบไปด้วยการแปลงพื้นฐาน 3 แบบคือ

- การย้ายภาพ (t_x, t_y, t_z)
- การย่อขยายภาพ (s_x, s_y, s_z)
- การหมุนภาพ (angle, A_x, A_y, A_z)

สามารถเขียนแทนการแปลงด้วยเมตริกซ์ในระบบ Homogenous coordinates คือ $P = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{bmatrix}$

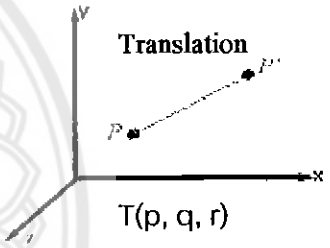
การแปลงภาพแต่ละแบบสามารถเขียนแทนด้วยเมตริกซ์ การคูณ คือ $P'_{4x1} = T_{4x4} \times P_{4x1}$

ฟังก์ชันในการแปลงภาพ 3 มิติ

- การย้ายตำแหน่งภาพ (Translation)

การย้ายภาพหรือก็คือการย้ายจุดใดๆ ของวัตถุไปยังจุดใหม่ โดยเวกเตอร์ในการย้ายคือ (p , q , r) เมตริกซ์ในการย้ายภาพดังแสดงในรูปที่ 2.15

$$Tr = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p \\ 0 & 1 & 0 & q \\ 0 & 0 & 1 & r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



รูปที่ 2.15 แสดงเมตริกซ์การย้ายภาพ [6]

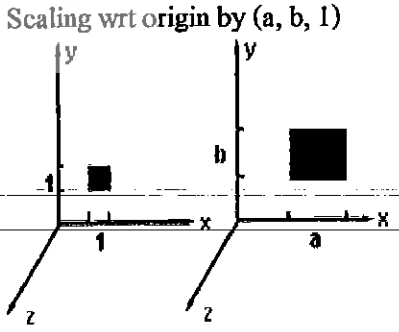
ฟังก์ชันที่ใช้ในการย้ายภาพคือ

void glTranslatef (TYPE x, TYPE y, TYPE z) สำหรับการย้ายเวกเตอร์ V(x , y , z)

- การย่อขยายภาพ (Scaling)

การย่อขยายภาพเป็นการเพิ่มหรือลดขนาดของวัตถุโดยมีเวกเตอร์ (a , b , c) โดยมีเมตริกซ์ในการย่อขยายดังแสดงในรูปที่ 2.16

$$S = \begin{bmatrix} a & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



รูปที่ 2.16 แสดงเมตริกซ์การย่อขยายภาพ [6]

การย่อขยายภาพมีฟังก์ชันของ OpenGL คือ void glScalef (a , b , c) ในการย่อขยาย (a , b , c)

ตัวอย่าง หากต้องการขยายภาพเป็น 2 เท่าของภาพปกติเขียนแทนโดย glScalef(2 , 2 , 2)

- การหมุนภาพ (Rotation)

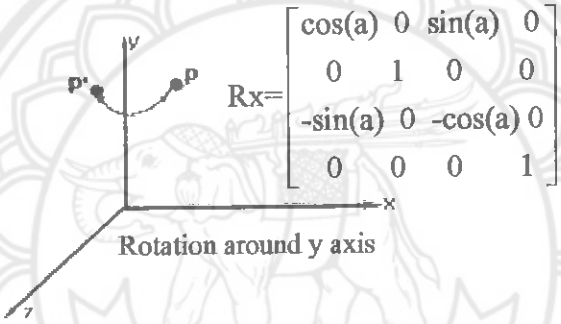
ใน OpenGL สามารถทำการหมุนภาพรอบแกนได้ง่าย โดยมีฟังก์ชันคือ

void Rotatef (TYPE angle, TYPE x, TYPE y, TYPE z)

(x , y , z) คือแกนที่จะให้วัตถุหมุน เช่น x(1 , 0 , 0) , y(0 , 1 , 0) , z (0 , 0 , 1) และกำหนดทิศทางในการหมุนทวนเข็มนาฬิการอบแกนที่ทำการหมุน

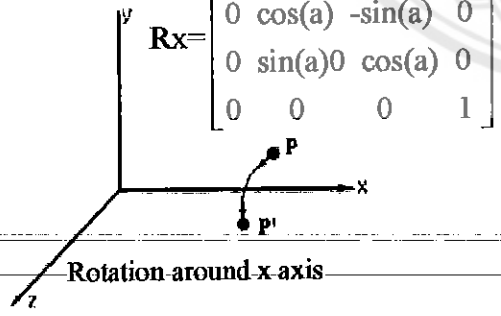
ตัวอย่าง หากต้องการหมุนภาพไปในทิศทาง 90 องศา รอบแกน y โดยมีทิศทางในการหมุนตามเข็มนาฬิกากับแกนที่ทำการหมุน สามารถแทนฟังก์ชันได้เป็น glRotatef (-90 , 0 , 0 , 1)

คุณลักษณะที่สำคัญของการหมุนภาพคือ มุมในการหมุนภาพและแกนหมุน



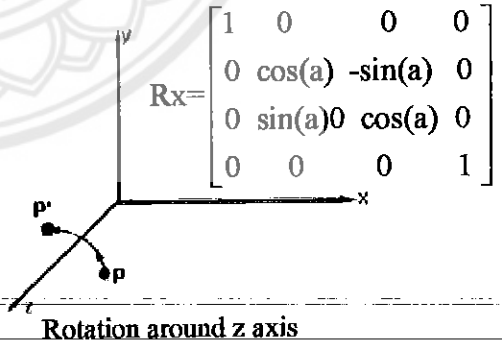
$$Rx=\begin{bmatrix} \cos(a) & 0 & \sin(a) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(a) & 0 & -\cos(a) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

รูปที่ 2.17 แสดงเมตริกซ์ในการหมุนภาพรอบแกน y [6]



$$Rx=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(a) & -\sin(a) & 0 \\ 0 & \sin(a) & \cos(a) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

รูปที่ 2.18 แสดงเมตริกซ์ในการหมุนภาพรอบแกน x [6]



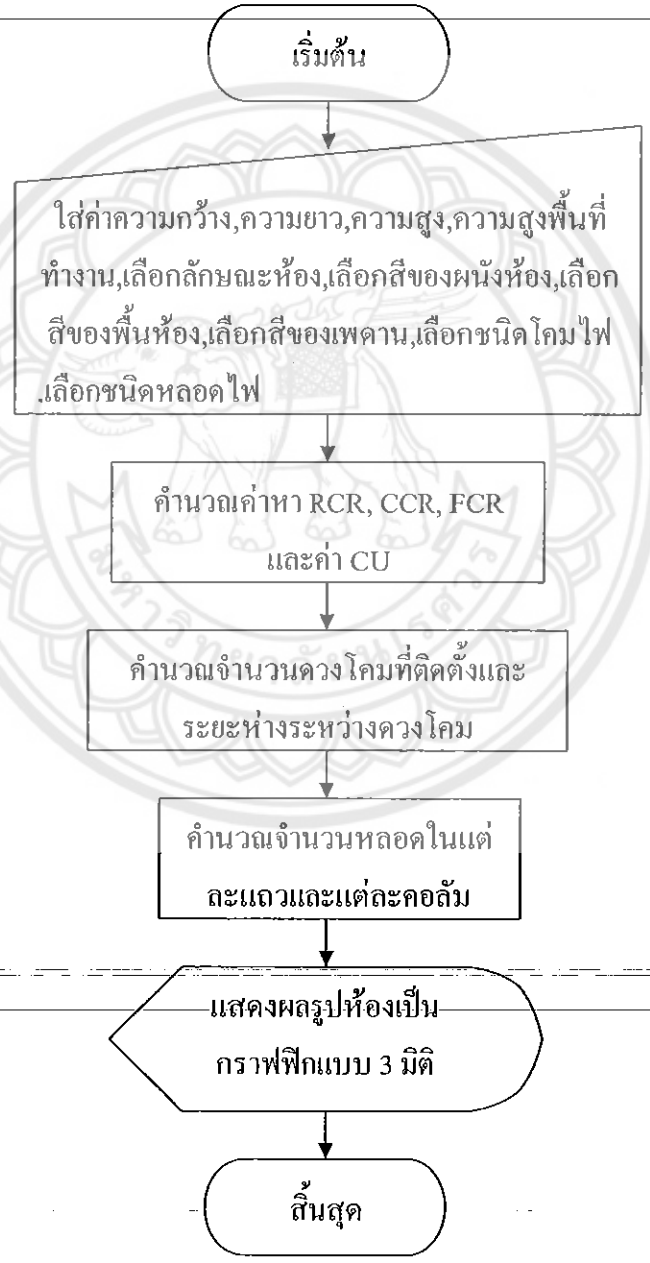
$$Rx=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(a) & -\sin(a) & 0 \\ 0 & \sin(a) & \cos(a) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

รูปที่ 2.19 แสดงเมตริกซ์ในการหมุนภาพรอบแกน z [6]

บทที่ 3
ขั้นตอนการเขียนโปรแกรม

3.1 แผนผังขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคาร

จากการที่ได้ศึกษาทฤษฎีการออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคารในบทที่ 2 ซึ่งอาศัยสมการคำนวณต่างๆ และ OpenGL เพื่อนำมาเขียนโปรแกรม Visual studio C++ 6.0 โดยใช้แผนผังขั้นตอนการดำเนินการดังนี้



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

3.2 หลักการสำคัญของการสร้างโปรแกรม

การใช้ Visual C++ ร่วมกับ OpenGL และทำการป้อนค่าต่าง ๆที่สำคัญในการคำนวนความเข้มแสงของหลอดไฟแต่ละชนิด เพื่อที่จะนำข้อมูลเหล่านั้นมาใช้คำนวน

การวัดค่าความเข้มแสงโดยแสดงให้เห็นเป็นภาพ 3 มิตินั้นอาศัยทฤษฎีและความรู้เกี่ยวกับเรื่องต่างๆดังนี้

1. ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับแสงสว่าง
2. ความรู้พื้นฐานและการเขียนโปรแกรมโดยใช้ Visual C++ ร่วมกับ OpenGL

หลักการเขียนโปรแกรมโดยใช้ Visual C++ ร่วมกับ OpenGL

OpenGL คือ softwareที่เชื่อมต่อกับ hardware ที่แสดงผลทางด้าน graphic ซึ่งประกอบด้วยคำสั่งประมาณ 250 คำสั่ง ตัว OpenGL มีการวางโครงสร้างเป็น hardware-independent interface และสามารถใช้ได้กับ OS หลายๆ แบบ OpenGL จะให้คำสั่งวาดภาพค่อนข้างพื้นฐาน คือ จุด เส้น และรูปเหลี่ยมต่างๆ และการแสดงภาพ Raster

MS Visual C++ 6.0 เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในการสร้าง application ที่เป็นภาษา C++ สำหรับการใช้ VC กับ OpenGL มีดังนี้ สำหรับไฟล์ glut_vc.zip สามารถดาวน์โหลดได้จากอินเตอร์เน็ต เมื่อแตกไฟล์ออกมาสำหรับ header file ก็ใส่เข้า ไปใน include\GL และ ไฟล์นามสกุล lib ใส่ในไดเรกทอรี่ lib หลังจากนั้นในการสร้าง project ต้องทำดังนี้

1. เลือกสร้างโปรเจ็คแบบ Win32 Application
2. เลือกเมนู project จากเมนูหลัก
3. เลือก Link tab จาก dialog box
4. เลือก Output จาก Category combo box
5. ใส่ mainCRTStartup ในช่อง Entry-point symbol
6. เลือก General จาก Category combo box
7. ใส่ opengl32.lib glut32.lib glu32.lib ในช่อง Object/library modules

เมื่อทำขั้นตอนดังกล่าวเสร็จ ก็จะสามารถใช้คำสั่งของ OpenGL ร่วมกับ Visual C++ได้

บทที่ 4

ผลการทดสอบโปรแกรม

4.1 การทดสอบครั้งที่ 1

จงออกแบบระบบส่องสว่างในห้องประเภทออฟฟิศ ห้องมีขนาดกว้าง 5 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 4 เมตร ความสูงของพื้นผิวงาน 0.5 เมตร สีของเพดาน ผนังและพื้นห้องเป็นสีเทา ดวงโคมเป็นชนิด 4 lamp, 610 mm (2') wide troffer with 45 white metal louver ใช้หลอดฟลูออร์เรสเซนต์ 36 วัตต์

4.1.1 วิธีคำนวณด้วยตนเอง

ขั้นตอนที่1 คำนวณค่า RCR

$$= 5\, H_{rc} \frac{(W+L)}{(W \times L)}$$

$$= 5 \times (4\text{-}0.5) \frac{(5+6)}{(5 \times 6)}$$

$$= 6.416$$

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคม

จากตารางการสะท้อนแสงของสีเทา ได้ค่า Pf = Pw = Pc = 30

ตารางที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคมที่ Pf = 20

ค่า RCR	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคม
6	0.27
6.416	?
7	0.24

ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคมที่ (Pf = 20) $= 0.27 - [(0.27 - 0.24) \times (6.416 - 6)]$

$= 0.2575$

เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคมที่ได้ เป็นค่าที่ได้จาก Pf = 20
แต่ค่า Pf = 30 ดังนั้น ต้องเปิดตารางหาค่าตัวคูณประกอบค่าความถูกต้องสำหรับประสิทธิผลของโพรงพื้นที่ต่างไปจาก 20 %

ตารางที่ 4.2 ค่าตัวคูณประกอบค่าความถูกต้องสำหรับประสิทธิผลของโพรงพื้นที่ต่างไปจาก 20 %

ค่า RCR	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคม
6	1.012
6.416	?
7	1.010

ค่าตัวคูณประกอบค่าความถูกต้องสำหรับประสิทธิผลของโพรงพื้นที่ต่างไปจาก 20 %

$$= 1.010 + [(1.012 - 1.010) \times (6.416 - 6)]$$

$$= 1.01083$$

นำค่าทั้ง 2 มาคูณกัน $= 0.2575 \times 1.01083$

$$= 0.26029$$

ได้ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคมที่แท้จริง $= 0.26029$

ขั้นตอนที่ 3 หาจำนวนดวงโคม $= \dfrac{(E \times A)}{(CU \times (Lo)}$

$$= \frac{(500 \times 30)}{(0.26029 \times 3350 \times 4)}$$

$= 4.3 \approx 4$ ดวงโคม

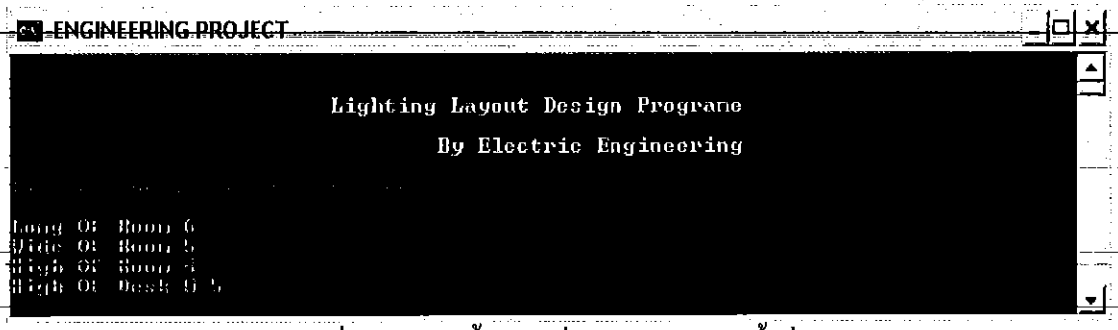
ขั้นตอนที่ 4 หาระยะห่างระหว่างดวงโคม $= \sqrt{\dfrac{(W \times L)}{n}}$

$$= \sqrt{\frac{(30)}{4}}$$

= 2.73 เมตร

4.1.2 วิธีคำนวณด้วยโปรแกรม

ขั้นตอนที่ 1 ใส่ขนาดของห้องที่ต้องการออกแบบระบบแสงสว่าง

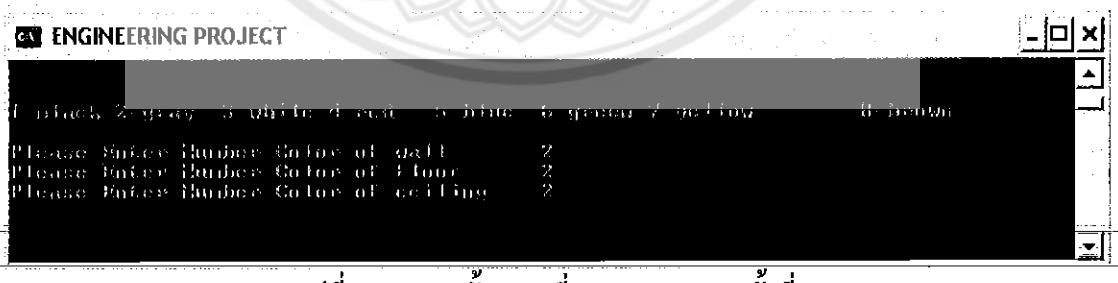


รูปที่ 4.1 แสดงขั้นตอนที่ 1 การทดสอบครั้งที่ 1

ขั้นตอนที่ 2 เลือกประเภทของห้องที่ต้องการออกแบบระบบแสงสว่าง

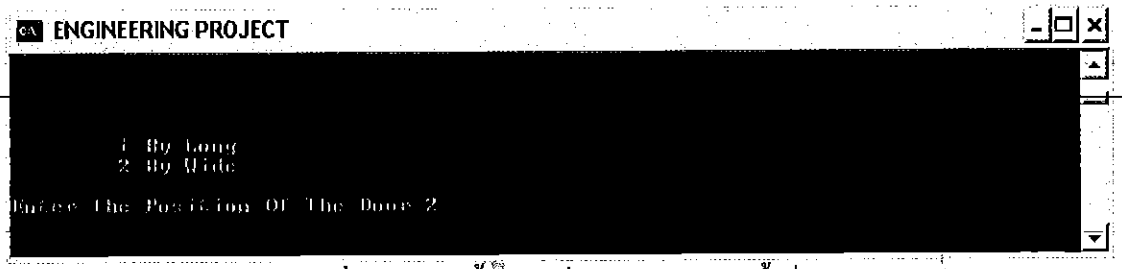
รูปที่ 4.2 แสดงขั้นตอนที่ 2 การทดสอบครั้งที่ 1

ขั้นตอนที่ 3 เลือกสีของผนัง เพดาน และพื้นห้อง



รูปที่ 4.3 แสดงขั้นตอนที่ 3 การทดสอบครั้งที่ 1

ขั้นตอนที่ 4 เลือกใส่ตำแหน่งของประตู

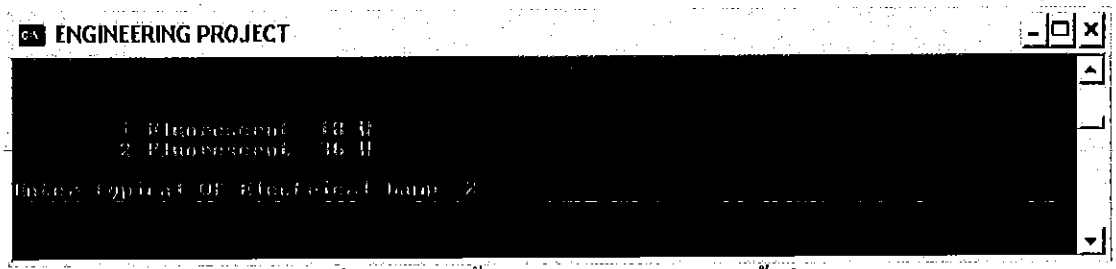


รูปที่ 4.4 แสดงขั้นตอนที่ 4 การทดสอบครั้งที่ 1

ขั้นตอนที่ 5 เลือกชนิดของดวงโคม

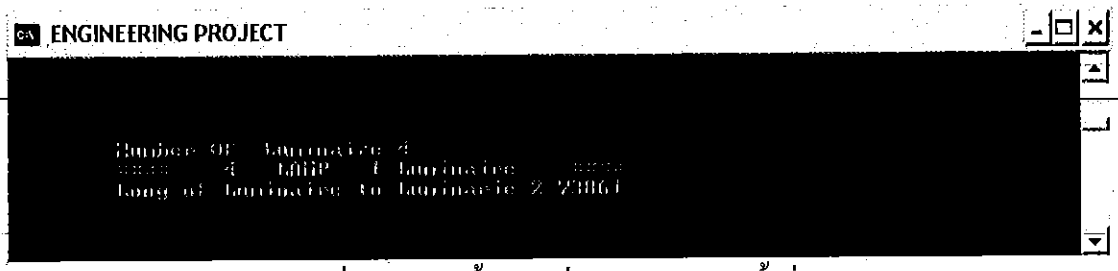
รูปที่ 4.5 แสดงขั้นตอนที่ 5 การทดสอบครั้งที่ 1

ขั้นตอนที่ 6 เลือกขนาดของหลอดฟลูออร์เรสเซนต์



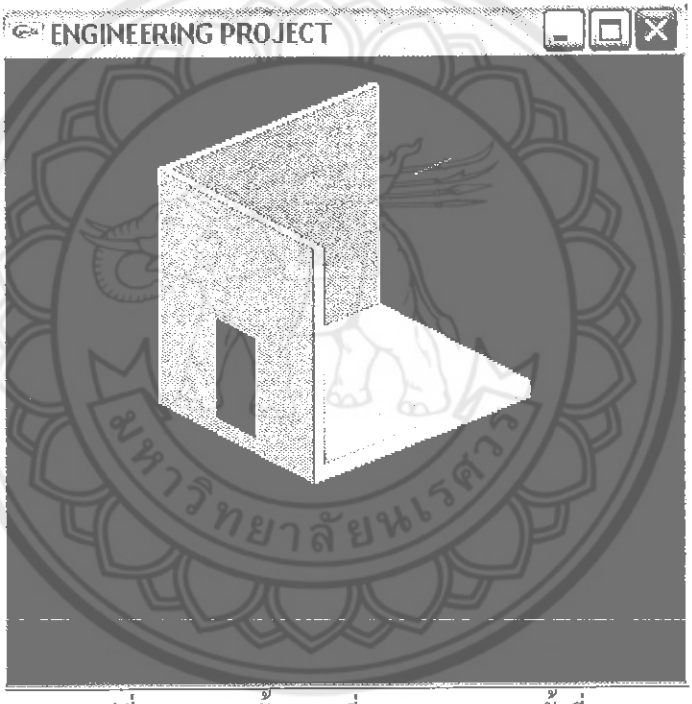
รูปที่ 4.6 แสดงขั้นตอนที่ 6 การทดสอบครั้งที่ 1

ขั้นตอนที่ 7 แสดงผลของการคำนวณได้แก่ จำนวนดวง และระยะห่างของดวงโคม



รูปที่ 4.7 แสดงขั้นตอนที่ 7 การทดสอบครั้งที่ 1

ขั้นตอนที่ 8 แสดงห้องที่ต้องการออกแบบเป็นกราฟฟิกแบบ 3 มิติ



รูปที่ 4.8 แสดงขั้นตอนที่ 8 การทดสอบครั้งที่ 1

สรุปการทดสอบครั้งที่ 1

การคำนวณด้วยตนเองตรงกับการคำนวณด้วยโปรแกรม กราฟฟิกที่แสดงออกมาตรงกับการคำนวณ

4.2 การทดสอบครั้งที่ 2

จงออกแบบระบบส่องสว่างในห้องน้ำ ห้องมีขนาดกว้าง 5 เมตร ยาว 5 เมตร สูง 4 เมตร ความสูงของพื้นงาน 0.5 เมตร สีของเพดาน ผนังและพื้นห้องเป็นสีขาว ดวงโคมเป็นชนิด Porcelain-enameld reflcetor with 35' CW shieding ใช้หลอดฟลูออร์เรสเซนต์ 36 วัตต์

4.2.1 วิธีคำนวณด้วยตนเอง

ขั้นตอนที่1 คำนวณค่า RCR $= 5\, H_{rc} \dfrac{(W+L)}{(W \times L)}$

$= 5 \times (4\text{-}0.5) \dfrac{(5+5)}{(5 \times 5)}$

$= 7$

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคม

จากตารางการสะท้อนแสงของสีขาวได้ค่า Pf = 30,Pw =50, Pc = 80

ตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคมที่ Pf = 20

ค่า RCR	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคม
7	0.45

ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคมที่ (Pf = 20) = 0.45

เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคมที่ได้ เป็นค่าที่ได้จาก Pf = 20

แต่ค่า Pf = 30 ดังนั้น ต้องเปิดตารางหาค่าตัวคูณประกอบค่าความถูกต้องสำหรับประสิทธิผลของโพรงพื้นที่ต่างไปจาก 20 %

ตารางที่ 4.4 ค่าตัวคูณประกอบค่าความถูกต้องสำหรับประสิทธิผลของโพรงพื้นที่ต่างไปจาก 20 %

ค่า RCR	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคม
7	1.029

ค่าตัวคูณประกอบค่าความถูกต้องสำหรับประสิทธิผลของโพรงพื้นที่ต่างไปจาก 20 %

$= 1.029$

นำค่าทั้ง 2 มาคูณกัน $= 0.45 \times 1.029$

$= 0.4630$

ได้ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคมที่แท้จริง = 0.4630

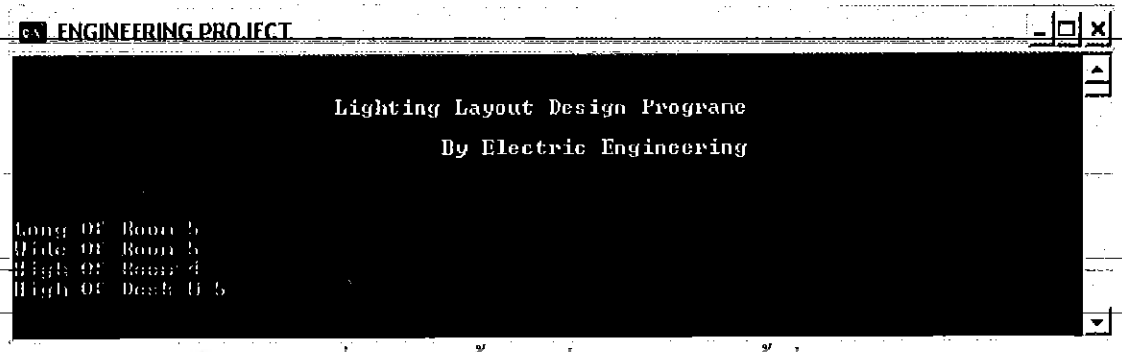
ขั้นตอนที่ 3 หาจำนวนดวงโคม $= \dfrac{(E \times A)}{(CU \times (Lo)}$

$= \dfrac{(100 \times 25)}{(0.4630 \times 3350 \times 2)}$

$= 0.805 \approx 1$ ดวงโคม

4.2.2 วิธีคำนวณด้วยโปรแกรม

ขั้นตอนที่ 1 ใส่ขนาดของห้องที่ต้องการออกแบบระบบแสงสว่าง

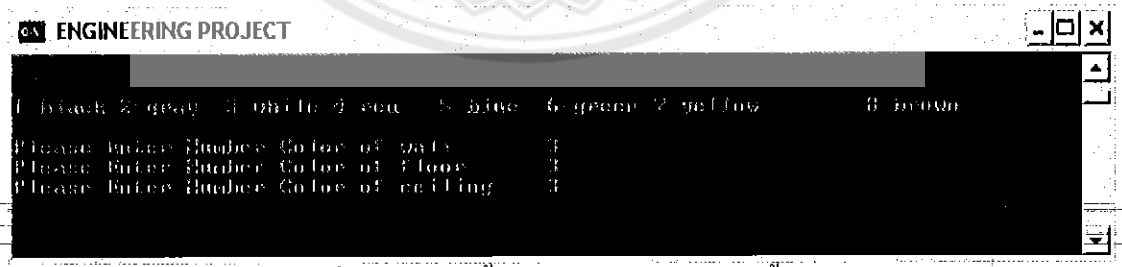


รูปที่ 4.9 แสดงขั้นตอนที่ 1 การทดสอบครั้งที่ 2

ขั้นตอนที่ 2 เลือกประเภทของห้องที่ต้องการออกแบบระบบแสงสว่าง

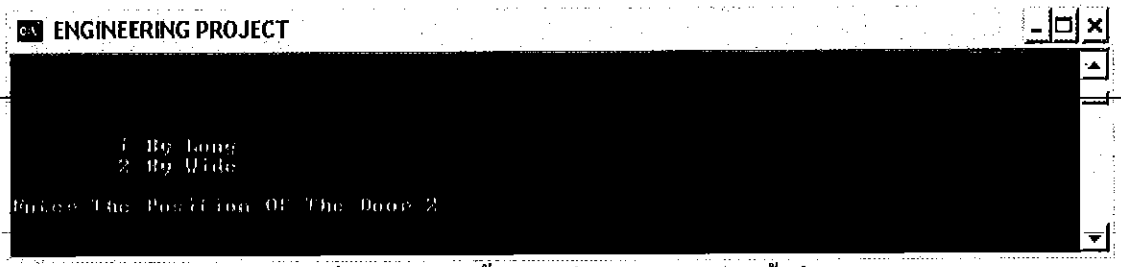
รูปที่ 4.10 แสดงขั้นตอนที่ 2 การทดสอบครั้งที่ 2

ขั้นตอนที่ 3 เลือกสีของผนัง เพดาน และพื้นห้อง



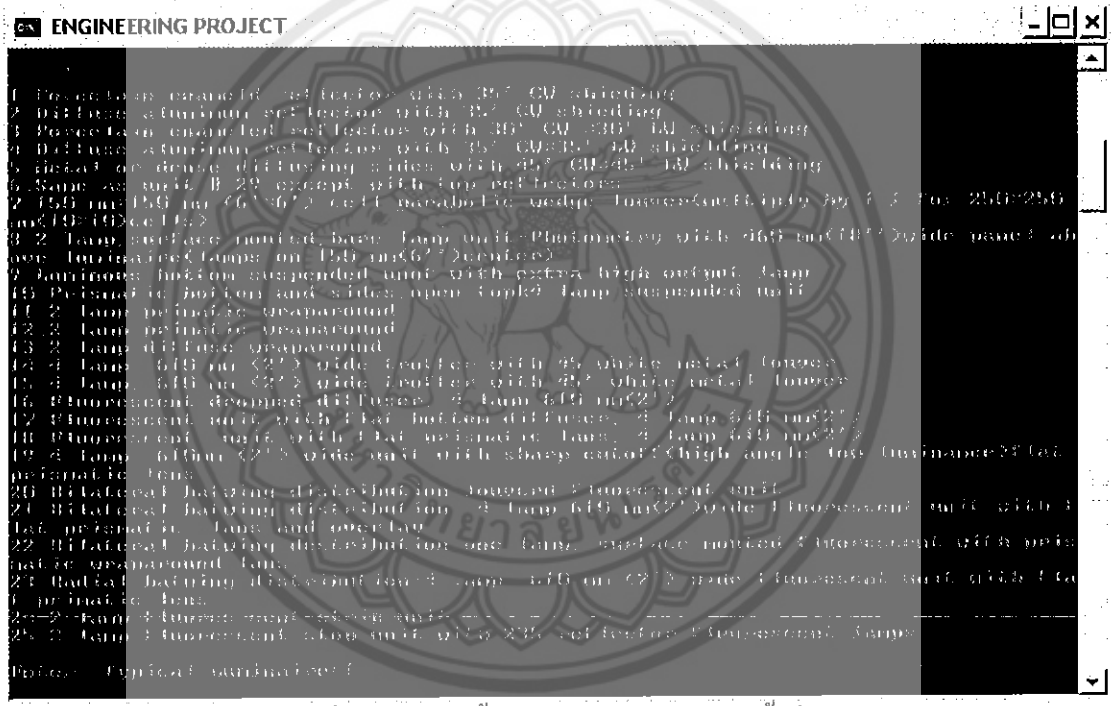
รูปที่ 4.11 แสดงขั้นตอนที่ 3 การทดสอบครั้งที่ 2

ขั้นตอนที่ 4 เลือกใส่ตำแหน่งของประตู



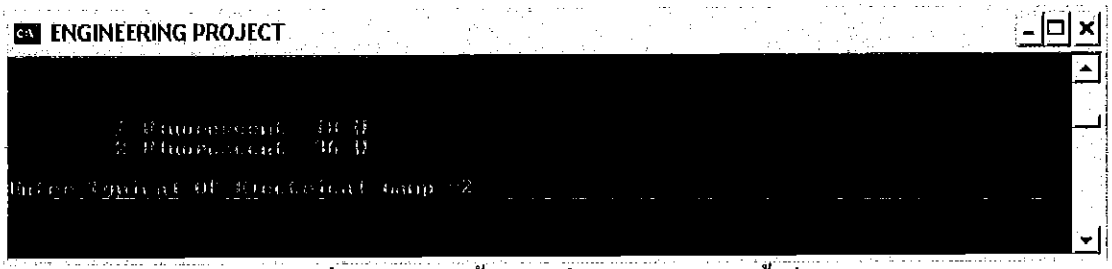
รูปที่ 4.12 แสดงขั้นตอนที่ 4 การทดสอบครั้งที่ 2

ขั้นตอนที่ 5 เลือกชนิดของดวงโคม



รูปที่ 4.13 แสดงขั้นตอนที่ 5 การทดสอบครั้งที่ 2

ขั้นตอนที่ 6 เลือกขนาดของหลอดฟลูออร์เรสเซนต์

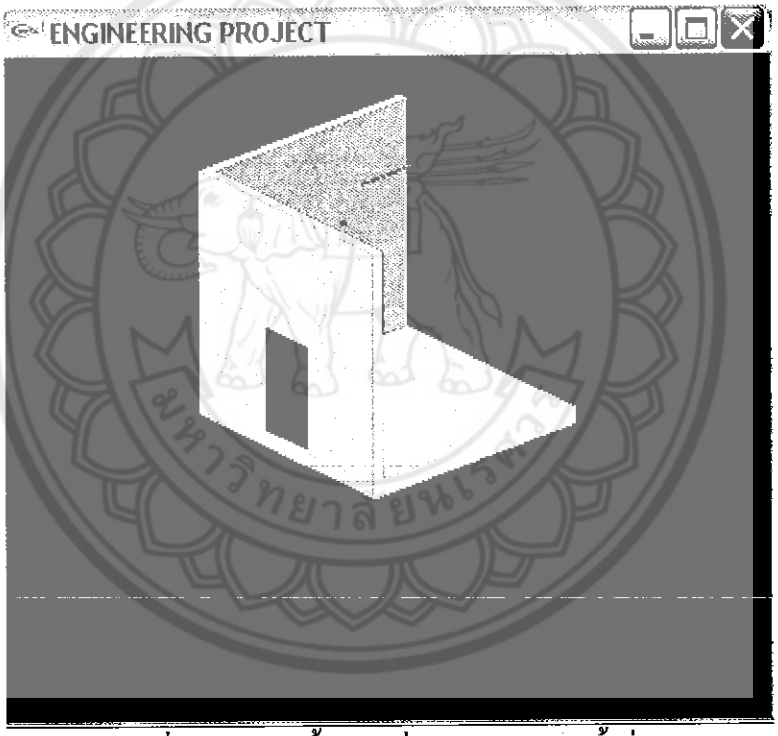


รูปที่ 4.14 แสดงขั้นตอนที่ 6 การทดสอบครั้งที่ 2

ขั้นตอนที่ 7 แสดงผลของการคำนวณได้แก่ จำนวนดวง และระยะห่างของดวงโคม

รูปที่ 4.15 แสดงขั้นตอนที่ 7 การทดสอบครั้งที่ 2

ขั้นตอนที่ 8 แสดงห้องที่ต้องการออกแบบเป็นกราฟฟิกแบบ 3 มิติ



รูปที่ 4.16 แสดงขั้นตอนที่ 8 การทดสอบครั้งที่ 2

สรุปการทดสอบครั้ง 2

การคำนวณด้วยตนเองตรงกับการคำนวณด้วยโปรแกรม กราฟฟิกที่แสดงออกมาตรงกับการคำนวณ

4.3 การทดสอบครั้งที่ 3

จงออกแบบระบบส่องสว่างในห้องประชุม ห้องมีขนาดกว้าง 7 เมตร ยาว 15 เมตร สูง 4 เมตร ความสูงของพื้นผิวงาน 0.5 เมตร สีของเพดาน ผนังและพื้นห้องเป็นสีเขียว ดวงโคมเป็นชนิด 2 lamp fluorescent stop unit with 235 reflector fluorescent lamps ใช้หลอดฟลูออร์เรสเซนต์ 18 วัตต์

4.3.1 วิธีคำนวณด้วยตนเอง

ขั้นตอนที่1 คำนวณค่า RCR $= 5\, H_{rc} \dfrac{(W+L)}{(W \times L)}$

$= 5 \times (4\text{-}0.5) \dfrac{(7+15)}{(7 \times 15)}$

$= 3.6666$

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคม

จากตารางการสะท้อนแสงของสีเขียว ได้ค่า Pf = Pw = 30, Pc = 50

ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคมที่ Pf = 20

ค่า RCR	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคม
3	0.59
3.6666	?
4	0.51

ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคมที่ (Pf = 20) $= 0.59 - [(0.59 - 0.51) \times (3.6666 - 3)]$

$= 0.53667$

เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคมที่ได้เป็นค่าที่ได้จาก Pf = 20 แต่ค่า Pf = 30 ดังนั้น ต้องเปิดตารางหาค่าตัวคูณประกอบค่าความถูกต้องสำหรับประสิทธิผลของโพรงพื้นที่ต่างไปจาก 20 %

ตารางที่ 4.6 ค่าตัวคูณประกอบค่าความถูกต้องสำหรับประสิทธิผลของโพรงพื้นที่ต่างไปจาก 20 %

ค่า RCR	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคม
3	1.027
3.6666	?
4	1.022

ค่าตัวคูณประกอบค่าความถูกต้องสำหรับประสิทธิผลของโพรงพื้นที่ต่างไปจาก 20 %

$$= 1.022 + [(1.027 - 1.022) \times (3.6666 - 3)]$$

$$= 1.02533$$

นำค่าทั้ง 2 มาคูณกัน $= 0.53667 \times 1.02533$

$$= 0.550262$$

ได้ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคมที่แท้จริง = 0.550262

ขั้นตอนที่ 3 หาจำนวนดวงโคม $= \dfrac{(E \times A)}{(CU \times (Lo)}$

$$= \frac{(500 \times 105)}{(0.550262 \times 1600 \times 2)}$$

$= 29.81534 \approx 29$ ดวงโคม

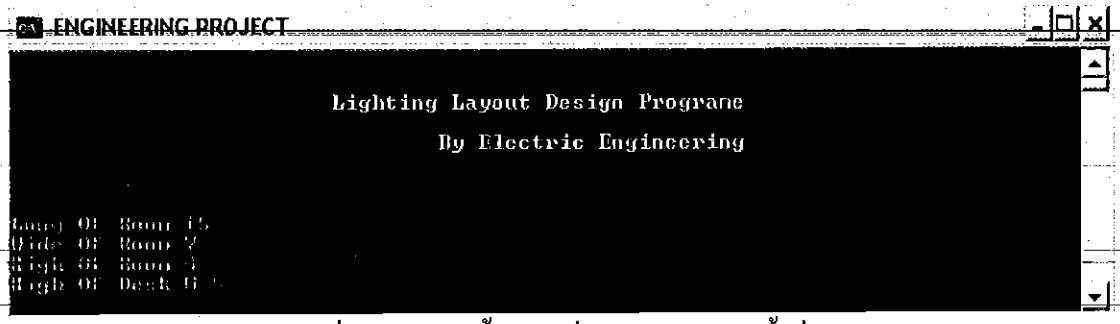
ขั้นตอนที่ 4 หาระยะห่างระหว่างดวงโคม $= \sqrt{\dfrac{(W \times L)}{n}}$

$$= \sqrt{\frac{(105)}{29}}$$

$= 1.90281$ เมตร

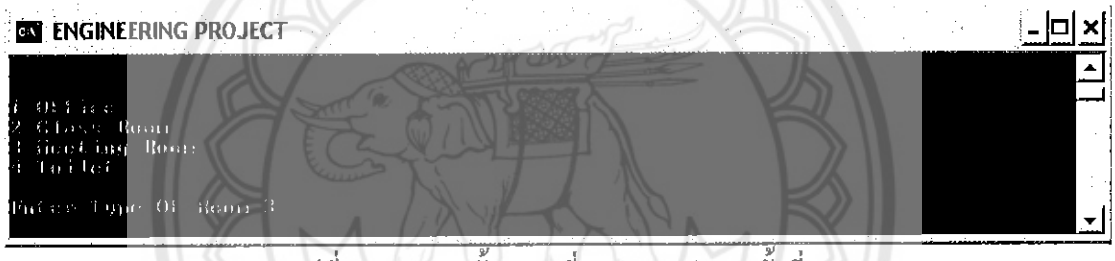
4.3.2 วิธีคำนวณด้วยโปรแกรม

ขั้นตอนที่ 1 ใส่ขนาดของห้องที่ต้องการออกแบบระบบแสงสว่าง



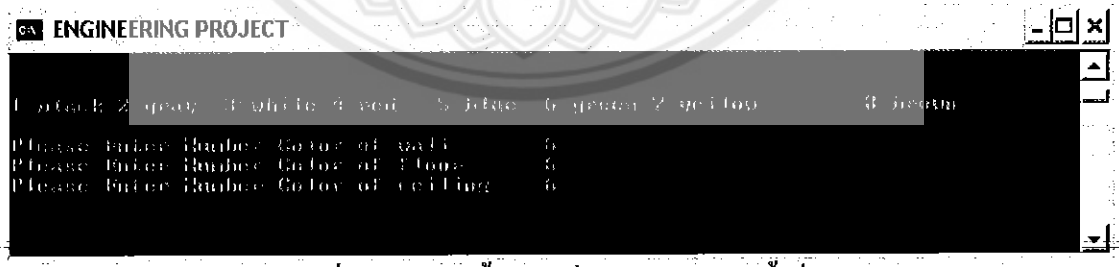
รูปที่ 4.17 แสดงขั้นตอนที่ 1 การทดสอบครั้งที่ 3

ขั้นตอนที่ 2 เลือกประเภทของห้องที่ต้องการออกแบบระบบแสงสว่าง



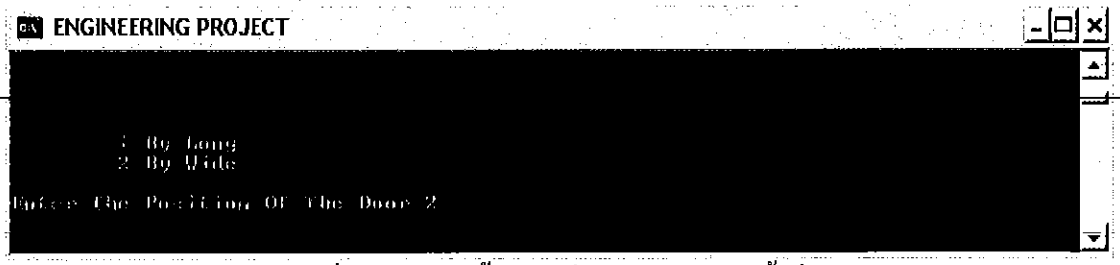
รูปที่ 4.18 แสดงขั้นตอนที่ 2 การทดสอบครั้งที่ 3

ขั้นตอนที่ 3 เลือกสีของผนัง เพดาน และพื้นห้อง



รูปที่ 4.19 แสดงขั้นตอนที่ 3 การทดสอบครั้งที่ 3

ขั้นตอนที่ 4 เลือกใส่ตำแหน่งของประตู

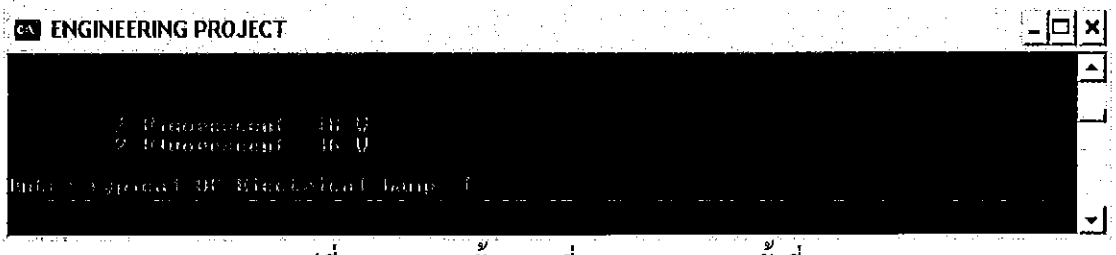


รูปที่ 4.20 แสดงขั้นตอนที่ 4 การทดสอบครั้งที่ 3

ขั้นตอนที่ 5 เลือกชนิดของดวงโคม

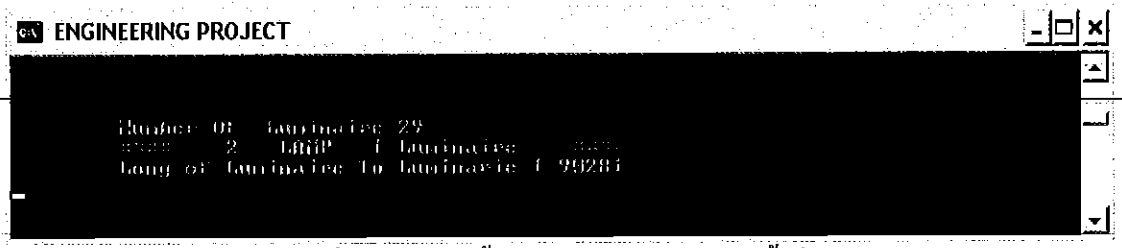
รูปที่ 4.21 แสดงขั้นตอนที่ 5 การทดสอบครั้งที่ 3

ขั้นตอนที่ 6 เลือกขนาดของหลอดฟลูออร์เรสเซนต์



รูปที่ 4.22 แสดงขั้นตอนที่ 6 การทดสอบครั้งที่ 3

ขั้นตอนที่ 7 แสดงผลของการคำนวณได้แก่ จำนวนดวง และระยะห่างของดวงโคม



รูปที่ 4.23 แสดงขั้นตอนที่ 7 การทดสอบครั้งที่ 3

ขั้นตอนที่ 8 แสดงห้องที่ต้องการออกแบบเป็นกราฟฟิกแบบ 3 มิติ

รูปที่ 4.24 แสดงขั้นตอนที่ 8 การทดสอบครั้งที่ 3

สรุปการทดสอบครั้งที่ 3

การคำนวณด้วยตนเองตรงกับการคำนวณด้วยโปรแกรม กราฟฟิกที่แสดงออกมาตรงกับการคำนวณ

4.4 การทดสอบครั้งที่ 4

จงออกแบบระบบส่องสว่างในห้องเรียน ห้องมีขนาดกว้าง 7 เมตร ยาว 10 เมตร สูง 4 เมตร ความสูงของพื้นผิวงาน 0.6 เมตร สีของเพดาน ผนังและพื้นห้องเป็นสีน้ำตาล ดวงโคมเป็นชนิด 2 lamp primatic wraparound ใช้หลอดฟลูออร์เรสเซนต์ 18 วัตต์

4.4.1 วิธีคำนวณด้วยตนเอง

ขั้นตอนที่1 คำนวณค่า RCR $= 5\, H_{rc} \dfrac{(W+L)}{(W \times L)}$

$= 5 \times (4\text{-}0.6) \dfrac{(7+10)}{(7 \times 10)}$

$= 4.12857$

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคม จากตารางการสะท้อนแสงของสีน้ำตาล ได้ค่า Pf = Pw = Pc = 30

ตารางที่ 4.7 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคมที่ Pf = 20

ค่า RCR	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคม
4	0.4
4.12857	?
5	0.35

ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคมที่ (Pf = 20) $= 0.4 - [(0.4 - 0.35) \times (4.12857 - 4)]$

$= 0.39357$

เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคมที่ได้เป็นค่าที่ได้จาก Pf = 20 แต่ค่า Pf = 30 ดังนั้น ต้องเปิดตารางหาค่าตัวคูณประกอบค่าความถูกต้องสำหรับประสิทธิผลของโพรงพื้นที่ต่างไปจาก 20 %

ตารางที่ 4.8 ค่าตัวคูณประกอบค่าความถูกต้องสำหรับประสิทธิผลของโพรงพื้นที่ต่างไปจาก 20 %

ค่า RCR	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคม
4	1.015
4.12857	?
5	1.013

ค่าตัวคูณประกอบค่าความถูกต้องสำหรับประสิทธิผลของโพรงพื้นที่ต่างไปจาก 20 %

$$= 1.013 + [(1.015 - 1.013) \times (4.12857 - 4)]$$

$$= 1.01325$$

นำค่าทั้ง 2 มาคูณกัน $= 0.39357 \times 1.01325$

$$= 0.39878$$

ได้ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของดวงโคมที่แท้จริง = 0.39878

ขั้นตอนที่ 3 หาจำนวนดวงโคม $= \dfrac{(E \times A)}{(CU \times (Lo)}$

$$= \frac{(300 \times 70)}{(0.39878 \times 1600 \times 2)}$$

$$= 16.4564 \approx 16 \text{ ดวงโคม}$$

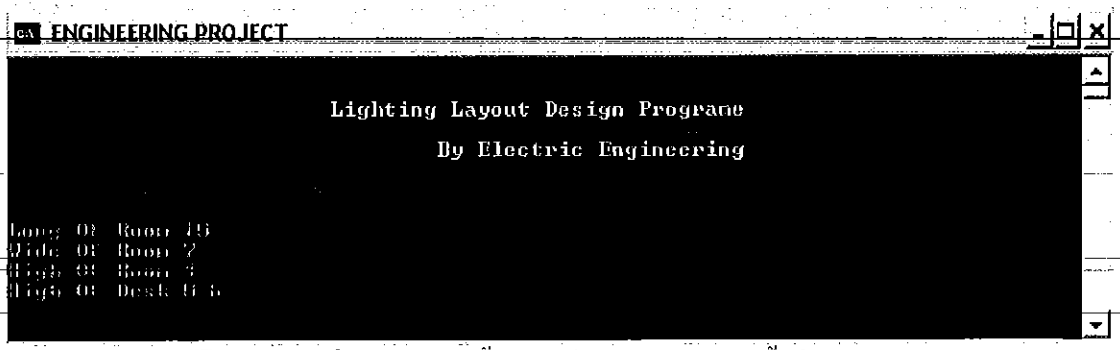
ขั้นตอนที่ 4 หาระยะห่างระหว่างดวงโคม $= \sqrt{\dfrac{(W \times L)}{n}}$

$$= \sqrt{\frac{(70)}{16}}$$

$$= 2.091 \text{ เมตร}$$

4.4.2 วิธีคำนวณด้วยโปรแกรม

ขั้นตอนที่ 1 ใส่ขนาดของห้องที่ต้องการออกแบบระบบแสงสว่าง



รูปที่ 4.25 แสดงขั้นตอนที่ 1 การทดสอบครั้งที่ 4

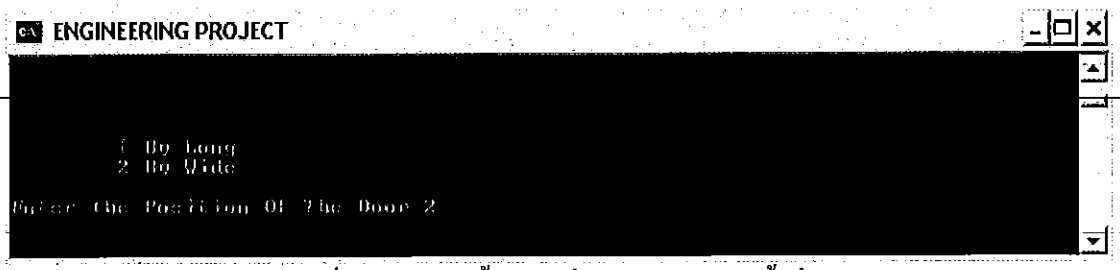
ขั้นตอนที่ 2 เลือกประเภทของห้องที่ต้องการออกแบบระบบแสงสว่าง

รูปที่ 4.26 แสดงขั้นตอนที่ 2 การทดสอบครั้งที่ 4

ขั้นตอนที่ 3 เลือกสีของผนัง เพดาน และพื้นห้อง

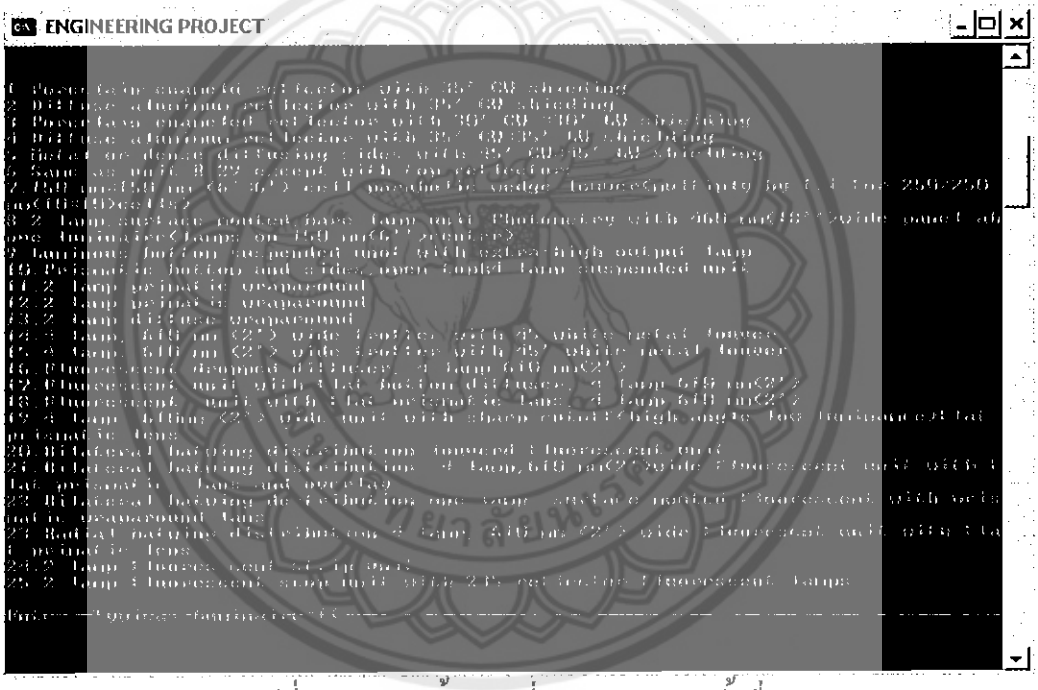
รูปที่ 4.27 แสดงขั้นตอนที่ 3 การทดสอบครั้งที่ 4

ขั้นตอนที่ 4 เลือกใส่ตำแหน่งของประตู



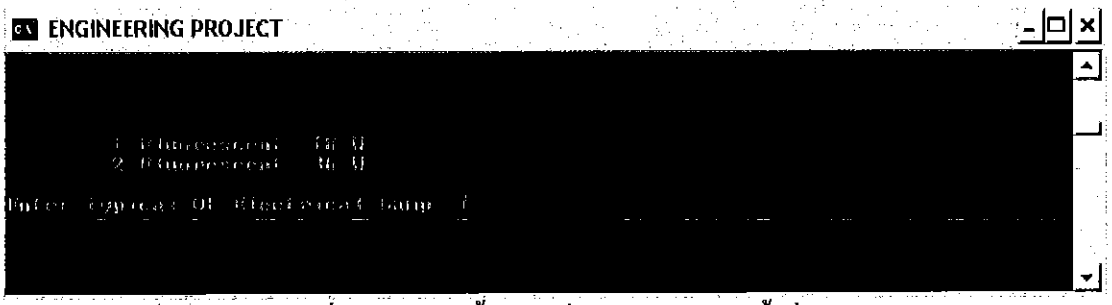
รูปที่ 4.28 แสดงขั้นตอนที่ 4 การทดสอบครั้งที่ 4

ขั้นตอนที่ 5 เลือกชนิดของดวงโคม



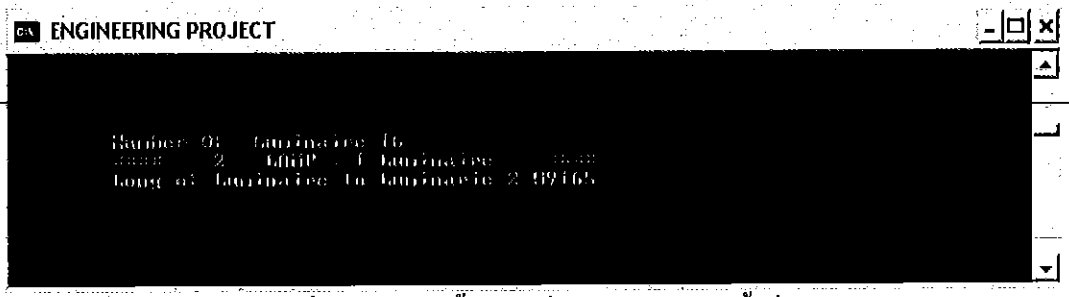
รูปที่ 4.29 แสดงขั้นตอนที่ 5 การทดสอบครั้งที่ 4

ขั้นตอนที่ 6 เลือกขนาดของหลอดฟลูออร์เรสเซนต์.



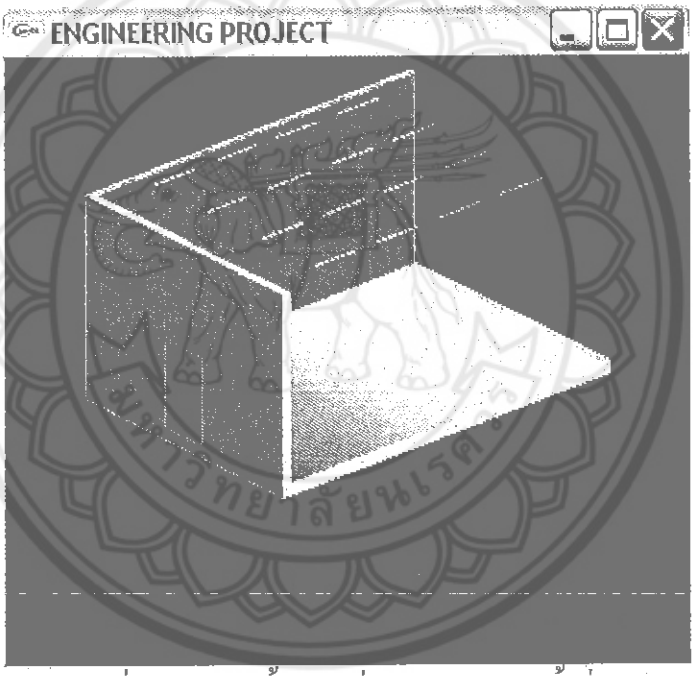
รูปที่ 4.30 แสดงขั้นตอนที่ 6 การทดสอบครั้งที่ 4

ขั้นตอนที่ 7 แสดงผลของการคำนวณได้แก่ จำนวนดวง และระยะห่างของดวงโคม



รูปที่ 4.31 แสดงขั้นตอนที่ 7 การทดสอบครั้งที่ 4

ขั้นตอนที่ 8 แสดงห้องที่ต้องการออกแบบเป็นกราฟฟิกแบบ 3 มิติ



รูปที่ 4.32 แสดงขั้นตอนที่ 8 การทดสอบครั้งที่ 4

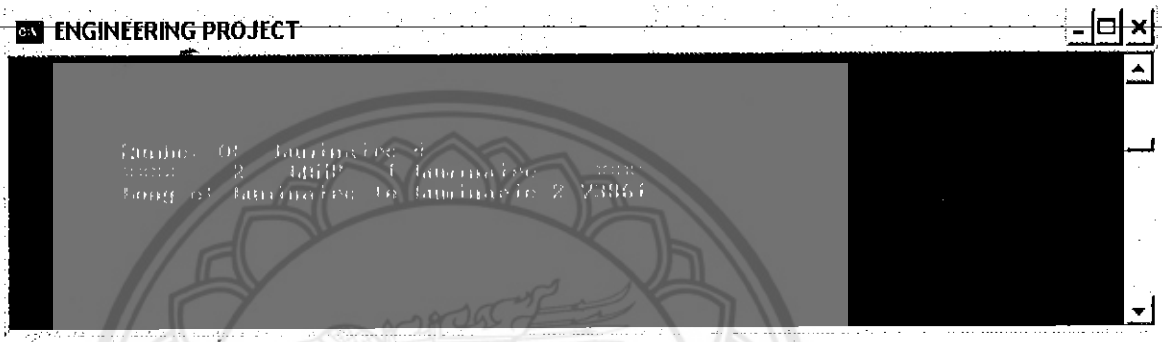
สรุปการทดสอบครั้งที่ 4

การคำนวณด้วยตนเองตรงกับการคำนวณด้วยโปรแกรม กราฟฟิกที่แสดงออกมาตรงกับการคำนวณ

4.5 การทดสอบครั้งที่ 5

ทดสอบว่าควรเลือกโคมชนิดใดจึงทำให้ประหยัดพลังงานจงออกแบบระบบส่องสว่างในห้องประเภทออฟฟิศ ห้องมีขนาดกว้าง 5 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 4 เมตร ความสูงของพื้นผิวงาน 0.7 เมตร สีของเพดาน ผนังและพื้นห้องเป็นขาว ดวงโคมเป็นชนิดแรก Porcelain-enameld reflcetor with 35' CW shieding ดวงโคมชนิดที่สอง 4 lamp, 610 mm (2') wide troffer with 45 white metal louver

คำนวณด้วยโปรแกรม

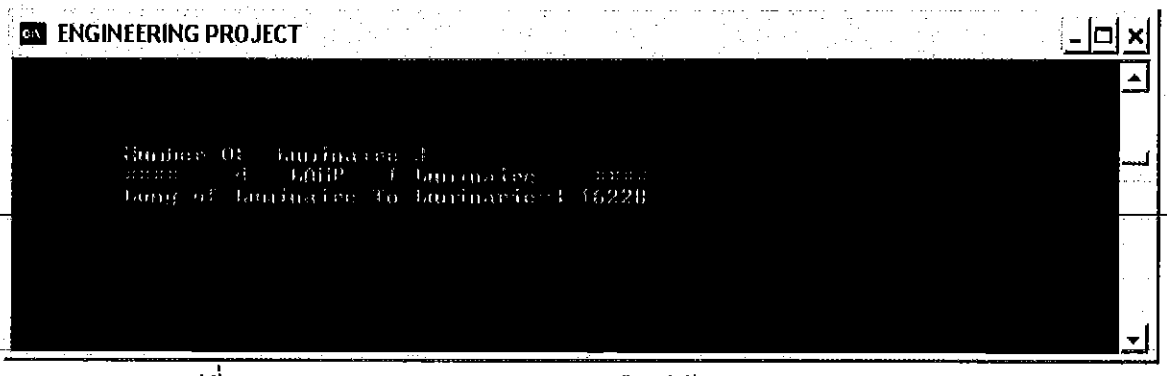


รูปที่ 4.33 แสดงผลการคำนวณของการเลือกใช้ดวงโคมชนิดแรก

ในการเลือกใช้ดวงโคมชนิดแรกต้องหลอดฟลูออเนสเซนต์ทั้งหมด

$= 4 \times 2$

$= 8$ หลอด



รูปที่ 4.34 แสดงผลการคำนวณของการเลือกใช้ดวงโคมชนิดสอง

ในการเลือกใช้ดวงโคมชนิดที่ สองต้องใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ทั้งหมด

$= 4 \times 4$

$= 16$ หลอด

ดวงโคมชนิดแรกใช้หลอดฟลูออเรสเนต์จำนวนน้อยกว่า

ดังนั้น ควรเลือกใช้ดวงโคมชนิด Porcelain-enameld reflcetor with 35' CW shieding เมื่อเทียบกับดวงโคมชนิด 4 lamp, 610 mm (2') wide troffer with 45 white metal louver

บทที่ 5
วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

5.1 วิเคราะห์ผลของการใช้โปรแกรม

จากโครงงานที่จัดทำโปรแกรมช่วยในการคำนวณเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคาร ด้วยภาษา VISAUL C++ V 6.0 เมื่อทำการทดสอบโปรแกรมจากตัวอย่างการหาจำนวนดวงโคมภายในห้องที่มีขนาดความกว้างเท่ากับ 5 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 4 เมตร ความสูงของพื้นผิวงาน 0.5 เมตร สีของเพดาน ผนังและพื้นห้องเป็นสีเทา ดวงโคมเป็นชนิด 4 lamp, 610 mm (2') wide troffer with 45 white metal louver ใช้หลอดฟลูออร์เรสเซนต์ 36 วัตต์ แล้วนำค่าจำนวนโคมที่ได้มาเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยตนเอง ปรากฏว่าผลลัพทธ์ที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรมมีความถูกต้องสอดคล้องกัน คำตอบของโปรแกรมมีความละเอียดมาก เพราะสมการที่ใช้ในโปรแกรมเป็นสมการเดียวกับสมการที่ใช้ในการคำนวณด้วยตนเอง แต่การคำนวณด้วยตนเองต้องใช้การเปิดตารางหาค่าต่างๆ มาใช้ในการคำนวณ ซึ่งในโปรแกรมสามารถทำการเปิดตารางได้ด้วยตัวโปรแกรมเอง ทำให้มีความสะดวกเมื่อเปรียบเทียบกับการเปิดหาค่าในตารางเองที่เป็นการยุ่งยากได้ และจากการที่ทำการเปลี่ยนชนิดดวงโคมจากตัวอย่าง ควรเลือกโคมชนิดใดจึงทำให้ประหยัดพลังงานจงออกแบบระบบส่องสว่างในห้องประเภทออฟฟิศ ห้องมีขนาดกว้าง 5 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 4 เมตร ความสูงของพื้นผิวงาน 0.7 เมตร สีของเพดาน ผนังและพื้นห้องเป็นขาว ดวงโคมเป็นชนิดแรก Porcelain-enameld reflcetor with 35' CW shieding ดวงโคมชนิดที่สอง 4 lamp, 610 mm (2') wide troffer with 45 white metal louver พบว่าดวงโคมชนิดสะท้อนแสงได้ดีกว่าสามารถทำให้ลดจำนวนการใช้หลอดได้ ซึ่งมีความสอดคล้องกันทั้งทางทฤษฎีและโปรแกรม

5.2 สรุปผล

สามารถนำโปรแกรมออกแบบระบบแสงสว่างไปใช้ในการออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคารทั่วไปได้เพื่อให้แสงสว่างมีค่าเหมาะสมที่สุด

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรเพิ่มชนิดของโคมไฟ และหลอดไฟในการใช้งานให้หลากหลายมากขึ้น

5.3.2 รูปกราฟฟิคควรมีการบอกค่าระยะห่างของโคมไฟแต่ละแถวและหลัก

5.3.3 รูปร่างโปรแกรมควรมีปุ่มกดและช่องใส่ข้อมูลเพื่อให้มีความสวยงามและสะดวกขึ้น

5.3.4 มีการแสดงรูปกราฟฟิคที่มีแสงเหมือนจริงเพื่อใช้ในการตัดสินใจในการออกแบบ

5.3.5 สามรถเพิ่มฐานข้อมูลเกี่ยวกับดวงโคมและหลอดไฟชนิดใหม่ๆ ได้ด้วยผู้ใช้โปรแกรมเอง

เอกสารอ้างอิง

[1] ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์, เทคนิคการออกแบบระบบแสงสว่าง, พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพมหานคร : ส.ส.ท. 2543.

[2] ศุลี บรรจงจิตร, วิศวกรรมการส่องสว่าง, กรุงเทพ ฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2544.

[3] ตรัสพงศ์ ไทยอุปถัมภ์, การเขียนโปรแกรมภาษาซี, ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,เชียงใหม่, 2546.

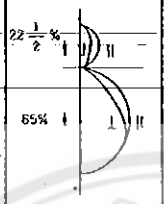
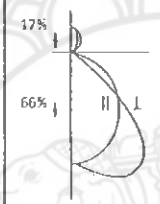
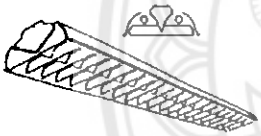
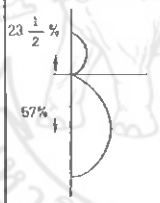
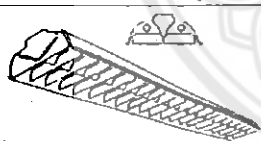
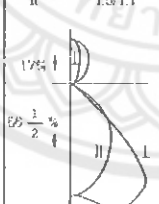
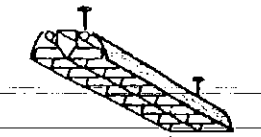
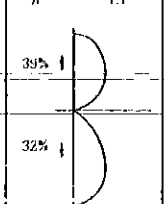
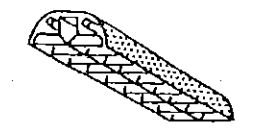
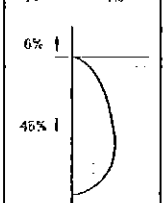
[4] Mason Woo, OpenGL programming guide, Reading Mass, Addison - wesley , 1999

[5] www.en.kku.ac.th/engineer/project/files/EE%202004-1-267-1-EE%202004%20-01.pdf

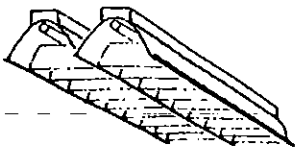
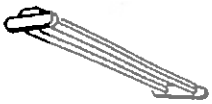
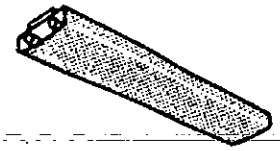
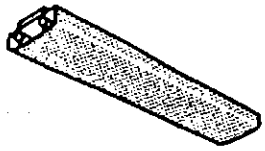
มหาวิทยาลัยนเรศวร

ภาคผนวก

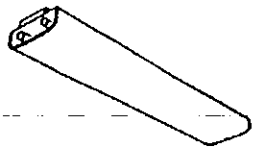
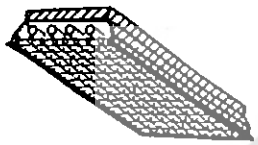
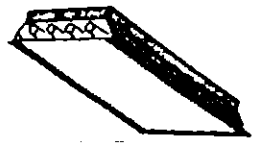
ตารางที่ ผ1 สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคมชนิดต่างๆ [1]

ลักษณะของดวงโคม	ลักษณะการกระจายความเข้มแสงและอัตราส่วนอุณหภูมิหลอดไฟ	ρ_{cc}→	80			70			50			30			10			0
		ρ_w→	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
	ประเภทของดวงโคม / SC*	RCR↓	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิผลของการสะท้อนแสงของโพรงพื้นมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ (ρ_{fc} = 20)															
1. โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดมีตัวสะท้อนแสงแบบเคลือบสารมีมุมกันแสง 35°	II 1.3 	0	.89	.89	.89	.84	.84	.84	.80	.80	.80	.73	.73	.73	.66	.66	.66	.60
		1	.83	.80	.77	.79	.76	.74	.72	.70	.68	.69	.67	.66	.62	.61	.60	.57
		2	.78	.73	.69	.74	.70	.66	.68	.64	.61	.65	.62	.59	.58	.56	.54	.52
		3	.70	.63	.58	.67	.61	.57	.61	.56	.53	.58	.52	.49	.51	.48	.46	.43
		4	.62	.55	.50	.60	.53	.49	.55	.50	.46	.50	.46	.43	.46	.43	.40	.37
		5	.56	.48	.43	.53	.47	.42	.49	.44	.39	.45	.41	.37	.41	.38	.35	.32
		6	.50	.43	.38	.48	.41	.37	.44	.39	.35	.41	.36	.33	.37	.34	.31	.29
		7	.45	.38	.33	.43	.37	.32	.40	.34	.30	.37	.32	.29	.34	.30	.27	.25
		8	.40	.34	.29	.39	.32	.28	.36	.30	.27	.33	.28	.25	.31	.27	.24	.22
		9	.36	.30	.25	.35	.29	.24	.32	.27	.23	.30	.25	.22	.28	.24	.22	.19
		10	.33	.27	.22	.32	.26	.22	.29	.24	.20	.27	.23	.19	.25	.21	.18	.17
2. โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดมีตัวสะท้อนแสงแบบอะลูมิเนียมมุมกันแสง 35°	II 1.5/1.3 	0	.95	.95	.95	.91	.91	.91	.83	.83	.83	.76	.76	.76	.69	.69	.69	.66
		1	.85	.82	.80	.82	.79	.77	.75	.73	.72	.69	.68	.66	.64	.63	.62	.59
		2	.76	.72	.68	.74	.70	.66	.68	.65	.62	.64	.61	.58	.58	.56	.55	.52
		3	.69	.63	.59	.66	.61	.57	.62	.58	.54	.57	.54	.51	.53	.51	.48	.46
		4	.62	.56	.51	.60	.54	.50	.56	.51	.47	.52	.49	.45	.48	.45	.43	.41
		5	.55	.49	.44	.53	.48	.43	.50	.45	.41	.47	.43	.41	.44	.40	.38	.36
		6	.50	.43	.39	.48	.42	.38	.45	.40	.36	.42	.38	.35	.40	.36	.33	.31
		7	.45	.38	.34	.43	.37	.33	.41	.36	.32	.38	.34	.30	.36	.32	.29	.27
		8	.40	.34	.29	.39	.33	.29	.37	.31	.28	.34	.30	.26	.32	.28	.25	.24
		9	.36	.30	.25	.35	.29	.25	.33	.28	.24	.31	.26	.23	.29	.25	.22	.20
		10	.33	.26	.22	.32	.26	.22	.30	.25	.21	.28	.23	.20	.26	.22	.19	.18
3.  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดมีตัวสะท้อนแสงแบบเคลือบสารมีมุมกันแสง 35° และตะแกรงกันแสงมีใบทำมุม 35°	II 1.0 	0	.91	.91	.91	.86	.86	.86	.77	.77	.77	.68	.68	.68	.61	.61	.61	.57
		1	.81	.78	.76	.77	.74	.72	.69	.67	.66	.62	.61	.59	.56	.55	.54	.51
		2	.72	.68	.64	.69	.65	.61	.62	.59	.57	.56	.54	.52	.51	.49	.47	.45
		3	.65	.59	.55	.62	.57	.53	.55	.52	.49	.51	.48	.45	.46	.44	.42	.39
		4	.58	.52	.48	.55	.50	.46	.51	.46	.43	.46	.43	.40	.42	.39	.37	.35
		5	.52	.46	.41	.50	.44	.40	.46	.41	.37	.42	.39	.35	.38	.35	.33	.30
		6	.47	.41	.36	.45	.39	.35	.41	.37	.33	.38	.34	.31	.35	.31	.29	.27
		7	.43	.36	.32	.41	.35	.31	.38	.33	.29	.34	.30	.27	.32	.28	.26	.24
		8	.38	.32	.28	.37	.31	.27	.34	.29	.26	.31	.27	.24	.29	.26	.23	.21
		9	.35	.29	.24	.33	.28	.24	.31	.26	.22	.28	.24	.21	.26	.22	.20	.18
		10	.32	.26	.22	.30	.25	.21	.28	.23	.20	.26	.22	.19	.24	.20	.18	.16
4.  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดมีตัวสะท้อนแสงเป็นอะลูมิเนียมมีมุมกันแสง 35° และตะแกรงกันแสงมีใบทำมุม 35°	II 1.5/1.1 	0	.83	.83	.83	.79	.79	.79	.72	.72	.72	.65	.65	.65	.59	.59	.59	.56
		1	.76	.72	.70	.72	.69	.67	.65	.64	.62	.60	.59	.58	.55	.54	.53	.50
		2	.67	.63	.60	.65	.61	.58	.59	.57	.54	.55	.53	.51	.50	.49	.47	.45
		3	.61	.56	.52	.59	.54	.51	.54	.50	.48	.50	.47	.45	.46	.44	.42	.40
		4	.55	.49	.45	.53	.48	.44	.49	.45	.42	.45	.42	.40	.42	.39	.37	.35
		5	.49	.44	.40	.47	.43	.39	.44	.40	.37	.41	.38	.35	.38	.35	.33	.31
		6	.45	.39	.35	.43	.38	.34	.40	.36	.33	.37	.34	.31	.35	.32	.30	.28
		7	.40	.35	.31	.39	.34	.30	.36	.32	.29	.34	.30	.27	.32	.29	.26	.26
		8	.36	.31	.27	.35	.30	.26	.33	.28	.25	.31	.27	.24	.29	.25	.23	.21
		9	.33	.27	.23	.32	.26	.23	.29	.25	.22	.28	.24	.21	.26	.22	.20	.19
		10	.30	.24	.21	.28	.24	.20	.27	.2	.19	.25	.22	.19	.23	.20	.18	.16
5.  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดแขวนแบบมีสารกระจายแสงขึ้นลงจากตัวกระจายแสงโลหะมีมุมกันแสง 45° และตะแกรงกันแสงมีใบทำมุม 45°	II 1.1 	0	.75	.75	.75	.69	.69	.69	.57	.57	.57	.46	.46	.46	.37	.37	.37	.32
		1	.67	.64	.62	.61	.59	.57	.51	.50	.49	.42	.41	.40	.34	.33	.32	.29
		2	.59	.55	.52	.55	.51	.49	.46	.44	.42	.38	.36	.35	.31	.30	.29	.25
		3	.53	.48	.45	.49	.45	.42	.41	.39	.36	.35	.32	.31	.28	.27	.26	.23
		4	.47	.42	.39	.44	.40	.38	.37	.34	.32	.31	.29	.27	.25	.24	.23	.20
		5	.43	.37	.33	.40	.35	.31	.34	.30	.28	.28	.26	.24	.23	.22	.20	.18
		6	.39	.33	.29	.36	.31	.28	.31	.27	.25	.26	.23	.21	.22	.20	.18	.16
		7	.35	.30	.26	.33	.28	.25	.28	.24	.22	.24	.21	.19	.20	.18	.16	.15
		8	.32	.26	.23	.30	.25	.22	.25	.22	.19	.22	.19	.17	.18	.16	.15	.13
		9	.29	.24	.20	.27	.22	.19	.23	.20	.17	.20	.17	.15	.16	.15	.13	.12
		10	.26	.21	.18	.25	.20	.17	.21	.18	.15	.18	.15	.14	.15	.13	.12	.10
6.  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบมีสารกระจายแสงลงด้านล่าง ตัวกระจายแสงเป็นโลหะมีมุมกันแสง 45° และตะแกรงกันแสงมีใบทำมุม 45°	IV 1.0 	0	.61	.61	.61	.58	.58	.58	.55	.55	.55	.51	.51	.51	.48	.48	.48	.46
		1	.54	.52	.51	.52	.51	.49	.49	.48	.47	.46	.45	.44	.43	.43	.42	.40
		2	.48	.46	.43	.47	.44	.42	.44	.42	.40	.42	.40	.38	.39	.38	.37	.35
		3	.44	.40	.37	.43	.39	.37	.40	.38	.35	.38	.36	.34	.36	.34	.33	.31
		4	.40	.36	.33	.39	.35	.32	.37	.34	.31	.35	.32	.30	.33	.31	.29	.28
		5	.36	.32	.29	.35	.31	.28	.33	.30	.28	.32	.29	.27	.30	.28	.26	.25
		6	.33	.29	.26	.32	.28	.25	.30	.27	.25	.29	.26	.24	.28	.25	.23	.22
		7	.30	.26	.23	.29	.25	.23	.28	.25	.22	.27	.24	.22	.25	.23	.21	.20
		8	.27	.23	.20	.27	.23	.20	.25	.22	.20	.24	.21	.19	.23	.21	.19	.18
		9	.25	.21	.18	.24	.21	.18	.23	.20	.18	.22	.19	.17	.21	.19	.17	.16
		10	.23	.19	.16	.22	.19	.16	.21	.18	.15	.20	.18	.16	.20	.17	.15	.14

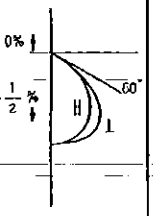
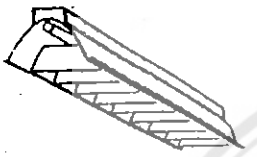
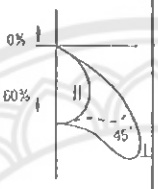
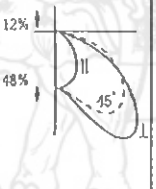
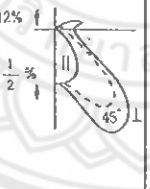
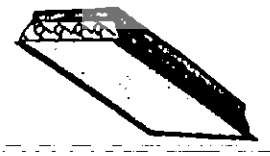
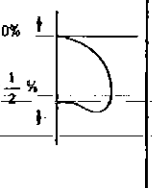
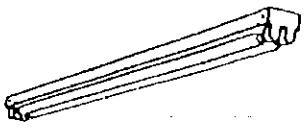
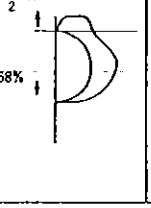
ตารางที่ ผ1 สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคมชนิดต่างๆ (ต่อ) [1]

ลักษณะของดวงโคม	ลักษณะการกระจายความเข้มแสงและอัตราส่วนลูเมนของหลอดไฟ		ρ_{cc}→	80			70			50			30			10			0
			ρ_w→	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
	ประเภทของดวงโคม	SC*	RCR ↓	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิผลของการสะท้อนแสงของโพรงพื้นมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ (ρ_{fc} = 20)															
7.  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 2 หลอด แบบเซลล์พาราโบลิกและมีกำบังขนาด 150x150 มม.	IV	1.5/1.2	0	.69	.69	.69	.67	.67	.67	.64	.64	.64	.62	.62	.62	.59	.59	.59	.58
			1	.63	.61	.59	.62	.60	.58	.59	.58	.57	.57	.56	.55	.55	.54	.53	.52
			2	.57	.54	.52	.56	.53	.51	.54	.52	.50	.52	.50	.49	.51	.49	.48	.47
			3	.52	.48	.45	.51	.47	.45	.49	.46	.44	.48	.45	.43	.46	.44	.42	.41
			4	.47	.42	.39	.46	.42	.39	.44	.41	.38	.43	.40	.38	.42	.40	.38	.36
			5	.42	.37	.34	.41	.37	.34	.40	.36	.34	.39	.36	.33	.38	.35	.33	.32
			6	.38	.33	.30	.37	.33	.30	.36	.32	.29	.35	.32	.29	.34	.31	.29	.28
			7	.34	.29	.26	.33	.29	.26	.32	.29	.26	.32	.28	.26	.31	.28	.25	.24
			8	.30	.26	.22	.30	.25	.22	.29	.25	.22	.28	.25	.22	.28	.24	.22	.21
			9	.27	.22	.19	.27	.22	.19	.26	.22	.19	.25	.22	.19	.25	.21	.19	.18
			10	.24	.20	.17	.24	.20	.17	.23	.19	.17	.23	.19	.17	.22	.19	.17	.16
8.  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 2 หลอด แบบไม่มีกำบังติดลอยห่างกัน 150 มม.	I	1.3	0	1.02	1.02	1.02	.99	.99	.99	.92	.92	.92	.86	.86	.86	.81	.81	.81	.78
			1	.86	.82	.78	.83	.79	.75	.78	.74	.71	.73	.70	.67	.68	.66	.64	.61
			2	.74	.67	.61	.71	.65	.60	.66	.61	.57	.62	.58	.54	.58	.55	.52	.49
			3	.64	.56	.50	.62	.55	.49	.58	.52	.47	.54	.49	.45	.51	.47	.43	.41
			4	.56	.48	.42	.55	.47	.41	.51	.45	.39	.48	.42	.38	.45	.40	.36	.34
			5	.49	.41	.35	.48	.40	.34	.45	.38	.33	.42	.36	.32	.39	.34	.30	.28
			6	.44	.36	.30	.43	.35	.29	.40	.33	.28	.38	.32	.27	.35	.30	.26	.24
			7	.39	.31	.26	.38	.30	.25	.36	.29	.24	.34	.28	.23	.32	.27	.23	.21
			8	.35	.27	.22	.34	.27	.22	.32	.26	.21	.30	.24	.20	.29	.23	.19	.18
			9	.32	.24	.19	.31	.23	.19	.29	.22	.18	.27	.21	.17	.26	.20	.17	.15
			10	.29	.21	.17	.28	.21	.16	.26	.20	.15	.25	.19	.15	.23	.18	.15	.13
9. โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบแขวนชนิดกึ่งกระจายแสงขึ้น (เปิดด้านบน)	VI	N.A.	0	.77	.77	.77	.68	.68	.68	.50	.50	.50	.34	.34	.34	.19	.19	.19	.12
			1	.67	.64	.62	.59	.57	.54	.44	.42	.41	.30	.29	.28	.17	.16	.16	.10
			2	.59	.54	.50	.52	.48	.45	.38	.36	.34	.26	.25	.23	.15	.14	.13	.09
			3	.51	.46	.42	.45	.41	.37	.34	.31	.28	.23	.21	.20	.13	.12	.12	.07
			4	.45	.40	.35	.40	.35	.31	.30	.27	.24	.20	.18	.17	.12	.11	.10	.06
			5	.40	.34	.30	.35	.30	.27	.26	.23	.20	.18	.16	.14	.10	.09	.08	.05
			6	.36	.30	.26	.32	.27	.23	.24	.20	.18	.16	.14	.12	.09	.08	.07	.05
			7	.32	.26	.22	.28	.23	.20	.21	.18	.15	.15	.12	.11	.08	.07	.06	.04
			8	.29	.23	.19	.25	.21	.17	.19	.16	.13	.13	.11	.09	.08	.06	.06	.03
			9	.26	.20	.17	.23	.18	.15	.17	.14	.12	.12	.10	.08	.07	.06	.05	.03
			10	.24	.18	.15	.21	.16	.13	.16	.12	.10	.11	.09	.07	.06	.05	.04	.03
10. โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 4 หลอด แบบแขวนชนิดกึ่งกระจายแสงลงมีแผ่นกรองแสงแบบเกล็ดแก้วปิดด้านล่างส่วนด้านข้างและด้านบนเปิด	VI	1.4/1.2	0	.91	.91	.91	.85	.85	.85	.74	.74	.74	.64	.64	.64	.54	.54	.54	.50
			1	.80	.77	.74	.75	.73	.70	.66	.64	.62	.57	.56	.54	.49	.48	.47	.43
			2	.71	.66	.62	.67	.63	.59	.59	.56	.53	.51	.49	.47	.44	.43	.41	.38
			3	.63	.58	.53	.60	.55	.50	.53	.49	.45	.46	.43	.41	.40	.38	.36	.33
			4	.57	.50	.45	.53	.48	.43	.47	.43	.39	.41	.38	.35	.36	.34	.32	.29
			5	.50	.44	.39	.48	.42	.37	.42	.38	.34	.37	.34	.31	.33	.30	.28	.25
			6	.45	.39	.34	.43	.37	.33	.38	.33	.30	.34	.30	.27	.30	.27	.24	.22
			7	.41	.34	.30	.39	.33	.28	.34	.30	.26	.30	.27	.24	.27	.24	.21	.19
			8	.37	.30	.26	.35	.29	.25	.31	.26	.23	.27	.24	.21	.24	.21	.19	.17
			9	.33	.27	.22	.31	.26	.22	.28	.23	.20	.25	.21	.18	.22	.19	.16	.15
			10	.30	.24	.20	.28	.23	.19	.25	.21	.18	.23	.19	.16	.20	.17	.14	.13
11.  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 2 หลอด มีตัวกรองแสงแบบเกล็ดแก้วปิดหุ้มรอบด้านยาวและปิดด้านข้าง	V	1.5/1.2	0	.81	.81	.81	.78	.78	.78	.72	.72	.72	.66	.66	.66	.61	.61	.61	.59
			1	.71	.69	.66	.69	.66	.64	.64	.62	.60	.59	.58	.56	.55	.54	.56	.50
			2	.64	.59	.56	.61	.58	.54	.57	.54	.51	.53	.51	.49	.49	.48	.46	.44
			3	.57	.52	.48	.56	.50	.47	.51	.48	.45	.48	.45	.42	.45	.42	.40	.38
			4	.51	.46	.41	.49	.44	.41	.46	.42	.39	.43	.40	.37	.41	.38	.35	.34
			5	.46	.40	.36	.44	.39	.35	.41	.37	.34	.39	.35	.32	.37	.33	.31	.29
			6	.41	.35	.31	.40	.35	.31	.38	.33	.30	.35	.31	.28	.33	.30	.27	.26
			7	.37	.31	.27	.36	.31	.27	.34	.29	.25	.32	.28	.25	.30	.27	.24	.23
			8	.33	.28	.24	.32	.27	.23	.30	.26	.22	.29	.25	.22	.27	.24	.21	.19
			9	.30	.24	.20	.29	.24	.20	.27	.23	.19	.26	.22	.19	.24	.21	.18	.17
			10	.27	.22	.18	.26	.21	.18	.25	.20	.17	.23	.19	.16	.22	.18	.16	.15
12.  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 2 หลอด มีตัวกรองแสงแบบเกล็ดแก้วปิดหุ้มรอบด้านยาวและเปิดด้านข้าง	V	1.2	0	.82	.82	.82	.77	.77	.77	.69	.69	.69	.61	.61	.61	.53	.53	.53	.50
			1	.71	.68	.65	.67	.65	.62	.60	.58	.56	.53	.51	.50	.47	.45	.44	.41
			2	.63	.58	.54	.59	.55	.52	.53	.50	.47	.47	.45	.42	.42	.40	.38	.35
			3	.56	.50	.46	.53	.48	.44	.47	.44	.40	.42	.39	.37	.38	.35	.33	.31
			4	.50	.44	.40	.48	.42	.38	.43	.39	.35	.38	.35	.32	.34	.32	.29	.27
			5	.45	.9	.34	.3	.37	.33	.38	.34	.31	.35	.31	.28	.31	.28	.26	.24
			6	.41	.35	.30	.39	.33	.29	.35	.30	.27	.32	.28	.25	.28	.25	.23	.21
			7	.37	.31	.27	.35	.30	.26	.32	.27	.24	.29	.25	.22	.26	.23	.20	.19
			8	.33	.27	.23	.32	.26	.23	.29	.24	.21	.26	.22	.20	.23	.20	.18	.16
			9	.30	.24	.20	.29	.23	.20	.26	.22	.19	.24	.20	.17	.21	.18	.16	.14
			10	.27	.22	.18	.26	.21	.18	.24	.19	.16	.22	.18	.15	.19	.16	.14	.13

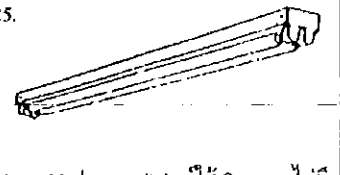
ตารางที่ ผ1 สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคมชนิดต่างๆ (ต่อ) [1]

ลักษณะของดวงโคม	ลักษณะการกระจายความเข้มแสงและอัตราส่วนอุณหภูมิหลอดไฟ	ρ_{cc}→	80			70			50			30			10			0
	ประเภทของดวงโคม / SCR	ρ_w→	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
		RCR ↓	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิผลของการสะท้อนแสงของโครงพื้นที่ค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ (ρ_{fc} = 20)															
13.  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 2 หลอด มีตัวกรองแสงรอบด้านยาวเปิดด้านข้าง	V 1.0	0	.52	.52	.52	.50	.50	.50	.46	.46	.46	.43	.43	.43	.39	.39	.39	.38
		1	.45	.43	.41	.43	.41	.39	.40	.38	.37	.36	.35	.34	.34	.33	.32	.30
		2	.39	.35	.33	.37	.34	.32	.34	.32	.30	.32	.30	.28	.29	.28	.25	.25
		3	.34	.30	.27	.33	.29	.26	.30	.27	.25	.28	.26	.24	.26	.24	.22	.20
		4	.30	.26	.23	.29	.25	.22	.27	.24	.21	.25	.22	.20	.23	.21	.19	.18
		5	.26	.22	.19	.25	.21	.19	.23	.20	.18	.22	.19	.17	.20	.18	.16	.15
		6	.23	.19	.16	.23	.19	.16	.21	.18	.15	.19	.17	.14	.18	.16	.14	.13
		7	.21	.17	.14	.20	.16	.14	.19	.16	.13	.18	.15	.13	.16	.14	.12	.11
		8	.19	.15	.12	.18	.14	.12	.17	.14	.11	.16	.13	.11	.15	.12	.10	.09
		9	.17	.13	.10	.16	.13	.10	.15	.12	.10	.14	.11	.09	.13	.11	.09	.08
		10	.15	.12	.09	.15	.11	.09	.14	.11	.09	.13	.10	.08	.12	.10	.08	.07
14.  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 4 หลอดมีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงพลาสติกกั้น 45°	IV 1.0	0	.60	.60	.60	.58	.58	.58	.56	.56	.56	.53	.53	.53	.51	.51	.51	.50
		1	.54	.52	.50	.52	.51	.49	.50	.49	.48	.48	.47	.46	.47	.46	.45	.44
		2	.48	.45	.43	.47	.44	.42	.45	.43	.41	.44	.42	.40	.42	.41	.39	.39
		3	.43	.40	.37	.42	.39	.37	.41	.38	.35	.40	.37	.36	.39	.37	.35	.34
		4	.39	.35	.32	.38	.35	.32	.37	.34	.32	.36	.33	.31	.35	.33	.31	.30
		5	.35	.31	.28	.35	.31	.28	.34	.30	.28	.33	.30	.28	.32	.29	.27	.26
		6	.32	.28	.25	.32	.28	.25	.31	.27	.25	.30	.27	.25	.29	.26	.24	.23
		7	.29	.25	.22	.29	.25	.22	.28	.25	.22	.27	.24	.22	.27	.24	.22	.21
		8	.26	.22	.20	.26	2	2.20	.25	.22	.20	.25	.22	.19	.24	.21	.19	.18
		9	.24	.20	.17	.24	.20	.17	.23	.20	.17	.23	.19	.17	.22	.19	.17	.16
		10	.22	.18	.16	.22	.18	.16	.21	.18	.16	.21	.18	.15	.20	.17	.15	.15
15. โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 4 หลอดมีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงโลหะสีขาวกั้น 45°	IV 0.9	0	.55	.55	.55	.54	.54	.54	.51	.51	.51	.49	.49	.49	.47	.47	.47	.46
		1	.50	.48	.47	.49	.47	.46	.47	.46	.45	.45	.44	.43	.43	.43	.42	.41
		2	.45	.43	.41	.44	.42	.40	.43	.41	.39	.41	.40	.38	.40	.39	.37	.37
		3	.41	.38	.36	.40	.38	.35	.39	.37	.35	.38	.36	.34	.37	.35	.34	.33
		4	.37	.34	.32	.37	.34	.31	.36	.33	.31	.35	.32	.31	.34	.32	.30	.29
		5	.34	.30	.28	.33	.30	.28	.32	.30	.27	.32	.29	.27	.31	.29	.27	.26
		6	.31	.28	.25	.31	.27	.25	.30	.27	.26	.29	.27	.26	.29	.26	.24	.24
		7	.29	.25	.23	.28	.25	.23	.28	.25	.22	.27	.24	.22	.26	.24	.22	.21
		8	.26	.23	.20	.26	.23	.20	.25	.22	.20	.25	.22	.20	.24	.22	.20	.19
		9	.24	.20	.18	.24	.20	.18	.23	.20	.18	.23	.20	.18	.22	.20	.18	.17
		10	.22	.19	.16	.22	.19	.16	.21	.18	.16	.21	.18	.16	.20	.18	.16	.15
16. โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 4 หลอดมีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงสีขาวขุ่น	V 1.2	0	.73	.73	.73	.71	.71	.71	.68	.68	.68	.65	.65	.65	.62	.62	.62	.60
		1	.64	.61	.59	.62	.60	.58	.60	.58	.56	.57	.56	.54	.55	.54	.52	.51
		2	.56	.52	.49	.55	.51	.48	.52	.49	.47	.50	.48	.46	.48	.46	.44	.43
		3	.50	.45	.41	.49	.44	.41	.47	.43	.40	.45	.42	.39	.43	.41	.38	.37
		4	.44	.39	.35	.43	.38	.35	.42	.37	.34	.40	.36	.33	.39	.36	.33	.32
		5	.39	.34	.30	.38	.33	.29	.37	.32	.29	.36	.32	.29	.34	.31	.28	.27
		6	.35	.30	.26	.34	.29	.25	.33	.29	.25	.32	.28	.25	.31	.27	.25	.23
		7	.31	.26	.22	.31	.26	.22	.30	.25	.22	.29	.25	.22	.28	.24	.22	.20
		8	.28	.23	.19	.28	.23	.19	.27	.22	.19	.26	.22	.19	.25	.22	.19	.18
		9	.25	.20	.17	.25	.20	.17	.24	.20	.17	.23	.19	.16	.23	.19	.16	.15
		10	.23	.18	.15	.23	.18	.15	.22	.18	.15	.21	.17	.15	.21	.17	.14	.13
17. โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 4 หลอดมีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงแบบเรียบ	V 1.2	0	.69	.69	.69	.67	.67	.67	.64	.64	.64	.61	.61	.61	.59	.59	.59	.58
		1	.61	.58	.56	.59	.57	.56	.57	.55	.54	.55	.53	.52	.53	.52	.51	.49
		2	.53	.50	.47	.52	.49	.46	.50	.48	.45	.49	.46	.44	.47	.45	.43	.42
		3	.47	.43	.40	.47	.42	.39	.45	.41	.38	.43	.40	.38	.42	.38	.37	.36
		4	.42	.37	.34	.41	.37	.33	.40	.36	.33	.39	.35	.33	.37	.35	.33	.31
		5	.37	.32	.29	.37	.32	.28	.35	.31	.28	.34	.31	.28	.33	.30	.27	.26
		6	.33	.28	.25	.33	.28	.25	.32	.28	.24	.31	.27	.24	.30	.27	.24	.23
		7	.30	.25	.22	.30	.25	.21	.29	.24	.21	.28	.24	.21	.27	.24	.21	.20
		8	.27	.22	.19	.27	.22	.19	.26	.22	.18	.25	.21	.18	.24	.21	.18	.17
		9	.24	.19	.16	.24	.19	.16	.23	.19	.16	.23	.19	.16	.22	.18	.16	.15
		10	.22	.17	.14	.22	.17	.14	.21	.17	.14	.21	.17	.14	.20	.17	.14	.13
18.  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 4 หลอดมีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงแบบเกล็ดแก้วเรียบ	V 1.4/1.2	0	.75	.75	.75	.73	.73	.73	.70	.70	.70	.67	.67	.67	.64	.64	.64	.63
		1	.67	.65	.63	.66	.64	.62	.63	.62	.60	.61	.60	.58	.59	.58	.57	.55
		2	.60	.57	.54	.59	.56	.53	.57	.54	.52	.55	.53	.51	.53	.51	.50	.49
		3	.54	.50	.47	.53	.49	.46	.52	.48	.45	.50	.47	.45	.48	.46	.44	.43
		4	.49	.44	.40	.48	.44	.40	.47	.43	.40	.45	.42	.39	.44	.41	.39	.37
		5	.44	.39	.35	.43	.38	.35	.42	.38	.34	.41	.37	.34	.40	.36	.34	.33
		6	.40	.34	.31	.39	.34	.31	.38	.34	.30	.37	.33	.30	.36	.32	.30	.29
		7	.36	.30	.27	.35	.30	.27	.34	.30	.27	.33	.29	.26	.32	.29	.26	.25
		8	.32	.27	.23	.32	.27	.23	.32	.26	.23	.30	.26	.23	.29	.26	.23	.22
		9	.29	.24	.20	.28	.23	.20	.28	.23	.20	.27	.23	.20	.26	.23	.20	.19
		10	.26	.21	.18	.26	.21	.18	.25	.21	.18	.24	.20	.18	.24	.20	.18	.16

ตารางที่ ผ1 สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคมชนิดต่างๆ (ต่อ) [1]

ลักษณะของดวงโคม	ลักษณะการกระจายความเข้มแสงและอัตราส่วนลูมเนของหลอดไฟ	ρ_{cc}→	80			70			50			30			10			0
		ρ_w→	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
	ประเภทของดวงโคม SC*	RCR ↓	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิผลของการสะท้อนแสงของโพรงพื้นที่ต่ำกว่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ (ρ_{fc} = 20)															
19. โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 4 หลอดมีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงแบบเกล็ดแก้วเรียบความสว่างต่ำ	V 1.4/1.3 	0	.78	.78	.78	.76	.76	.76	.73	.73	.73	.70	.70	.70	.67	.67	.67	.66
		1	.71	.69	.67	.70	.68	.65	.67	.65	.64	.64	.63	.62	.62	.61	.60	.59
		2	.64	.61	.58	.63	.60	.58	.61	.59	.56	.59	.57	.55	.57	.55	.54	.53
		3	.58	.54	.51	.58	.54	.51	.56	.52	.50	.54	.51	.49	.52	.50	.48	.47
		4	.53	.48	.45	.52	.48	.44	.51	.47	.44	.49	.46	.43	.48	.45	.43	.42
		5	.48	.43	.39	.47	.42	.39	.46	.42	.39	.45	.41	.38	.43	.40	.38	.37
		6	.43	.38	.35	.43	.38	.34	.42	.37	.34	.40	.37	.34	.40	.36	.34	.32
		7	.39	.34	.30	.38	.34	.30	.38	.33	.30	.37	.33	.30	.36	.32	.30	.28
		8	.35	.30	.26	.35	.30	.26	.34	.29	.26	.33	.29	.26	.32	.29	.26	.25
		9	.31	.26	.23	.31	.26	.23	.30	.26	.23	.30	.26	.23	.29	.25	.23	.21
		10	.28	.24	.20	.28	.23	.20	.28	.23	.20	.27	.23	.20	.26	.23	.20	.19
20.  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์มีการกระจายแสงเป็นแบบปีกค้างคาว	IV N.A 	0	.71	.71	.71	.70	.70	.70	.66	.66	.66	.64	.64	.64	.61	.61	.61	.60
		1	.65	.63	.61	.63	.62	.60	.61	.59	.58	.59	.57	.56	.57	.56	.55	.54
		2	.59	.55	.53	.58	.56	.52	.55	.53	.51	.54	.52	.50	.52	.50	.49	.48
		3	.53	.49	.46	.52	.48	.45	.50	.47	.45	.49	.46	.44	.47	.45	.43	.42
		4	.47	.43	.40	.47	.43	.40	.45	.42	.39	.44	.41	.39	.43	.40	.38	.37
		5	.42	.38	.34	.42	.37	.34	.41	.37	.34	.40	.36	.34	.39	.36	.33	.32
		6	.38	.33	.30	.38	.33	.30	.37	.33	.30	.36	.32	.29	.35	.32	.29	.28
		7	.34	.29	.26	.33	.29	.26	.33	.28	.25	.32	.28	.25	.32	.28	.25	.24
		8	.30	.25	.22	.30	.25	.22	.29	.25	.22	.28	.24	.22	.27	.24	.21	.20
		9	.27	.22	.18	.26	.22	.18	.26	.21	.18	.25	.21	.18	.24	.21	.18	.17
		10	.24	.19	.16	.24	.19	.16	.23	.19	.16	.22	.19	.16	.22	.18	.16	.15
21. โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 4 หลอดมีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงแบบเกล็ดแก้วเรียบกระจายแสงแบบปีกค้างคาว	V N.A 	0	.57	.57	.57	.56	.56	.56	.53	.53	.53	.51	.51	.51	.49	.49	.49	.48
		1	.50	.48	.47	.49	.47	.46	.47	.46	.44	.45	.44	.43	.44	.43	.42	.41
		2	.44	.41	.38	.43	.40	.38	.41	.39	.37	.40	.38	.36	.38	.37	.35	.34
		3	.39	.35	.32	.38	.34	.31	.37	.33	.31	.35	.33	.30	.34	.32	.30	.29
		4	.34	.30	.27	.33	.29	.26	.32	.29	.26	.31	.28	.26	.30	.27	.25	.24
		5	.30	.25	.22	.29	.25	.22	.28	.24	.22	.27	.24	.21	.26	.23	.21	.20
		6	.26	.22	.19	.26	.22	.18	.25	.21	.18	.24	.21	.18	.23	.20	.18	.17
		7	.23	.19	.16	.23	.19	.16	.22	.18	.16	.21	.18	.15	.21	.18	.15	.14
		8	.21	.16	.13	.20	.16	.13	.19	.16	.13	.19	.15	.13	.18	.15	.13	.12
		9	.18	.14	.11	.18	.14	.11	.17	.14	.11	.17	.13	.11	.16	.13	.11	.10
		10	.16	.12	.09	.16	.12	.09	.16	.12	.09	.15	.12	.09	.15	.12	.09	.08
22. โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้มีแผ่นกรองแสงแบบเกล็ดแก้วหุ้มรอบด้านเปิดหัว-ท้าย	V N.A 	0	.87	.87	.87	.84	.84	.84	.77	.77	.77	.72	.72	.72	.66	.66	.66	.64
		1	.76	.73	.70	.73	.70	.67	.67	.65	.63	.63	.61	.59	.58	.57	.55	.53
		2	.66	.61	.57	.64	.59	.56	.59	.56	.52	.55	.52	.49	.51	.49	.47	.44
		3	.59	.53	.48	.56	.51	.47	.53	.48	.44	.49	.45	.42	.46	.43	.40	.38
		4	.52	.45	.40	.50	.44	.40	.47	.42	.38	.44	.39	.36	.41	.37	.34	.32
		5	.46	.38	.34	.44	.38	.33	.41	.36	.32	.38	.34	.31	.36	.32	.29	.27
		6	.41	.34	.29	.39	.33	.29	.37	.31	.27	.34	.30	.26	.32	.28	.25	.23
		7	.36	.30	.25	.35	.29	.24	.33	.27	.23	.31	.26	.23	.29	.25	.22	.20
		8	.32	.26	.21	.31	.25	.21	.29	.24	.20	.27	.23	.19	.26	.21	.18	.17
		9	.29	.22	.18	.28	.22	.18	.26	.21	.17	.24	.20	.16	.23	.19	.15	.14
		10	.26	.20	.16	.25	.19	.15	.23	.18	.15	.22	.17	.14	.20	.16	.13	.12
23.  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 4 หลอดมีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงแบบเกล็ดแก้วเรียบ	V 1.7 	0	.71	.71	.71	.69	.69	.69	.66	.66	.66	.63	.63	.63	.61	.61	.61	.60
		1	.62	.60	.58	.61	.59	.57	.59	.57	.55	.56	.55	.53	.54	.53	.52	.51
		2	.55	.51	.47	.53	.50	.47	.51	.48	.46	.49	.47	.45	.48	.45	.44	.42
		3	.48	.43	.39	.47	.43	.39	.45	.41	.38	.44	.40	.38	.42	.39	.37	.36
		4	.42	.37	.33	.41	.37	.33	.40	.36	.32	.39	.35	.32	.37	.34	.31	.30
		5	.37	.32	.27	.36	.31	.27	.35	.30	.27	.34	.30	.27	.33	.29	.26	.25
		6	.33	.27	.23	.32	.27	.23	.31	.26	.23	.30	.26	.23	.29	.25	.23	.21
		7	.29	.24	.20	.29	.24	.20	.28	.23	.20	.27	.23	.20	.26	.22	.19	.18
		8	.26	.21	.17	.25	.20	.17	.25	.20	.17	.24	.20	.17	.23	.21	.16	.15
		9	.23	.18	.14	.23	.18	.14	.22	.17	.14	.21	.17	.14	.21	.17	.14	.13
		10	.21	.16	.12	.20	.16	.12	.20	.15	.12	.19	.15	.12	.19	.15	.12	.11
24.  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 2 หลอดแบบไม่มีตัวกันแสง หลอดอยู่ชิดกัน	I 1.6/1.2 	0	1.01	1.01	1.01	.96	.96	.96	.87	.87	.87	.79	.79	.79	.72	.72	.72	.68
		1	.85	.81	.77	.81	.77	.73	.73	.70	.67	.66	.64	.62	.60	.58	.56	.53
		2	.73	.66	.61	.69	.63	.58	.63	.58	.54	.57	.53	.50	.51	.48	.45	.42
		3	.63	.56	.50	.60	.53	.48	.55	.49	.44	.50	.45	.41	.45	.41	.38	.35
		4	.56	.47	.41	.53	.46	.40	.48	.42	.37	.44	.39	.34	.40	.35	.32	.29
		5	.49	.40	.34	.46	.39	.33	.42	.36	.31	.38	.33	.29	.35	.30	.26	.24
		6	.43	.35	.29	.41	.34	.28	.38	.34	.26	.34	.29	.24	.31	.26	.23	.20
		7	.39	.31	.25	.37	.29	.24	.34	.27	.23	.31	.25	.21	.28	.23	.19	.17
		8	.34	.27	.21	.33	.26	.21	.30	.24	.19	.27	.22	.18	.25	.20	.17	.15
		9	.31	.23	.18	.30	.23	.18	.27	.21	.17	.25	.19	.15	.22	.18	.14	.12
		10	.28	.21	.16	.27	.20	.16	.25	.19	.15	.22	.17	.14	.20	.16	.13	.11

ตารางที่ ผ1 สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคมชนิดต่างๆ (ต่อ) [1]

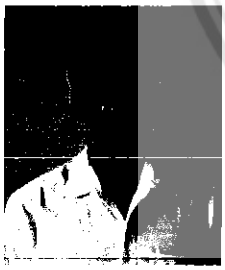
ลักษณะของดวงโคม	ลักษณะการกระจายความเข้มแสงและอัตราส่วนดูนนของหลอดไฟ		ρ_{cc}→	80			70			50			30			10			0
			ρ_w→	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
	ประเภทของดวงโคม	SC*	RCR ↓	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิผลของการสะท้อนแสงของโครงพื้นมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ (ρ_{ug} = 20)															
25.  โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 2 หลอดไม่มีตัวกันแสงมีมุมกระจายแสง 235 หลอดอยู่ชิดกัน	I	1.4/1.2	0	1.13	1.13	1.13	1.09	1.09	1.09	1.01	1.01	1.01	.94	.94	.94	.88	.88	.88	.85
	$12\frac{1}{2}$ %		1	.96	.92	.88	.93	.89	.85	.87	.83	.80	.81	.78	.75	.75	.73	.71	.68
			2	.83	.76	.70	.80	.74	.68	.75	.69	.65	.70	.65	.61	.65	.61	.58	.55
			3	.73	.65	.58	.70	.63	.57	.66	.59	.54	.61	.56	.52	.57	.53	.49	.46
			4	.64	.55	.49	.62	.54	.48	.58	.51	.46	.54	.48	.44	.51	.46	.42	.39
	65%		5	.56	.47	.41	.55	.46	.40	.51	.44	.38	.48	.42	.37	.45	.39	.35	.33
			6	.50	.41	.35	.49	.40	.34	.46	.38	.33	.44	.36	.32	.40	.35	.32	.28
			7	.45	.36	.30	.44	.35	.30	.41	.34	.28	.38	.31	.27	.36	.31	.26	.24
			8	.40	.32	.25	.39	.31	.25	.37	.30	.25	.35	.28	.24	.33	.27	.23	.21
			9	.36	.28	.22	.35	.27	.22	.33	.26	.21	.31	.25	.20	.29	.24	.20	.18
			10	.33	.25	.20	.32	.24	.19	.30	.23	.19	.28	.22	.18	.27	.21	.17	.15

ตารางที่ ผ2 ตัวคูณประกอบค่าความถูกต้องสำหรับประสิทธิผลของโพรงพื้นที่ต่างไปจาก 20 % [1]

% ความสะท้อนประสิทธิผลของโพรงเพดาน ρ_{cc}	80				70				50			30			10		
% การสะท้อนผสมของผนัง ρ_w	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10
สำหรับค่าประสิทธิผลของการสะท้อนของโพรงพื้นมีค่าเท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์ (เมื่อค่า 20%=1)																	
อัตราส่วนโพรงห้อง (RCR)																	
1	1.092	1.082	1.075	1.068	1.077	1.070	1.061	1.059	1.049	1.044	1.040	1.028	1.026	1.023	1.012	1.010	1.008
2	1.079	1.066	1.055	1.047	1.068	1.057	1.048	1.039	1.041	1.033	1.027	1.026	1.021	1.017	1.013	1.010	1.006
3	1.070	1.054	1.042	1.033	1.061	1.048	1.037	1.028	1.034	1.027	1.020	1.024	1.017	1.012	1.014	1.009	1.005
4	1.062	1.045	1.033	1.024	1.056	1.040	1.029	1.021	1.030	1.022	1.015	1.022	1.015	1.010	1.014	1.009	1.004
5	1.056	1.038	1.026	1.018	1.050	1.034	1.024	1.015	1.027	1.018	1.012	1.020	1.013	1.008	1.014	1.009	1.004
6	1.052	1.033	1.021	1.014	1.047	1.030	1.020	1.012	1.024	1.015	1.009	1.019	1.012	1.006	1.014	1.008	1.003
7	1.047	1.029	1.018	1.011	1.043	1.026	1.017	1.009	1.022	1.013	1.007	1.018	1.010	1.005	1.014	1.008	1.003
8	1.044	1.026	1.015	1.009	1.040	1.024	1.015	1.007	1.020	1.012	1.006	1.017	1.009	1.004	1.013	1.007	1.003
9	1.040	1.024	1.014	1.007	1.037	1.022	1.014	1.006	1.019	1.011	1.005	1.016	1.009	1.004	1.013	1.007	1.002
10	1.037	1.022	1.012	1.006	1.034	1.020	1.012	1.005	1.017	1.010	1.004	1.015	1.009	1.003	1.013	1.007	1.002
สำหรับค่าประสิทธิผลของการสะท้อนของโพรงพื้นมีค่าเท่ากับ 10% (เมื่อค่า 20% =1)																	
อัตราส่วนโพรงห้อง (RCR)																	
1	.923	.929	.935	.940	.933	.939	.943	.948	.956	.960	.963	.973	.976	.979	.989	.991	.993
2	.931	.942	.950	.958	.940	.949	.957	.963	.962	.968	.974	.976	.980	.985	.988	.991	.995
3	.939	.951	.961	.969	.945	.957	.966	.973	.967	.975	.981	.978	.983	.988	.988	.992	.996
4	.944	.958	.969	.978	.950	.963	.973	.980	.972	.980	.986	.980	.986	.991	.987	.992	.996
5	.949	.964	.976	.983	.954	.968	.978	.985	.975	.983	.989	.981	.988	.993	.987	.992	.997
6	.953	.969	.980	.988	.958	.972	.982	.989	.977	.985	.992	.982	.989	.995	.987	.993	.997
7	.957	.973	.983	.991	.961	.975	.985	.991	.979	.987	.994	.983	.990	.996	.987	.993	.998
8	.960	.976	.986	.993	.963	.977	.987	.993	.981	.988	.995	.984	.991	.997	.987	.994	.998
9	.963	.978	.987	.994	.965	.979	.989	.994	.983	.990	.996	.985	.992	.998	.988	.994	.999
10	.965	.980	.989	.995	.967	.981	.990	.995	.984	.991	.997	.986	.993	.998	.988	.994	.999
สำหรับค่าประสิทธิผลของการสะท้อนของโพรงพื้นมีค่าเท่ากับ 0% (เมื่อค่า 20% =1)																	
อัตราส่วนโพรงห้อง (RCR)																	
1	.859	.870	.879	.886	.873	.884	.893	.901	.916	.923	.929	.948	.954	.960	.979	.983	.987
2	.871	.887	.903	.919	.886	.902	.916	.728	.926	.938	.949	.954	.963	.971	.978	.983	.991
3	.882	.904	.915	.942	.898	.918	.934	.947	.936	.950	.964	.958	.969	.979	.976	.984	.993
4	.893	.919	.941	.958	.908	.930	.948	.961	.945	.961	.974	.961	.974	.984	.975	.985	.994
5	.903	.931	.953	.9/69	.914	.939	.958	.970	.951	.967	.980	.964	.977	.988	.975	.985	.995
6	.911	.940	.961	.976	.920	.945	.965	.977	.955	.972	.985	.966	.979	.991	.975	.986	.996
7	.917	.947	.967	.981	.924	.950	.970	.982	.959	.975	.988	.968	.981	.993	.975	.987	.997
8	.922	.953	.971	.985	.929	.955	.975	.986	.963	.978	.991	.970	.983	.995	.976	.988	.998
9	.928	.958	.975	.988	.933	.959	.980	.989	.966	.980	.993	.971	.985	.996	.976	.988	.998
10	.933	.962	.979	.991	.937	.963	.983	.992	.969	.982	.995	.973	.987	.977	.977	.989	.999

ประวัติผู้ทำโครงงาน

ชื่อ	นายภัทรภณ สุริชัย
เกิด	21 พฤศจิกายน 2527
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	1/6 ม.7 ตำบลท่าตะโก อำเภอท่าตะโก
	จังหวัดนครสวรรค์ 60160
ประวัติการศึกษา	ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
	โรงเรียนท่าตะโกพิทยาคม
	จังหวัดนครสวรรค์
	ระดับปริญญาตรี
	คณะวิศวกรรมศาสตร์
	สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
	มหาวิทยาลัยนเรศวร



ชื่อ	นายจักรกฤษณ์ จันทร์อลงกต
เกิด	9 มกราคม 2527
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	58/1 ม. 3 ตำบลท่าสะแก อำเภอชาติ
	ตระการ จังหวัดพิษณุโลก 65170
ประวัติการศึกษา	ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
	โรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม
	จังหวัดพิษณุโลก
	ระดับปริญญาตรี
	คณะวิศวกรรมศาสตร์
	สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
	มหาวิทยาลัยนเรศวร