

การประยุกต์ใช้โปรแกรม MATLAB ในการออกแบบระบบ
แสงสว่างภายในอาคาร

APPLICATION OF MATLAB PROGRAMMING FOR
INTERIOR LIGHTING DESIGN



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

KMITL-2008-EN-M-020-162

การประยุกต์ใช้โปรแกรม MATLAB ในการออกแบบระบบ
แสงสว่างภายในอาคาร

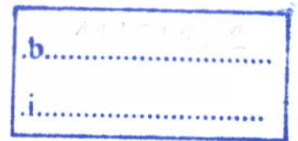
APPLICATION OF MATLAB PROGRAMMING FOR
INTERIOR LIGHTING DESIGN



ยุธนา อัจฉริยะโพธา

YUTTHANA ASCHARIYAPOTHA

เลขที่.....
เลขทะเบียน..... 82710
วัน,เดือน,ปี... 22 ก.ค. 2551



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้สำหรับงานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
พ.ศ.2551

**APPLICATION OF MATLAB PROGRAMMING FOR
INTERIOR LIGHTING DESIGN**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2008

KMITL-2008-EN-M-020-162



COPYRIGHT 2008 งานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประยุกต์ใช้โปรแกรม MATLAB ในการออกแบบระบบแสงสว่าง
ภายในอาคาร
Application of MATLAB Programming for Interior Lighting Design
นักศึกษา นายชูธนา อัจฉริยะโพธา
รหัสประจำตัว 46060309
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.มณฑล ตีลาจินดาไกรฤกษ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ดร.ชახ ชมภูอินไหว

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.สมภพ	ผลไม่	
ผศ.ดร.อนุวัฒน์	จางวนิชเลิศ	
ผศ.ดร.กীরติ	ชยะกุลศิริ	
รศ.ดร.สมชาติ	จิรวีภากร	
รศ.มณฑล	ตีลาจินดาไกรฤกษ์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 7 พฤษภาคม 2551 เวลา 11.30-13.30 น.

สถานที่สอบ ณ ห้องประชุม 4 ชั้น 5 อาคาร A

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.รวีวรรณ ชินะตระกูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ในเชิงพาณิชย์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเป็นวันที่... 21 ...เดือน... พฤษภาคม ... พ.ศ. 2551

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้โปรแกรม MATLAB ในการออกแบบระบบ แสงสว่างภายในอาคาร
นักศึกษา	นายยุทธนา อัจฉริยะโพธา
รหัสประจำตัว	46060309
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2551
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.ชาย ชมภูอินไหว

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบพัฒนาโปรแกรมสำหรับการประมวลผลข้อมูล และออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคาร ภายใต้การทำงานของโปรแกรมคำนวณทางคณิตศาสตร์เมทแลป การทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถแบ่งการใช้งานออกเป็น 2 ฟังก์ชัน คือฟังก์ชันการออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคาร โดยใช้หลักการคำนวณความเข้มแสงเฉลี่ยบนพื้นที่ใช้งาน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะสามารถบอกให้ทราบถึงจำนวนของดวงโคมไฟฟ้าที่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานที่กำหนด และในอีกฟังก์ชันการใช้งานของโปรแกรม จะเป็นการออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคาร โดยใช้หลักการคำนวณความเข้มแสงโดยตรง ซึ่งโปรแกรมจะทำการประมวลผล และแสดงผลการกระจายความเข้มแสงของระบบแสงสว่างภายในอาคาร ตามข้อมูลจำนวนดวงโคมไฟฟ้าและตำแหน่งการจัดวางที่ผู้ใช้งานกำหนด นอกเหนือจากนั้นผู้วิจัยได้ทำการออกแบบฟังก์ชันสำหรับการคำนวณระดับแสงจ้าโดยวิธียูนิไฟด์เกลร์เรตติ้ง (Unified Glare Rating method: UGR) เพื่อใช้สำหรับการคำนวณแสงจ้าระคายตาในระบบแสงสว่างภายใน อ้างอิงตามมาตรฐานซีไออี สำหรับช่วยในการประเมินระดับแสงจ้าอันจะส่งผลกระทบต่อผู้ใช้งานในพื้นที่ออกแบบ ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมในแต่ละฟังก์ชันที่ได้ออกแบบขึ้นนั้น มีผลลัพธ์อยู่ในระดับดี โดยได้ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับโปรแกรมชั้นนำทางด้านวิศวกรรมการส่องสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Application of MATLAB Programming for Interior Lighting Design
Student	Mr.Yutthana Ascharyapotha
Student ID.	46060309
Degree	Master of Electrical Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2008
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Monthon Leelachindakaileak
Co-thesis Advisor	Dr. Chai Chompoo-inwai

ABSTRACT

This thesis presents the development of interior lighting designed program by MATLAB application. The program consists of two major functions. The first function will design interior lighting system by using the average illuminance calculation method and shows the quantity of luminaires which suitable for a proper-designed area. In addition, a result of this function shows user an arrangement of luminaires' position which results in uniform illuminance values. The other function of program using the direct illuminance calculation method. Then, it is able to process and show the illuminance distribution of interior lighting system by receiving information from designer in order to analyze and readjust lighting design on designed area. Moreover, this program managed to calculate the Unified Glare Rating (UGR) for estimating the level of discomfort glare in interior lighting system which refers from CIE standard. In summary, the results of all functions are satisfied when compare with other programs based on illumination engineering field.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือ และคำแนะนำอันมีประโยชน์ยิ่งตลอดระยะเวลาการดำเนินงานวิจัยของท่านอาจารย์ที่ปรึกษาคือ รศ.มณฑล ติลาจินดาไกรฤกษ์ และท่านอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ชาย ชมภูอินไหว ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ศุภี บรรจงจิตร ที่ได้ให้คำแนะนำ ซึ่งแนวทางในการดำเนินงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี พร้อมกับให้คำปรึกษาอันมีค่าอย่างยิ่งในช่วงเวลาขณะทำงานวิจัย

ขอบคุณ คุณวินัย พรพจน์รัตนะกุล และคุณรวรวัฒน์ ตั้งศรีอนุกุล เพื่อนที่แสนดีของข้าพเจ้า ที่คอยให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา และให้กำลังใจที่ดีเสมอมาไม่เคยเสื่อมคลาย

ขอบคุณ คุณภูษิต แซ่มสุวรรณวงษ์ และคุณวีระเกียรติ ตั้งเคนไพศาล ที่เป็นทั้งหัวหน้างาน และพี่ที่สนับสนุนข้าพเจ้าในการศึกษา และการทำงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงได้

ขอบคุณ บริษัทสยามไอซินจำกัด ที่เอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับการทดสอบ โปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้

ขอบคุณ คุณวัฒนา อัจฉริยะโพธา และคุณนิติมา อัจฉริยะโพธา พี่ชายและพี่สาวที่น่ารักของข้าพเจ้า ที่คอยให้กำลังใจ แนะนำให้คำปรึกษาตลอดช่วงระยะเวลาการเรียนและการทำงานวิจัย

และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับคุณพ่อ สมกิจ อัจฉริยะโพธา และคุณแม่แม่ประหยัด อัจฉริยะโพธา ที่ได้ให้กำเนิด และเลี้ยงดูลูกคนนี้อย่างดีใหญ่ ด้วยบุญคุณอันใหญ่หลวงที่มีอาจทดแทนได้หมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	3
บทที่ 2 การออกแบบระบบแสงสว่างภายใน.....	4
2.1 การคำนวณความเข้มแสงเฉลี่ย.....	4
2.1.1 การคำนวณความเข้มแสงเฉลี่ยโดยหลักการ โชนอลควิตี้.....	4
2.1.1.1 อัตราส่วนควิตี้.....	4
2.1.1.2 ค่าการสะท้อนเสมือนของควิตี้เพดานและค่าการสะท้อนเสมือน ของควิตี้พื้น.....	6
2.1.1.3 อัตราส่วนฟลักซ์ส่องสว่าง.....	7
2.1.1.4 อัตราส่วนโดยตรง.....	9
2.1.1.5 สัมประสิทธิ์การใช้งาน.....	10
2.1.1.6 จำนวนดวงโคม.....	12
2.1.1.7 ระยะห่างระหว่างดวงโคม.....	13
2.1.2 การคำนวณความเข้มแสงเฉลี่ยโดยหลักการคัทนีย์ห้อง.....	14
2.1.2.1 ฟลักซ์ส่องสว่างบนพื้นผิวใช้งาน.....	14
2.1.2.2 ตัวประกอบการใช้ประโยชน์.....	15

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.1.2.3 คัทนี่ห้อง.....	15
2.1.2.4 ฟลักซ์ส่องสว่างติดตั้ง.....	17
2.1.2.5 จำนวนดวงโคม	17
2.1.2.6 อัตราส่วนของระยะห่างต่อความสูงดวงโคม.....	17
2.2 การคำนวณความเข้มแสงโดยตรง	19
2.2.1 การคำนวณความเข้มแสงโดยตรงโดยวิธีจุดต่อจุด.....	19
2.2.1.1 กฎกำลังสองผกผัน	19
2.2.1.2 กฎโคไซน์.....	20
2.2.1.3 ข้อจำกัดการใช้กฎกำลังสองผกผัน	21
บทที่ 3 การคำนวณแสงจ้าโดยวิธี Unified Glare Rating	23
3.1 บทนำ	23
3.2 การคำนวณระดับแสงจ้า UGR โดยวิธีสูตรการคำนวณ.....	23
3.2.1 พัฒนาการของสูตรการคำนวณ.....	24
3.2.2 ความส่องสว่างของดวงโคม	25
3.2.3 พื้นที่ส่องสว่างของดวงโคม.....	26
3.2.4 มุมเชิงของแข็ง ณ จุดดวงตาของผู้สังเกต	27
3.2.5 คัทนี่ตำแหน่ง	28
3.2.6 ความส่องสว่างแบล็คกราวด์.....	33
3.2.7 การพิจารณาระดับแสงจ้า UGR	39
3.3 การคำนวณระดับแสงจ้า UGR โดยวิธีเคอร์ฟ UGR	40
3.3.1 เคอร์ฟ UGR.....	40
3.3.2 การอ่านค่าเคอร์ฟ UGR	41
บทที่ 4 การออกแบบโปรแกรม.....	44
4.1 โครงสร้างการทำงานหลักของโปรแกรม	44
4.2 ฟังก์ชันการคำนวณความเข้มแสงของระบบแสงสว่างภายใน	45
4.2.1 ขั้นตอนการรับค่าข้อมูลสำหรับการคำนวณ.....	46

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.2.2	ขั้นตอนการคำนวณ	48
4.2.3	ขั้นตอนการแสดงผลพีธจากการคำนวณ	50
4.3	ฟังก์ชันการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน	50
4.3.1	ขั้นตอนการรับค่าข้อมูลสำหรับการคำนวณ.....	51
4.3.2	ขั้นตอนการคำนวณ	52
4.3.2.1	การคำนวณจำนวนดวงโคม.....	53
4.3.2.2	การคำนวณตำแหน่งการจัดวางดวงโคม.....	56
4.3.3	ขั้นตอนการแสดงผลพีธจากการคำนวณ	56
4.4	การคำนวณระดับแสงจ้า UGR โดยวิธีสูตรการคำนวณ.....	56
4.5	การคำนวณระดับแสงจ้า UGR โดยวิธีเคอร์ฟ UGR.....	60
บทที่ 5	ผลการทดสอบการใช้งานโปรแกรม	62
5.1	ผลการทำงานของโปรแกรม.....	62
5.1.1	ฟังก์ชันการคำนวณความเข้มแสงของระบบแสงสว่างภายใน.....	62
5.1.2	ฟังก์ชันการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน	69
5.1.3	การแสดงผลการคำนวณระดับแสงจ้า UGR	76
5.2	ทดสอบการทำงานของโปรแกรมในการคำนวณระดับแสงจ้า UGR.....	78
5.2.1	ทดสอบผลโดยการติดตั้งดวง โคมแบบพาราโบลิค (parabolic)	78
5.2.2	ทดสอบผลโดยการติดตั้งดวง โคมแบบทรงกลม (sphere).....	81
5.2.3	การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากโปรแกรม.....	83
5.3	ตัวอย่างการทดสอบผลการทำงานของโปรแกรมในพื้นที่ทำงานจริง.....	86
●		
บทที่ 6	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	95
6.1	สรุปผล.....	95
6.2	ปัญหาจากงานวิจัยและข้อจำกัดของโปรแกรม.....	96
6.2	ข้อเสนอแนะ	96
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ขอสงวนสิทธิ์ในข้อบัญญัติของมหาวิทยาลัย		
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้		
บรรณานุกรม.....		98

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	99
ภาคผนวก ก. ตารางแสดงระดับความเข้มแสงและระดับแสงจ้าที่แนะนำ สำหรับพื้นที่ทำงานและกิจกรรมต่างๆ ภายในอาคาร.....	100
ภาคผนวก ข. ข้อมูลมาตรฐาน IES ของดวงโคมที่ใช้ทดสอบ.....	106
ภาคผนวก ค. ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์.....	113
ประวัติผู้เขียน.....	121



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ค่าคงที่ A และ B สำหรับการหาค่าตัวคูณประจำโซน 10
2.2	ฟอร์มเฟกเตอร์ระหว่างพื้นผิวต่างๆ ตามอัตราส่วนควิตีของห้อง 11
2.3	ความสัมพันธ์ของระยะห่างต่อความสูงของดวง โคมลักษณะต่าง ๆ 18
3.1	ความสัมพันธ์ของพื้นที่ส่องแสงของดวง โคมแต่ละชนิดกับตำแหน่งผู้สังเกต 27
3.2	ดัชนีตำแหน่ง 31
3.3	ข้อมูลค่า D_s 38
5.1	การเปรียบเทียบผลลัพธ์การคำนวณระดับแสงจ้า UGR 84



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การแบ่งโชนควาคิวตี้.....	5
2.2 การแบ่งโชนย่อยของมุมเชิงของแข็ง	7
2.3 การแบ่งมุมในการคำนวณฟังก์ชันสองสว่างในแต่ละโชนย่อยของมุมเชิงของแข็ง	8
2.4 ความเข้มแสงจากดวง โคม 2 ดวง โคม	14
2.5 ความเข้มแสงจากดวง โคม 4 ดวง โคม	14
2.6 ความสัมพันธ์ของมิติห้อง	16
2.7 การพิจารณาค่าความสูง H_m	16
2.8 ความสัมพันธ์ของระยะห่างและความสูงของดวง โคม	17
2.9 กฎกำลังสองผกผันและการประยุกต์ใช้งาน	19
2.10 กฎโคไซน์	20
2.11 ความเข้มแสงบนระนาบนอนและระนาบตั้ง.....	21
2.12 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบการใช้งานกฎกำลังสองผกผัน	21
2.13 การแบ่งดวง โคมออกเป็นพื้นที่ย่อย	22
3.1 ความสัมพันธ์ของพื้นที่ส่องแสงของดวง โคมและตำแหน่งผู้สังเกต	26
3.2 ขนาดของมุมตัน θ จุดดวงตาของผู้สังเกต.....	28
3.3 พิกัดตำแหน่งของดวง โคมเทียบกับจุดดวงตาผู้สังเกต	28
3.4 การพิจารณาพิกัดมุม C, γ ของดวง โคม	29
3.5 การพิจารณาความส่องสว่างเบลิคกราวด์	34
3.6 ตำแหน่งในการพิจารณาแสงจ้า.....	39
3.7 เคอร์ฟ UGR ไคอะแกรมที่ 1.....	40
3.8 เคอร์ฟ UGR ไคอะแกรมที่ 2.....	41
3.9 ตัวอย่างการใช้งานเคอร์ฟ UGR	42
4.1 โครงสร้างการทำงานหลักของโปรแกรม.....	45
4.2 ขั้นตอนการทำงานของฟังก์ชันการคำนวณความเข้มแสงของระบบแสงสว่างภายใน	46
4.3 ไคอะแกรมการทำงานของขั้นตอนการรับค่าข้อมูลสำหรับการคำนวณ.....	47
4.4 ไคอะแกรมการทำงานของขั้นตอนการคำนวณ.....	49
4.5 ไคอะแกรมการทำงานของขั้นตอนการแสดงผลลัพธ์จากการคำนวณ.....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับศึกษาใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6	ขั้นตอนการทำงานของฟังก์ชันการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน 51
4.7	ไคอะแกรมการทำงานของขั้นตอนการรับค่าข้อมูลสำหรับการคำนวณ..... 52
4.8	ไคอะแกรมทำงานของขั้นตอนการคำนวณ..... 53
4.9	ไคอะแกรมการทำงานในส่วนการคำนวณจำนวนดวงโคม..... 55
4.10	ไคอะแกรมการทำงานในส่วนการคำนวณระดับแสงจ้า UGR โดยวิธีสูตรการคำนวณ..... 59
4.11	ไคอะแกรมการทำงานในส่วนการคำนวณระดับแสงจ้า UGR โดยวิธีเคอร์ฟ UGR 61
5.1	หน้าต่างการเลือกฟังก์ชันการทำงานของโปรแกรม..... 62
5.2	หน้าต่างเลือกจำนวนชนิดดวงโคม..... 63
5.3	หน้าต่างเลือกไฟล์ข้อมูลการกระจายแสงของดวง โคม 63
5.4	หน้าต่างระบุคุณลักษณะของพื้นที่ใช้งาน 64
5.5	หน้าต่างแสดงตำแหน่งการติดตั้งดวง โคม 64
5.6	หน้าต่างกำหนดตำแหน่งการติดตั้งดวงโคม..... 65
5.7	หน้าต่างแสดงตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมหลังจากระบุตำแหน่งของดวง โคมชนิดที่ 1..... 66
5.8	หน้าต่างแสดงตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมทั้งหมด 66
5.9	หน้าต่างระบุค่าความเข้มแสงที่ต้องการแสดงผล 67
5.10	การแสดงผลเส้นโค้งความเข้มแสงเท่า..... 67
5.11	การแสดงผลเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าบนระนาบแกน 3 มิติ 68
5.12	ข้อมูลค่าความเข้มแสงบนระนาบผิวใช้งาน 68
5.13	ตารางข้อมูลค่าความเข้มแสง ณ แต่ละจุดกริดบนระนาบผิวใช้งาน 69
5.14	หน้าต่างระบุค่าที่ใช้ในการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน..... 70
5.15	หน้าต่างระบุค่าระดับความเข้มแสงเฉลี่ยบนระนาบผิวใช้งาน 70
5.16	ตารางระดับความเข้มแสงและระดับแสงจ้าที่แนะนำสำหรับการออกแบบ 71
5.17	การแสดงตำแหน่งดวงโคมที่แนะนำสำหรับการติดตั้งในพื้นที่ที่กำหนด 72
5.18	การปรับเปลี่ยนทิศทางการติดตั้งดวงโคม..... 73
5.19	การแสดงผลเส้นโค้งความเข้มแสงเท่า..... 74
5.20	การแสดงผลเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าบนระนาบแกน 3 มิติ 74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.21	ข้อมูลค่าความเข้มแสงบนระนาบผิวใช้งาน 75
5.22	ตารางข้อมูลค่าความเข้มแสง ณ แต่ละจุดกริดบนระนาบผิวใช้งาน 75
5.23	หน้าตัดระบุมุมขอบเขตจุดสังเกตแต่ละด้านของผนัง 76
5.24	การแสดงผลค่าระดับความเข้มแสง UGR 77
5.25	การแสดงผลเคอร์ฟ UGR..... 77
5.26	การติดตั้งดวงโคมแบบพาราโบลิกในพื้นที่ห้องตัวอย่าง..... 79
5.27	กำหนดขอบเขตจุดสังเกตในการคำนวณระดับแสงจ้า UGR..... 79
5.28	ระดับแสงจ้าจากการติดตั้งดวงโคมแบบพาราโบลิก 80
5.29	เคอร์ฟ UGR ของดวงโคมแบบพาราโบลิก 80
5.30	การติดตั้งดวงโคมทรงกลมในพื้นที่ห้องตัวอย่าง 81
5.31	กำหนดขอบเขตจุดสังเกตในการคำนวณระดับแสงจ้า UGR..... 82
5.32	ระดับแสงจ้าจากการติดตั้งดวงโคมแบบทรงกลม 82
5.33	เคอร์ฟ UGR ของดวงโคมแบบทรงกลม 83
5.34	เคอร์ฟ UGR ของดวงโคมแบบพาราโบลิกจากโปรแกรม ESIRC 84
5.35	เคอร์ฟ UGR ของดวงโคมแบบพาราโบลิกจากรายงานของ CIE 85
5.36	เคอร์ฟ UGR ของดวงโคมแบบทรงกลมจากโปรแกรม ESIRC 85
5.37	เคอร์ฟ UGR ของดวงโคมแบบทรงกลมจากรายงานของ CIE 86
5.38	ตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมในพื้นที่ทำงาน 87
5.39	ดวงโคมที่ใช้ติดตั้งในพื้นที่ทำงาน 87
5.40	ระบุจำนวนชนิดของดวงโคมที่ต้องการใช้งาน 87
5.41	เลือกไฟล์ข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมและจำนวนดวงโคม 88
5.42	ระบุข้อมูลคุณลักษณะของห้อง 88
5.43	กำหนดตำแหน่งของดวงโคม..... 89
5.44	หน้าตัดแสดงตำแหน่งการติดตั้งดวงโคม 90
5.45	เส้นโค้งความเข้มแสงเท่า 90
5.46	เส้นโค้งความเข้มแสงเท่าบนแกน 3 มิติ 91
5.47	ข้อมูลความเข้มแสงบนระนาบผิวใช้งาน 91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.48 ตารางข้อมูลค่าความเข้มแสง ณ แต่ละจุดกริดบนระนาบผิวใช้งาน	92
5.49 ผลลัพธ์ระดับแสงจ้า UGR ในห้องทำงานตัวอย่างที่ทำการทดสอบ.....	92
5.50 ผลลัพธ์เคอร์ฟ UGR ในห้องทำงานตัวอย่างที่ทำการทดสอบ	93
5.51 มุมมองในห้องตัวอย่างระนาบขนานกับดวงโคม.....	94
5.52 มุมมองในห้องตัวอย่างระนาบตั้งฉากกับดวงโคม	94



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบแสงสว่างภายในที่มีคุณภาพนั้นจะประกอบไปด้วย การที่มีระดับความเข้มแสงเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อลักษณะการใช้ประโยชน์ในพื้นที่นั้น และความสม่ำเสมอของค่าความเข้มแสงทั่วทั้งพื้นที่ใช้งาน ซึ่งในการออกแบบระบบแสงสว่างภายในโดยทั่วไป ผู้ออกแบบจะทำการคำนวณระบบแสงสว่างโดยการเปิดตารางเพื่อให้ได้ข้อมูลที่จำเป็นในการคำนวณ อาทิเช่น ค่าการสะท้อนเสมือนของเพดาน, พื้น, และสัมประสิทธิ์การใช้งาน ซึ่งมีความยุ่งยากและต้องใช้เวลาในการคำนวณค่อนข้างมากหากในอาคารมีพื้นที่ใช้งานหลายพื้นที่ โดยอาจจะก่อให้เกิดความผิดพลาดต่างๆ อันทำให้ผลลัพธ์ที่ได้นั้นคลาดเคลื่อนและไม่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้หลังจากได้จัดวางดวงโคมในพื้นที่ใช้งานจริงแล้ว ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นโดยไม่จำเป็น หรือได้มาซึ่งระบบแสงสว่างที่ด้อยคุณภาพ อีกทั้งการพิจารณาในระบบแสงสว่างที่ทำการติดตั้งต่อความสบายตาของผู้ใช้งานก็เป็นอีกสิ่งหนึ่งที่สำคัญ เนื่องจากความไม่สบายตาหรือการระคายเคือง จะส่งผลให้เกิดความอ่อนล้าทางสายตาแก่ผู้ใช้งาน เมื่อต้องทำงานภายใต้สภาวะที่มีแสงจ้าเป็นระยะเวลาอันยาวนาน ผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญและปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในข้างต้น จึงมีแนวความคิดที่จะทำการออกแบบโปรแกรมที่ช่วยอำนวยความสะดวก สำหรับการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้อง มีความรวดเร็ว และสะดวกต่อการพิจารณาติดตั้งระบบแสงสว่างให้ได้มาซึ่งคุณภาพที่ดีต่อผู้ใช้งาน

จากผลงานวิจัยของ วินัย พรพจน์รัตนะกุล เรื่องการวิเคราะห์และประมวลผลการกระจายแสงของดวงโคมไฟโดยใช้โปรแกรม MATLAB[1] มีวัตถุประสงค์ของโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์การกระจายแสงของดวงโคมไฟ สำหรับการพิจารณาเลือกใช้งานดวงโคมแต่ละชนิดให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน ซึ่งเป็นการเริ่มต้นในการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม MATLAB สำหรับงานทางด้านวิศวกรรมการส่องสว่าง และจากแนวความคิดนี้ ผู้วิจัยจึงมีความประสงค์ที่จะพัฒนาโปรแกรม MATLAB สำหรับการประยุกต์ใช้งานทางด้านวิศวกรรมการส่องสว่าง ให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น โดยทำการพัฒนาในส่วนของการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน มีจุดมุ่งหมายเพื่อสามารถเอื้อประโยชน์แก่ผู้ที่ต้องการใช้งานออกแบบ และลดปัญหาจากการออกแบบดังที่ได้กล่าวในข้างต้นได้ อีกทั้งยังพัฒนาความสามารถของโปรแกรมในส่วนของการประเมินระดับแสงจ้า ที่เกิดขึ้นภายในระบบแสงสว่างด้วยวิธี UGR โดยการประยุกต์ใช้การคำนวณความส่องสว่างแบบสีกกราวด์ ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญสำหรับการคำนวณ ตามวิธีการของอังกฤษ อันได้แนวความคิดในการคำนวณจาก Publication CIE 52-1982[2] ทำให้โปรแกรมมีความสามารถที่

ครอบคลุมถึงความต้องการของผู้ออกแบบระบบแสงสว่างภายในได้ โดยไม่ต้องสูญเสียค่าใช้จ่าย สำหรับค่าลิขสิทธิ์ในการใช้งาน โปรแกรมทางด้านการส่องสว่างที่มีอยู่ในปัจจุบัน เนื่องจากว่ามีความนิยมในการใช้งาน โปรแกรม MATLAB สำหรับงานคำนวณทางด้านวิศวกรรมกันอยู่ทั่วไปแล้ว จึงสามารถติดตั้งโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในวิทยานิพนธ์นี้ เพิ่มเติมในโปรแกรม MATLAB ได้ โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม และโปรแกรมทางด้านการส่องสว่างที่มีอยู่ในปัจจุบันนี้จะรับค่าข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมในลักษณะไฟล์ข้อมูลมาตรฐานรูปแบบต่างกันไป ขึ้นอยู่กับว่าโปรแกรมจะถูกพัฒนาขึ้นในแถบประเทศใด ซึ่งผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมให้สามารถรับข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมได้ทั้งในรูปแบบของ IES ที่นิยมใช้ในแถบอเมริกา และรูปแบบ CIE ที่นิยมใช้ในแถบยุโรป อีกทั้งในส่วนของการคำนวณแสงจ้า UGR ได้ทำการคำนวณโดยพิจารณาเป็นช่วงพื้นที่ที่แต่ละจุดสังเกต อันจะทำให้ได้ผลลัพธ์เป็นค่าเฉลี่ยในพื้นที่จุดสังเกต ทำให้ผู้ใช้งานสามารถพิจารณาในการใช้งานพื้นที่ห้องได้ดีกว่า ค่ารวมจากจุดเดียวเมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรม DIALux 4.3 Light[3]

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

วัตถุประสงค์ของการทำวิทยานิพนธ์นี้ คือการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยสำหรับการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้อง ผู้ใช้งานสามารถใช้ประโยชน์จากโปรแกรมในการออกแบบติดตั้งดวงโคมในพื้นที่ใช้งาน เพื่อให้ได้ระบบแสงสว่างที่มีคุณภาพตรงตามความต้องการ สามารถทราบถึงลักษณะการกระจายแสงที่เกิดขึ้นจากการออกแบบ อีกทั้งรวมไปถึงค่าดัชนีความรู้สึกรบกวนการมองเห็นของผู้ที่ทำงานในพื้นที่ อันเป็นผลมาจากแสงจ้าที่เกิดขึ้นในระบบแสงสว่าง โดยโปรแกรมที่ออกแบบได้อาศัยความสามารถการประมวลผล และการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่รวดเร็วของโปรแกรมแมทแลป ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ได้รับการยอมรับและถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง เป็นโครงสร้างหลักในการพัฒนา

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

โปรแกรมออกแบบระบบแสงสว่างภายในที่พัฒนาขึ้น สามารถประมวลผล และแสดงผลลัพธ์จากการออกแบบได้ตรงตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา กล่าวคือโปรแกรมสามารถเอื้อประโยชน์แก่ผู้ที่ทำการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน โดยที่ผู้ใช้งานสามารถประยุกต์ใช้โปรแกรมในการออกแบบ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ของระบบแสงสว่างที่มีคุณภาพได้อย่างสะดวกภายในระยะเวลาอันสั้น สามารถนำไปใช้งานได้จริงและเกิดประโยชน์อย่างสูงสุด อีกทั้งสามารถตรวจสอบคุณภาพของระบบแสงสว่างภายในที่ได้ทำการติดตั้งอยู่เดิม เพื่อวิเคราะห์และพิจารณาแนวทางการปรับปรุงได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

โปรแกรมออกแบบระบบแสงสว่างภายในที่พัฒนาขึ้น เป็นการคำนวณโดยใช้หลักการคำนวณความเข้มแสงเฉลี่ยในส่วนของการคำนวณจำนวนดวงโคมที่ใช้ และส่วนของการคำนวณตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมในพื้นที่ออกแบบ ร่วมกับการคำนวณความเข้มแสงโดยตรงในส่วนของการคำนวณความเข้มแสงที่เกิดขึ้นบนระนาบพื้นผิวใช้งาน เพื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการติดตั้งดวงโคมในพื้นที่ อันจะส่งผลให้การออกแบบระบบแสงสว่างภายในมีประสิทธิภาพสูง และในส่วนของ การพิจารณาระดับแสงจ้าที่เกิดขึ้นภายในระบบแสงสว่าง ทำการพิจารณาโดยใช้วิธีการคำนวณระดับแสงจ้า UGR ซึ่งเป็นแนวทางการพิจารณาตามมาตรฐานของ CIE

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ผลลัพธ์ของโปรแกรมสามารถแสดงผลจำนวนดวงโคม พร้อมทั้งระบุตำแหน่งการติดตั้งที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งในบริเวณพื้นที่ใช้งานที่ต้องการออกแบบ เพื่อให้ได้ระดับความเข้มแสงตามที่ต้องการ และมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งระนาบพื้นผิวใช้งานอยู่ในระดับที่ดีโดยใช้วิธีการคำนวณความเข้มแสงเฉลี่ย อีกทั้งสามารถแสดงข้อมูลและลักษณะการกระจายความเข้มแสงที่เกิดขึ้นบนระนาบพื้นผิวใช้งาน โดยใช้วิธีการคำนวณความเข้มแสงโดยตรงวิธีจุดต่อจุด เพื่อพิจารณาถึงการกระจายแสงและความสม่ำเสมอของความเข้มแสงที่เกิดขึ้นบนระนาบพื้นผิวใช้งาน โดยไม่ได้รวมพิจารณาถึงการสะท้อนจากพื้นผิวต่างๆ ของห้อง และพัฒนาโปรแกรมให้มีความสามารถในการพิจารณาระดับแสงจ้าที่เกิดขึ้น โดยใช้การคำนวณระดับแสงจ้า UGR เป็นตัวชี้บ่ง ซึ่งทำการคำนวณโดยวิธีสูตรการคำนวณและวิธีเคอร์ฟ UGR

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

ในขั้นตอนของการศึกษาวิจัยได้ดำเนินตามหัวข้อดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีและหลักการพื้นฐานที่สำคัญทางด้านวิศวกรรมการส่องสว่าง
2. ศึกษาหลักการออกแบบระบบแสงสว่างภายในโดยวิธีต่างๆ
3. ศึกษาการใช้งานและหลักการเขียน โปรแกรมแมทแลป
4. เขียน โปรแกรมฟังก์ชันการคำนวณความเข้มแสงของระบบแสงสว่างภายใน
5. เขียน โปรแกรมฟังก์ชันการคำนวณจำนวนดวง โคม และตำแหน่งการติดตั้งดวงโคม
6. ศึกษาหลักการคำนวณระดับแสงจ้าโดยวิธี UGR
7. เขียน โปรแกรมคำนวณและแสดงผลพิกัดระดับแสงจ้า UGR และเคอร์ฟ UGR
8. ทดสอบผลการทำงานของ โปรแกรมและแก้ไขข้อบกพร่องของ โปรแกรม
9. ทดสอบผลการทำงานของ โปรแกรมในการใช้งานกับพื้นที่ทำงานจริง
10. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบ โปรแกรม

บทที่ 2

การออกแบบระบบแสงสว่างภายใน

ในการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน สิ่งที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบคือ ระดับของแสงสว่าง ซึ่งจะกำหนดโดยความเข้มแสง (illuminance) ที่ปรากฏบนระนาบพื้นผิวใช้งาน ซึ่งระดับความเข้มแสงที่ต้องการในแต่ละพื้นที่ที่ทำการออกแบบ จะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานในพื้นที่นั้น สามารถพิจารณาได้จากตารางแสดงระดับความเข้มแสงสำหรับพื้นที่ทำงานและกิจกรรมต่างๆ ภายในอาคาร ดังแสดงในภาคผนวก ก.

ในระบบแสงสว่างที่ดี ไม่เพียงแต่มีปริมาณความเข้มแสงที่พอเพียงต่อการใช้ประโยชน์เท่านั้น แต่ทว่าความเข้มแสงการที่ปรากฏควรจะต้องมีความสม่ำเสมอทั่วระนาบพื้นผิวใช้งานด้วยเช่นกัน ในการออกแบบระบบแสงสว่างภายในเพื่อให้มีคุณภาพที่ดีนั้น จะต้องทำการพิจารณาปัจจัยหลายอย่างประกอบกัน อาทิเช่น ลักษณะการกระจายแสงของดวงโคม, มิติของห้องที่ทำการออกแบบ, จำนวนและตำแหน่งการติดตั้งดวงโคม และการสะท้อนของผิวห้อง เป็นต้น

การคำนวณความเข้มแสงสามารถแบ่งออกเป็น 2 หลักการใหญ่ๆ คือ หลักการคำนวณความเข้มแสงเฉลี่ย และหลักการคำนวณความเข้มแสงโดยตรง

2.1 การคำนวณความเข้มแสงเฉลี่ย

ในการคำนวณความเข้มแสงของระบบแสงสว่างภายในนั้น โดยมากจะพิจารณาให้ความเข้มแสงมีการกระจายทั่วระนาบพื้นผิวใช้งานเป็นไปโดยสม่ำเสมอ หรือเรียกว่ายูนิฟอร์ม ซึ่งระดับความเข้มแสงที่ต้องการออกแบบ จะเป็นค่าของความเข้มแสงเฉลี่ยบนระนาบพื้นผิวใช้งาน โดยหลักการคำนวณความเข้มแสงเฉลี่ย จะเป็นการคำนวณหาความเข้มแสง จากความสัมพันธ์กับพลังค์ส่องสว่างจากดวงโคมต่อลักษณะต่างๆ ของห้องหรือพื้นที่ภายในที่ต้องการออกแบบ โดยทั่วไปเรียกว่าวิธีลูเมน ซึ่งมีด้วยกัน 2 หลักการใหญ่ๆ คือ หลักการโซนอลคาวิตี และหลักการรูมอินเด็กซ์

2.1.1 การคำนวณความเข้มแสงเฉลี่ยโดยหลักการโซนอลคาวิตี (Zonal Cavity Lumen

Method)

การคำนวณโดยหลักการโซนอลคาวิตี เป็นวิธีการออกแบบระบบแสงสว่างภายในโดยการแบ่งพื้นที่ห้องที่ต้องการออกแบบออกเป็น 3 ส่วน หรือ 3 โซนคาวิตีด้วยกัน[4]

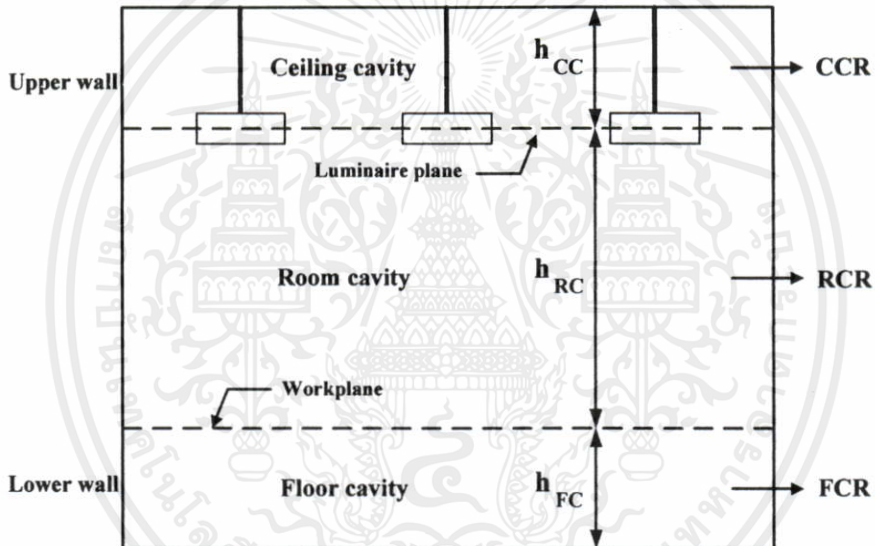
เอกสารนี้ 2.1.1.1 อัตราส่วนคาวิตี (Cavity Ratio) ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าการนี้ อัตราส่วนคาวิตีจะแสดงสัดส่วนของแต่ละส่วนคาวิตี ในพื้นที่ห้องที่ต้องการออกแบบ โดยสามารถแยกออกเป็น 3 ส่วนคาวิตี คือ คาวิตีเพดาน, คาวิตีห้อง และคาวิตีพื้น

คาวีตี้เพดาน (ceiling cavity) จะหมายถึงบริเวณตั้งแต่เพดานลงมาจนถึงแนวระดับการติดตั้งของดวงโคม ซึ่งความสูงตั้งแต่เพดานลงมาจนถึงแนวระดับจุดศูนย์กลางของดวงโคมจะเรียกว่า ความสูงของคาวีตี้เพดาน (ceiling cavity height : h_{CC})

คาวีตี้ห้อง (room cavity) จะหมายถึงบริเวณตั้งแต่แนวระดับการติดตั้งของดวงโคมลงมาจนถึงแนวระนาบของพื้นผิวใช้งาน ซึ่งระยะความสูงตั้งแต่แนวระดับของดวงโคมลงมาจนถึงแนวระนาบของพื้นผิวใช้งาน จะเรียกว่า ความสูงของคาวีตี้ห้อง (room cavity height : h_{RC})

คาวีตี้พื้น (floor cavity) จะหมายถึงบริเวณตั้งแต่ระนาบพื้นผิวใช้งานลงมาจนถึงระนาบพื้นห้อง ซึ่งระยะความสูงตั้งแต่ระนาบพื้นผิวใช้งานลงมาจนถึงระนาบพื้นห้อง จะเรียกว่า ความสูงของคาวีตี้พื้น (floor cavity height : h_{FC}) โดยการแบ่งอัตราส่วนของห้องจะสามารถแสดงได้ดังรูปที่

2.1



รูปที่ 2.1 การแบ่งโซนคาวีตี้

ผลลัพธ์การคำนวณอัตราส่วนในแต่ละคาวีตี้ คือ ค่าอัตราส่วนคาวีตี้ของเพดาน (CCR), ค่าอัตราส่วนคาวีตี้ของห้อง (RCR) และค่าอัตราส่วนคาวีตี้ของพื้น (FCR) สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.1, 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ

$$CCR = \frac{5h_{CC}(L+W)}{LW} \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$RCR = \frac{5h_{RC}(L+W)}{LW} \quad (2.2)$$

$$FCR = \frac{5h_{FC}(L+W)}{LW} \quad (2.3)$$

โดยที่ L คือ ความยาวของห้องที่ต้องการออกแบบ

W คือ ความกว้างของห้องที่ต้องการออกแบบ

2.1.1.2 ค่าการสะท้อนเสมือนของควิตีเพดานและค่าการสะท้อนเสมือนของควิตีพื้น

(Effective Ceiling Cavity Reflectance: ρ_{CC} / Effective Floor Cavity Reflectance: ρ_{FC})

เนื่องจากในส่วนของควิตีเพดานจะประกอบด้วยระนาบของพื้นผิวเพดาน และพื้นผิวของผนังส่วนบนตั้งแต่แนวระดับการติดตั้งของดวงโคมจนถึงเพดาน ในส่วนของควิตีพื้นนั้นก็จะประกอบไปด้วยพื้นผิวของพื้นห้อง และพื้นผิวของผนังส่วนล่างตั้งแต่แนวระนาบพื้นผิวใช้งานจนถึงพื้นห้องเช่นกันดังแสดงในรูปที่ 2.1 ดังนั้นค่าการสะท้อนในส่วนของควิตีเพดานและควิตีพื้น จึงเป็นผลมาจากค่าการสะท้อนของเพดานร่วมกับค่าการสะท้อนของผนังส่วนบน และค่าการสะท้อนของพื้นร่วมกับค่าการสะท้อนของผนังส่วนล่างตามลำดับ

ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ค่าการสะท้อนเสมือน หมายถึงผลรวมของการสะท้อนจริงที่เกิดขึ้นในกรณีที่กำหนดค่าควิตีขึ้นมากับค่าการสะท้อนที่สมมติขึ้น ณ ผิวของควิตีนั้น ด้วยเหตุนี้จึงต้องทำการคำนวณหาค่าการสะท้อนเสมือนของควิตีเพดาน และค่าการสะท้อนเสมือนของควิตีพื้น เพื่อใช้ในการคำนวณในส่วนอื่นต่อไป โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.4

$$\rho_{eff} = \frac{\rho_B \rho_W f \left[2 \frac{A_B}{A_W} (1-f) - f \right] + \rho_B f^2 + \rho_W \frac{A_B}{A_W} (1-f)^2}{1 - \rho_B \rho_W \frac{A_B}{A_W} (1-f)^2 - \rho_W \left[1 - 2 \frac{A_B}{A_W} (1-f) \right]} \quad (2.4)$$

โดยที่ A_B คือ พื้นที่ของควิตีฐาน (ควิตีเพดานหรือควิตีพื้น)

A_W คือ พื้นที่ของผนังในควิตีฐาน

ρ_B คือ ค่าการสะท้อนของควิตีฐาน (ควิตีเพดานหรือควิตีพื้น)

ρ_W คือ ค่าการสะท้อนของผนัง

f คือ ฟอรัมแฟกเตอร์ระหว่างส่วนเปิดของควิตีและควิตีฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณี โดย f สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.5 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f = \frac{2}{\pi XY} \left\{ \ln \left[\frac{(1+X^2)(1+Y^2)}{1+X^2+Y^2} \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{2}{\pi X} (1+X^2)^{\frac{1}{2}} \tan^{-1} \left[\frac{Y}{(1+X^2)^{\frac{1}{2}}} \right] \right. \\ \left. + \frac{2}{\pi Y} (1+Y^2)^{\frac{1}{2}} \tan^{-1} \left[\frac{X}{(1+Y^2)^{\frac{1}{2}}} \right] - \frac{2}{\pi X} \tan^{-1}(Y) - \frac{2}{\pi Y} \tan^{-1}(X) \right\} \quad (2.5)$$

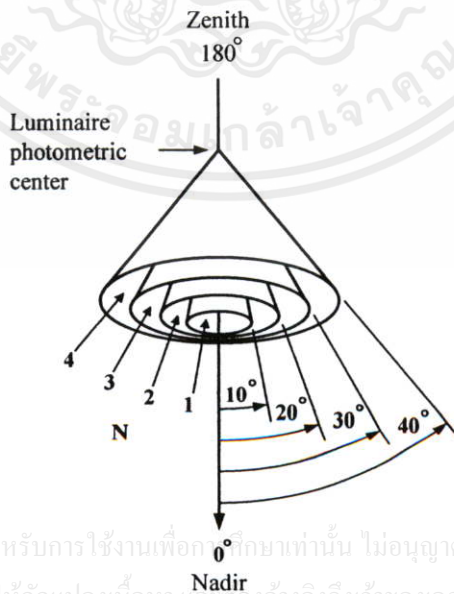
ซึ่ง $X = \frac{\text{Cavity Length}}{\text{Cavity Depth}}$

$$Y = \frac{\text{Cavity Width}}{\text{Cavity Depth}}$$

2.1.1.3 อัตราส่วนฟลักซ์ส่องสว่าง (Light output ratio: LOR)

อัตราส่วนฟลักซ์ส่องสว่างของดวงโคมไฟฟ้า จะเป็นสิ่งบ่งบอกถึงประสิทธิภาพดวงโคมไฟฟ้า โดยจะหมายถึงประสิทธิภาพของการส่งผ่านฟลักซ์ส่องสว่างจากหลอดไฟฟ้าทั้งหมดที่อยู่ภายในออกสู่ภายนอกดวงโคม สามารถหาได้จากอัตราส่วนของฟลักซ์ส่องสว่างทั้งหมดที่ออกจากดวงโคมต่อฟลักซ์ส่องสว่างรวมของหลอดไฟฟ้า โดยในการคำนวณจะมีขั้นตอนดังนี้

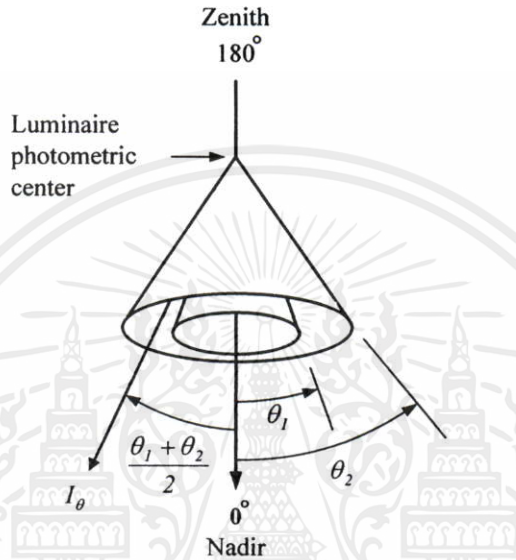
ขั้นตอนที่ 1 แบ่งโซนมุมเชิงของเชิงรูปกรวยของทรงกลมออกเป็น 18 โซนย่อย โดยแต่ละโซน (N) มีขนาด 10 องศา ตามระนาบคิง ตั้งแต่จุดต่ำสุดในแนวคิง (nadir) จนถึงจุดสูงสุดในแนวคิง (zenith) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะมิใช่ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2 การแบ่งโซนย่อยของมุมเชิงของเชิง

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาฟลักซ์ส่องสว่างในแต่ละโชนย่อย โดยทำการแยกคำนวณฟลักซ์ในแต่ละโชนย่อยออกเป็น 2 ช่วง เช่น ในโชนย่อยที่ 1 ช่วงตั้งแต่มุมระนาบตั้ง 0 องศาถึง 10 องศา จะทำการแยกคำนวณฟลักซ์ที่ช่วง 0 องศาถึง 5 องศา และที่ช่วง 5 องศาถึง 10 องศา จากนั้นจึงนำผลการคำนวณของทั้งสองช่วงมารวมกันเป็นฟลักซ์ส่องสว่างในโชนย่อยที่ 1 โดยการแบ่งมุมระนาบตั้งแสดงได้ดังรูปที่ 2.3 และการคำนวณฟลักซ์ส่องสว่างในแต่ละโชนย่อยสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.6



รูปที่ 2.3 การแบ่งมุมในการคำนวณฟลักซ์ส่องสว่างในแต่ละโชนย่อยของมุมเชิงของแจ้ง

$$\Phi_N = 2\pi \cdot I_{\theta_N} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \quad (2.6)$$

- โดยที่ Φ_N คือ ฟลักซ์ส่องสว่างของโชนย่อยที่ N
 I_{θ_N} คือ ความเข้มส่องสว่างที่มุมกึ่งกลางของโชนย่อยที่ N
 θ_1, θ_2 คือ มุมขอบเขตของโชนย่อย

หากดวงโคมมีการกระจายความเข้มส่องสว่างไม่สมมาตรรอบแนวตั้ง จะทำการคำนวณความเข้มส่องสว่างที่มุมกึ่งกลางของโชนย่อยเป็นความเข้มส่องสว่างเฉลี่ย ได้ดังสมการ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน (เพื่อการศึกษาเท่านั้น) ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ (2.7)

$$I_{\theta_N} = \frac{I}{4} \left(I_{\theta_1} + 2I_{\left(\frac{\theta_2 - \theta_1}{2}\right)} + I_{\theta_2} \right)$$

ในการคำนวณแต่ละโชนย่อย 10 องศา มีข้อเสนอแนะว่าควรจะทำแบ่งในแต่ละโชนย่อยออกเป็น 2 ส่วน ส่วนละ 5 องศา เพื่อทำการแยกคำนวณฟลักซ์ส่องสว่างของทั้ง 2 ส่วน สุดท้ายฟลักซ์ส่องสว่างของแต่ละโชนย่อยจะเป็นผลรวมของฟลักซ์ส่องสว่างทั้ง 2 ส่วนในโชนย่อยนั้นจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหาฟลักซ์ส่องสว่างรวมทั้งหมดของดวงโคม ซึ่งจะเป็นผลรวมของฟลักซ์ส่องสว่างทั้งหมดทุกโชน โดยผลรวมของฟลักซ์ส่องสว่างตั้งแต่โชนที่ 1 ถึงโชนที่ 9 จะเรียกว่าฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องลงด้านล่าง ส่วนผลรวมของฟลักซ์ส่องสว่างตั้งแต่โชนที่ 10 ถึงโชนที่ 18 จะเรียกว่าฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องขึ้นด้านบน และอัตราส่วนฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องลงด้านล่างต่อฟลักซ์ส่องสว่างรวมทั้งหมดของหลอดไฟ จะเรียกว่าอัตราส่วนฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องลงด้านล่าง (Downward Light output ratio; DLOR) ส่วนอัตราส่วนฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องขึ้นด้านบนต่อฟลักซ์ส่องสว่างรวมทั้งหมดของหลอดไฟจะเรียกว่าอัตราส่วนฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องขึ้นด้านบน (Upward Light output ratio; ULOR) สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\Phi_{luminaire} = \sum_{N=1}^{18} \Phi_N \quad (2.8)$$

$$\Phi_{down} = \frac{I}{\Phi_{lamps}} \sum_{N=1}^9 \Phi_N \quad (2.9)$$

$$\Phi_{up} = \frac{I}{\Phi_{lamps}} \sum_{N=10}^{18} \Phi_N \quad (2.10)$$

$$\Phi_{luminaire} = \Phi_{down} + \Phi_{up} \quad (2.11)$$

โดยที่	Φ_{lamps}	คือ	ฟลักซ์ส่องสว่างทั้งหมดของหลอดไฟในดวงโคม
	$\Phi_{luminaire}$	คือ	ฟลักซ์ส่องสว่างทั้งหมดของดวงโคม
	Φ_{down}	คือ	อัตราส่วนฟลักซ์ส่องสว่างของดวงโคมที่ส่องลงด้านล่าง
	Φ_{up}	คือ	อัตราส่วนฟลักซ์ส่องสว่างของดวงโคมที่ส่องลงด้านบน

2.1.1.4 อัตราส่วนโดยตรง (Direct ratio, D_{RCR})

อัตราส่วนโดยตรง คืออัตราส่วนฟลักซ์ในแนวราบที่ส่งผลกระทบต่อระนาบผิวใช้งาน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D_{RCR} = \frac{l}{\Phi_{down} \Phi_{lamps}} \sum_{N=1}^9 K_{RCR,N} \Phi_N \quad (2.12)$$

โดยที่	D_{RCR}	คือ	ค่าอัตราส่วนโดยตรง
	RCR	คือ	ค่าอัตราส่วนควัตถุห้อง มีค่าเป็นเลขจำนวนเต็ม 1 ถึง 10
	$K_{RCR,N}$	คือ	ค่าตัวคูณประจำโซน
	Φ_N	คือ	ฟลักซ์ส่องสว่างในโซนย่อย N

ค่าตัวคูณประจำโซน คือ อัตราส่วนของฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องตกกระทบลงบนพื้นที่ใช้งาน โดยตรงในแต่ละโซนย่อย สามารถหาได้ดังสมการที่ 2.13

$$K_{RCR,N} = e^{-A \cdot RCR^B} \quad (2.13)$$

โดยที่ A และ B คือ ค่าคงที่ในแต่ละโซน ตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าคงที่ A และ B สำหรับการหาค่าตัวคูณประจำโซน

โซนที่(N)	A	B
1	0	0
2	0.041	0.98
3	0.070	1.05
4	0.100	1.12
5	0.136	1.16
6	0.190	1.25
7	0.315	1.25
8	0.640	1.25
9	2.10	0.80

2.1.1.5 สัมประสิทธิ์การใช้งาน (Coefficient of Utilization : CU)

สัมประสิทธิ์การใช้งาน คืออัตราส่วนของฟลักซ์ส่องสว่างทั้งหมดที่ตกกระทบลงบนระนาบพื้นที่ทำงาน ทั้งที่ส่องโดยตรงมาจากดวงโคมและจากการสะท้อนจากส่วนต่างๆ ของห้อง ต่อฟลักซ์ส่องสว่างทั้งหมดที่ออกจากหลอดไฟภายในดวงโคมนั้น โดยสัมประสิทธิ์การใช้งานนี้จะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ประสิทธิภาพของดวงโคม, ลักษณะการกระจายแสงของดวงโคม, การสะท้อนของพื้นผิวต่าง ๆ ภายในห้อง, ขนาดมิติของห้องและตำแหน่งการติดตั้งดวงโคม

ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานเริ่มจากการคำนวณหาค่าตัวแปร C_1 , C_2 , C_3 และ C_0 โดยใช้ข้อมูลจากตัวแปรต่างๆ ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อย่อยข้างต้น ตามสมการต่อไปนี้

$$C_1 = \frac{(1 - \rho_w)(1 - f_{CC \rightarrow FC}^2) RCR}{2.5 \rho_w (1 - f_{CC \rightarrow FC}^2) + RCR f_{CC \rightarrow FC} (1 - \rho_w)} \quad (2.14)$$

$$C_2 = \frac{(1 - \rho_{CC})(1 + f_{CC \rightarrow FC})}{1 + \rho_{CC} f_{CC \rightarrow FC}} \quad (2.15)$$

$$C_3 = \frac{(1 - \rho_{FC})(1 + f_{CC \rightarrow FC})}{1 + \rho_{FC} f_{CC \rightarrow FC}} \quad (2.16)$$

$$C_0 = C_1 + C_2 + C_3 \quad (2.17)$$

โดยที่ ρ_w คือ ค่าสะท้อนเสมือนของฝาผนัง
 ρ_{CC} คือ ค่าสะท้อนเสมือนของควาวิตีเพดาน
 ρ_{FC} คือ ค่าสะท้อนเสมือนของควาวิตีพื้น
 $f_{CC \rightarrow FC}$ คือ ค่าฟอร์มเฟกเตอร์ระหว่างเพดานกับพื้น

ค่าฟอร์มเฟกเตอร์ (Form factor) ระหว่างพื้นผิวระนาบต่างๆสามารถแสดงได้ดัง

ตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ฟอร์มเฟกเตอร์ระหว่างพื้นผิวต่างๆ ตามอัตราส่วนควาวิตีของห้อง

RCR	$f_{w \rightarrow w}$	$f_{w \rightarrow CC}$ $f_{w \rightarrow FC}$	$f_{CC \rightarrow w}$ $f_{FC \rightarrow w}$	$f_{CC \rightarrow FC}$ $f_{FC \rightarrow CC}$
0	0.0	0.500	0.0	1.0
1	0.133	0.434	0.173	0.827
2	0.224	0.388	0.311	0.689
3	0.298	0.351	0.421	0.579
4	0.361	0.320	0.511	0.489
5	0.415	0.292	0.585	0.415
6	0.463	0.269	0.645	0.355
7	0.504	0.248	0.694	0.306

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

RCR	$f_{W \rightarrow W}$	$f_{W \rightarrow CC}$	$f_{CC \rightarrow W}$	$f_{CC \rightarrow FC}$
		$f_{W \rightarrow FC}$	$f_{FC \rightarrow W}$	$f_{FC \rightarrow CC}$
8	0.540	0.230	0.735	0.265
9	0.573	0.214	0.769	0.231
10	0.601	0.199	0.798	0.202

หรืออาจจะหาค่าฟอร์มแฟกเตอร์ระหว่างเพดานกับพื้นได้จากสมการที่ 2.18

$$f_{CC \rightarrow FC} \cong 0.026 + 0.503e^{-0.27RCR} + 0.470e^{-0.119RCR} \quad (2.18)$$

ทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การใช้งาน โดยใช้ค่าตัวแปรต่างๆ ที่ได้กล่าวถึงในข้างต้นได้
ดังสมการที่ 2.19 และสมการที่ 2.20

โดยกรณีที่ RCR มีค่าเท่ากับ 1 ถึง 10

$$CU = \frac{2.5\rho_W C_1 C_3 (1 - D_{RCR}) \Phi_{down}}{RCR(1 - \rho_W)(1 - \rho_{FC})C_0} + \frac{\rho_{CC} C_2 C_3 \Phi_{up}}{(1 - \rho_{CC})(1 - \rho_{FC})C_0} + \left(1 - \frac{\rho_{FC} C_3 (C_1 + C_2)}{(1 - \rho_{FC})C_0}\right) \frac{D_{RCR} \Phi_{down}}{1 - \rho_{FC}} \quad (2.19)$$

และกรณีที่ RCR เท่ากับ 0

$$CU_{RCR=0} = \frac{\Phi_{down} + \rho_{CC} \Phi_{up}}{1 - \rho_{CC} \rho_{FC}} \quad (2.20)$$

2.1.1.6 จำนวนดวงโคม

ในการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน เพื่อให้ได้ปริมาณความเข้มแสงเฉลี่ยทั่วพื้นผิว
ระนาบใช้งานนั้นสามารถคำนวณจำนวนดวงโคมที่ต้องทำการติดตั้งได้ดังสมการที่ 2.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$\text{Number of Luminaire} = \frac{E_{maintained} \times \text{workplane area}}{\text{lamps per luminaire} \times \text{lamp lumens} \times CU \times LLF} \quad (2.21)$$

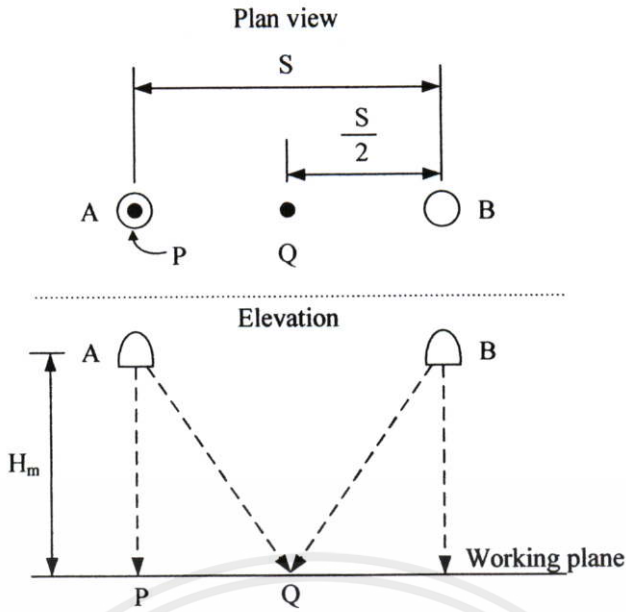
โดยที่ $E_{maintained}$	คือ	ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยที่ต้องการบนพื้นผิวใช้งาน
CU	คือ	สัมประสิทธิ์การใช้งาน
LLF	คือ	ตัวประกอบการสูญเสียทางแสง

2.1.1.7 ระยะห่างระหว่างดวงโคม

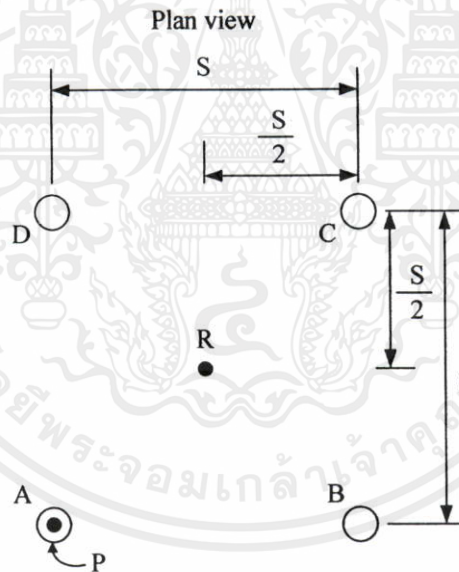
ในการติดตั้งดวงโคมใช้งานเพื่อให้เกิดความเข้มแสงสม่ำเสมอทั่วพื้นที่ใช้งาน จะต้องทำการติดตั้งดวงโคมให้มีระยะห่างระหว่างดวงโคมแต่ละดวงในแต่ละแถว และระยะห่างระหว่างแถวที่เหมาะสมไม่ห่างมากจนเกินไป ขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายลำแสงของดวงโคมแต่ละชนิด โดยระยะห่างที่เหมาะสมระหว่างดวงโคมจะสัมพันธ์กับความสูงในการติดตั้งดวงโคม ผู้ผลิตจึงกำหนดระยะนี้มาในอัตราส่วนของระยะห่างระหว่างดวงโคมต่อความสูงในการติดตั้งดวงโคม ดังนั้นในการติดตั้งดวงโคมในระบบแสงสว่าง จึงต้องทำการตรวจสอบระยะห่างระหว่างดวงโคมว่าอยู่ในระยะที่เหมาะสมหรือไม่ ซึ่งหากมีค่าไม่เกินจากที่กำหนดก็จะทำให้ความสม่ำเสมอของความเข้มแสงยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่หากมีระยะเกินจากที่กำหนดอาจจะทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของความเข้มแสงบนพื้นผิวใช้งานได้ ในกรณีนี้สามารถทำการแก้ไขได้โดยการเปลี่ยนชนิดดวงโคมที่มีอัตราส่วนระยะห่างระหว่างดวงโคมต่อความสูงในการติดตั้งมากขึ้น หรือทำการเปลี่ยนหลอดไฟให้มีฟลักซ์ส่องสว่างน้อยลง เพื่อให้จำนวนดวงโคมที่ใช้งานเพิ่มมากขึ้นทำให้ระยะห่างในการติดตั้งลดน้อยลง

เกณฑ์ในการพิจารณา ระยะห่างระหว่างดวงโคมที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดความเข้มแสงที่สม่ำเสมอทั่วพื้นที่ใช้งานนั้น สามารถพิจารณาได้จากความเข้มแสงใน 2 กรณี คือความเข้มแสงจากการติดตั้งดวงโคมชนิดเดียวกันจำนวน 2 ดวง ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และความเข้มแสงจากการติดตั้งดวงโคมชนิดเดียวกันจำนวน 4 ดวง ดังแสดงในรูปที่ 2.5 กรณีที่หนึ่งพิจารณาจากรูปที่ 2.4 ระยะห่างระหว่างดวงโคมที่มากที่สุดสำหรับการติดตั้ง คือระยะ S ที่ทำให้ความเข้มแสง ณ จุด Q ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางระหว่างทั้ง 2 ดวงโคม มีค่าความเข้มแสงอันเป็นผลมาจากทั้ง 2 ดวงโคมเท่ากับจุด P ซึ่งเป็นจุดที่อยู่ใต้ดวงโคม A ในแนวตั้ง โดยมีค่าความเข้มแสงอันเป็นผลมาจากดวงโคม A เพียงดวงเดียว และในกรณีที่สองพิจารณาจากรูปที่ 2.5 ระยะห่างระหว่างดวงโคมที่มากที่สุดสำหรับการติดตั้ง คือระยะ S ที่ทำให้ความเข้มแสง ณ จุด R ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางระหว่างทั้ง 4 ดวงโคม มีค่าความเข้มแสงอันเป็นผลมาจากทั้ง 4 ดวงโคมเท่ากับจุด P ซึ่งเป็นจุดที่อยู่ใต้ดวงโคม A ในแนวตั้ง โดยมีค่าความเข้มแสงอันเป็นผลมาจากดวงโคม A เพียงดวงเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ความเข้มแสงจากดวงโคม 2 ดวง



รูปที่ 2.5 ความเข้มแสงจากดวงโคม 4 ดวง

2.1.2 การคำนวณความเข้มแสงเฉลี่ยโดยหลักการดัชนีห้อง

2.1.2.1 ฟลักซ์ส่องสว่างบนพื้นผิวใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิใช้ข้อมูลเชิงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้
 ฟลักซ์ส่องสว่างบนพื้นผิวใช้งาน คือปริมาณฟลักซ์ส่องสว่างทั้งหมดที่ตกกระทบบน
 ระนาบพื้นผิวใช้งาน สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.22

$$\Phi_{workplane} = E_{avr} \times Workplane \text{ area} \quad (2.22)$$

โดยที่ $\Phi_{workplane}$ คือ ฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกกระทบบนพื้นผิวใช้งาน
 E_{avr} คือ ความเข้มแสงเฉลี่ยที่ต้องการบนพื้นผิวใช้งาน

2.1.2.2 ตัวประกอบการใช้ประโยชน์ (Utilization Factor: UF)

ตัวประกอบการใช้ประโยชน์ คืออัตราส่วนของฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกกระทบบนพื้นผิวใช้งานต่อฟลักซ์ส่องสว่างที่ทำการติดตั้งจากหลอดไฟ แสดงได้ดังสมการ 2.23 โดยทั่วไปแล้วค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์ สามารถหาได้จากการเปิดตารางแสดงค่า Utilization Factor โดยจะใช้ข้อมูลค่าการสะท้อนของผิวเพดาน, ค่าการสะท้อนผนัง, ค่าดัชนีห้อง และค่าอัตราส่วนฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องลงด้านล่าง (DLOR) ประกอบในการเปิดตาราง[5] หรือสามารถหาได้จากข้อมูลของผู้ผลิตดวงโคม

$$UF = \frac{\Phi_{workplane}}{\Phi_{Total}} \quad (2.23)$$

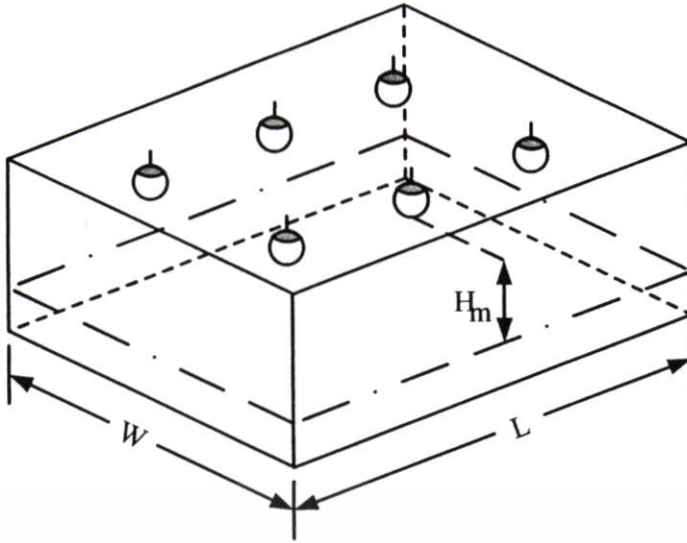
โดยที่ $\Phi_{workplane}$ คือ ฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกกระทบบนพื้นผิวใช้งาน
 Φ_{Total} คือ ฟลักซ์ส่องสว่างทั้งหมดจากหลอดไฟที่ติดตั้ง

อัตราส่วนฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องลงด้านล่าง เป็นค่าที่แสดงถึงอัตราส่วนของฟลักซ์ส่องสว่างจากดวงโคมที่พุ่งในทิศทางลงสู่ด้านล่าง กับผลรวมของฟลักซ์ส่องสว่างจากหลอดไฟทั้งหมด สามารถคำนวณดังที่กล่าวในหัวข้อที่ 2.1.1.3

ในกรณีที่ดวงโคมที่ต้องการใช้งาน มีค่าอัตราส่วนฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องลงด้านล่างจริงไม่ตรงกับค่าของอัตราส่วนฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องลงด้านล่างในตาราง เมื่อคำนวณค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์จากตารางได้แล้ว จะต้องทำการคูณด้วยค่าอัตราส่วนของอัตราส่วนฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องลงด้านล่างจริงของดวงโคมที่ต้องการใช้งานต่ออัตราส่วนฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องลงด้านล่างจากตารางด้วย เพื่อให้ได้ค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์ของดวงโคมที่ต้องการใช้งานจริงที่ถูกต้อง

2.1.2.3 ดัชนีห้อง (Room Index: RI)

ค่าดัชนีห้องหรือรูมอินเด็กซ์ คือมิติของห้องซึ่งเป็นสัดส่วนความสัมพันธ์ของความกว้างของห้อง ความยาวของห้องและความสูงของดวงโคมเหนือพื้นผิวใช้งาน ดังรูปที่ 2.6 และแสดงได้ดังสมการ 2.24

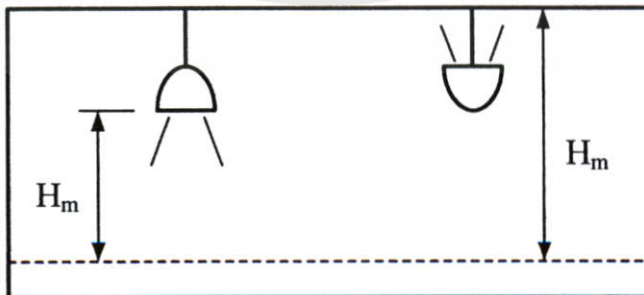


รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของมิติห้อง

$$k = \frac{LW}{H_m(L+W)} \quad (2.24)$$

โดยที่ k คือ ค่าดัชนีห้อง
 L คือ ความยาวของห้อง
 W คือ ความกว้างของห้อง
 H_m คือ ความสูงจากดวงโคมถึงพื้นผิวใช้งาน

กรณีที่ดวงโคมมีลักษณะการกระจายแสงส่องขึ้นบนเช่นดวงโคมประเภทกึ่งโดยอ้อม, ดวงโคมประเภทโดยอ้อม ค่า H_m ในการหาค่า k จะพิจารณาได้ดังรูปที่ 2.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ข้อมูลของเอกสารนี้ไปยังบุคคลอื่นนอกเหนือจากเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.4 ฟลักซ์ส่องสว่างติดตั้ง

ฟลักซ์ส่องสว่างติดตั้ง คือปริมาณฟลักซ์ส่องสว่างทั้งหมดที่ต้องการจากหลอดไฟของดวงโคม เพื่อให้ได้ปริมาณฟลักซ์ส่องสว่างตกกระทบบนพื้นผิวใช้งานมีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยตามที่ต้องการ

$$\Phi_{Total} = \frac{\Phi_{workplane}}{UF \times MF} \tag{2.25}$$

โดยที่ MF คือ ตัวประกอบบำรุงรักษา

2.1.2.5 จำนวนดวงโคม

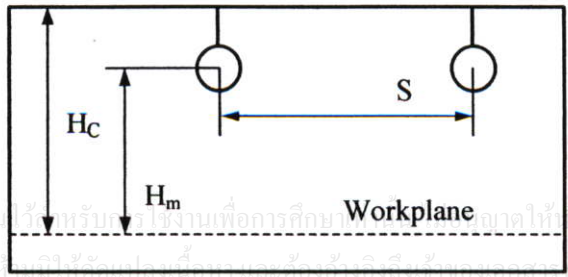
จำนวนดวงโคมที่ต้องใช้ในการติดตั้ง ในพื้นที่ที่ต้องการออกแบบเพื่อให้ได้ความเข้มแสงเฉลี่ยตามที่ต้องการ จะสัมพันธ์กับฟลักซ์ส่องสว่างที่ทำการติดตั้ง สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$Number\ of\ Lu\ min\ aire = \frac{\Phi_{Total}}{lamps\ per\ lu\ min\ aire \times lamp\ lumens} \tag{2.26}$$

$$Number\ of\ Lu\ min\ aire = \frac{E_{avr} \times workplane\ area}{lamps\ per\ lu\ min\ aire \times lamp\ lumens \times UF \times MF} \tag{2.27}$$

2.1.2.6 อัตราส่วนของระยะห่างต่อความสูงของดวงโคม (spacing/mounting height)

การจัดวางตำแหน่งการติดตั้งดวงโคม จะต้องคำนึงถึงระยะห่างของดวงโคมแต่ละจุดที่ทำให้ความเข้มแสงที่ยูนีฟอรม์หรือมีความสม่ำเสมอ ค่ายูนีฟอรม์ในทางปฏิบัติและเป็นที่ยอมรับได้ควรมีค่าไม่น้อยกว่า 70% ซึ่งหมายความว่า ค่าความเข้มแสงต่ำที่สุดที่เกิดบนพื้นผิวใช้งานจะต้องมีค่า 70% ของค่าความเข้มแสงสูงสุดบนพื้นผิวใช้งาน โดยจะสัมพันธ์กับตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมแต่ละดวง



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ของระยะห่างและความสูงของดวงโคม

โดย H_C คือ ความสูงของเพดานเหนือพื้นผิวใช้งาน
 H_m คือ ความสูงของดวงโคมจากพื้นผิวใช้งานถึงจุดศูนย์กลางดวงโคม
 S คือ ระยะห่างของดวงโคมจากจุดศูนย์กลางถึงจุดศูนย์กลางดวงโคม

อัตราส่วนสูงสุดระหว่างระยะห่างของดวงโคมกับความสูงในการติดตั้ง (S/H_m) จะอ้างอิงข้อมูลจากผู้ผลิตดวงโคมแต่ละประเภท แต่หากไม่มีข้อมูลแล้วจะสามารถพิจารณาได้ดังนี้[6]

ดวงโคมประเภท BZ1 และ BZ2 อัตราส่วนระยะห่าง/ความสูงดวงโคมสูงสุดมีค่า 1:1

ดวงโคมประเภท BZ3 และ BZ4 อัตราส่วนระยะห่าง/ความสูงดวงโคมสูงสุดมีค่า 1.25:1

ดวงโคมประเภท BZ5 ถึง BZ10 อัตราส่วนระยะห่าง/ความสูงดวงโคมสูงสุดมีค่า 1.5:1

ในกรณีที่ไม่ได้กำหนดอัตราส่วน และไม่ได้กำหนดค่า BZ มา จะพิจารณาจากเกณฑ์ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความสัมพันธ์ของระยะห่างต่อความสูงของดวงโคมลักษณะต่าง ๆ

ลักษณะดวงโคม	ระยะห่างสูงสุดระหว่างดวงโคม	ระยะห่างสูงสุดระหว่างปลายของดวงโคมกับฝ้าผนัง	ระยะห่างกรณีจุดใช้งานอยู่ติดกับฝ้าผนัง
ดวงโคมที่เป็นชนิดโดยอ้อมและกึ่งโดยอ้อม	$1.5 H_C$	$0.75 H_C$	$0.5 H_C$
ดวงโคมที่สามารถกระจายโดยรอบและไม่มีชุดก้ำบังแสง มีแต่ชุดสะท้อนแสงหรือวัสดุอื่น ๆ ที่ช่วยในการกระจายแสง	$1.5 H_m$	$0.75 H_m$	$0.5 H_m$
ดวงโคมที่มีการออกแบบการควบคุมแสง โดยใช้พลีสแมติกควบคุมเพื่อให้ไฟส่องสว่าง และโคมที่มีชุดก้ำบังแสงทั่ว ๆ ไป	$1.25 H_m$	$0.6 H_m$	$0.5 H_m$
ดวงโคมที่เป็นกลุ่มและโคมที่มีชุดสะท้อนแสงเป็นผิวมัน	H_m	$0.5 H_m$	$0.5 H_m$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การคำนวณความเข้มแสงโดยตรง

2.2.1 การคำนวณความเข้มแสงโดยตรงโดยวิธีจุดต่อจุด (Point by Point Method)

เป็นวิธีการคำนวณความเข้มแสงโดยตรง จากการคำนวณความเข้มแสงที่เกิดจากดวงโคมแต่ละดวงที่ส่งผล ณ ตำแหน่งที่ต้องการทราบ โดยการประยุกต์ใช้กฎกำลังสองผกผัน ซึ่งจะทำได้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำสูง เนื่องจากวิธีการคำนวณความเข้มแสงเฉลี่ยเป็นวิธีการคำนวณที่ใช้กับระบบแสงสว่างภายในที่มีการจัดวางดวงโคมในลักษณะแถวสม่ำเสมอ ซึ่งหากการจัดวางดวงโคมเป็นไปในลักษณะอื่น จะต้องทำการคำนวณโดยใช้วิธีคำนวณความเข้มแสงโดยตรง

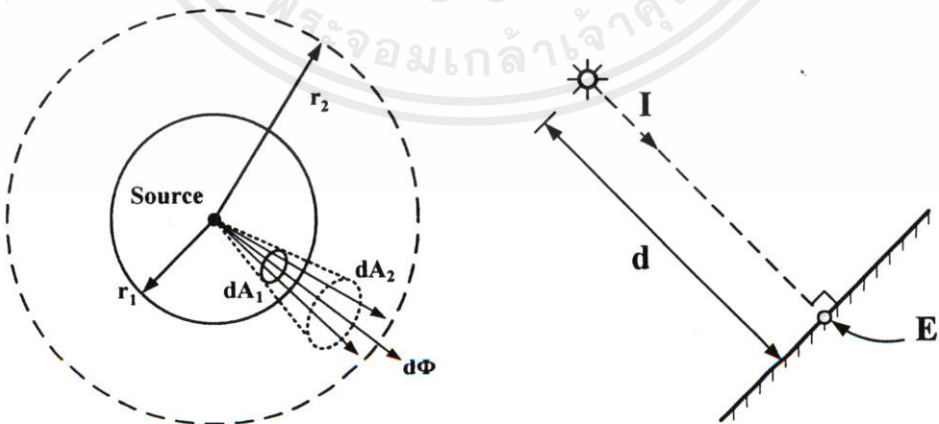
2.2.1.1 กฎกำลังสองผกผัน (Inverse square law)

กฎกำลังสองผกผัน กล่าวถึง ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มส่องสว่างกับความเข้มแสงดังรูปที่ 2.9 ทรงกลม 2 ลูกที่มีจุดศูนย์กลางตรงกลางเดียวกัน พิจารณาพื้นผิว A_1 บนทรงกลมด้านใน และพื้นผิว A_2 ซึ่งรองรับมุมเชิงของแข็งเดียวกัน ทำให้เกิดความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.28

$$d\omega = \frac{dA_1}{r_1^2} = \frac{dA_2}{r_2^2} \quad (2.28)$$

จากความสัมพันธ์ $E = \frac{d\Phi}{dA}$ สามารถจัดสมการใหม่ได้เป็น

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{r_2^2}{r_1^2} \quad (2.29)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมิได้อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใดอีกทั้งมีการนำออกไปใช้

รูปที่ 2.9 กฎกำลังสองผกผันและการประยุกต์ใช้งาน

จากความสัมพันธ์ข้างต้น สามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มส่องสว่าง กับความเข้มแสงได้ โดยค่าความเข้มแสง ณ จุดใดๆ บนพื้นผิว จะแปรผันตามกับค่าความเข้มส่องสว่าง ที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสงแบบจุด ในทิศทางตั้งฉากกับพื้นผิวต่อค่ากำลังสองของระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับจุดนั้นๆ ตามสมการที่ 2.30

$$E = \frac{I}{d^2} \quad (2.30)$$

โดย E คือ ความเข้มแสง (ลักซ์)

I คือ ความเข้มส่องสว่าง (แคนเดลา)

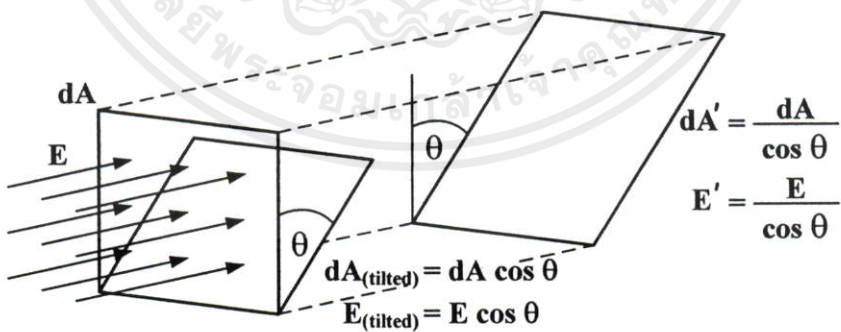
d คือ ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับจุดใดๆบนพื้นผิว (เมตร)

2.2.1.2 กฎโคไซน์ (Cosine law)

กฎโคไซน์ กล่าวถึง ค่าความเข้มแสงบนพื้นผิวใดๆจะมีค่าแปรตามค่าโคไซน์ของมุมที่เกิดขึ้นระหว่างทิศทางของแสงกับพื้นผิว เมื่อนำความหมายของกฎกำลังสองผกผันมาประยุกต์กับกฎโคไซน์จะสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2.31[7]

$$E = \frac{(I \cos \theta)}{d^2} \quad (2.31)$$

โดย θ คือ มุมที่เกิดขึ้นระหว่างทิศทางของแสงกับพื้นผิว

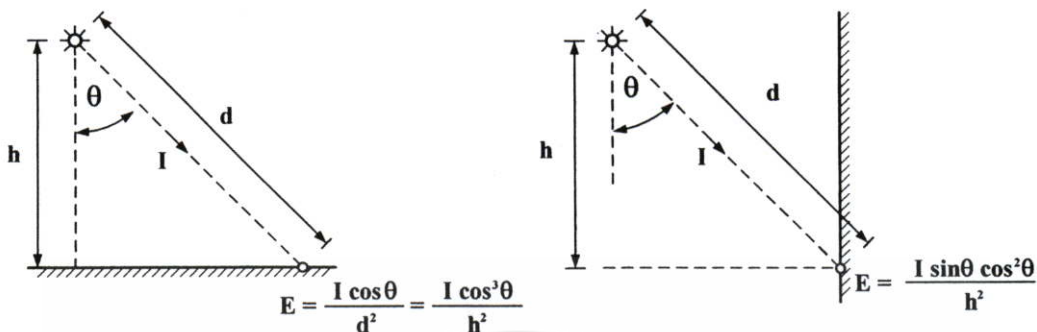


รูปที่ 2.10 กฎโคไซน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
เมื่อทำการแทนที่ค่าของระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับจุดบนพื้นผิวใดๆ (d) โดย
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ค่าของ $(h/\cos \theta)$ ในสมการที่ 2.31 จะได้ความเข้มแสงที่จุดใด ๆ บนระนาบนอนและบนระนาบ
ตั้งเป็นดังสมการที่ 2.32

$$E = \frac{(I \cos^3 \theta)}{h^2} = \frac{(I \sin \theta \cos^2 \theta)}{h^2} \quad (2.32)$$

โดย h คือ ระยะห่างในแนวตั้งฉากระหว่างแหล่งกำเนิดแสงพื้นผิว

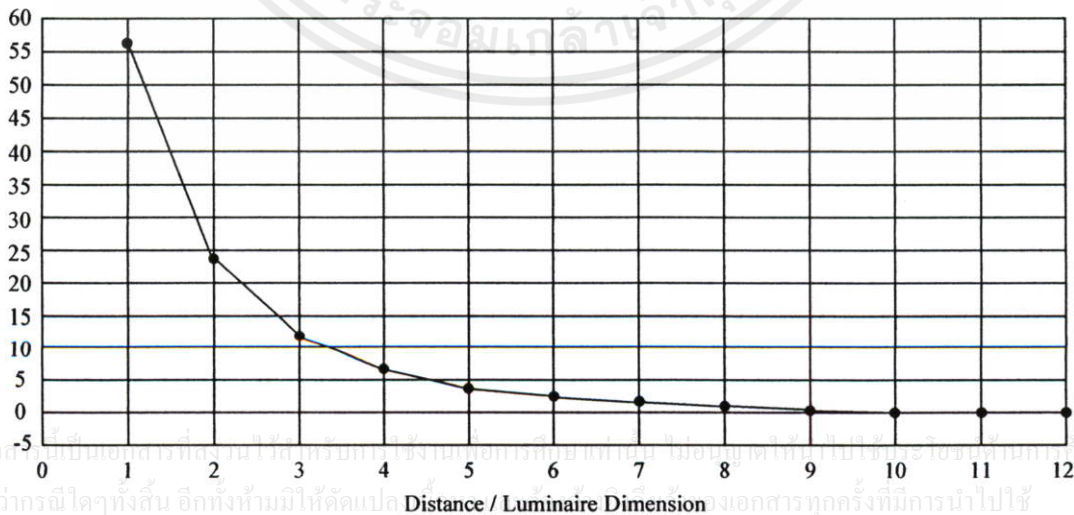


รูปที่ 2.11 ความเข้มแสงบนระนาบนอนและระนาบตั้ง

2.2.1.3 ข้อจำกัดการใช้กฎกำลังสองผกผัน

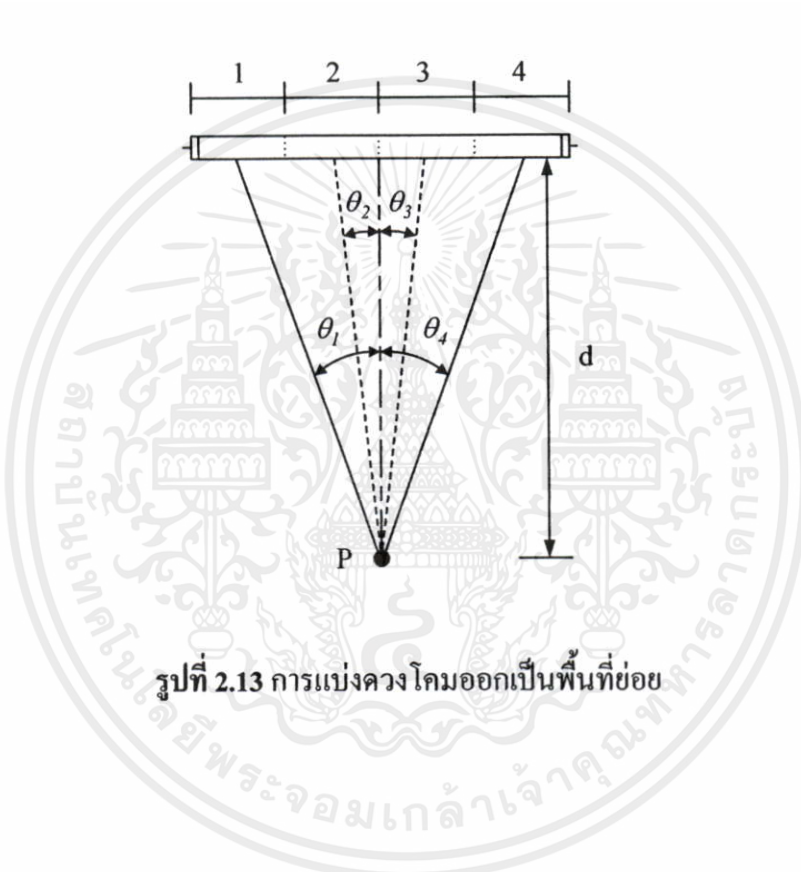
จากการประยุกต์ใช้งานกฎกำลังสองผกผัน ในการคำนวณความเข้มแสงบนพื้นผิวใช้งาน นั้น เป็นการประยุกต์ใช้กับแหล่งกำเนิดแสงแบบจุดหรือแหล่งกำเนิดแสงมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดแสงไปยังพื้นผิว ซึ่งจะให้ค่าการคำนวณที่ถูกต้องเมื่อระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงถึงจุดที่ต้องการคำนวณค่าความเข้มแสง มีค่าไม่น้อยกว่า 5 เท่าของขนาดที่โตที่สุดของส่วนที่เปล่งแสงของแหล่งกำเนิดแสง โดยจะมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2% ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่งแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณ ที่อัตราส่วนระหว่างระยะทางจากจากแหล่งกำเนิดแสง ไปยังพื้นผิวกับขนาดของแหล่งกำเนิดแสงค่าต่างๆ[8]

% Error



รูปที่ 2.12 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบการใช้งานกฎกำลังสองผกผัน

กรณีทีระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงถึงจุดที่ต้องการคำนวณค่าความเข้มแสง มีค่าน้อยกว่า 5 เท่าของขนาดแหล่งกำเนิดแสง สามารถคำนวณได้โดยทำการแบ่งแหล่งกำเนิดแสงออกเป็นพื้นที่ย่อยๆ มีขนาดเล็กถึงให้ได้ระยะห่างระหว่างจุดที่ต้องการคำนวณถึงพื้นที่ย่อยของแหล่งกำเนิดแสงมีค่ามากกว่า 5 เท่าของส่วนที่โตที่สุดของพื้นที่ย่อยที่ทำการแบ่ง ดังแสดงได้ในรูปที่ 2.13 จากนั้นจึงทำการคำนวณความเข้มแสง โดยความเข้มส่องสว่างของแต่ละพื้นที่ย่อยมีค่าเท่ากับความเข้มส่องสว่างของดวงโคมในทิศทางของจุดที่ต้องการคำนวณค่า หาด้วยจำนวนการแบ่งพื้นที่ย่อยดวงโคม ซึ่งความเข้มแสง ณ จุดที่ต้องการคำนวณอันเป็นผลจากดวงโคมจะเท่ากับผลรวมของความเข้มแสงที่ได้จากการคำนวณแต่ละพื้นที่ย่อยของดวงโคมที่ทำการแบ่งส่วนทั้งหมด



รูปที่ 2.13 การแบ่งดวงโคมออกเป็นพื้นที่ย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณแสงจ้าโดยวิธี Unified Glare Rating

ในการออกแบบระบบแสงสว่างภายในนั้น นอกเหนือจากการได้มาซึ่งระดับของความเข้มแสงที่ต้องการแล้ว อีกสิ่งหนึ่งที่สำคัญในการพิจารณาในการออกแบบระบบแสงสว่างภายในก็คือ ระดับของแสงจ้าที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ใช้งาน ซึ่งจะส่งผลถึงความสบายตาของผู้ใช้งานต่อระบบแสงสว่างที่ทำการติดตั้ง ในการกำหนดระดับของแสงจ้าได้มีวิธีการแตกต่างกันไปตามแต่ละมาตรฐานของสมาคมหรือองค์กรทางด้านการส่องสว่าง โดยในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการคำนวณแสงจ้าโดยใช้วิธี Unified Glare Rating หรือวิธี UGR ซึ่งเป็นวิธีการคำนวณตามมาตรฐานของ CIE[9]

3.1 บทนำ

ตามที่ CIE Publication 17.4-1987 “International Lighting Vocabulary” ได้ให้คำจำกัดความของแสงจ้าระคายตาว่า “แสงจ้าระคายตาคือแสงที่เป็นสาเหตุให้เกิดความไม่สบายต่อการมองเห็นแต่ไม่ส่งผลให้สมรรถนะในการมองเห็นลดลง”

การคำนวณแสงจ้าโดยวิธี Unified Glare Rating หรือ UGR มีอยู่ด้วยกัน 3 วิธี คือ

1. วิธีสูตรการคำนวณ (Unified Glare Rating formula) เป็นการคำนวณที่พิจารณาถึงผลจากตำแหน่งของผู้สังเกตและทิศทางของการมองเห็น
2. วิธีตาราง (Tabular method) จะแสดงผลในรูปของตารางค่าอ้างอิง ในสถานะเงื่อนไขมาตรฐาน เพื่ออำนวยความสะดวกในการเปรียบเทียบสถานะการออกแบบระบบแสงที่ต่างกัน
3. วิธีเคอร์ฟจำกัดความส่องสว่างหรือวิธีเคอร์ฟ UGR (Luminance limiting curve method: UGR curve) เป็นการประมาณปริมาณแสงจ้าอย่างหยาบโดยใช้วิธีกราฟจำกัดความส่องสว่าง เพื่อเป็นข้อแนะนำในการเลือกใช้ประเภทดวงโคมที่เหมาะสม

3.2 การคำนวณระดับแสงจ้า UGR โดยวิธีสูตรการคำนวณ

การคำนวณระดับแสงจ้า UGR โดยใช้วิธีสูตรการคำนวณจะให้ผลลัพธ์การประเมินแสงจ้าที่มีคุณภาพที่ดีที่สุดจากทั้ง 3 วิธี โดยที่วิธีสูตรการคำนวณ UGR จะให้ผลลัพธ์เป็นค่าของระดับแสงจ้า ซึ่งเป็นสิ่งที่แสดงตัวแปรทางด้านความรู้สึกสัมผัสได้ถึงความไม่สบายในการมองเห็น อันเป็นผลมาจากแสงที่อยู่รอบ ๆ ในบริเวณพื้นที่นั้น ค่าผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นการแปลงความรู้สึกนี้เทียบออกมาเป็นตัวเลขช่วงของระดับแสงจ้า โดยสเกลของระดับแสงจ้า UGR นั้นจะแสดงค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 30 ซึ่งความหมายของระดับแสงจ้า UGR มีค่ามากจะหมายถึงในพื้นที่ใช้งานมีแสงจ้าส่งผลกระทบให้เกิดความระคายตามาก หากค่าระดับแสงจ้า UGR มีค่าน้อยจะหมายถึงในพื้นที่ใช้งานมี

แสงจ้าส่งผลกระทบต่อให้เกิดความระคายตาน้อย ในช่วงระดับแสงจ้าแต่ละ 1 สเตลนั้นจะเป็นช่วงที่น้อยที่สุดที่ทำให้ผู้ใช้งานสามารถรู้สึกถึงระดับของความแตกต่างได้ และในแต่ละช่วงระดับแสงจ้า 3 สเตล จะสามารถใช้เป็นสิ่งที่ใช้ในการแบ่งข้อกำหนดของระดับแสงจ้าในแต่ละสภาวะได้ ส่วนในระบบแสงสว่างภายในที่มีค่าระดับแสงจ้า UGR น้อยกว่า 10 จะประเมินได้ว่าไม่เกิดแสงจ้าที่ทำให้เกิดความระคายตา โดยในหลักสากลจะระบุว่าดัชนีแสงจ้า $UGR < 10$ และในทางกลับกันระบบแสงสว่างภายในที่มีค่าระดับแสงจ้า UGR มากกว่า 30 จะประเมินได้ว่าระดับแสงจ้าที่ทำให้เกิดความระคายตาอยู่ในระดับที่สูงเกินกว่าที่จะยอมรับได้

ในการใช้ระดับแสงจ้า UGR มีข้อจำกัดบางประการคือ เหมาะสมที่จะใช้คำนวณสำหรับดวงโคมที่มีขนาดมุมตัน ณ จุดดวงตาผู้สังเกตสูงสุดไม่เกิน 0.1 สเตอเรเดียน หรือเทียบได้กับการติดตั้งดวงโคมขนาดพื้นที่แสง 1 ตารางเมตร ที่ระยะการติดตั้งเหนือระดับดวงตา 3 เมตร และขนาดดวงโคมที่มีขนาดมุมตัน ณ จุดดวงตาผู้สังเกตต่ำสุดไม่เกิน 0.0003 สเตอเรเดียน หรือเทียบได้กับการติดตั้งแขวนหลอดเผาไส้ ที่ระยะเหนือระดับดวงตา 10 เมตร จึงจะให้ค่าผลลัพธ์จากการคำนวณที่ถูกต้อง

3.2.1 พัฒนาการของสูตรการคำนวณ

จากเดิมการคำนวณระดับแสงจ้าตามมาตรฐาน CIE (CIE Glare Index) จะสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.1 และ 3.2

$$CGI = 8 \log \left[2 \cdot \frac{1 + E_d / 500}{E_d + E_i} \right] \cdot \sum \frac{L^2 \omega}{P^2} \quad (3.1)$$

โดยที่	E_d	คือ	ความเข้มแสงโดยตรงในระนาบตั้งที่จุดดวงตาผู้สังเกตอันเป็นผลจากทุกแหล่งกำเนิดแสง (lux)
	E_i	คือ	ความเข้มแสงโดยอ้อมที่จุดดวงตาผู้สังเกต (lux)
	L	คือ	ความส่องสว่างของแต่ละพื้นที่แสงของแต่ละดวงโคมในทิศทางการมองของผู้สังเกต (cd/m^2)
	ω	คือ	มุมตันของพื้นที่แสงของแต่ละดวงโคมที่จุดดวงตาผู้สังเกต
	P	คือ	Guth position index ของแต่ละดวงโคม

เอกสารนี้ในแต่ละประเทศก็มีการใช้ระบบการคำนวณที่ต่างกันไป หมายความว่า จึงเป็นการยากที่จะแสดงถึงพัฒนาการจากสูตรการคิดคำนวณดังที่แสดงได้ แต่สามารถที่จะแสดงในรูปแบบสมการที่เข้าใจได้ง่ายขึ้นคือ

$$Glare Rating = C_1 \log(C_2 f_{room} \sum f_{luminaire}) \quad (3.2)$$

โดยที่ C_1 และ C_2 คือ ค่าคงที่

f_{room} คือ ตัวประกอบซึ่งเป็นผลจากความส่องสว่างจากรอบข้าง

$f_{luminaire}$ คือ ตัวประกอบซึ่งเป็นผลจากดวงโคมและตำแหน่งการติดตั้ง

ในส่วนของตัวประกอบ f_{room} นั้น จากข้อแนวทางเดิมของ CIE ได้รวมทั้งพจน์ของความเข้มแสงโดยอ้อมและความเข้มแสงโดยตรงที่จุดดวงตาของผู้สังเกต แต่เนื่องจากความเข้มแสงโดยตรงที่จุดดวงตาของผู้สังเกต สามารถที่จะแปรเปลี่ยนตามขนาดของดวงโคมหรือจำนวนดวงโคมได้ ซึ่งสำหรับการคำนวณโดยวิธีที่สะดวก ไม่ยุ่งยาก นั่นคือวิธีตารางระดับแสงจ้าและเส้นกราฟระดับแสงจ้าแล้วนั้น เป็นสิ่งที่เป็นไปได้ในการที่จะรวมพิจารณาถึงความเข้มแสงโดยตรงเข้าไปด้วย จากเหตุผลที่กล่าวมา ในสูตรการคำนวณ UGR ที่พัฒนาขึ้นจึงไม่พิจารณารวมในส่วนของความเข้มแสงโดยตรง

ในส่วนของตัวประกอบ $f_{luminaire}$ นั้นในสูตรการคำนวณ UGR ยังคงเหมือนเดิม ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งทำให้ได้สูตรการคำนวณระดับแสงจ้า UGR ดังสมการที่ 3.3

$$UGR = 8 \log \left[\frac{0.25}{L_b} \cdot \sum \frac{L^2 \omega}{P^2} \right] \quad (3.3)$$

โดยที่ L_b คือ ความส่องสว่างของแบล็คกราวด์ (cd/m^2)

L คือ ความส่องสว่างของแต่ละพื้นที่แสงของแต่ละดวงโคมในทิศทางการมองของผู้สังเกต (cd/m^2)

ω คือ มุมตันของแต่ละพื้นที่แสงของดวงโคมในที่จุดดวงตาผู้สังเกต (sr)

P คือ Guth position index ของแต่ละดวงโคม

3.2.2 ความส่องสว่างของดวงโคม (Luminance : L)

โดยทั่วไปแล้วความส่องสว่างของดวงโคมที่ส่งผลต่อผู้สังเกต ในแนวทิศทางการมองเห็น จะเป็นผลจากความเข้มส่องสว่างของดวงโคมในทิศทางการมองของผู้สังเกต และพื้นที่ส่องสว่างของดวงโคมทิศทางการมองของผู้สังเกต ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

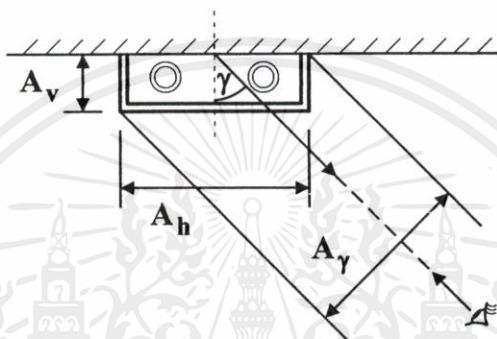
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L = \frac{I}{A_p} \quad (3.4)$$

- โดยที่ L คือ ความส่องสว่างของดวงโคมในทิศทางการมองของผู้สังเกต
 I คือ ความเข้มส่องสว่างของดวงโคมในทิศทางการมองของผู้สังเกต
 A_p คือ ขนาดพื้นที่ที่ส่องแสงของดวงโคมในทิศทางการมองของผู้สังเกต

3.2.3 พื้นที่ส่องสว่างของดวงโคม (Projected area : A_p)

พื้นที่ส่องสว่างของดวงโคมในทิศทางการมองของผู้สังเกตนั้น จะสัมพันธ์กับตำแหน่งของผู้สังเกตและลักษณะการเปล่งแสงของดวงโคม สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 3.1 เป็นดวงโคมที่มีลักษณะการเปล่งแสงลงด้านล่างและเปล่งแสงออกด้านข้าง



รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ของพื้นที่ส่องแสงของดวงโคมและตำแหน่งผู้สังเกต

จากรูปที่ 3.1 จะได้ความสัมพันธ์ว่า

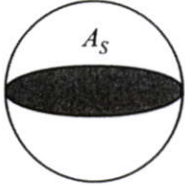

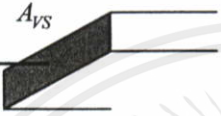

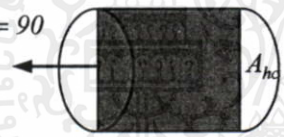
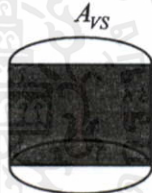

$$A_p = A_h \cos \gamma + A_v \sin \gamma \quad (3.5)$$

- โดยที่ A_p คือ พื้นที่ส่องแสงของดวงโคมในทิศทางการมองของผู้สังเกต
 A_h คือ พื้นที่ส่องแสงของดวงโคมในระนาบนอน
 A_v คือ พื้นที่ส่องแสงของดวงโคมในระนาบตั้ง

โดยความสัมพันธ์ของพื้นที่ส่องแสงของดวงโคมและตำแหน่งผู้สังเกตของดวงโคมแต่ละชนิดสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.1

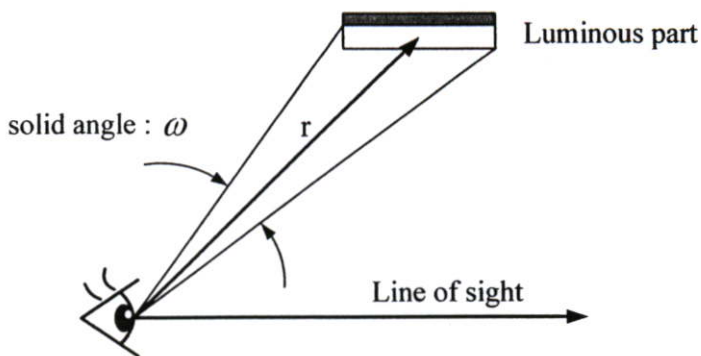
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ความสัมพันธ์ของพื้นที่ส่องแสงของดวง โคมแต่ละชนิดกับตำแหน่งผู้สังเกต

<p>Sphere</p> <p>$A_p = A_s$</p> 	<p>Half sphere with horizontal base</p> $A_p = A_{hs} \cdot \frac{(1 + \cos \gamma)}{2}$ 
<p>Vertical end + opposing vertical end</p> <p>$C = 90, \gamma = 90$</p>  <p>$A_p = A_{vs} \cdot \sin C \sin \gamma$</p>	<p>Vertical side + opposing vertical side</p> <p>$C = 0, \gamma = 0$</p>  <p>$A_p = A_{vs} \cdot \cos C \sin \gamma$</p>
<p>Horizontal cylinder</p> <p>$C = -90, \gamma = 90$</p>  <p>$A_p = A_{hc} \cdot (1 - \sin^2 \gamma \cdot \sin^2 C)^{1/2}$</p>	<p>Vertical cylinder</p>  <p>$A_p = A_{vs} \cdot \sin \gamma$</p>
<p>Horizontal bottom</p> <p>$A_p = A_h \cos \gamma$</p>  <p>$\gamma = 0$</p>	

3.2.4 มุมเชิงของแข็ง ณ จุดดวงตาของผู้สังเกต (Solid angle : ω)

ขนาดของมุมตัน ณ จุดดวงตาของผู้สังเกตแสดงได้ดังรูปที่ 3.2 โดยจะเป็นผลจากพื้นที่ส่องสว่างของดวง โคมในทิศทางการมองของผู้สังเกตแสดง และระยะทางจากจุดศูนย์กลางของดวง โคมมายังดวงตาของผู้สังเกต ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.6



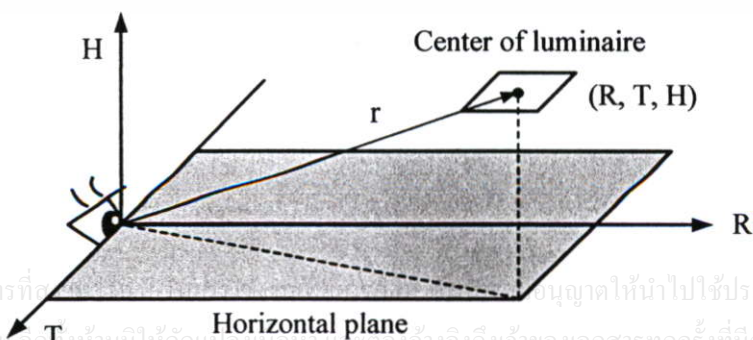
รูปที่ 3.2 ขนาดของมุมตัน ณ จุดดวงตาของผู้สังเกต

$$\omega = \frac{A_p}{r^2} \quad (3.6)$$

- โดย ω คือ ขนาดของมุมตัน ณ จุดดวงตาของผู้สังเกต
 A_p คือ ขนาดพื้นที่ส่องแสงของดวงโคมในทิศทางการมองของผู้สังเกต
 r คือ ระยะทางจากจุดศูนย์กลางของดวงโคมถึงดวงตาของผู้สังเกต

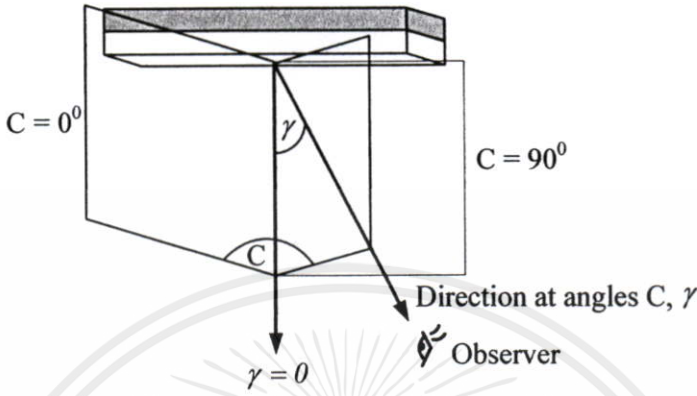
3.2.5 ดัชนีตำแหน่ง (Position index : P)

ดัชนีตำแหน่งของดวงโคมแต่ละดวง สามารถคำนวณได้โดยวิธีประมาณการเชิงเส้นจากตารางค่าดัชนีตำแหน่งในตารางที่ 3.3 โดยจากตารางจะแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วน H/R และอัตราส่วน T/R ซึ่งค่าพารามิเตอร์ R, T, และ H เป็นฟังก์ชันของตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมโดยวัดจากจุดศูนย์กลางของดวงโคมเทียบกับจุดดวงตาผู้สังเกต ดังแสดงในรูปที่ 3.3 กล่าวคือเมื่อทิศทางการมองของผู้สังเกตอยู่ในแนวระนาบนอน พารามิเตอร์ R จะหมายถึงระยะทางในแนวทิศทางการมองของผู้สังเกต, พารามิเตอร์ T หมายถึงระยะทางในแนวตั้งฉากกับทิศทางการมองของผู้สังเกต และพารามิเตอร์ H หมายถึงระยะความสูงของดวงโคมเหนือตำแหน่งดวงตาของผู้สังเกต



รูปที่ 3.3 ฟังก์ชันตำแหน่งของดวงโคมเทียบกับจุดดวงตาผู้สังเกต

สำหรับดวงโคมบางชนิด ที่มีลักษณะการกระจายความเข้มส่องสว่างสมมาตรสองแนวระนาบ (dissymmetric luminaire) คือในระนาบแกน $C = 0^\circ - 180^\circ$ และระนาบแกน $C = 90^\circ - 270^\circ$ ในการใช้งานจะสามารถทำการติดตั้งได้ 2 ลักษณะคือติดตั้งแบบทางขวาง (crosswise) และติดตั้งแบบทางยาว (endwise) จะทำการพิจารณาพิกัดมุม C, γ ได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การพิจารณาพิกัดมุม C, γ ของดวงโคม

สามารถคำนวณพิกัดมุม γ ได้ดังสมการ

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{R^2 + T^2}{H}} \right) \quad (3.7)$$

สำหรับการติดตั้งดวงโคมในแนวขวาง

$$C = \tan^{-1} \left(\frac{T}{R} \right) \quad (3.8)$$

สำหรับการติดตั้งดวงโคมในแนวยาว

$$C = 90 - \tan^{-1} \left(\frac{T}{R} \right) \quad (3.9)$$

ระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลางดวงโคมถึงจุดดวงตาผู้สังเกตยกกำลังสองแสดงโดยสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดไปลงสื่ออิเล็กทรอนิกส์อย่างอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ (3.10)

$$r^2 = R^2 + T^2 + H^2$$

ในการพิจารณาพิศของตำแหน่งการติดตั้งควมโคมเทียบกับจุดดวงตาผู้สังเกตนั้น หากอัตราส่วนของระยะทางในแนวตั้งฉากกับแนวทิศทางการมอง ต่อระยะทางในแนวทิศทางการมอง หรือค่า T/R มีค่ามากเกินไปขอบเขตที่ระบุในตารางที่ 3.2 ซึ่งคือระหว่าง 0 ถึง 3 และสำหรับอัตราส่วนของระยะความสูงของควมโคมเหนือระดับสายตาต่อระยะทางในแนวทิศทางการมอง หรือค่า H/R บางค่าในตาราง จะยกเว้นไม่ทำการพิจารณาควมโคมนั้น อันเนื่องจากตำแหน่งของควมโคมจะถูกบดบังในแนวทิศทางการมองหรือกล่าวได้ว่าอยู่นอกเหนือขอบเขตการมองเห็นของสายตานั่นเอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ดัชนีตำแหน่ง

T/R	H/R	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90
0.00	1.00	1.25	1.53	1.90	2.35	2.85	3.50	4.20	5.00	6.00	7.00	8.10	9.25	10.35	11.70	13.15	14.70	16.20	-	-
0.10	1.05	1.22	1.46	1.80	2.20	2.75	3.40	4.10	4.80	5.80	6.80	8.00	9.10	10.30	11.60	13.00	14.60	16.10	-	-
0.20	1.12	1.30	1.50	1.80	2.20	2.66	3.18	3.88	4.60	5.50	6.50	7.60	8.75	9.85	11.20	12.70	14.00	15.70	-	-
0.30	1.22	1.38	1.60	1.87	2.25	2.70	3.25	3.90	4.60	5.45	6.45	7.40	8.40	9.50	10.85	12.10	13.70	15.00	-	-
0.40	1.32	1.47	1.70	1.95	2.35	2.80	3.30	3.90	4.60	5.40	6.40	7.30	8.30	9.40	10.60	11.90	13.20	14.60	16.00	-
0.50	1.43	1.60	1.82	2.10	2.48	2.91	3.40	3.98	4.70	5.50	6.40	7.30	8.30	9.40	10.50	11.75	13.00	14.40	15.70	-
0.60	1.55	1.72	1.98	2.30	2.65	3.10	3.60	4.10	4.80	5.50	6.40	7.35	8.40	9.40	10.50	11.70	13.00	14.10	15.40	-
0.70	1.70	1.88	2.12	2.48	2.87	3.30	3.78	4.30	4.88	5.60	6.50	7.40	8.50	9.50	10.50	11.70	12.85	14.00	15.20	-
0.80	1.82	2.00	2.32	2.70	3.08	3.50	3.92	4.50	5.10	5.75	6.60	7.50	8.60	9.50	10.60	11.75	12.80	14.00	15.10	-
0.90	1.95	2.20	2.54	2.90	3.30	3.70	4.20	4.75	5.30	6.00	6.75	7.70	8.70	9.65	10.75	11.80	12.90	14.00	15.00	16.00
1.00	2.11	2.40	2.75	3.10	3.50	3.91	4.40	5.00	5.60	6.20	7.00	7.90	8.90	9.75	10.80	11.90	12.95	14.00	15.00	16.00
1.10	2.30	2.55	2.92	3.30	3.72	4.20	4.70	5.25	5.80	6.55	7.20	8.15	9.00	9.90	10.95	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
1.20	2.40	2.75	3.12	3.50	3.90	4.35	4.95	5.50	6.05	6.70	7.50	8.30	9.20	10.00	11.02	12.10	13.10	14.00	15.00	16.00
1.30	2.55	2.90	3.30	3.70	4.20	4.65	5.20	5.70	6.30	7.00	7.70	8.55	9.35	10.20	11.20	12.25	13.20	14.00	15.00	16.00
1.40	2.70	3.10	3.50	3.90	4.35	4.85	5.35	5.85	6.50	7.25	8.00	8.70	9.50	10.40	11.40	12.40	13.25	14.05	15.00	16.00
1.50	2.85	3.15	3.65	4.10	4.55	5.00	5.50	6.20	6.80	7.50	8.20	8.85	9.70	10.55	11.50	12.50	13.30	14.05	15.02	16.00

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

T/R	H/R	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90
1.60	2.95	3.40	3.80	4.25	4.75	5.20	5.75	6.30	7.00	7.65	8.40	9.00	9.80	10.80	11.75	12.60	13.40	14.20	15.10	16.00
1.70	3.10	3.55	4.00	4.50	4.90	5.40	5.95	6.50	7.20	7.80	8.50	9.20	10.00	10.85	11.85	12.75	13.45	14.20	15.10	16.00
1.80	3.25	3.70	4.20	4.65	5.10	5.60	6.10	6.75	7.40	8.00	8.65	9.35	10.10	11.00	11.90	12.80	13.50	14.20	15.10	16.00
1.90	3.43	3.85	4.30	4.75	5.20	5.70	6.30	6.90	7.50	8.17	8.80	9.50	10.20	11.00	12.00	12.82	13.55	14.20	15.10	16.00
2.00	3.50	4.00	4.50	4.90	5.35	5.80	6.40	7.10	7.70	8.30	8.90	9.60	10.40	11.10	12.00	12.85	13.60	14.30	15.10	16.00
2.10	3.60	4.17	4.65	5.05	5.50	6.00	6.60	7.20	7.82	8.45	9.00	9.75	10.50	11.20	12.10	12.90	13.70	14.35	15.10	16.00
2.20	3.75	4.25	4.72	5.20	5.60	6.10	6.70	7.35	8.00	8.55	9.15	9.85	10.60	11.30	12.10	12.90	13.70	14.40	15.15	16.00
2.30	3.85	4.35	4.80	5.25	5.70	6.22	6.80	7.40	8.10	8.65	9.30	9.90	10.70	11.40	12.20	12.95	13.70	14.40	15.20	16.00
2.40	3.95	4.40	4.90	5.35	5.80	6.30	6.90	7.50	8.20	8.90	9.40	10.00	10.80	11.50	12.25	13.00	13.75	14.45	15.20	16.00
2.50	4.00	4.50	4.95	5.40	5.85	6.40	6.95	7.55	8.25	8.85	9.50	10.05	10.85	11.55	12.30	13.00	13.80	14.50	15.25	16.00
2.60	4.07	4.55	5.05	5.47	5.95	6.45	7.00	7.65	8.35	8.95	9.55	10.10	10.90	11.60	12.32	13.00	13.80	14.50	15.25	16.00
2.70	4.10	4.60	5.10	5.53	6.00	6.50	7.05	7.70	8.40	9.00	9.60	10.15	10.92	11.63	12.35	13.00	13.80	14.50	15.25	16.00
2.80	4.15	4.62	5.15	5.56	6.05	6.55	7.08	7.73	8.45	9.05	9.65	10.20	10.95	11.65	12.35	13.00	13.80	14.50	15.25	16.00
2.90	4.20	4.65	5.17	5.60	6.07	6.57	7.12	7.75	8.50	9.10	9.70	10.23	10.95	11.65	12.35	13.00	13.80	14.50	15.25	16.00
3.00	4.22	4.67	5.20	5.65	6.12	6.60	7.15	7.80	8.55	9.12	9.70	10.23	10.95	11.65	12.35	13.00	13.80	14.50	15.25	16.00

3.2.6 ความส่องสว่างแบล็กกราวด์ (Background luminance : L_b)

ความส่องสว่างแบล็กกราวด์ หมายถึงความส่องสว่างสม่ำเสมอล้อมรอบทั้งหมด ซึ่งเปรียบได้กับค่าความเข้มแสงบนระนาบตั้ง ณ จุดดวงตาผู้สังเกต โดยไม่พิจารณารวมค่าความเข้มแสงที่เป็นผลมาจากแหล่งกำเนิดแสงจ้า หรือกล่าวได้ว่าเป็นความเข้มแสงโดยอ้อมบนผนังที่สะท้อนออกมา ณ จุดผู้สังเกต และแสดงความสัมพันธ์เป็นดังสมการที่ 3.11

$$L_b = \frac{E_i}{\pi} \quad (3.11)$$

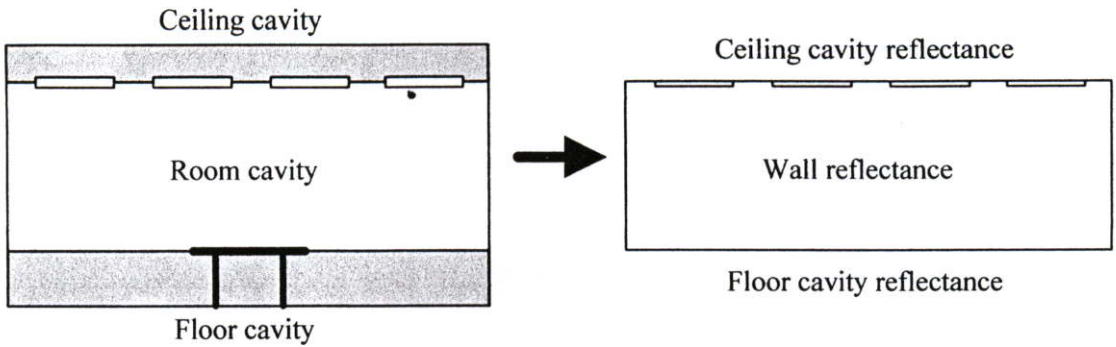
โดยที่ E_i คือ ความเข้มแสงโดยอ้อม ณ จุดดวงตาผู้สังเกต

ความส่องสว่างแบล็กกราวด์มักจะคำนวณจากความเข้มแสงโดยอ้อม ซึ่งอาจจะได้จากการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ถึงลักษณะการกระจายแสงในบริเวณพื้นที่ใช้งาน หรือได้จากการคำนวณค่าเฉลี่ยของตัวประกอบการใช้ประโยชน์แสงโดยอ้อมบนผนังก็ได้ โดยที่การประมวลผลตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า ความเข้มแสงโดยอ้อมเฉลี่ยบนผนังมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับความเข้มแสงโดยอ้อม ณ จุดดวงตาผู้สังเกต ซึ่งสมมติฐานนี้ให้ผลลัพธ์ที่ดีสำหรับระบบแสงสว่างภายในที่มีการจัดวางดวงโคมที่มีระยะห่างของแถวอย่างสม่ำเสมอ อีกแนวทางหนึ่งสำหรับการคำนวณความส่องสว่างแบล็กกราวด์ คือการมองว่าความเข้มแสงอันเนื่องมาจากผนังนั้นเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ให้ความส่องสว่าง ณ จุดดวงตาผู้สังเกต โดยแนวทางนี้จะให้ผลที่ต่ำกว่าเพียงเล็กน้อยแต่ทว่าก็ยังจะต้องตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่าพื้นผิวของห้องนั้นมีการส่องแสงเป็นไปโดยสม่ำเสมอ ส่วนวิธีที่นิยมใช้ทั่วไปคือการแบ่งพื้นผิวของห้องออกเป็นพื้นที่ย่อย จากนั้นจะทำการพิจารณาความส่องสว่างของแต่ละพื้นที่ย่อยอันเป็นผลมาจากความเข้มแสงโดยตรงจากดวงโคม และจากการสะท้อนของพื้นผิวห้อง

ความคลาดเคลื่อนของความส่องสว่างแบล็กกราวด์จะไม่ส่งผลกระทบต่อระดับแสงจ้า UGR มากนัก อาทิเช่น ความคลาดเคลื่อน +33% จะส่งผลให้ผลลัพธ์ระดับแสงจ้า UGR จากการคำนวณคลาดเคลื่อนไป 1 หน่วย

ความส่องสว่างแบล็กกราวด์นั้นเป็นผลจากการสะท้อนของพื้นผิวส่วนต่าง ๆ ภายในห้อง สำหรับในการคำนวณแล้วจะพิจารณาลักษณะห้องเป็นควาติตี้ดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 การพิจารณาความส่องสว่างเบสิคกราวด์

การคำนวณความส่องสว่างเบสิคกราวด์ มีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณความเข้มแสงเฉลี่ยบนระนาบใช้งาน โดยใช้การคำนวณความเข้มแสงโดยตรงวิธีจุดต่อจุดดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.2

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณตัวประกอบการกระจายแสงบนระนาบพื้น (Distribution Factor for the floor: $DF(F)$) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$E_{avr} = \frac{\Phi_{Total}}{A} \quad (3.12)$$

$$DF(F) = \frac{\Phi_{Total}}{\Phi_{Lamp}} \quad (3.13)$$

ดังนั้นจะแสดงความสัมพันธ์ได้ว่า

$$DF(F) = \frac{E_{avr} \times A}{\Phi_{Lamp}} \quad (3.14)$$

โดยที่ Φ_{Total}	คือ	ฟลักซ์ส่องสว่างทั้งหมดจากดวงโคมที่ตกกระทบบนพื้นผิวใช้งาน
Φ_{Lamp}	คือ	ฟลักซ์ส่องสว่างทั้งหมดของหลอดไฟ
E_{avr}	คือ	ความเข้มแสงเฉลี่ยบนระนาบใช้งาน
A	คือ	พื้นที่ระนาบใช้งาน

เอกสารนี้ ในกรณีที่ดวงโคมมีการส่องแสงขึ้นด้านบนด้วย พิจารณาจากรูปที่ 3.5 จะสามารถคำนวณตัวประกอบการกระจายแสงบนเพดาน (Distribution Factor for the ceiling: $DF(C)$) ได้โดยจะมีค่าเท่ากับอัตราส่วนฟลักซ์ส่องสว่างขึ้นด้านบนของดวงโคม ดังสมการที่ 3.15 และสมการที่ 3.16

$$DF(C) = \Phi_{up} \quad (3.15)$$

สำหรับกรณีที่ดวงโคมไม่มีการส่องแสงขึ้นด้านบน

$$DF(C) = 0 \quad (3.16)$$

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณตัวประกอบการกระจายแสงบนผนัง (Distribution Factor for the wall: DF(W)) เนื่องจากฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องลงด้านล่างของดวงโคมจะส่งผลต่อระนาบใช้งานและผนัง ดังนั้นสามารถคำนวณตัวประกอบการกระจายแสงบนผนัง ได้จากสมการที่ 3.17

$$DF(W) = \Phi_{down} - DF(F) \quad (3.17)$$

โดยที่ Φ_{down} คือ อัตราส่วนฟลักซ์ส่องสว่างลงด้านล่างของดวงโคม
 Φ_{up} คือ อัตราส่วนฟลักซ์ส่องสว่างขึ้นด้านบนของดวงโคม

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณตัวประกอบการใช้ประโยชน์ พื้นผิวส่วนต่าง ๆ โดยในการคำนวณเริ่มต้นจากการหาปริมาณฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกกระทบบนแต่ละพื้นผิว ซึ่งฟลักซ์ส่องสว่างทั้งหมดที่ตกกระทบบนพื้นผิวแต่ละส่วน จะประกอบไปด้วยฟลักซ์ส่องสว่างโดยตรงบนพื้นผิวนั้น รวมกับปริมาณฟลักซ์ส่องสว่างที่ได้จากการสะท้อนจากพื้นผิวอื่นๆ สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้โดยสมการดังต่อไปนี้

Flux to ceiling = Direct Flux + Flux received from the floor + Flux received from the walls

$$F_1 = DF(C)F_L + F_2\rho_2f_{21} + F_3\rho_3f_{31} \quad (3.18)$$

Flux to floor = Direct Flux + Flux received from the ceiling + Flux received from the walls

$$F_2 = DF(F)F_L + F_1\rho_1f_{12} + F_3\rho_3f_{32} \quad (3.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 Flux to walls = Direct Flux + Flux received from the ceiling + Flux received from the floor + Flux received from the walls

$$F_3 = DF(W)F_L + F_1\rho_1f_{13} + F_2\rho_2f_{23} + F_3\rho_3f_{33} \quad (3.20)$$

โดยที่	F_1	คือ	ฟลักซ์ส่องสว่างทั้งหมดที่ตกกระทบบนพื้นผิวที่ 1 คือเพดาน
	F_2	คือ	ฟลักซ์ส่องสว่างทั้งหมดที่ตกกระทบบนพื้นผิวที่ 2 คือพื้นผิวใช้งาน
	F_3	คือ	ฟลักซ์ส่องสว่างทั้งหมดที่ตกกระทบบนพื้นผิวที่ 3 คือผนัง
	F_L	คือ	ฟลักซ์ส่องสว่างทั้งหมดของหลอดไฟที่ทำการติดตั้ง
	ρ_1	คือ	ค่าการสะท้อนของพื้นผิวที่ 1 คือเพดาน
	ρ_2	คือ	ค่าการสะท้อนของพื้นผิวที่ 2 คือพื้นผิวใช้งาน
	ρ_3	คือ	ค่าการสะท้อนของพื้นผิวที่ 3 คือผนัง
	f_{ij}	คือ	ฟลักซ์ทรานเฟอฟังก์ชันจากพื้นผิวที่ i ไปยังพื้นผิวที่ j

ทำการหารทั้ง 3 สมการข้างต้นด้วย F_L ทั้งสองฝั่งของสมการจะได้สมการใหม่ดังนี้

$$UF(1) = DF(1) + UF(2)\rho_2 f_{21} + UF(3)\rho_3 f_{31} \quad (3.21)$$

$$UF(2) = DF(2) + UF(1)\rho_1 f_{12} + UF(3)\rho_3 f_{32} \quad (3.22)$$

$$UF(3) = DF(3) + UF(1)\rho_1 f_{13} + UF(2)\rho_2 f_{23} + UF(3)\rho_3 f_{33} \quad (3.23)$$

โดยที่	$UF(1)$	คือ	ตัวประกอบการใช้ประโยชน์บนเพดาน
	$UF(2)$	คือ	ตัวประกอบการใช้ประโยชน์บนพื้น
	$UF(3)$	คือ	ตัวประกอบการใช้ประโยชน์บนผนัง

หรือจัดรูปแบบสมการใหม่ได้ว่า

$$DF(1) = UF(1) - UF(2)\rho_2 f_{21} - UF(3)\rho_3 f_{31} \quad (3.24)$$

$$DF(2) = -UF(1)\rho_1 f_{12} + UF(2) - UF(3)\rho_3 f_{32} \quad (3.25)$$

$$DF(3) = -UF(1)\rho_1 f_{13} - UF(2)\rho_2 f_{23} + UF(3)(1 - \rho_3 f_{33}) \quad (3.26)$$

พิจารณาความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้ เนื่องจากว่าฟลักซ์ทรานเฟอฟังก์ชันจากเพดานไปยังพื้น จะมีค่าเท่ากับฟลักซ์ทรานเฟอฟังก์ชันจากพื้นไปยังเพดาน และฟลักซ์ทรานเฟอฟังก์ชันจากเพดานไปยังผนังจะมีค่าเท่ากับฟลักซ์ทรานเฟอฟังก์ชันจากพื้นไปยังผนัง หรือกล่าวคือ $f_{12} = f_{21}$ และ $f_{13} = f_{23}$ ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f_{31} = f_{13} \left(\frac{\text{area of ceiling}}{\text{area of walls}} \right) \quad (3.27)$$

จะได้ว่า

$$f_{31} = \frac{(RI)}{2} f_{13} \quad \text{เมื่อ} \quad f_{13} = (1 - f_{12}) \quad (3.28)$$

และเมื่อ

$$f_{33} = (1 - f_{31} - f_{32}) = (1 - 2f_{31}) = (1 - (RI)f_{13}) \quad (3.29)$$

จากความสัมพันธ์ทั้งหมดจะจัดรูปแบบสมการใหม่ โดยให้มีเพียงพจน์ของฟลักซ์ทรานเฟอ ฟังก์ชัน f_{12} ได้ว่า

$$\begin{bmatrix} DF(1) \\ DF(2) \\ DF(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\rho_2 f_{12} & -\rho_3(1-f_{12})\frac{RI}{2} \\ -\rho_1 f_{12} & 1 & -\rho_3(1-f_{12})\frac{RI}{2} \\ -\rho_1(1-f_{12}) & -\rho_2(1-f_{12}) & (1-\rho_3(1-(1-f_{12})RI)) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} UF(1) \\ UF(2) \\ UF(3) \end{bmatrix} \quad (3.30)$$

สามารถแสดงได้โดย

$$[DF] = [f][UF] \quad (3.31)$$

หรือ

$$[UF] = [f]^{-1} [DF] \quad (3.32)$$

จะเห็นได้ว่า เมื่อทำการคูณอินเวอร์สเมตริกซ์ของ $[f]$ ด้วยเมตริกซ์ $[DF]$ จะสามารถ คำนวณค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์ ณ พื้นผิวส่วนต่างๆ ของพื้นที่ห้องได้ ซึ่งหมายถึงอัตราส่วน ของฟลักซ์ส่องสว่างทั้งหมดที่ตกกระทบบนพื้นผิวนั้น ต่อฟลักซ์ส่องสว่างทั้งหมดที่ได้จาก หลอดไฟในการติดตั้ง และสามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังสมการที่ 3.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} UF(1) \\ UF(2) \\ UF(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\rho_2 f_{12} & -\rho_3(1-f_{12})\frac{RI}{2} \\ -\rho_1 f_{12} & 1 & -\rho_3(1-f_{12})\frac{RI}{2} \\ -\rho_1(1-f_{12}) & -\rho_2(1-f_{12}) & (1-\rho_3(1-(1-f_{12})RI)) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} DF(1) \\ DF(2) \\ DF(3) \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

พลักซ์ทรานเฟอริงกั้นจากเพดานไปยังพื้น (f_{12}) นั้น สอดคล้องกับค่าจำกัดความของตัวประกอบกระจายแสงบนพื้นผิว (surface distribution factor: D_s) โดย O'Brien ได้ทำการทดสอบเพื่อทำการคำนวณค่าตัวประกอบกระจายแสงบนพื้นผิวในพื้นที่ตัวอย่างจำนวน 35,000 ห้อง ได้ผลลัพธ์จากการทดสอบว่า พื้นที่ห้องทรงสี่เหลี่ยมที่มีมิติแตกต่างกันแต่มีค่าดัชนีห้องที่ใกล้เคียงกัน จะให้ผลลัพธ์ค่าตัวประกอบกระจายแสงบนพื้นผิวที่ใกล้เคียงกันมาก[10] จึงได้สรุปความสัมพันธ์ของค่าตัวประกอบกระจายแสงบนพื้นผิวและค่าดัชนีห้องดังแสดงในตารางที่ 3.3 ดังนั้นสามารถคำนวณค่าพลักซ์ทรานเฟอริงกั้นจากเพดานไปยังพื้นได้ โดยการประมาณเชิงเส้นจากตารางที่ 3.3 เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าดัชนีห้อง

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลค่า D_s

RI	0.75	1.0	1.25	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
D_s	0.320	0.415	0.491	0.574	0.632	0.691	0.733	0.788	0.823

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณความเข้มแสงเฉลี่ยบนระนาบพื้นผิวผนังจากสมการที่ 3.34

$$E_w = \frac{N \times F_L \times UF(W) \times MF}{A_w} \quad (3.34)$$

โดยที่	E_w	คือ	ความเข้มแสงเฉลี่ยบนระนาบพื้นผิวผนัง
	N	คือ	จำนวนดวงโคมทั้งหมดที่ทำการติดตั้ง
	F_L	คือ	พลักซ์ส่องสว่างทั้งหมดของหลอดไฟต่อดวงโคม
	$UF(W)$	คือ	ตัวประกอบการใช้ประโยชน์บนผนัง
	MF	คือ	ตัวประกอบบำรุงรักษา
	A_w	คือ	พื้นที่ผนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณี **ขั้นตอนที่ 6** คำนวณความเข้มแสงโดยตรงบนระนาบพื้นผิวผนังจากสมการที่ 3.35 ไปด้วย

$$E_{w(D)} = \frac{N \times F_L \times DF(W) \times MF}{A_w} \quad (3.35)$$

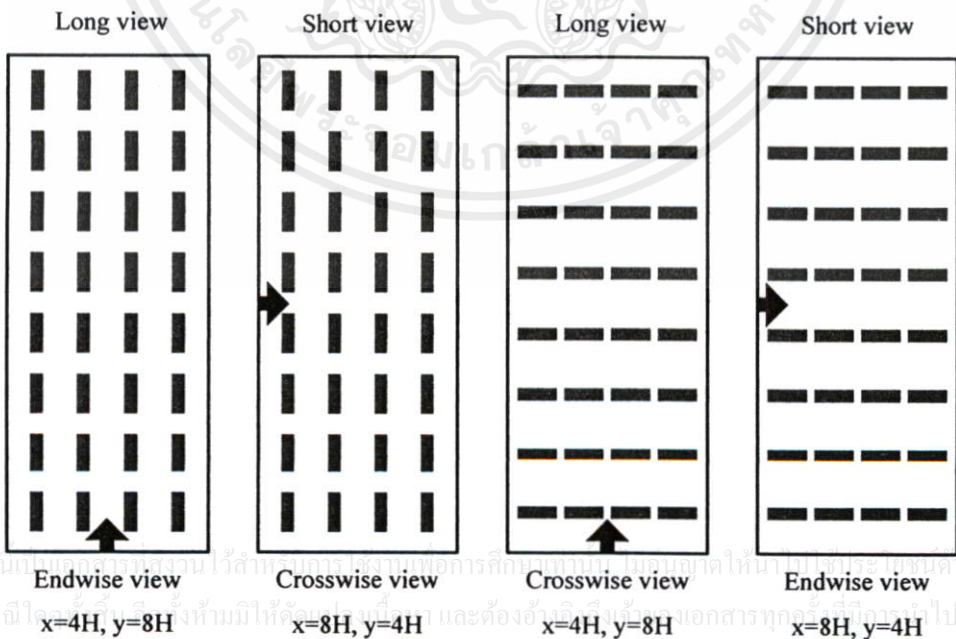
โดยที่ $E_{w(D)}$ คือ ความเข้มแสงโดยตรงบนระนาบพื้นผิวผนัง
 $DF(W)$ คือ ตัวประกอบการกระจายแสงบนผนัง

ขั้นตอนที่ 7 กำหนดความส่องสว่างเบสิกกราวด์ ซึ่งคือความเข้มแสงโดยอ้อมบนผนังหารด้วยพ้อยต์ดังสมการที่ 3.36 โดยจะสอดคล้องกับสมการที่ 3.11

$$L_b = \frac{E_w - E_{w(D)}}{\pi} \quad (3.36)$$

3.2.7 การพิจารณาระดับแสงจ้า UGR

ในการคำนวณระดับแสงจ้า UGR จะทำการคำนวณตามสมการที่ 3.3 ซึ่งแต่ละค่าที่ใช้ในสมการสามารถคำนวณได้ดังที่ได้กล่าวผ่านมาในข้างต้น โดยจะทำการพิจารณาในจุดที่มีโอกาสจะทำให้เกิดแสงจ้าระคายตาแก่ผู้สังเกตมากที่สุดบริเวณ 4 จุด นั่นคือจุดกึ่งกลางของห้องที่อยู่ติดผนังทางด้านกว้างและจุดกึ่งกลางของห้องที่อยู่ติดผนังทางด้านยาวของห้อง เนื่องจากเป็นจุดที่สามารถได้รับผลกระทบจากดวงโคมในพื้นที่ได้มากที่สุด ทั้งในกรณีการจัดวางดวงโคมแบบแนวขวางกับทิศทางการมองและจัดวางดวงโคมในแนวขนานกับทิศทางการมอง โดยที่ความสูงของระดับสายตาผู้สังเกตเหนือพื้นห้องกำหนดที่ 1.2 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ตำแหน่งในการพิจารณาแสงจ้า

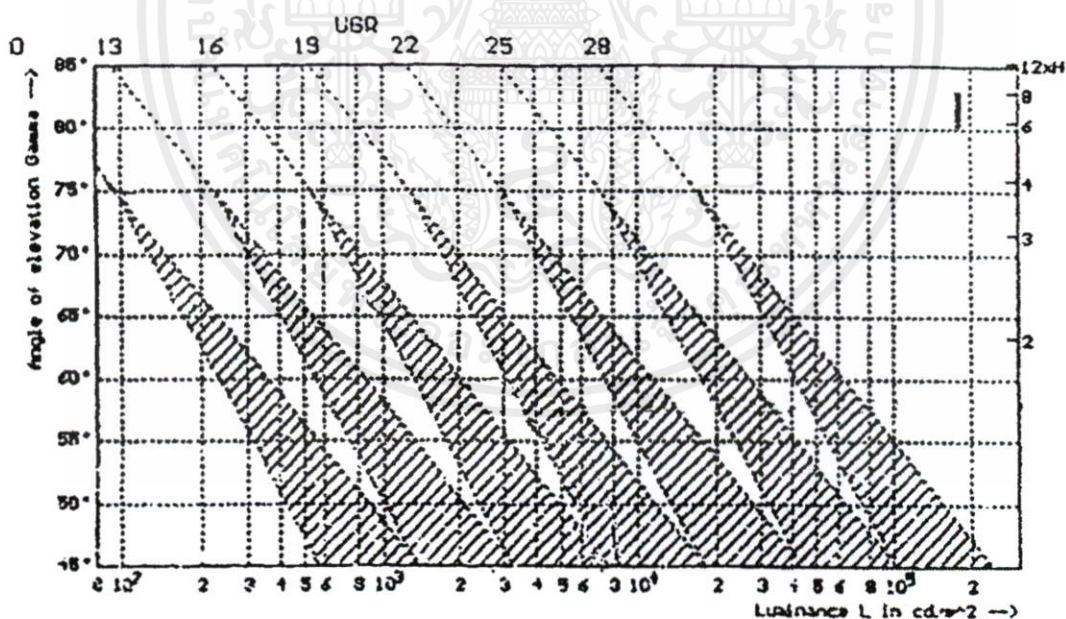
ความสูงของดวงโคมเหนือระดับสายตาผู้สังเกตจะแทนด้วย H โดยระดับสายตาของผู้สังเกตกำหนดที่ 1.2 เมตรเหนือพื้นห้อง ซึ่งในการระบุขนาดของพื้นที่ห้องนั้นจะทำการระบุในเทอมของ H โดย x จะหมายถึงขนาดของห้องในทิศทางตั้งฉากกับแนวการมองของผู้สังเกตและ y จะหมายถึงขนาดของห้องในทิศทางขนานกับแนวการมองของผู้สังเกต

3.3 การคำนวณระดับแสงจ้า UGR โดยวิธีเคอร์ฟ UGR

3.3.1 เคอร์ฟ UGR

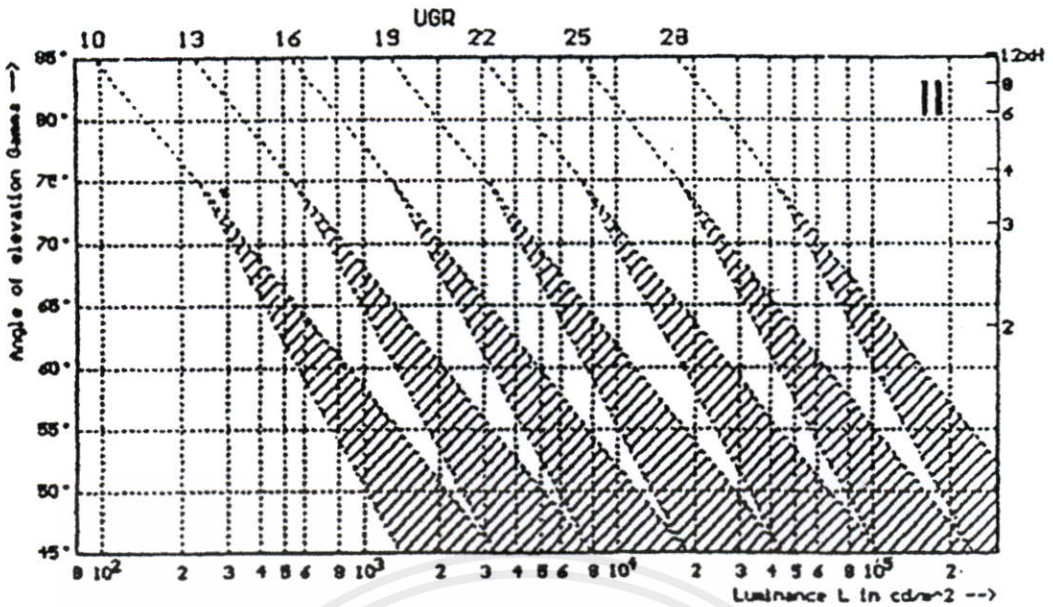
เคอร์ฟ UGR คือเคอร์ฟจำกัดความส่องสว่าง (luminance limiting curves) ที่แสดงค่าลอการิทึมของความส่องสว่างของดวงโคมสัมพันธ์กับมุมในแนวตั้ง โดยในแต่ละเคอร์ฟ UGR จะเป็นผลจากแต่ละค่า UGR ในสูตรการคำนวณเส้นเคอร์ฟ ซึ่งจะใช้ค่าระดับแสงจ้า UGR ในการคำนวณตั้งแต่ 10 ถึง 28 ทำการคำนวณแต่ละช่วงห่าง 3 สเกล

เคอร์ฟ UGR ที่ใช้พิจารณาระดับแสงจ้า UGR มีอยู่ด้วยกัน 2 ไโคะแกรม โดยทั้ง 2 ไโคะแกรม ประกอบด้วยเคอร์ฟ UGR ที่มีค่าเท่ากับ 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28 ซึ่งไโคะแกรมที่ 1 แสดงดังรูปที่ 3.7 ส่วนไโคะแกรมที่ 2 แสดงดังในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.7 เคอร์ฟ UGR ไโคะแกรมที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องเรียนเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 เคอร์ฟ UGR ไคอะแกรมที่ 2

เคอร์ฟ UGR ของไคอะแกรมที่ 1 สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\log L = \frac{(29 + UGR - 0.308\gamma)}{8} \quad (3.37)$$

เคอร์ฟ UGR ของไคอะแกรมที่ 2 สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\log L = \frac{(32 + UGR - 0.308\gamma)}{8} \quad (3.38)$$

โดยที่ L คือ ความส่องสว่าง (cd/m^2)

γ คือ มุมระนาบตั้งเทียบจากแนวศูนย์กลางดวงโคม (องศา)

เส้นเคอร์ฟที่ลากปิดแต่ละขอบเขตค่า UGR นั้นเกิดจากการลากเส้นตรงในไคอะแกรมจากจุดมุมระนาบตั้งที่ 75 องศาไปสัมผัสกับจุดมุมระนาบตั้งที่ 45 องศาของเคอร์ฟ UGR ที่มีค่าน้อยกว่า 3 สเตล

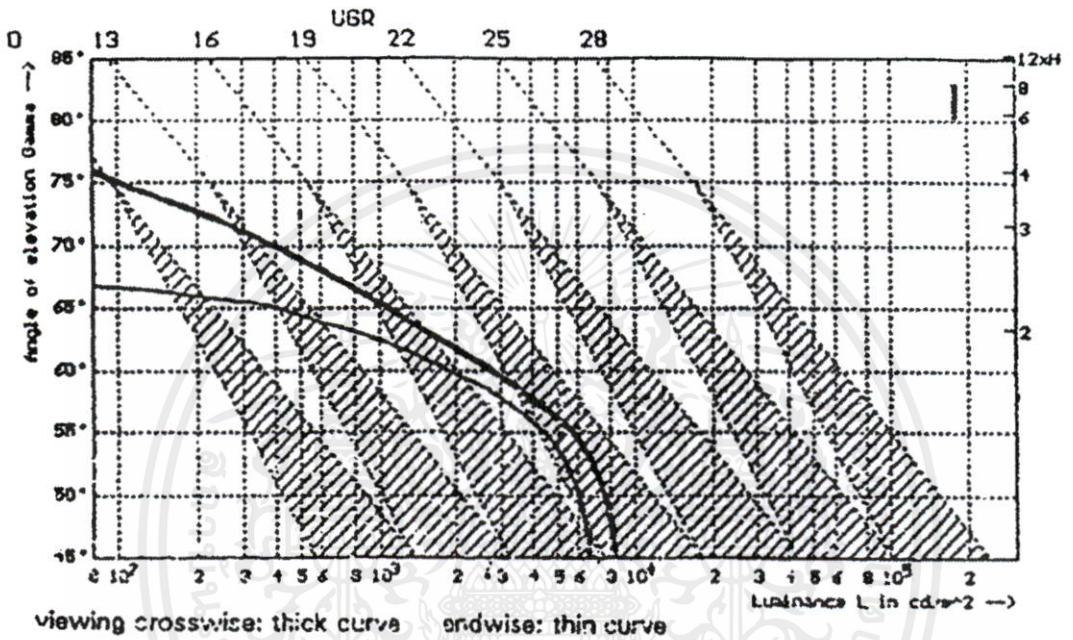
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

3.3.2 การอ่านค่าเคอร์ฟ UGR

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ผู้ออกแบบให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ไคอะแกรมทั้ง 2 ไคอะแกรมของเคอร์ฟ UGR ใช้สำหรับพื้นที่ห้องที่มีแสงสว่าง เช่น พื้นที่ที่มีค่าการสะท้อนของควาดีเพดาน ผับ และพื้น เป็น 0.7 0.5 และ 0.2 ตามลำดับ โดยไคอะแกรมที่

1 จะใช้สำหรับดวงโคมที่มีการกระจายฟลักซ์ส่องสว่างบนเพดานและผนังเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย ส่วนโคอะแกรมที่ 2 จะใช้สำหรับดวงโคมที่มีลักษณะการกระจายฟลักซ์ส่องสว่างที่กว้างหรือดวงโคมที่มีการส่องแสงขึ้นทางด้านบนเพดานหรือฝ้าผนังมาก

การคำนวณโดยวิธีเคอร์ฟ UGR จะทำการสร้างเส้นเคอร์ฟจำกัดความส่องสว่างของดวงโคมสองเส้นบนโคอะแกรมเคอร์ฟ UGR คือในทิศทางการมองตั้งฉากกับดวงโคมและในทิศทางขนานกับดวงโคม ดังตัวอย่างรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างการใช้งานเคอร์ฟ UGR

การอ่านค่าจากโคอะแกรม จะทำการอ่านค่าจากจุดที่เส้นเคอร์ฟจำกัดความส่องสว่างมีค่ามากที่สุดว่าอยู่ในพื้นที่ของเคอร์ฟ UGR ไค โดยจากรูปที่ 3.9 ค่าที่มากที่สุดของเส้นเคอร์ฟจำกัดความส่องสว่าง เป็นเส้นเคอร์ฟจำกัดความส่องสว่างที่มองจากทิศทางตั้งฉากกับดวงโคม แสดงโดยเส้นทึบ ซึ่งอยู่ในขอบเขตของเคอร์ฟ UGR ที่มีค่าเท่ากับ 19 ดังนั้นจะได้ผลลัพธ์ว่าค่าระดับแสงจ้า UGR เฉลี่ยจะมีค่าน้อยกว่า 19 จากการใช้งานดวงโคมชนิดนี้

ค่าของความส่องสว่างแบล็คกราวด์ จะเป็นจุดหนึ่งที่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดขึ้นในระบบเคอร์ฟ UGR ได้ เนื่องจากว่าคุณสมบัติของพื้นที่ห้องจะส่งผลกระทบต่อค่าความสว่างแบล็คกราวด์ด้วยอันจะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้เกิดความคลาดเคลื่อน อีกทั้งชนิดของดวงโคมอาจจะส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนเพิ่มเติมได้อีก อันเนื่องจากการที่เคอร์ฟ UGR มีให้เลือกใช้เพียง 2 โคอะแกรมเท่านั้น

ข้อดีของวิธีเคอร์ฟ UGR ก็มีความแม่นยำสำหรับการประมาณระดับแสงจ้าและใช้ได้สำหรับเงื่อนไขมาตรฐานจำกัดเท่านั้น อีกทั้งในการอ่านค่าจากเส้นเคอร์ฟอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ เนื่องจากว่าเมื่อจุดที่เส้นเคอร์ฟจำกัดความส่องสว่างมีค่ามากที่สุดในตำแหน่งที่ห่างจากเส้นเคอร์ฟ UGR มาก ทำให้ไม่สามารถระบุค่าที่ชัดเจนได้ ต่างจากกรณีเมื่อเส้นเคอร์ฟจำกัดความส่องสว่างอยู่ชิดกับเส้นเคอร์ฟ UGR จะทำให้ระบุค่าได้ชัดเจนกว่า

จากเหตุผลที่ได้กล่าวมาข้างต้นจึงไม่แนะนำให้ใช้วิธีเคอร์ฟ UGR ในการออกแบบระบบแสงสว่าง แต่อย่างไรก็ตามวิธีเคอร์ฟ UGR จะใช้ประโยชน์ได้ดีในการช่วยออกแบบดวงโคม และช่วยในการเปรียบเทียบเพื่อเลือกใช้ดวงโคมที่มีคุณลักษณะคล้ายกันในการติดตั้งตอนแรก หรือในการเลือกใช้เพื่อที่จะเปลี่ยนทดแทนดวงโคมชนิดเดิมที่มีอยู่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

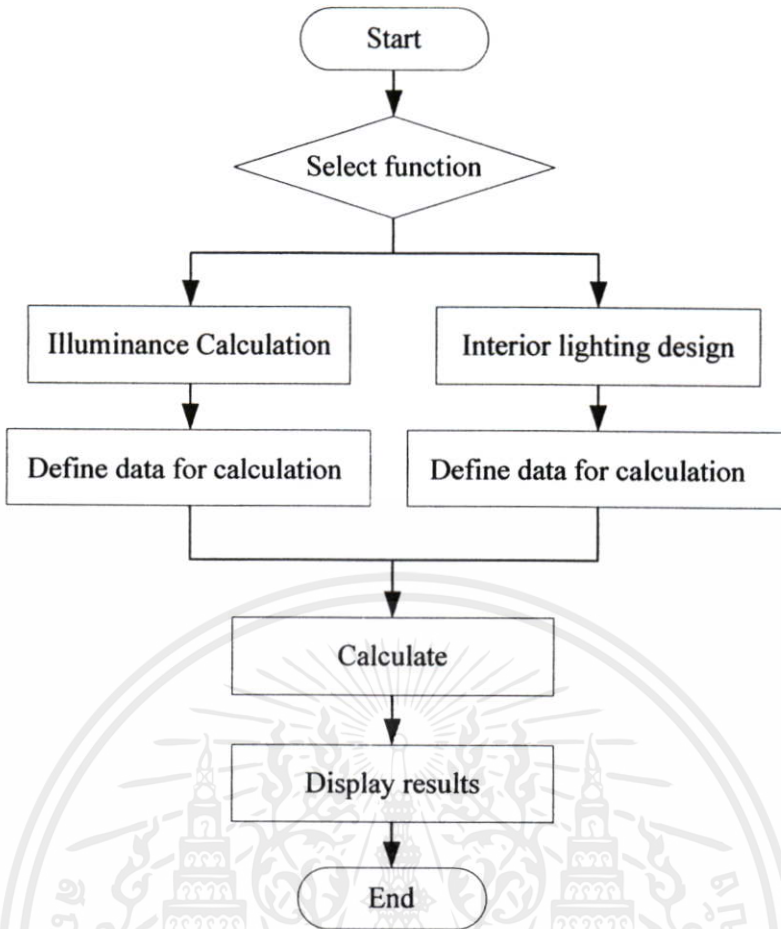
การออกแบบโปรแกรม

เนื้อหาในบทนี้ จะเป็นการกล่าวถึงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมสำหรับการออกแบบระบบแสงสว่างภายในที่พัฒนาขึ้นภายใต้การทำงานของโปรแกรมเมทแลป ซึ่งสามารถแบ่งการทำงานของโปรแกรมได้เป็น 2 ฟังก์ชัน ตามลักษณะการใช้งาน คือฟังก์ชันการคำนวณความเข้มแสงของระบบแสงสว่างภายใน และฟังก์ชันการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน อีกทั้งโปรแกรมยังมีความสามารถในการคำนวณระดับแสงจ้าที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ที่ต้องการออกแบบได้ โดยใช้หลักการคำนวณระดับแสงจ้า UGR จากวิธีสูตรการคำนวณ และจากวิธีเคอร์ฟ UGR ซึ่งสามารถเรียกใช้งานส่วนของการคำนวณระดับแสงจ้า UGR ได้จากทั้ง 2 ฟังก์ชันการทำงาน

4.1 โครงสร้างการทำงานหลักของโปรแกรม

โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมสำหรับการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 โดยเริ่มจากการเลือกฟังก์ชันการทำงานของโปรแกรม ซึ่งมีให้เลือกใช้งาน 2 ฟังก์ชัน คือ ฟังก์ชันการคำนวณความเข้มแสงของระบบแสงสว่างภายใน และฟังก์ชันการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน ซึ่งขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ใช้งาน โดยฟังก์ชันการคำนวณความเข้มแสงของระบบแสงสว่างภายใน มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการคำนวณความเข้มแสงที่เกิดขึ้นบนระนาบพื้นผิวใช้งานซึ่งเกิดจากการติดตั้งดวงโคมในพื้นที่ตามตำแหน่งที่ผู้ใช้งานกำหนด สำหรับการพิจารณาลักษณะการกระจายแสงของดวงโคมที่ทำการติดตั้ง ส่วนฟังก์ชันการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการคำนวณจำนวนดวงโคมที่ต้องใช้ในการติดตั้งและแสดงตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ระดับความเข้มแสงบนพื้นผิวใช้งานตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน เมื่อผู้ใช้งานเลือกฟังก์ชันการทำงานของโปรแกรมแล้ว ขั้นตอนต่อจากนั้นเป็นขั้นตอนการรับค่าข้อมูลจากผู้ใช้งานเพื่อใช้สำหรับการคำนวณของโปรแกรม โดยข้อมูลพื้นฐานที่ต้องการนั้นจะมีความแตกต่างกันในแต่ละฟังก์ชันดังที่จะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป เมื่อโปรแกรมรับค่าข้อมูลจากผู้ใช้งานเรียบร้อยแล้ว จะเริ่มดำเนินขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรม เพื่อให้ได้มาถึงผลลัพธ์ของระบบแสงสว่าง อันเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



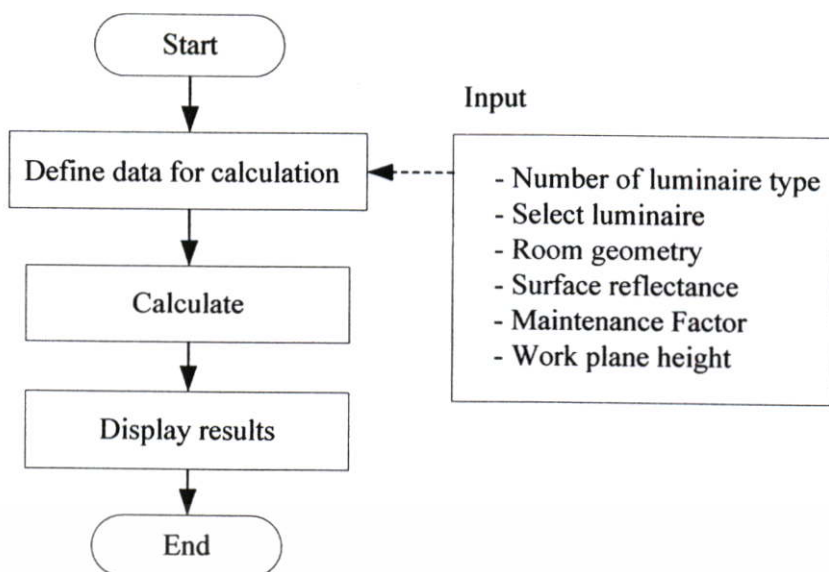
รูปที่ 4.1 โครงสร้างการทำงานหลักของโปรแกรม

4.2 ฟังก์ชันการคำนวณความเข้มแสงของระบบแสงสว่างภายใน

ฟังก์ชันการคำนวณความเข้มแสงของระบบแสงสว่างภายใน มีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงผลการกระจายความเข้มแสงบนระนาบผิวใช้งาน ในห้องที่ผู้ใช้งานเป็นผู้กำหนดขนาดและตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมแต่ละดวง ซึ่งสามารถเลือกติดตั้งดวงโคมได้หลายประเภทในระบบแสงสว่างที่ทำการออกแบบ การทำงานของโปรแกรมในฟังก์ชันการคำนวณความเข้มแสงของระบบแสงสว่างภายในประกอบไปด้วยขั้นตอนการทำงานทั้งหมด 3 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการรับค่าข้อมูลสำหรับการคำนวณ, ขั้นตอนการคำนวณ และขั้นตอนการแสดงผลลัพธ์จากการคำนวณ ดังแสดงได้ในรูปที่

4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการทำงานของฟังก์ชันการคำนวณความเข้มแสงของระบบแสงสว่างภายใน

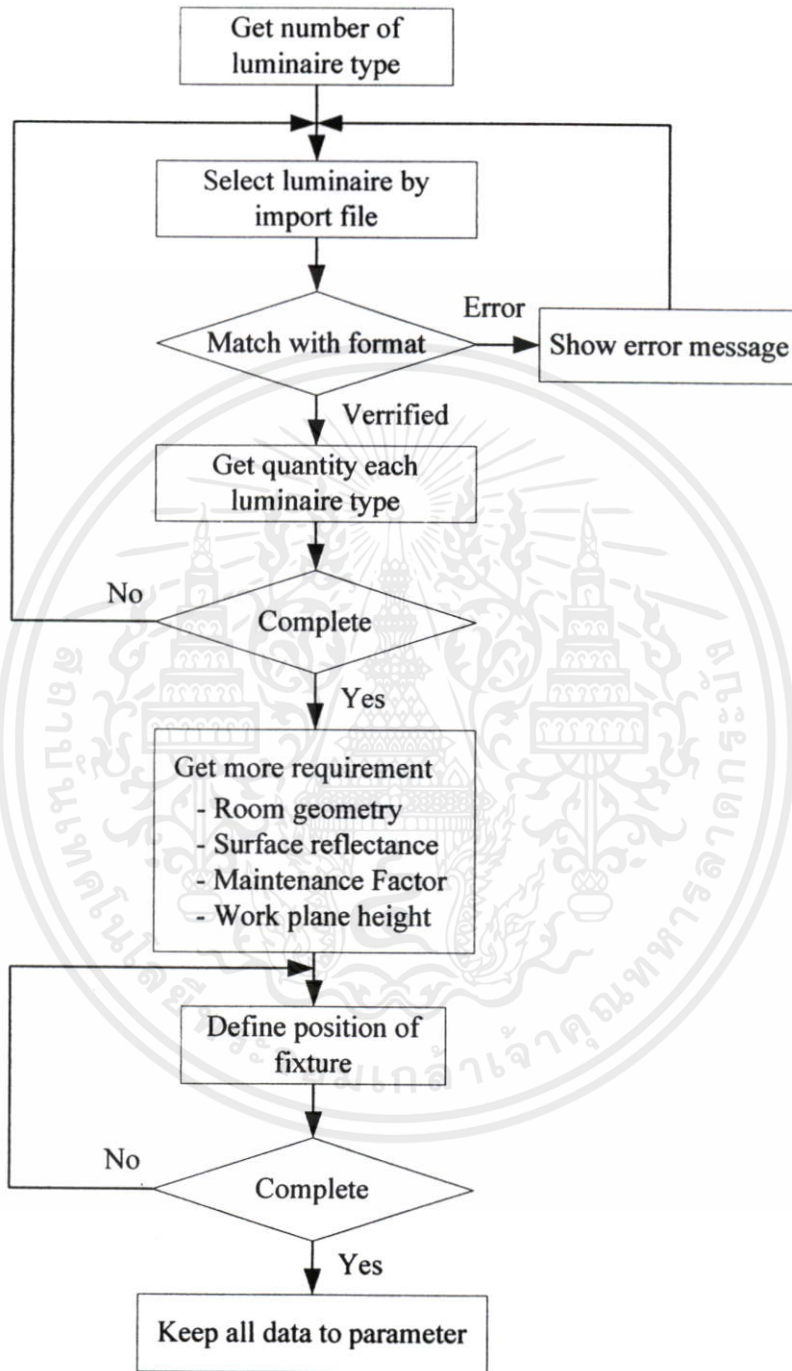
4.2.1 ขั้นตอนการรับค่าข้อมูลสำหรับการคำนวณ

ในขั้นตอนการรับค่าข้อมูลสำหรับการคำนวณ โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างขึ้นมาเพื่อให้ผู้ใช้งานทำการระบุข้อมูลที่ต้องการกำหนด สำหรับการประมวลผลของโปรแกรม อันประกอบไปด้วย จำนวนชนิดของดวงโคมที่ต้องการใช้งานในระบบแสงสว่างภายใน ซึ่งโปรแกรมได้ถูกออกแบบให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกดวงโคมได้มากกว่า 1 ชนิด เพื่อทำการติดตั้งลงในพื้นที่ออกแบบได้

จากนั้น โปรแกรมจะรับค่าข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่างของดวงโคม ที่ได้จัดเก็บอยู่ในรูปแบบของไฟล์ข้อมูลมาตรฐาน IES[11] และ CIE[12] แต่ก่อนที่จะดำเนินการต่อไป โปรแกรมจะทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลมาตรฐานที่ได้รับ หากข้อมูลไม่ถูกต้องหรือไม่เป็นไปตามรูปแบบมาตรฐานนั้นๆ โปรแกรมจะแสดงข้อความแจ้งสถานะการนำเข้าข้อมูลให้ผู้ใช้งานทราบ ถึงความผิดปกติของรูปแบบข้อมูลมาตรฐาน แต่หากตรวจสอบข้อมูลแล้วมีความถูกต้อง จึงจะทำการรับค่าข้อมูล และจำนวนดวงโคมในแต่ละชนิดที่ทำการระบุในข้างต้น

หลังจากนั้นจะเข้าสู่หน้าต่างการรับค่าข้อมูล ของพื้นที่ห้องที่ทำการออกแบบอันประกอบไปด้วย ขนาดของห้องที่ต้องการใช้งาน, ค่าการสะท้อนของพื้นผิวเพดาน ผนังและพื้นห้อง, ตัวประกอบการบำรุงรักษา และระดับความสูงของระนาบพื้นผิวใช้งานจากพื้นห้อง สุดท้ายจะเป็นการระบุตำแหน่งการติดตั้งของดวงโคมแต่ละดวงที่ได้เลือกไว้ในข้างต้น ซึ่งโปรแกรมจะแสดงหน้าต่างให้ผู้ใช้งานสามารถระบุตำแหน่งของดวงโคมหลายดวงในลักษณะแถวต่อเนื่อง หรือสามารถระบุตำแหน่งของดวงโคมเฉพาะแต่ละดวงได้

เมื่อผู้ใช้งานระบุข้อมูลครบถ้วนแล้ว โปรแกรมจะทำการบันทึกข้อมูลทั้งหมดที่ได้รับอยู่ในตัวแปรต่างๆ ที่โปรแกรมได้สร้างขึ้น เพื่อใช้สำหรับการคำนวณในขั้นตอนถัดไป ซึ่งโคอะแกรมการทำงานในขั้นตอนการรับค่าข้อมูลสำหรับการคำนวณสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 โคอะแกรมการทำงานของขั้นตอนการรับค่าข้อมูลสำหรับการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ขั้นตอนการคำนวณ

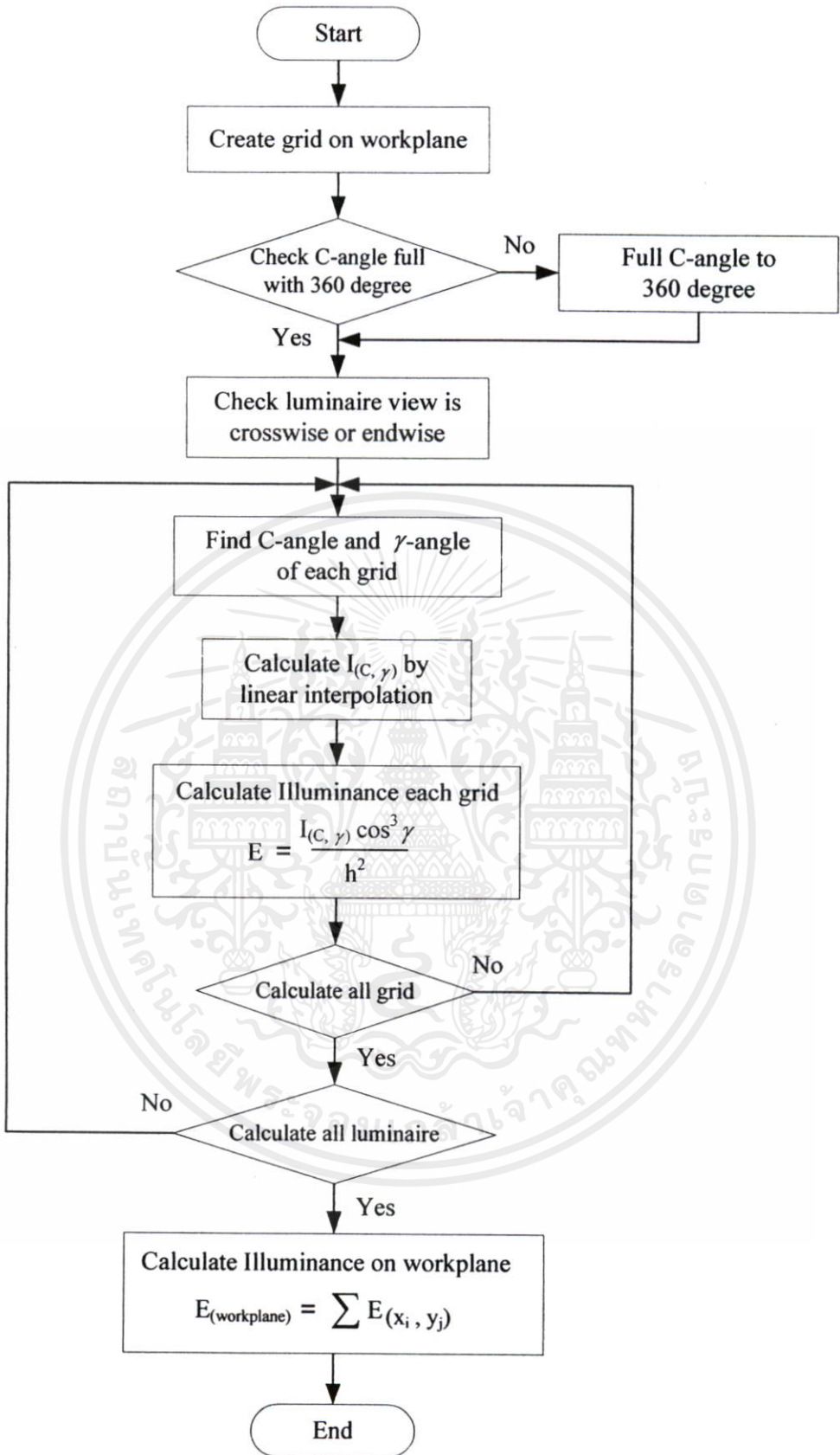
โปรแกรมจะนำข้อมูลที่รับจากขั้นตอนการรับค่าข้อมูลสำหรับการคำนวณ มาเข้าสู่ขั้นตอนการคำนวณความเข้มแสงบนระนาบผิวใช้งานในห้องที่ผู้ใช้งานกำหนด ซึ่งจะทำการคำนวณความเข้มแสงที่เกิดขึ้นจากดวงโคมแต่ละดวงโคม ที่กระจายฟลักซ์ส่องสว่างส่งผลบนพื้นผิวใช้งาน โดยใช้การคำนวณความเข้มแสงโดยตรงวิธีจุดต่อจุด ตามสมการที่ 2.32

การทำงานของโปรแกรมจะเริ่มจาก การแบ่งกริดบนพื้นผิวใช้งานออกเป็นจุดย่อยสำหรับการคำนวณ ต่อจากนั้นจะทำการตรวจสอบข้อมูลมุมระนาบนอนของไฟล์ข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมว่าครบรอบ 360 องศาหรือไม่ หากไม่ครบโปรแกรมจะทำการสร้างข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมให้ครบรอบ 360 องศา โดยกรณีที่มีข้อมูลมุมระนาบนอน 90 องศาหมายถึงดวงโคมมีการกระจายแสงแบบสมมาตร 2 แกน กล่าวคือสมมาตรในแกนมุมระนาบนอน 0° , 180° และสมมาตรในแกนมุมระนาบนอน 90° , 270° ส่วนกรณีที่มีข้อมูลมุมระนาบนอนเพียงมุมเดียว หมายถึงดวงโคมมีการกระจายแสงแบบสมมาตรรอบแกนแนวตั้ง จากนั้น โปรแกรมจะทำการตรวจสอบแนวการติดตั้งดวงโคมว่า ติดตั้งในแนวขนานกับความยาวของห้องหรือติดตั้งในแนวตั้งฉากกับความยาวของห้อง ซึ่งจะส่งผลกับการคำนวณมุมระนาบนอนของแต่ละกริด ขั้นตอนต่อไป โปรแกรมจะทำการคำนวณมุมระนาบนอนและมุมแนวตั้งของแต่ละกริดเทียบกับดวงโคมแต่ละดวงโคม หากมุมระนาบนอนและมุมแนวตั้งของดวงโคมใดในแต่ละกริด ไม่ตรงกับข้อมูลพื้นฐานของดวงโคมที่โปรแกรมได้รับเข้ามา โปรแกรมจะทำการประมาณค่าความเข้มส่องสว่างในแต่ละกริด โดยการประมาณค่าจะใช้หลักการบนพื้นฐานของการคำนวณค่าประมาณเชิงเส้น

จากนั้นเป็นการคำนวณความเข้มแสงที่แต่ละจุดกริด โดยคำนวณได้จากผลคูณของความเข้มส่องสว่างที่ได้รับจากการประมาณเชิงเส้น กับค่าโคไซน์ของมุมแนวตั้งยกกำลังสาม หาค่าด้วยความสูงจากระนาบผิวใช้งานถึงดวงโคมยกกำลังสอง ตามสมการที่ 2.32 โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าความเข้มแสงจนครบทุกจุดกริดที่ทำการแบ่งบนพื้นผิวใช้งาน จากนั้นจะทำการคำนวณความเข้มแสงบนแต่ละจุดกริดจากดวงโคมถัดไปเรื่อยๆ จนกระทั่งครบทุกดวงโคมที่ทำการติดตั้ง

ขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการคำนวณค่าความเข้มแสงรวมบนพื้นผิวใช้งาน อันเป็นผลมาจากดวงโคมทุกดวง ซึ่งความเข้มแสง ณ แต่ละจุดกริดบนพื้นผิวใช้งานจะเป็นผลรวมของความเข้มแสงจากทุกดวงโคม ณ จุดกริดนั้น สามารถสรุปขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมได้ดังไดอะแกรมการทำงานของโปรแกรม ในรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

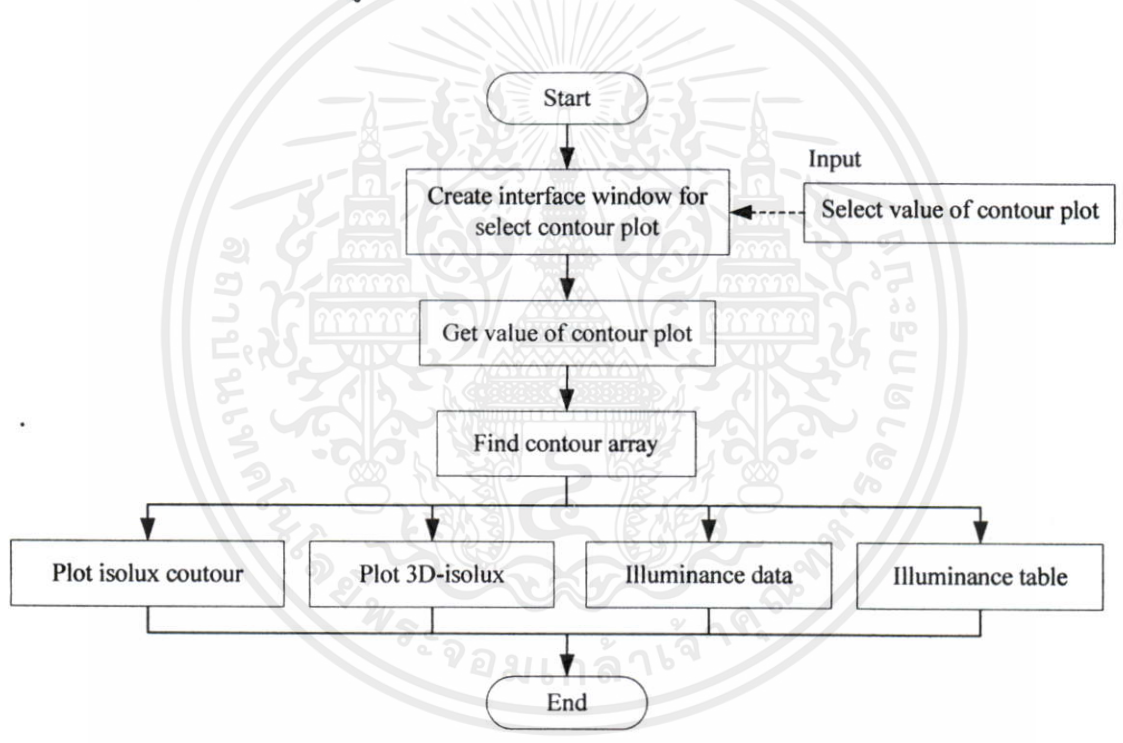


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งขอสงวนลิขสิทธิ์ในสิ่งของของมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์บุรีรัมย์

รูปที่ 4.4 โค้ดอะแกรมการทำงานของขั้นตอนการคำนวณ

4.2.3 ขั้นตอนการแสดงผลลัพธ์จากการคำนวณ

ในขั้นตอนการแสดงผลลัพธ์จากการคำนวณ จะนำผลจากขั้นตอนการคำนวณมาแสดงผล ในรูปของเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าบนระนาบ 2 มิติ และระนาบ 3 มิติ การทำงานในขั้นตอนการแสดงผลลัพธ์จากการคำนวณ โปรแกรมจะสร้างหน้าต่างติดต่อกับผู้ใช้งานเพื่อเลือกค่าของเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าที่ต้องการให้แสดงผล ซึ่งสามารถเลือกค่าความเข้มแสงในหน่วยลักซ์ หรือเลือกให้แสดงผลในค่าของอัตราส่วนความเข้มแสงต่อความเข้มแสงสูงสุดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ เมื่อโปรแกรมทำการรับค่าจากผู้ใช้งานแล้ว จะทำการคำนวณเพื่อสร้างอาร์เรย์ของค่าเส้นโค้งความเข้มแสงเท่า สำหรับการแสดงผลในรูปของเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าบนระนาบ 2 มิติ และระนาบ 3 มิติ พร้อมทั้งสามารถแสดงค่าข้อมูลความเข้มแสงบนระนาบพื้นผิวใช้งานที่คำนวณได้ ในรูปของค่าข้อมูลความเข้มแสงและตารางค่าความเข้มแสง ณ แต่ละจุดกริดบนพื้นผิวใช้งานได้ โดยสามารถแสดงขั้นตอนการทำงานได้ดังรูปที่ 4.5

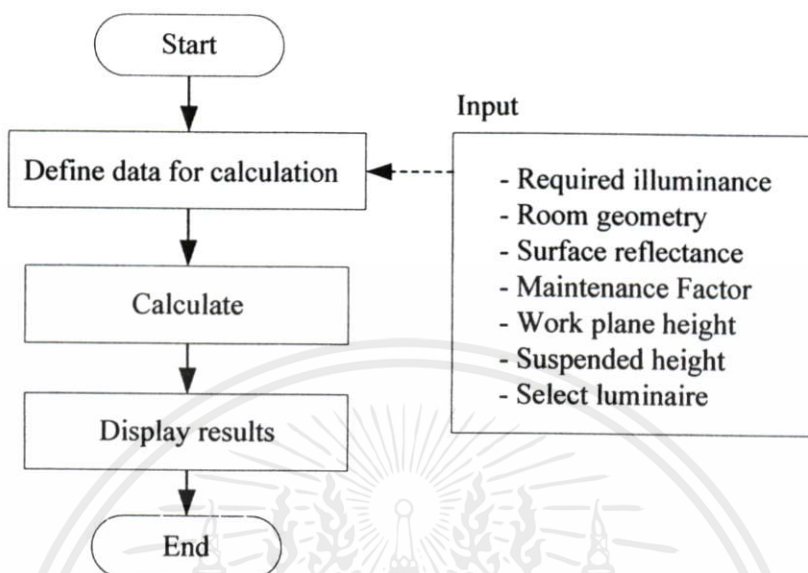


รูปที่ 4.5 ไคอะแกรมการทำงานของขั้นตอนการแสดงผลลัพธ์จากการคำนวณ

4.3 ฟังก์ชันการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน

ฟังก์ชันการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน มีวัตถุประสงค์เพื่อคำนวณจำนวนดวงโคมที่เหมาะสมในการใช้งานสำหรับพื้นที่ที่ต้องการออกแบบ และแสดงตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมที่โปรแกรมแนะนำ เพื่อให้ผลความเข้มแสงบนพื้นผิวใช้งานมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งระนาบ

การทำงานของโปรแกรมในฟังก์ชันการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน ประกอบไปด้วย ขั้นตอนการทำงาน 3 ขั้นตอนคือ การรับค่าข้อมูลสำหรับการคำนวณ, การคำนวณ, และการแสดงผลพิกซ์จากการคำนวณ ดังแสดงได้ในรูปที่ 4.6



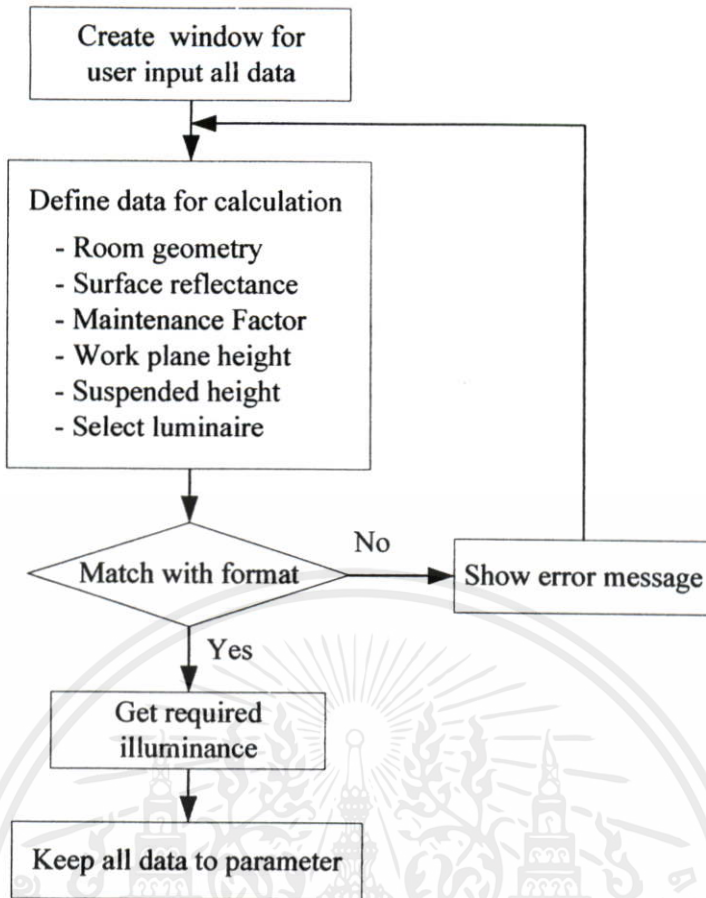
รูปที่ 4.6 ขั้นตอนการทำงานของฟังก์ชันการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน

4.3.1 ขั้นตอนการรับค่าข้อมูลสำหรับการคำนวณ

ขั้นตอนการรับค่าข้อมูลสำหรับการคำนวณ เริ่มจาก โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างติดต่อกับ ผู้ใช้งาน สำหรับป้อนข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการคำนวณอันประกอบไปด้วย ขนาดของห้องที่ต้องการออกแบบ, ค่าการสะท้อนของพื้นผิวเพดาน ผนังและพื้นห้อง, ตัวประกอบการบำรุงรักษา, ระดับความสูงของระนาบพื้นผิวใช้งานจากพื้นห้อง, ระยะแขวนดวง โคมจากเพดานห้อง และข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่างของดวงโคมที่ต้องการใช้ติดตั้งภายในห้องที่ต้องการออกแบบ ซึ่งบันทึกในรูปแบบของไฟล์ข้อมูลมาตรฐาน IES และ CIE โดยโปรแกรมจะทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลมาตรฐาน เช่นเดียวกับขั้นตอนการรับค่าข้อมูลสำหรับการคำนวณของฟังก์ชันการคำนวณความเข้มแสงของระบบแสงสว่างภายใน ตามหัวข้อที่ 4.2.1

หลังจากนั้นทำการรับค่าความเข้มแสงเฉลี่ย บนพื้นผิวใช้งานที่ต้องการในระบบแสงสว่างภายในจากผู้ใช้งาน ซึ่งโคอะแกรมการทำงานในขั้นตอนการรับค่าข้อมูลสำหรับการคำนวณสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

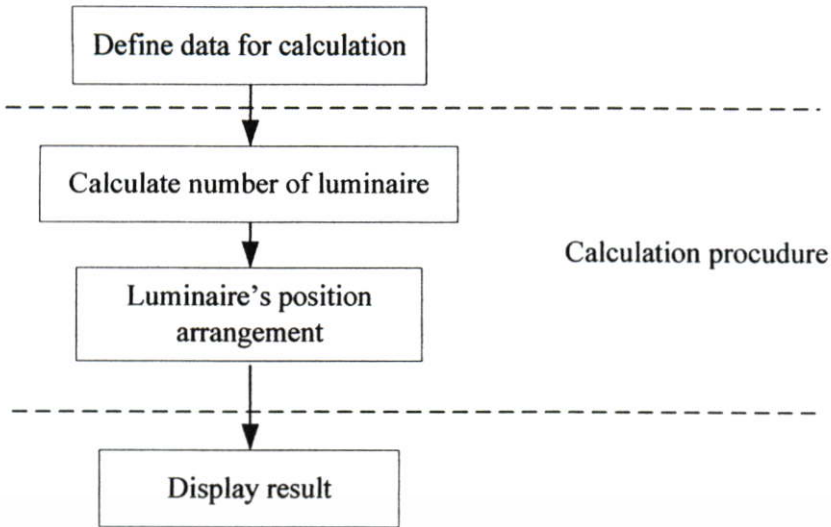


รูปที่ 4.7 ไคอะแกรมการทำงานของขั้นตอนการรับค่าข้อมูลสำหรับการคำนวณ

4.3.2 ขั้นตอนการคำนวณ

ขั้นตอนการคำนวณของฟังก์ชันการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน สามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ การคำนวณจำนวนดวงโคม และการคำนวณตำแหน่งการจัดวางดวงโคม ดังแสดงในรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 โค้ดโปรแกรมทำงานของขั้นตอนการคำนวณ

4.3.2.1 การคำนวณจำนวนดวงโคม

การคำนวณในส่วนนี้ เป็นการคำนวณจำนวนดวงโคมที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งภายในพื้นที่ระบบแสงสว่างภายในที่ต้องการออกแบบ เพื่อให้ได้ระดับความเข้มแสงเฉลี่ยบนพื้นผิวใช้งานมีค่าตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน โดยใช้วิธีการคำนวณความเข้มแสงเฉลี่ยโดยหลักการโชนอลควิตี้ ดังที่กล่าวในหัวข้อที่ 2.1.1 โค้ดโปรแกรมทำงานของโปรแกรมในส่วนการคำนวณจำนวนดวงโคมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.9 โดยขั้นตอนการคำนวณจะเริ่มจากการคำนวณตัวแปรต่างๆ สำหรับการคำนวณจำนวนดวงโคมดังต่อไปนี้

1. อัตราส่วนควิตี้ของแต่ละควิตี้อันประกอบไปด้วย ควิตี้เพดาน, ควิตี้ห้องและควิตี้พื้น ตามสมการที่ 2.1, 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ
2. ฟอรั่มแฟคเตอร์สำหรับการคำนวณค่าการสะท้อนเสมือน ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความยาวของห้อง, ความกว้างของห้อง, ความสูงควิตี้เพดานและความสูงควิตี้พื้น โดยคำนวณได้จากสมการที่ 2.5
3. ค่าการสะท้อนเสมือนของควิตี้เพดานและค่าการสะท้อนเสมือนของควิตี้พื้น ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความยาวของห้อง, ความกว้างของห้อง, ค่าการสะท้อนของเพดาน, ค่าการสะท้อนของพื้นและฟอรั่มแฟคเตอร์ที่ได้จากข้อ 2 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.4
4. ฟอรั่มแฟคเตอร์จากควิตี้เพดานไปยังควิตี้พื้น ซึ่งเป็นฟังก์ชันของอัตราส่วนควิตี้ห้อง โดยคำนวณได้จากสมการที่ 2.18

5. ตัวแปรพารามิเตอร์ C_1 , C_2 , C_3 และ C_0 ซึ่งเป็นฟังก์ชันของค่าการสะท้อนของผนัง, ค่าการสะท้อนเสมือนของควิตี้เพดาน, ค่าการสะท้อนเสมือนของควิตี้พื้น, อัตราส่วนควิตี้ห้อง

และฟลักซ์ทรานเฟอร์ฟังก์ชันจากควิตีเพดานไปยังควิตีพื้น โดยคำนวณได้จากสมการที่ 2.14, 2.15, 2.16 และ 2.17

6. ฟลักซ์ส่องสว่างในแต่ละโซนย่อยทั้ง 18 โซน โดยการแบ่งโซนตามมุมแนวคิง ออกเป็นโซนย่อยโซนละ 10 องศา จากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณฟลักซ์ส่องสว่างในแต่ละโซนย่อยดังสมการที่ 2.6

7. อัตราส่วนฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องลงด้านล่าง ซึ่งเป็นอัตราส่วนของผลรวมฟลักซ์ส่องสว่างในโซนย่อยที่ 1 ถึงโซนย่อยที่ 9 ต่อฟลักซ์ส่องสว่างรวมทั้งหมดจากหลอดไฟ

8. อัตราส่วนฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องขึ้นด้านบน ซึ่งเป็นอัตราส่วนของผลรวมฟลักซ์ส่องสว่างในโซนย่อยที่ 10 ถึงโซนย่อยที่ 18 ต่อฟลักซ์ส่องสว่างรวมทั้งหมดจากหลอดไฟ

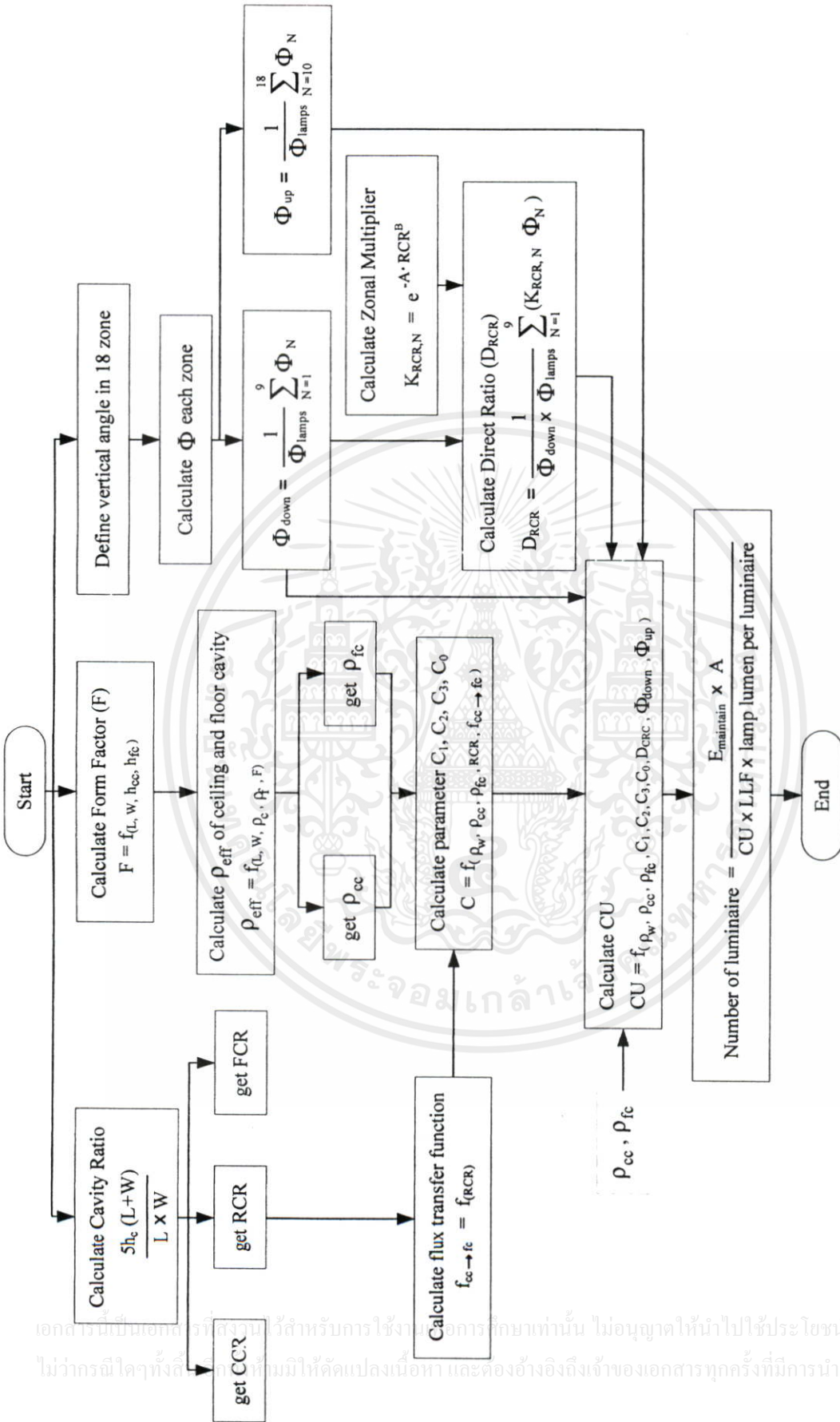
9. ค่าตัวคูณประจำโซน คำนวณได้ดังสมการที่ 2.13

10. อัตราส่วนโดยตรง เป็นอัตราส่วนของผลรวมของฟลักซ์ส่องสว่างในโซนย่อยที่ 1 ถึงโซนย่อยที่ 9 คูณด้วยค่าตัวคูณประจำโซนนั้น ๆ ต่อผลคูณของอัตราส่วนฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องลงด้านล่างกับฟลักซ์ส่องสว่างรวมทั้งหมดจากหลอดไฟ คำนวณได้ดังสมการที่ 2.12

11. สัมประสิทธิ์การใช้งาน ซึ่งเป็นฟังก์ชันของค่าการสะท้อนของผนัง, ค่าการสะท้อนเสมือนของควิตีเพดาน, ค่าการสะท้อนเสมือนของควิตีพื้น, ค่าตัวแปรพารามิเตอร์ C_1 , C_2 , C_3 และ C_0 , อัตราส่วนโดยตรง, อัตราส่วนฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องขึ้นด้านบน และอัตราส่วนฟลักซ์ส่องสว่างที่ส่องลงด้านล่าง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.19 และ 2.20

เมื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะคำนวณจำนวนดวงโคมที่เหมาะสมในการติดตั้งภายในระบบแสงสว่างภายในที่ต้องการออกแบบ ได้จากสมการที่ 2.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ไลอะแกรมการทำงานในส่วนการคำนวณจำนวนดวงโคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น หากท่านมีให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.2 การคำนวณตำแหน่งการจัดวางดวงโคม

เมื่อคำนวณได้ผลลัพธ์จำนวนดวงโคมจากส่วนการคำนวณข้างต้นแล้ว โปรแกรมจะทำการคำนวณตำแหน่งการติดตั้งดวงโคม โดยการพิจารณาโอกาสที่เป็นไปได้สำหรับการจัดเรียงดวงโคม ในลักษณะแถวสม่ำเสมอที่จะทำให้ได้จำนวนดวงโคมเท่ากับที่คำนวณได้หรือใกล้เคียงที่สุด โดยที่ระยะห่างระหว่างแถวของดวงโคมทั้งด้านกว้างและด้านยาวของห้อง มีค่าไม่มากกว่าอัตราส่วนระยะห่างสูงสุดของดวงโคมต่อระยะความสูงของดวงโคมถึงพื้นผิวใช้งานที่ยอมรับได้ โดยพิจารณาจากเกณฑ์ระยะห่างระหว่างดวงโคมดังที่กล่าวในหัวข้อที่ 2.1.1.7

4.3.3 ขั้นตอนการแสดงผลจากการคำนวณ

ในขั้นตอนการแสดงผลจากการคำนวณ จะแสดงผลในรูปแบบของการจัดเรียงดวงโคมที่ได้จากขั้นตอนการคำนวณในพื้นที่ห้องที่ต้องการออกแบบ โดยสามารถแสดงเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าจากการจัดเรียงดวงโคมตามที่โปรแกรมคำนวณบนระนาบ 2 มิติและระนาบ 3 มิติ พร้อมกับสามารถแสดงค่าข้อมูลความเข้มแสงบนระนาบพื้นผิวใช้งานที่คำนวณได้ ในรูปของค่าข้อมูลความเข้มแสงและตารางค่าความเข้มแสง ณ แต่ละจุดกริดบนพื้นผิวใช้งานได้เช่นเดียวกับการแสดงผลในฟังก์ชันการคำนวณความเข้มแสงของระบบแสงสว่างภายใน

การแสดงผลการจัดเรียงดวงโคมที่ได้จากการคำนวณในห้องที่ทำการออกแบบ จะแสดงการติดตั้งดวงโคม ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนระนาบเพดานในมุมมองจากทางด้านบนในแผนผังของห้อง

การแสดงผลเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าจากการจัดเรียงดวงโคม ตามที่โปรแกรมคำนวณบนระนาบ 2 มิติและระนาบ 3 มิติ จะทำการแสดงค่าเส้นโค้งตามค่าที่ผู้ใช้งานระบุ ซึ่งสามารถเลือกค่าความเข้มแสงในหน่วยลักซ์ หรือเลือกให้แสดงผลในค่าของอัตราส่วนความเข้มแสงต่อความเข้มแสงสูงสุดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้

4.4 การคำนวณระดับแสงจ้า UGR โดยวิธีสูตรการคำนวณ

การทำงานของโปรแกรมในส่วนการคำนวณระดับแสงจ้า UGR มีวัตถุประสงค์เพื่อคำนวณระดับแสงจ้าระคายตาที่ส่งผลต่อผู้ที่ทำงานในพื้นที่ที่ทำการออกแบบ โปรแกรมจะทำการคำนวณโดยใช้วิธีสูตรการคำนวณระดับแสงจ้า UGR ดังที่กล่าวในบทที่ 3 ซึ่งไดอะแกรมการทำงานสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.10

การคำนวณระดับแสงจ้า UGR โดยวิธีสูตรการคำนวณสามารถเรียกใช้งานได้จากทั้ง 2 ฟังก์ชันการทำงานของโปรแกรม คือเรียกใช้งานจากฟังก์ชันการคำนวณความเข้มแสงของระบบแสงสว่างภายใน และเรียกใช้งานจากฟังก์ชันการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน

การทำงานของโปรแกรมจะเริ่มจากการคำนวณตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับการคำนวณระดับแสงจ้า UGR ดังต่อไปนี้

1. ความเข้มส่องสว่างของดวงโคมในมุมระนาบนอน และมุมแนวตั้งตามทิศทางการมองของผู้สังเกต โดยวิธีประมาณเชิงเส้นค่าความเข้มส่องสว่างจากข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคม
2. พื้นที่ส่องแสงของดวงโคมในทิศทางการมองของผู้สังเกต โดยพิจารณาได้จากลักษณะการเปล่งแสงของดวงโคมดังแสดงในตารางที่ 3.1
3. ความส่องสว่างของดวงโคมในทิศทางการมองของผู้สังเกต คำนวณได้ดังสมการที่ 3.4
4. มุมเชิงของแข็ง ณ จุดดวงตาผู้สังเกต คำนวณได้ดังสมการที่ 3.6
5. ดัชนีตำแหน่งของดวงโคมเทียบกับจุดดวงตาผู้สังเกต คำนวณได้โดยวิธีประมาณเชิงเส้นจากตารางที่ 3.2 ซึ่งเป็นตารางที่แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วน H/R และอัตราส่วน T/R ซึ่งค่าพารามิเตอร์ R, T, H เป็นพิกัดของตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมโดยวัดจากจุดศูนย์กลางของดวงโคมเทียบกับจุดดวงตาผู้สังเกต ดังแสดงในรูปที่ 3.3
6. ความเข้มแสงเฉลี่ยบนระนาบพื้นผิวใช้งาน โดยใช้การคำนวณความเข้มแสงโดยตรงวิธีจุดต่อจุดดังที่ได้กล่าวในบทที่ 2
7. พลักซ์ส่องสว่างบนระนาบพื้นผิวใช้งาน ซึ่งเป็นผลคูณของความเข้มแสงเฉลี่ยบนระนาบพื้นผิวใช้งานและพื้นที่ของพื้นผิวใช้งาน ดังสมการที่ 3.12
8. ตัวประกอบการกระจายแสงบนระนาบพื้นผิว ซึ่งเป็นอัตราส่วนของพลักซ์ส่องสว่างบนระนาบพื้นผิวใช้งานต่อพลักซ์ส่องสว่างจากหลอดไฟทั้งหมด ดังสมการที่ 3.14
9. ตัวประกอบการกระจายแสงบนผนัง ซึ่งคำนวณได้จากอัตราส่วนพลักซ์ส่องสว่างที่ส่องลงด้านต่างลบด้วยตัวประกอบการกระจายแสงบนระนาบพื้นผิว ดังสมการที่ 3.17
10. ตัวประกอบการกระจายแสงบนเพดาน ซึ่งมีค่าเท่ากับอัตราส่วนพลักซ์ส่องสว่างที่ส่องขึ้นด้านบน ดังสมการที่ 3.15 และสมการที่ 3.16
11. ดัชนีห้อง เป็นอัตราส่วนของมิติห้อง สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.24
12. ตัวประกอบการกระจายแสงบนพื้นผิว คำนวณได้จากตารางที่ 3.3 โดยวิธีประมาณเชิงเส้น
13. เมตทริกซ์ $[F]^{-1}$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของตัวประกอบการกระจายแสงบนพื้นผิว, ค่าการสะท้อนของผนัง, ค่าการสะท้อนเสมือนของควาดีเพดาน, ค่าการสะท้อนเสมือนของควาดีพื้น และค่าดัชนีห้อง ดังสมการที่ 3.33
14. ตัวประกอบการใช้ประโยชน์แสงบนพื้นผิวต่าง ๆ ซึ่งเป็นผลคูณของเมตทริกซ์ $[F]^{-1}$ และเมตทริกซ์ค่าตัวประกอบการกระจายแสงบนพื้นผิวต่าง ๆ คือเพดาน ผนัง และผนัง ดังสมการที่ 3.32
15. ความเข้มแสงรวมบนผนัง คำนวณได้ดังสมการที่ 3.34
16. ความเข้มแสงโดยตรงบนผนัง คำนวณได้ดังสมการที่ 3.35

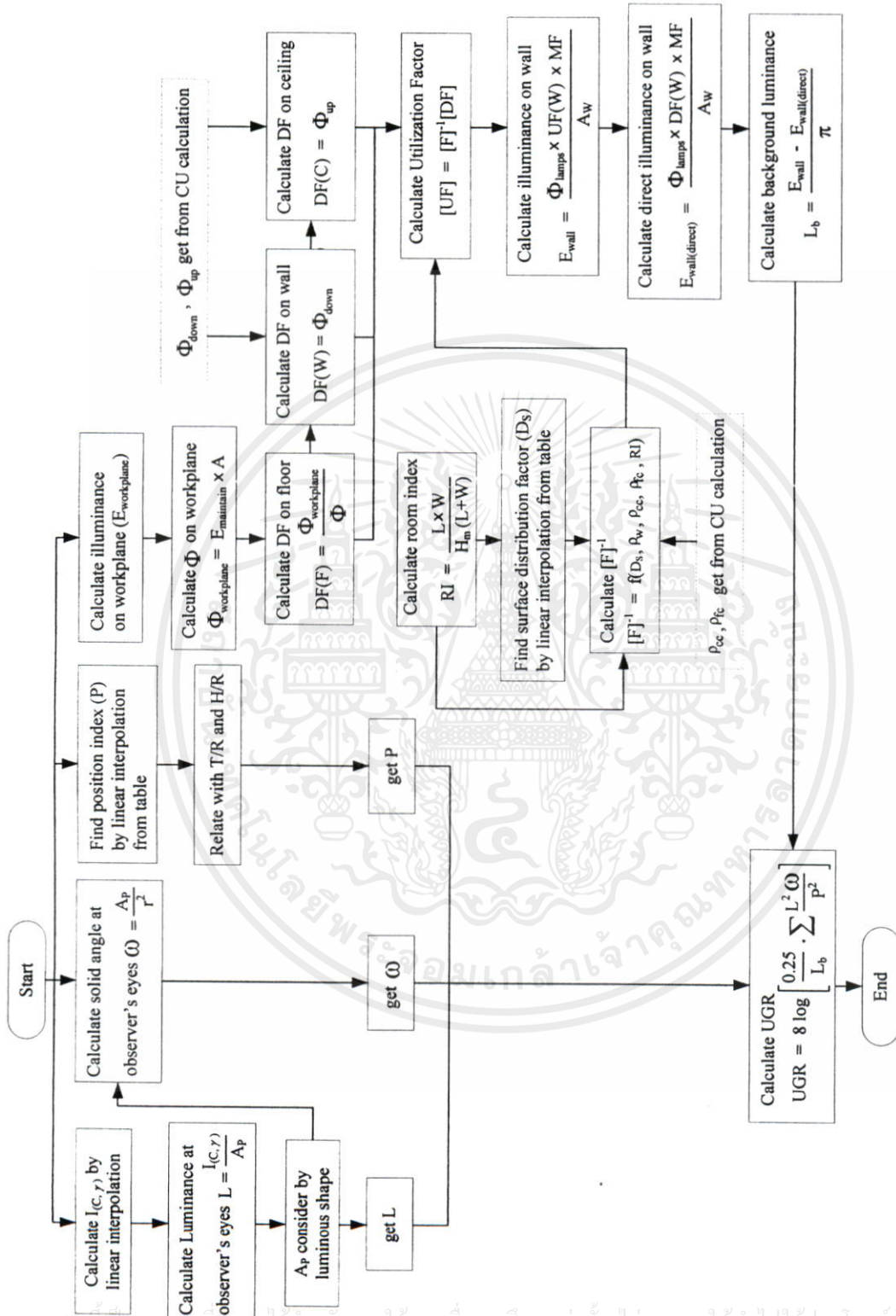
17. ความส่องสว่างแบล็คกราวด์ เป็นค่าของความเข้มแสงโดยอ้อมบนผนัง คำนวณได้ดังสมการที่ 3.36

เมื่อคำนวณค่าตัวแปรสำหรับการคำนวณระดับแสงจ้า UGR เรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าระดับแสงจ้า UGR ได้จากสมการที่ 3.3 โดยจะทำการคำนวณ ณ ตำแหน่งผู้สังเกตทั้งหมด 4 จุด แสดงตำแหน่งการพิจารณาได้ดังรูปที่ 3.6

การแสดงผลระดับแสงจ้า UGR จากการคำนวณโดยวิธีสูตรการคำนวณ จะแสดงเป็นค่าตัวเลขระดับแสงจ้ามีค่าระหว่าง 10 ถึง 30 หน่วย จากตำแหน่งการมองของผู้สังเกต 4 ตำแหน่งที่มีโอกาสเกิดแสงจ้ามากที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ไดอะแกรมการทำงานในส่วนการคำนวณระดับแสงจ้า UGR โดยวิธีสูตรการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

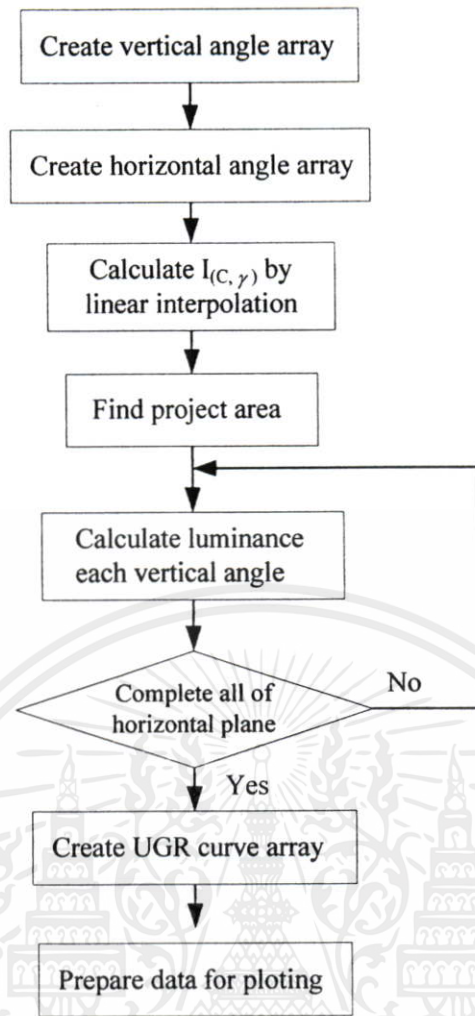
4.5 การคำนวณระดับแสงจ้า UGR โดยวิธีเคอร์ฟ UGR

การคำนวณระดับแสงจ้า UGR โดยวิธีเคอร์ฟ UGR สามารถเรียกใช้งานได้จากทั้ง 2 ฟังก์ชันการทำงานของโปรแกรม คือเรียกใช้งานจากฟังก์ชันการคำนวณความเข้มแสงของระบบแสงสว่างภายใน และเรียกใช้งานจากฟังก์ชันการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน เช่นเดียวกับการคำนวณระดับแสงจ้า UGR โดยวิธีสูตรการคำนวณ

การคำนวณระดับแสงจ้า UGR โดยวิธีเคอร์ฟ UGR เริ่มจากการสร้างอาเรย์ของมุมแนวตั้ง ช่วงตั้งแต่มุม 45 องศาถึงมุม 85 องศา ขนาดช่วงละ 5 องศา จากนั้นทำการสร้างอาเรย์มุมระนาบนอนที่ต้องการคำนวณเส้นเคอร์ฟจำกัดความส่องสว่างซึ่งแสดงถึงเส้นแนวตำแหน่งทิศทางการมองของผู้สังเกตไปยังดวงโคม ในแนวมุมระนาบนอน $0^\circ - 180^\circ$ และ $90^\circ - 270^\circ$ จากนั้นทำการคำนวณความเข้มส่องสว่างในแต่ละมุมระนาบนอนและมุมแนวตั้ง โดยการประมาณเชิงเส้นจากข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคม และคำนวณพื้นที่ส่องแสงของดวงโคมในแต่ละทิศทางการมองในแต่ละมุมแนวตั้ง โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าความส่องสว่างในแต่ละมุมแนวตั้งช่วงตั้งแต่มุม 45 องศาถึงมุม 85 องศา ขนาดช่วงละ 5 องศา ดังสมการที่ 3.4 และทำการคำนวณจนครบทุกมุมระนาบนอนที่กำหนดในอาเรย์มุมระนาบนอนที่ได้ทำการสร้างขึ้น เพื่อเก็บค่าจากการคำนวณสำหรับขั้นตอนการแสดงผลต่อไป โดยการทำงานของโปรแกรมคำนวณระดับแสงจ้า UGR โดยวิธีเคอร์ฟ UGR แสดงได้ดังรูปที่ 4.11

การแสดงผลระดับแสงจ้า UGR โดยวิธีเคอร์ฟ UGR จะแสดงไดอะแกรมของเคอร์ฟ UGR และเส้นเคอร์ฟจำกัดความส่องสว่างของดวงโคม ในช่วงมุมตั้งตั้งแต่มุม 45 องศาถึงมุม 85 องศา จำนวน 2 เส้นเคอร์ฟตามแนวการมองในมุมระนาบนอนที่ $0^\circ - 180^\circ$ และ $90^\circ - 270^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ไคอะแกรมการทำงานในส่วนการคำนวณระดับแสงจ้า UGR โดยวิธีเคอร์ฟ UGR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

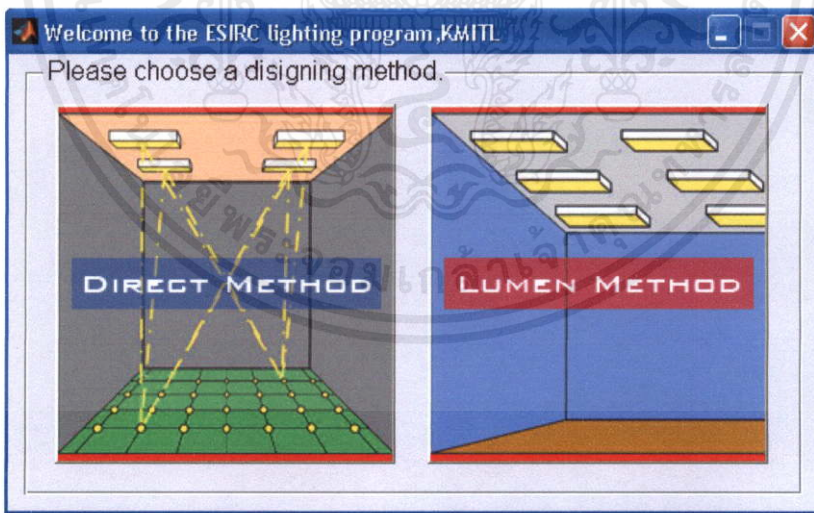
ผลการทดสอบการใช้งานโปรแกรม

เนื้อหาในบทนี้ เป็นการแสดงผลการใช้งานของ โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสำหรับการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน ซึ่งมีขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมดังที่กล่าวในบทที่ 4 โดยทำการทดสอบการทำงานใน 2 ฟังก์ชันการทำงานหลักอันได้แก่ ฟังก์ชันการคำนวณความเข้มแสงของระบบแสงสว่างภายใน และฟังก์ชันการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสำหรับการออกแบบระบบแสงสว่างภายในที่ได้กล่าวในวิทยานิพนธ์นี้ ทำการประยุกต์ใช้งานโดยโปรแกรม MATLAB รุ่น R2007a ซึ่งโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นนี้มีชื่อเรียกว่า ESIRC Program

5.1 ผลการทำงานของโปรแกรม

เมื่อมีการเรียกใช้งานโปรแกรม โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างให้ผู้ใช้งานทำการเลือกฟังก์ชันการทำงานที่ตรงตามความต้องการ คือฟังก์ชันการคำนวณความเข้มแสงของระบบแสงสว่างภายใน ใช้ชื่อว่า Direct method และฟังก์ชันการออกแบบระบบแสงสว่างภายในใช้ชื่อว่า Lumen method ดังแสดงในรูปที่ 5.1

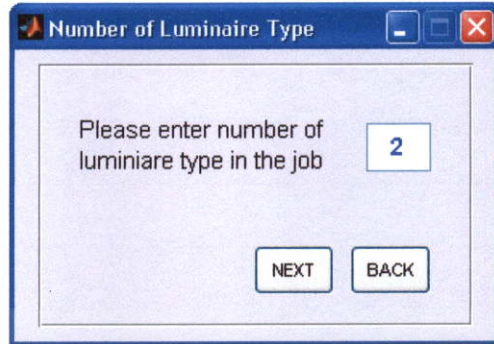


รูปที่ 5.1 หน้าต่างการเลือกฟังก์ชันการทำงานของโปรแกรม

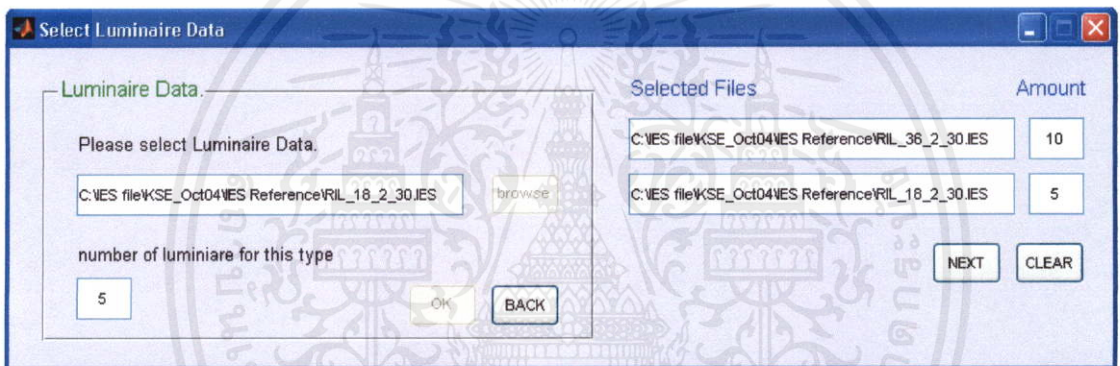
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

5.1.1 ฟังก์ชันการคำนวณความเข้มแสงของระบบแสงสว่างภายใน
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ออกทั้งหมดให้คิดแบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
เมื่อเลือกใช้งานฟังก์ชันการคำนวณความเข้มแสงของระบบแสงสว่างภายใน โปรแกรมจะ
ให้ผู้ใช้งาน ทำการระบุจำนวนชนิดของดวง โคมที่ต้องการใช้ในการติดตั้งภายในพื้นที่ใช้งาน

จากนั้นจะทำการเลือกไฟล์ข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคม และจำนวนดวงโคมในแต่ละชนิด ดวงโคมที่ต้องการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 5.2 และรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.2 หน้าต่างเลือกจำนวนชนิดดวงโคม



รูปที่ 5.3 หน้าต่างเลือกไฟล์ข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคม

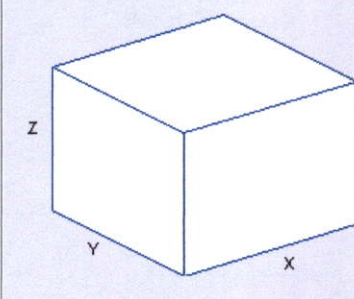
ขั้นตอนถัดไป โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างให้ผู้ใช้งานระบุคุณลักษณะของพื้นที่การใช้งานอันประกอบไปด้วยขนาดของห้องที่ต้องการใช้งาน, ค่าการสะท้อนของพื้นผิวต่าง ๆ ของห้อง, ค่าตัวประกอบการบำรุงรักษา และความสูงของระนาบผิวใช้งานจากระดับพื้นห้อง ดังแสดงในรูปที่ 5.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Detail for Interior Lighting Design

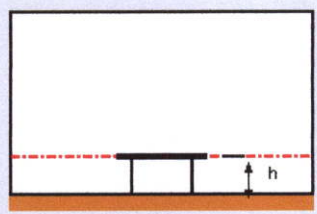
Enter all required detail for lighting design

Room Geometry.



X = m.
Y = m.
Z = m.

Working plane.



Working plane height (h) = m.

Surface Reflectance.

Ceiling = % or
Wall = % or
Floor = % or

Maintenance Factor.

Maintenance Factor =

รูปที่ 5.4 หน้าต่างระบุคุณลักษณะของพื้นที่ใช้งาน

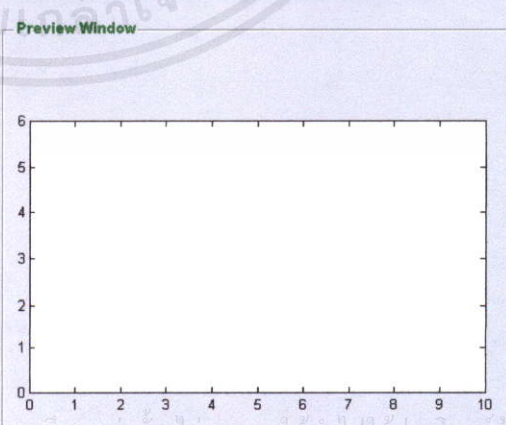
เมื่อระบุข้อมูลคุณลักษณะของพื้นที่การใช้งานแล้ว โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างแสดงตำแหน่งการติดตั้งดวงโคม ดังรูปที่ 5.5 ให้ผู้ใช้งานระบุตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมแต่ละชนิด โดยการกดปุ่มลูกศรในแต่ละแถวของชื่อไฟล์ข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมแต่ละชนิด ซึ่งจะแสดงจำนวนดวงโคมที่ยังไม่ได้กำหนดตำแหน่งในช่องท้ายที่สุดของแต่ละแถว เพื่อให้ผู้ใช้งานทราบว่ายังเหลือดวงโคมใดที่ยังไม่ได้กำหนดตำแหน่งติดตั้งบ้าง

Luminaire Position

Define position of luminaire by push --> button each luminaire type

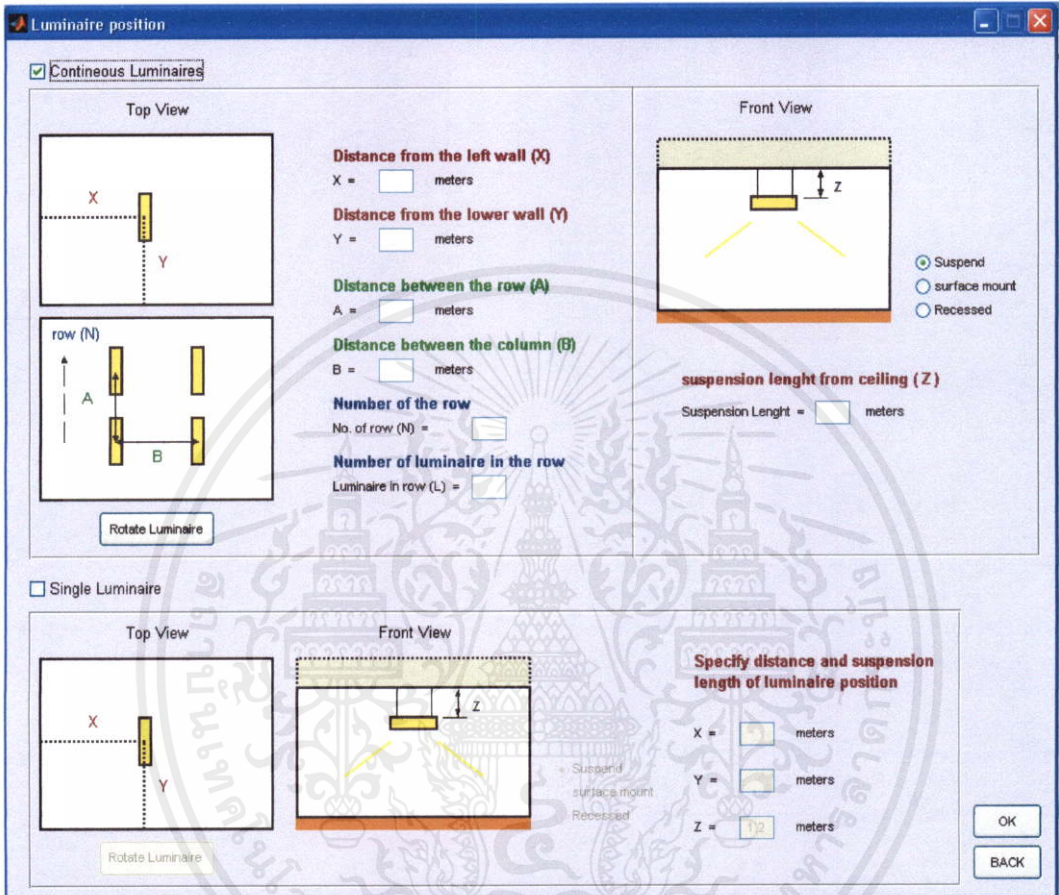
Selected Files	Amount	Remain
C:\VES file\KSE_Oct04\NES Reference\RL_36_2_30.IES	<input type="text" value="10"/> <input type="button" value="-->"/>	<input type="text" value="10"/>
C:\VES file\KSE_Oct04\NES Reference\RL_18_2_30.IES	<input type="text" value="5"/> <input type="button" value="-->"/>	<input type="text" value="5"/>

Preview Window



รูปที่ 5.5 หน้าต่างแสดงตำแหน่งการติดตั้งดวงโคม

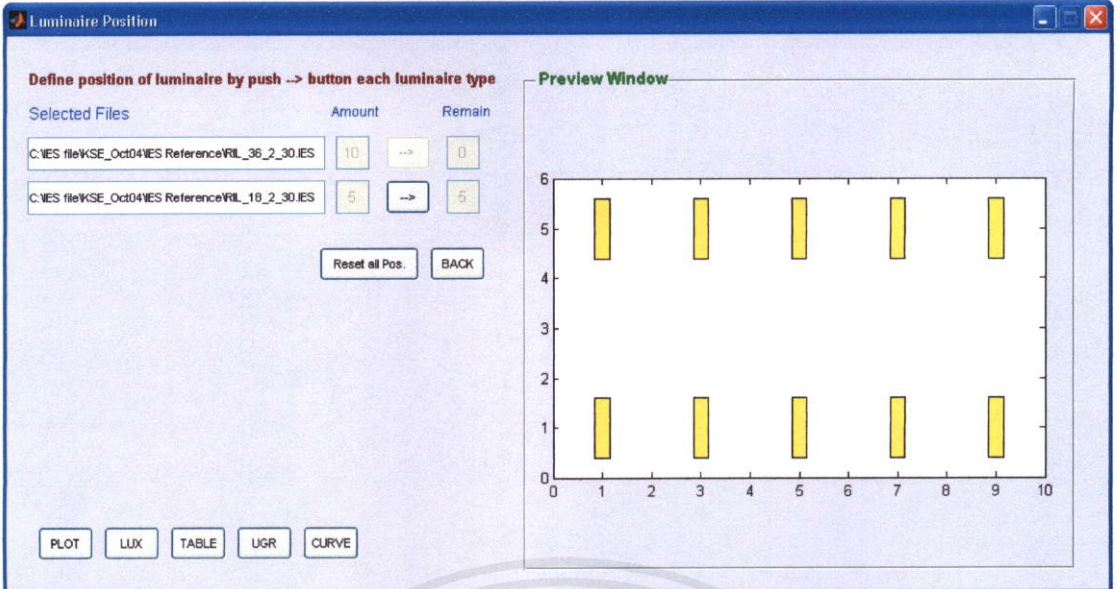
เมื่อกดปุ่มลูกศรเพื่อกำหนดตำแหน่งของดวงโคม โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างให้ผู้ใช้งาน กำหนดตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมแต่ละดวงที่ได้ทำการเลือก ภายในพื้นที่ห้องซึ่งสามารถเลือกการ ติดตั้งแบบระบุจำนวนดวงโคมภายในหนึ่งแถวและกำหนดระยะห่างระหว่างดวงโคมในแถว หรือ สามารถกำหนดตำแหน่งของดวงโคมเฉพาะดวงได้ ดังแสดงในรูปที่ 5.6



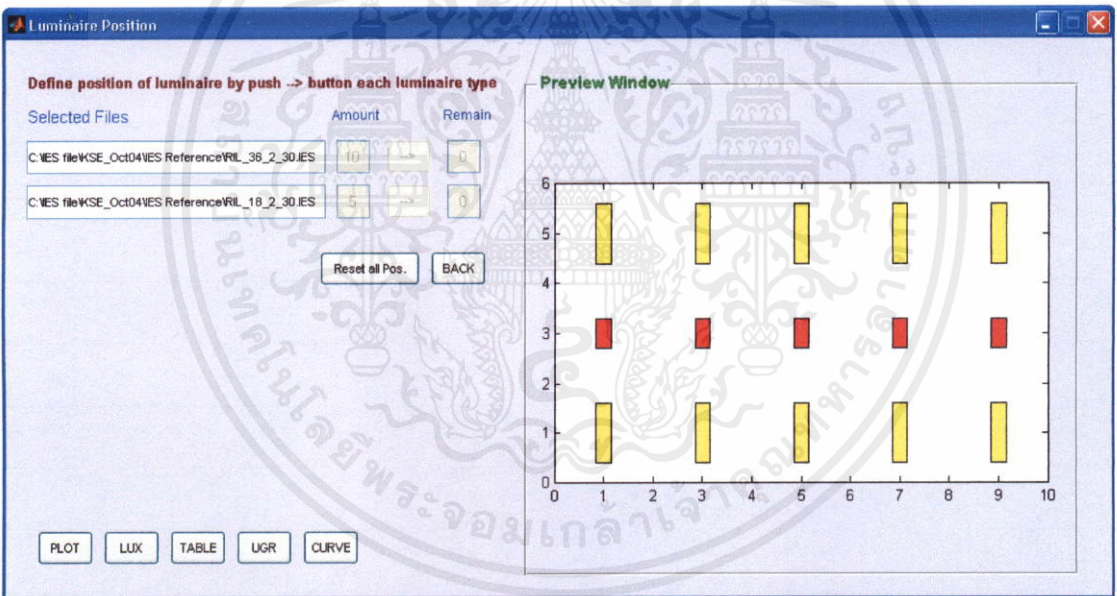
รูปที่ 5.6 หน้าต่างกำหนดตำแหน่งการติดตั้งดวงโคม

เมื่อทำการระบุตำแหน่งดวงโคมแล้ว โปรแกรมจะแสดงดวงโคมดังกล่าวที่ผู้ใช้งานระบุ ในหน้าต่างแสดงตำแหน่งการติดตั้งดวงโคม แสดงได้ดังรูปที่ 5.7 และรูปที่ 5.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 หน้าต่างแสดงตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมหลังจากระบุตำแหน่งของดวงโคมชนิดที่ 1

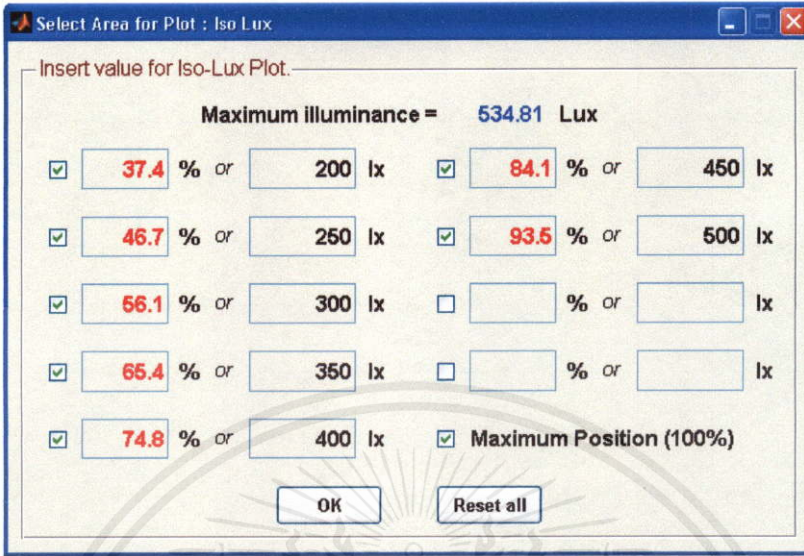


รูปที่ 5.8 หน้าต่างแสดงตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมทั้งหมด

เมื่อทำการกำหนดตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมครบทั้งหมดแล้ว ผู้ใช้งานสามารถเลือกการแสดงผลของโปรแกรมได้จากปุ่มเลือกลักษณะการแสดงผลทางด้านล่างของหน้าต่าง

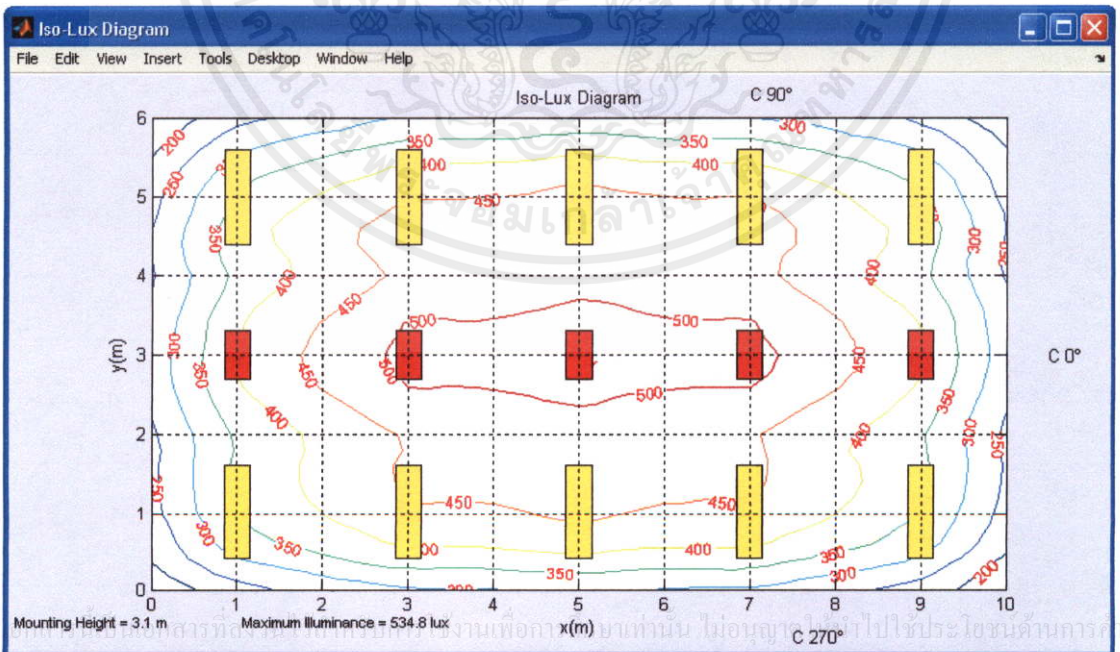
ผู้ใช้งานสามารถเลือกการแสดงผลเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าโดยการกดปุ่ม PLOT ทางด้านล่างของหน้าต่าง ซึ่งโปรแกรมจะสอบถามผู้ใช้งานให้ระบุค่าข้อมูลเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าที่

ต้องการให้โปรแกรมแสดงผล โดยสามารถระบุเป็นค่าความเข้มแสงในหน่วยลักซ์ หรือระบุเป็นค่าอัตราส่วนของความเข้มแสงต่อความเข้มแสงสูงสุดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 5.9

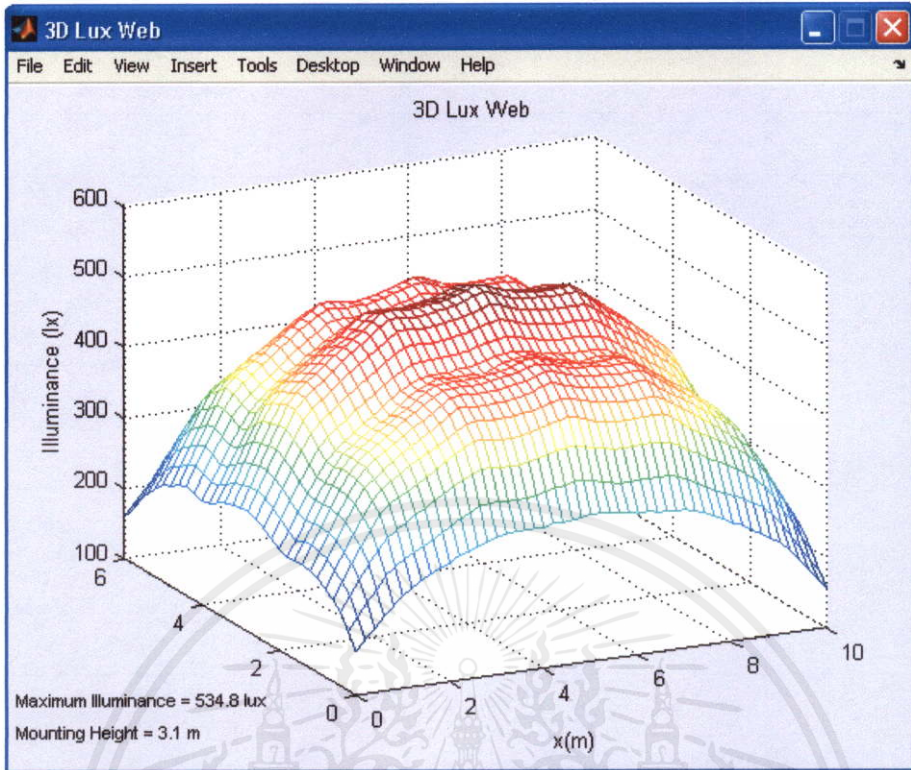


รูปที่ 5.9 หน้าต่างระบุค่าความเข้มแสงที่ต้องการแสดงผล

โปรแกรมจะทำการคำนวณเพื่อแสดงผลเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าได้ดังรูปที่ 5.10 และเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าบนระนาบแกน 3 มิติดังแสดงในรูปที่ 5.11

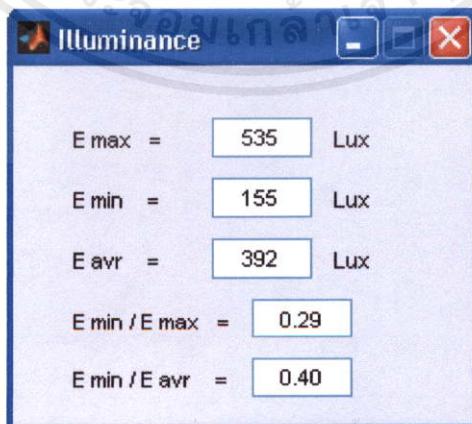


รูปที่ 5.10 การแสดงผลเส้นโค้งความเข้มแสงเท่า



รูปที่ 5.11 การแสดงผลเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าบนระนาบแกน 3 มิติ

เมื่อผู้ใช้งานสามารถเลือกการแสดงผลข้อมูลค่าความเข้มแสงบนระนาบผิวใช้งานได้ โดยการกดปุ่ม LUX และเลือกการแสดงผลตารางข้อมูลค่าความเข้มแสง ณ แต่ละจุดกริดที่เกิดขึ้นบนระนาบผิวใช้งานได้โดยการกดปุ่ม TABLE โปรแกรมสามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 5.12 และรูปที่ 5.13 ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.12 ข้อมูลค่าความเข้มแสงบนระนาบผิวใช้งาน

illuminance Table

illuminance on working plane Table

Y \ X	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8
4.2	250.2	275.4	301.7	324.5	349.9	365.6	379.6	389.4	399.8	409.7
4	245.7	270.6	292.4	318.0	340.5	360.8	374.6	387.6	398.0	408.6
3.8	248.3	272.4	297.0	321.6	345.5	367.5	384.2	397.3	407.1	415.9
3.6	255.2	280.3	306.6	332.7	359.3	383.1	399.0	411.6	420.6	430.9
3.4	261.9	288.5	315.9	344.1	370.4	393.9	408.3	420.7	430.5	441.0
3.2	265.4	292.2	319.3	345.9	372.9	397.0	412.0	424.9	436.5	447.5
3	267.4	295.3	322.8	350.5	377.0	403.5	419.8	431.7	442.3	452.5
2.8	269.4	296.8	323.9	351.8	378.6	402.4	417.6	428.6	438.7	450.0
2.6	265.4	292.1	318.6	344.7	370.2	394.3	409.3	419.9	430.5	441.8
2.4	258.3	284.2	310.2	336.3	360.2	382.2	397.0	407.6	417.7	428.6
2.2	250.3	275.2	300.0	324.8	347.4	368.0	382.1	393.1	404.0	414.1
2	241.7	265.4	289.2	314.1	336.7	356.0	369.5	381.3	390.0	403.0
1.8	237.5	258.6	285.1	312.0	334.1	354.3	372.1	381.0	390.9	400.5
1.6	238.7	263.9	287.4	312.6	337.6	358.6	372.5	384.1	393.3	404.1
1.4	239.6	264.4	288.1	313.1	337.5	358.6	372.8	384.6	394.0	403.0
1.2	236.9	261.5	286.4	310.1	334.4	356.5	370.9	381.8	390.7	400.0
1	233.7	258.1	282.4	306.6	330.3	351.0	361.6	372.1	381.9	392.0
0.8	225.2	248.1	272.2	295.4	317.6	339.1	353.5	363.1	371.7	380.6
0.6	216.3	239.4	262.0	285.0	306.3	326.4	338.7	346.7	353.6	361.1
0.4	205.1	226.6	246.8	266.1	283.9	299.6	309.9	316.6	327.3	332.8
0.2	184.4	202.5	221.6	236.8	255.0	264.4	274.5	281.1	288.4	295.5
0	162.2	177.6	190.0	205.7	218.9	231.4	240.4	249.2	256.0	262.5

รูปที่ 5.13 ตารางข้อมูลค่าความเข้มแสง ณ แต่ละจุดกริดบนระนาบผิวใช้งาน

5.1.2 ฟังก์ชันการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน

เมื่อผู้ใช้งานเลือกฟังก์ชันการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างให้ผู้ใช้งานทำการกำหนดค่าที่ใช้สำหรับการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน อันประกอบไปด้วยขนาดของพื้นที่ห้องที่ต้องการออกแบบ, ค่าการสะท้อนของพื้นผิวต่าง ๆ ของห้อง, ค่าตัวประกอบการบำรุงรักษา, ความสูงของระนาบผิวใช้งานจากระดับพื้นห้อง, ระยะแขวนของดวงโคม ห้อยจากเพดานห้อง และไฟล์ข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมที่ต้องการใช้ในการออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 5.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.14 หน้าต่างระบุค่าที่ใช้ในการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน

จากนั้น โปรแกรมจะให้ผู้ใช้งานระบุค่าระดับความเข้มแสงเฉลี่ยบนระนาบผิวใช้งาน ที่ต้องการในห้องที่ต้องการออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 5.15

รูปที่ 5.15 หน้าต่างระบุค่าระดับความเข้มแสงเฉลี่ยบนระนาบผิวใช้งาน

ผู้ใช้งานสามารถเรียกดูตารางแสดงระดับความเข้มแสงและระดับแสงจ้า UGR ที่แนะนำ สำหรับการออกแบบ ที่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานของพื้นที่ที่ต้องการออกแบบได้ โดยการกดปุ่ม HELP จากหน้าต่างของโปรแกรมในรูปที่ 5.15 จากนั้น โปรแกรมจะแสดงตารางข้อมูลดังในรูปที่ 5.16 ซึ่ง ได้อ้างอิงข้อมูลจากมาตรฐานของ CIE[13]

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Standard " CIE S 008/E-2001 " Lighting of Indoor Work Places

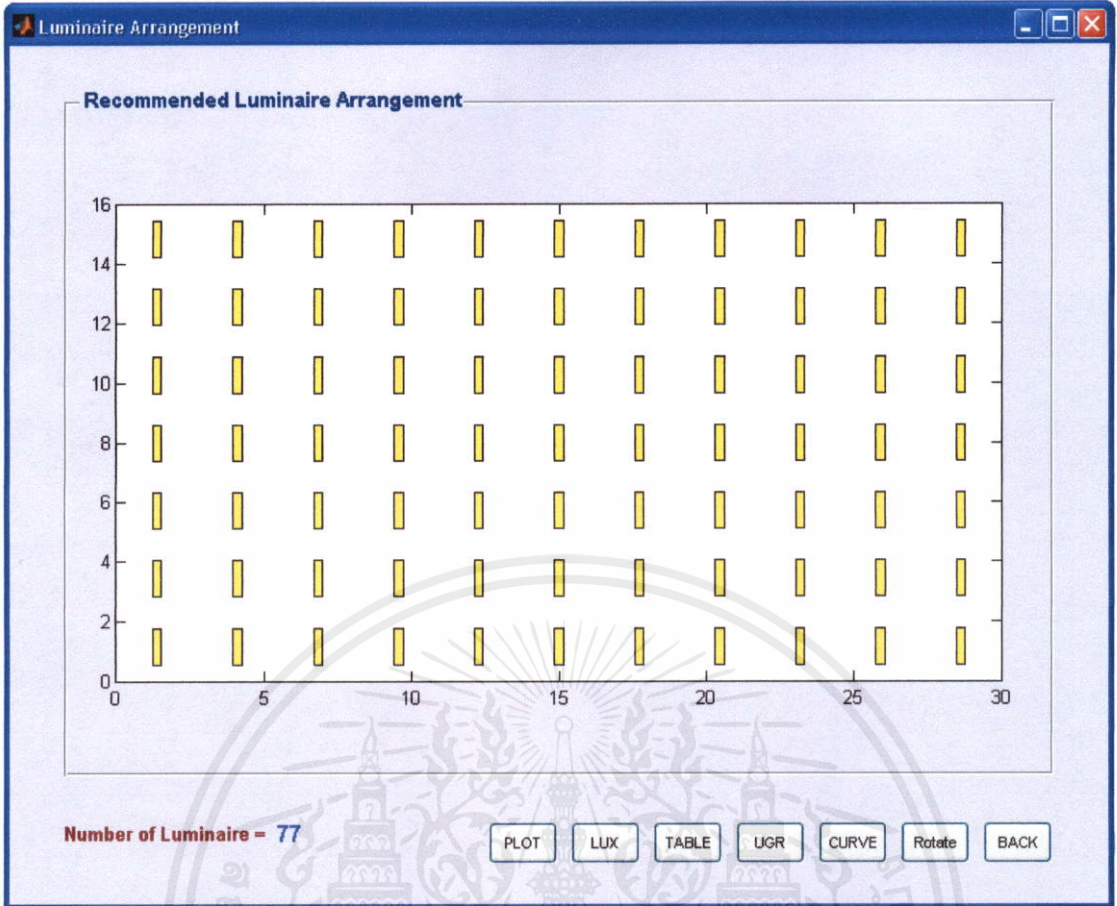
The schedule of interiors (area) tasks and activities with specification of illuminance, glare limitation and colour quality

Type of interior, task or activity	Em (lux)	UGR	Ra	Remarks
1. General building areas				
Entrance halls	100	22	60	
Lounges	200	22	80	
Circulation areas and corridors	100	28	40	At exist and entrances provide
Stairs,escalators,travelators	150	25	40	
Loading ramps/bays	150	25	40	
Canteens	200	22	80	
Rest Rooms	100	22	80	
Rooms for physical exercise	300	22	80	
Cloakrooms,washrooms,bathrooms,toilets	200	25	80	
Sick bay	500	19	80	
Room for medical attention	500	16	90	
Plant rooms,switch gear rooms	200	25	60	
Post room,switchboard	500	19	80	
Store,stockrooms,cold store	100	25	60	
Dispatch packing handling areas	300	25	60	
Control station	150	22	60	
2. Agriculture building				
Loading and operation of goods handling equipment	200	25	80	
Building for livestock	50	28	40	
Sick animal pens, calving stalls	200	25	80	
Feed preparation,daily,utensil washing	200	25	80	
3 Bakeries				

รูปที่ 5.16 ตารางระดับความเข้มแสงและระดับแสงจ้าที่แนะนำสำหรับการออกแบบ

เมื่อรับค่าข้อมูลที่ใช้สำหรับการคำนวณจากผู้ใช้งานเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะทำการคำนวณจำนวนดวงโคมที่แนะนำสำหรับการติดตั้งในพื้นที่ที่ผู้ใช้งานกำหนด พร้อมกับแสดงตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมที่แนะนำจากการคำนวณของโปรแกรม ตามขั้นตอนที่ได้กล่าวในบทที่ 4 ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 5.17 โดยสามารถเลือกการแสดงผลอื่นๆ ของโปรแกรมเพิ่มได้จากปุ่มเลือกการแสดงผลทางด้านล่างของหน้าต่างแสดงผลการติดตั้งดวงโคม

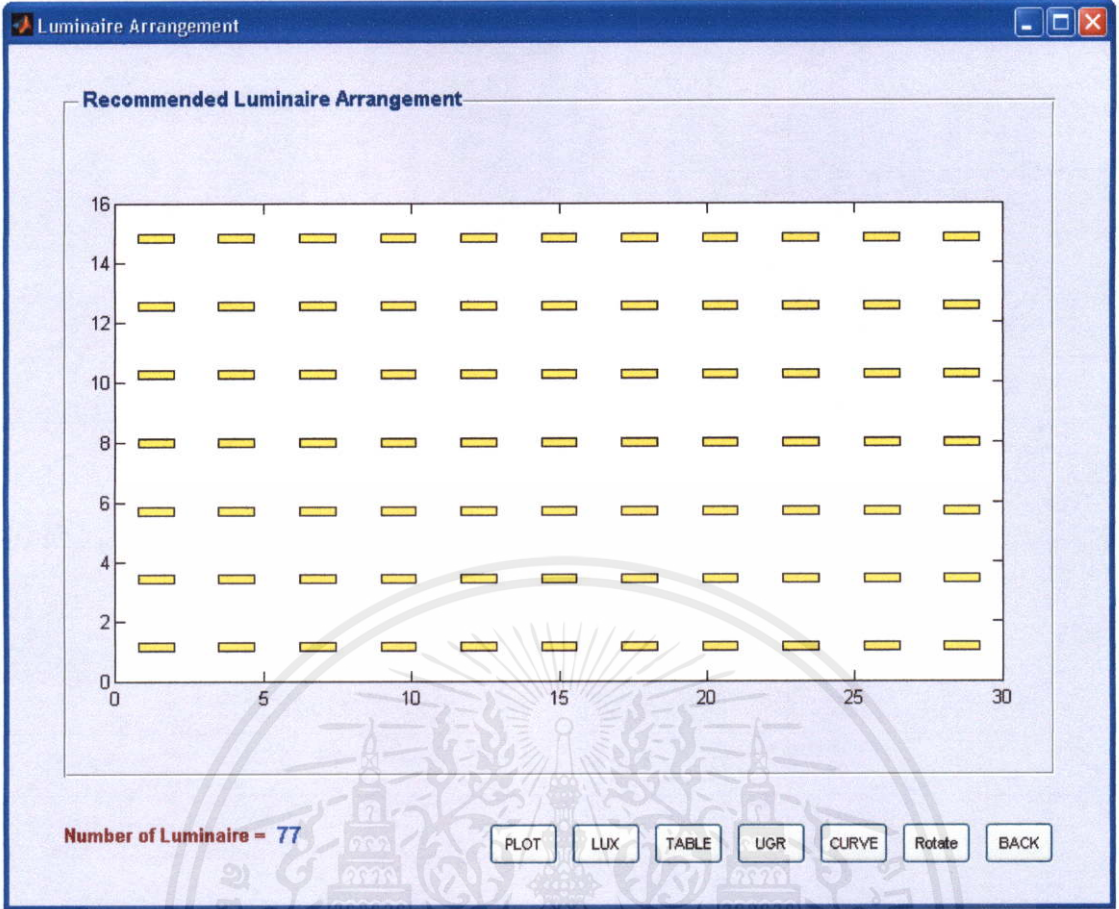
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.17 การแสดงตำแหน่งดวงโคมที่แนะนำสำหรับการติดตั้งในพื้นที่ที่กำหนด

หากผู้ใช้งานมีความต้องการที่จะเปลี่ยนทิศทางการติดตั้งดวงโคม สามารถที่จะหมุนปรับเปลี่ยนแนวการติดตั้งดวงโคมได้โดยกดปุ่ม Rotate ซึ่งโปรแกรมจะทำการหมุนแนวการติดตั้งดวงโคม 90 องศา ดังแสดงในรูปที่ 5.18

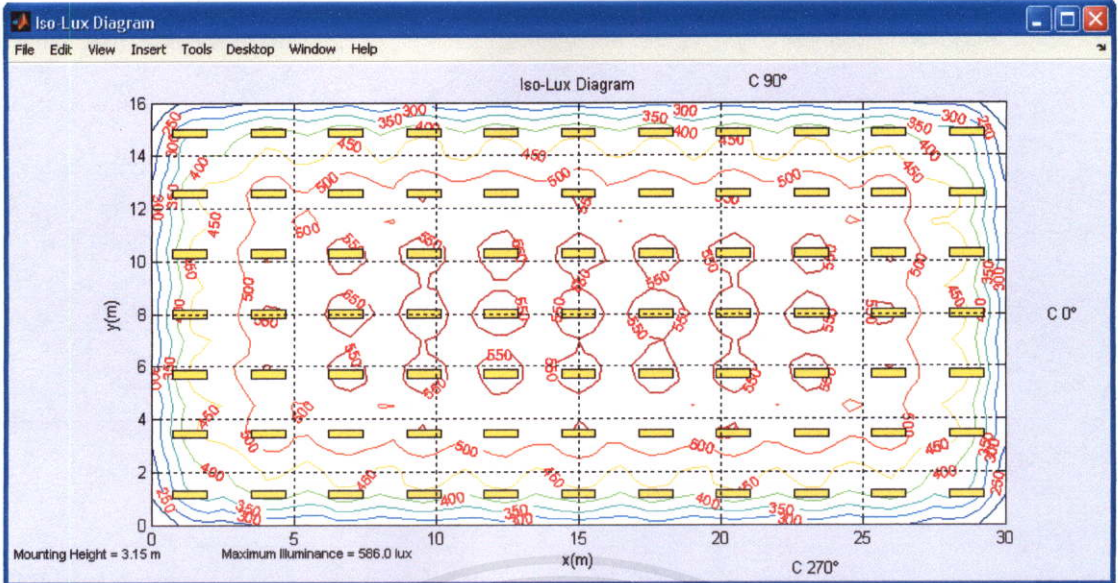
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



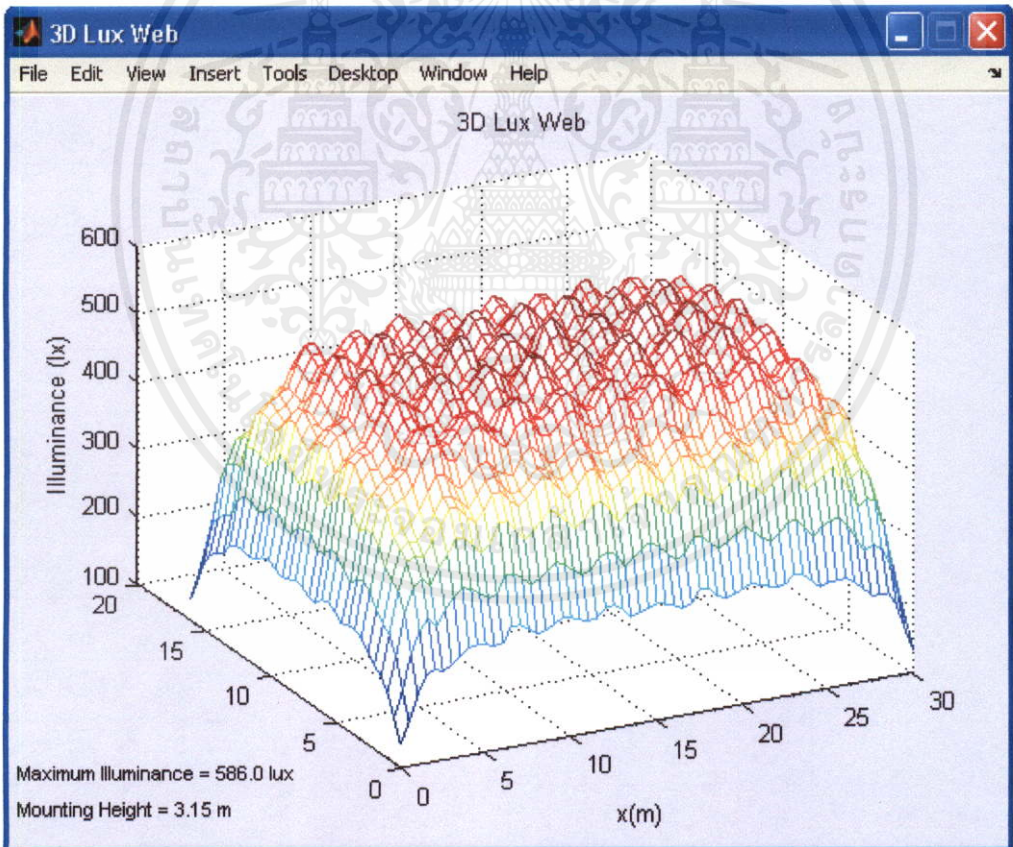
รูปที่ 5.18 การปรับเปลี่ยนทิศทางการติดตั้งดวงโคม

ในการแสดงผลเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าบนระนาบผิวใช้งาน จากการติดตั้งดวงโคมตามทีโปรแกรมแนะนำ สามารถแสดงได้บนระนาบแกน 2 มิติและบนระนาบแกน 3 มิติ เช่นเดียวกับการแสดงผลในฟังก์ชันการคำนวณความเข้มแสงในระบบแสงสว่างภายใน ดังที่ได้กล่าวในข้างต้น ซึ่งสามารถเลือกแสดงผลได้โดยกดปุ่ม PLOT โดยโปรแกรมสามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 5.19 และรูปที่ 5.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

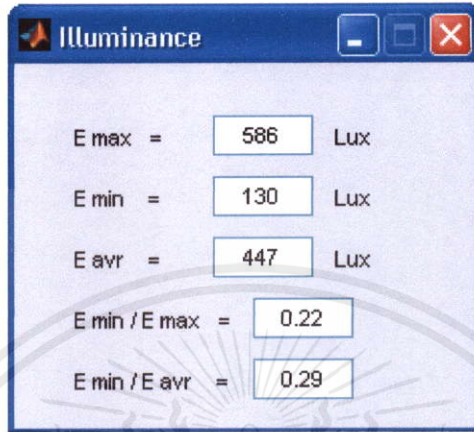


รูปที่ 5.19 การแสดงผลเส้น โค้งความเข้มแสงเท่า



รูปที่ 5.20 การแสดงผลเส้น โค้งความเข้มแสงเท่าบนระนาบแกน 3 มิติ โชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมสามารถแสดงผลข้อมูลค่าความเข้มแสงบนระนาบผิวใช้งาน และแสดงผลตารางข้อมูลค่าความเข้มแสง ณ แต่ละจุดกริดที่เกิดขึ้นบนระนาบผิวใช้งาน ได้เช่นเดียวกับการแสดงผลในฟังก์ชันการคำนวณความเข้มแสงในระบบแสงสว่างภายใน ดังรูปที่ 5.21 และรูปที่ 5.22 ตามลำดับ



รูปที่ 5.21 ข้อมูลค่าความเข้มแสงบนระนาบผิวใช้งาน

The screenshot shows a window titled 'Illuminance Table' with the following table:

Illuminance on working plane Table

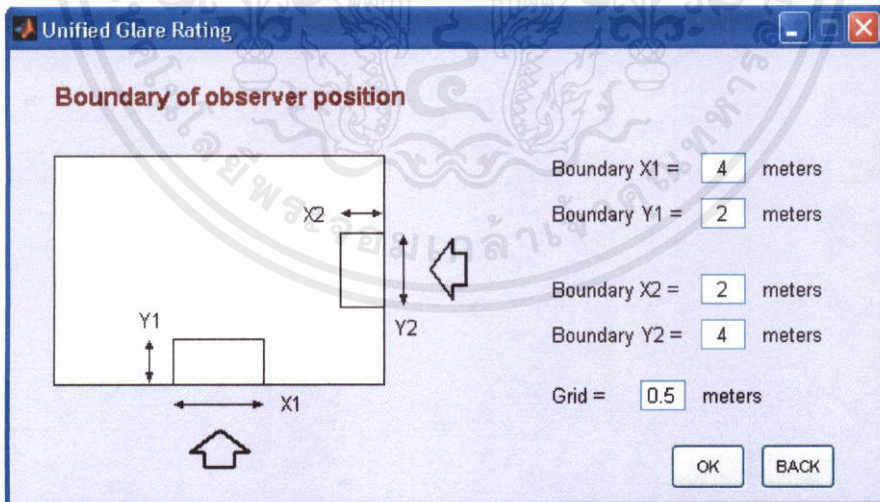
Y \ X	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5
10.5	268.8	341.5	415.5	465.7	478.2	471.7	498.7	523.3	547.8	545.2
10	271.2	338.7	414.6	464.9	483.6	473.1	496.3	526.8	550.6	547.9
9.5	264.1	325.4	401.2	449.4	470.6	463.8	485.0	514.5	530.9	523.8
9	260.1	321.7	390.8	438.6	456.2	459.7	472.2	507.7	523.6	523.3
8.5	264.1	336.6	403.5	455.7	474.2	479.5	487.6	528.3	544.5	541.2
8	268.1	341.9	413.1	464.2	482.4	488.0	495.8	539.9	559.9	555.8
7.5	266.6	341.7	413.1	462.9	477.4	482.1	490.3	525.4	545.7	543.3
7	256.4	324.4	387.9	433.5	447.7	460.4	471.1	503.8	526.2	522.9
6.5	256.2	327.4	399.7	445.7	460.5	464.4	479.9	504.6	529.5	531.8
6	266.9	340.6	420.1	464.9	476.5	480.7	504.7	529.5	553.1	545.1
5.5	269.8	337.8	424.7	466.5	477.4	477.9	499.5	524.8	548.6	542.6
5	262.3	323.4	405.3	446.8	462.6	462.3	482.0	508.0	527.2	529.9
4.5	252.0	311.4	384.2	426.7	442.4	450.3	466.5	494.9	516.5	520.1
4	256.6	322.5	395.3	445.3	461.5	465.1	474.6	508.2	526.8	529.8
3.5	256.7	327.5	395.5	446.4	460.3	467.9	478.2	509.9	535.2	538.7
3	251.4	317.6	383.3	431.5	442.0	448.0	460.6	489.3	514.4	516.4
2.5	235.7	297.6	358.7	400.9	410.7	418.4	433.0	458.7	479.5	479.0
2	223.3	284.4	346.5	389.6	398.3	397.0	414.9	433.2	455.8	454.2
1.5	214.3	273.9	337.9	378.2	385.4	380.8	401.8	421.7	445.0	442.8
1	197.5	248.9	310.5	347.3	358.0	345.5	368.8	386.7	407.2	405.2
0.5	166.8	205.6	256.6	289.0	304.8	291.0	313.1	330.3	342.3	337.4
0	135.3	165.2	202.7	228.1	237.1	229.5	239.3	249.8	258.7	260.9

เอกสารนี้เป็น รูปที่ 5.22 ตารางข้อมูลค่าความเข้มแสง ณ แต่ละจุดกริดบนระนาบผิวใช้งาน สำหรับการคำนวณค่าความเข้มแสง ไม่สามารถแก้ไขค่าใด ๆ ได้ หากต้องการแก้ไขค่าใด ๆ ให้คลิกที่ปุ่มแก้ไขค่าในเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 การแสดงผลการคำนวณระดับแสงจ้า UGR

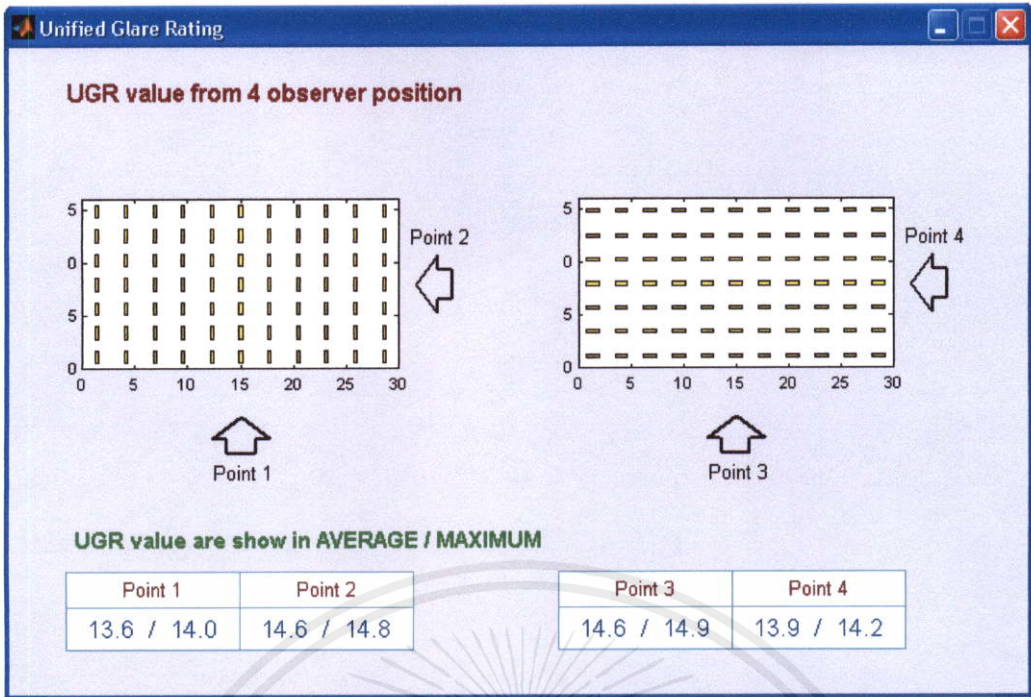
ในส่วนของการแสดงผลการคำนวณระดับแสงจ้าในพื้นที่ที่ทำการออกแบบ สามารถเลือกใช้งานได้จากทั้ง 2 ฟังก์ชันการทำงาน คือจากฟังก์ชันการคำนวณความเข้มแสงของระบบแสงสว่างภายในและจากฟังก์ชันการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน ซึ่งหากเลือกใช้งานจากฟังก์ชันการคำนวณความเข้มแสงของระบบแสงสว่างภายในนั้น จะมีข้อจำกัดคือสามารถเลือกใช้งานการติดตั้งดวงโคมในพื้นที่ที่ต้องการคำนวณได้เพียง 1 ชนิดเท่านั้น และจะต้องทำการติดตั้งดวงโคมที่ระดับความสูงเท่ากันทุกดวงโคม

การเลือกแสดงผลการคำนวณระดับแสงจ้า UGR โดยใช้วิธีสูตรการคำนวณ สามารถเลือกใช้งานได้โดยการกดปุ่ม UGR จากหน้าต่างเลือกการแสดงผลในทั้ง 2 ฟังก์ชัน ซึ่งการแสดงผลของโปรแกรม จะทำการแสดงผลจากการคำนวณโดยใช้วิธีสูตรการคำนวณในตำแหน่งของผู้สังเกตที่ 4 ตำแหน่ง คือ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของฝ้าผนังตามแนวความยาวของห้อง และตำแหน่งกึ่งกลางของฝ้าผนังตามแนวความกว้างของห้อง ที่ความสูง 1.2 เมตรจากระดับพื้นห้อง ในลักษณะการติดตั้งดวงโคมทั้ง 2 ลักษณะ คือติดตั้งขนานกับแนวความยาวของห้อง และติดตั้งขวางกับแนวความยาวของห้อง โดยโปรแกรมจะแสดงหน้าต่างในผู้ใช้งานระบุขอบเขตของจุดสังเกตที่จะทำการคำนวณในทั้ง 2 ด้านของผนัง ดังรูปที่ 5.23 และการแสดงผลระดับแสงจ้า UGR จะแสดงในลักษณะของค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้จากทุกจุดในขอบเขตจุดสังเกตที่กำหนด / ค่าสูงที่สุดที่คำนวณได้ สามารถแสดงดังรูปที่ 5.24



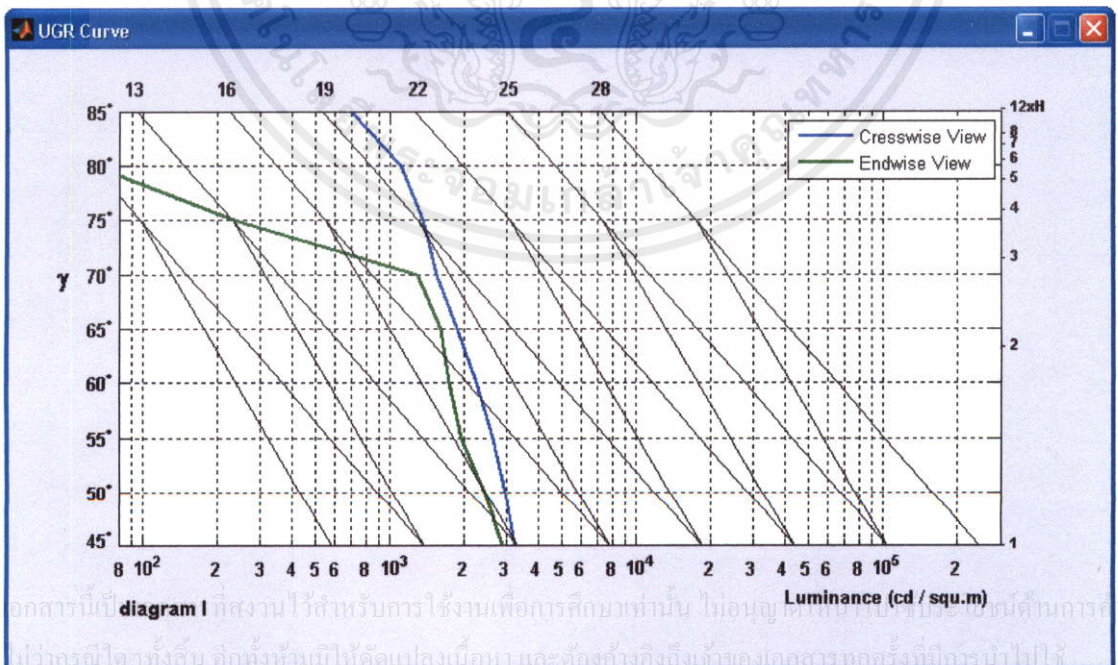
รูปที่ 5.23 หน้าต่างระบุขอบเขตจุดสังเกตแต่ละด้านของผนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะมิใช่ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.24 การแสดงผลค่าระดับแสงจ้า UGR

ในส่วนของการแสดงผลเคอร์ฟ UGR สามารถเลือกใช้งานได้โดยการกดปุ่ม CURVE จากหน้าต่างเลือกการแสดงผลในทั้ง 2 ฟังก์ชัน เช่นเดียวกับการเลือกแสดงผลระดับแสงจ้า UGR โดยการแสดงผลเคอร์ฟ UGR ของโปรแกรม แสดงได้ดังรูปที่ 5.25



รูปที่ 5.25 การแสดงผลเคอร์ฟ UGR

5.2 ทดสอบการทำงานของโปรแกรมในการคำนวณระดับแสงจ้า UGR

การทดสอบผลการทำงานของโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้น ในส่วนของการคำนวณระดับแสงจ้า UGR จะทำการทดสอบเปรียบเทียบกับตัวอย่างการคำนวณระดับแสงจ้าภายในพื้นที่ตัวอย่าง ซึ่งกล่าวในรายงานของ CIE 117-1995 Discomfort Glare in Interior Lighting อันมีคุณลักษณะของระบบแสงสว่างดังนี้

1. พื้นที่ห้องที่ทำการคำนวณเป็นห้องบรรยายลักษณะทรงสี่เหลี่ยมขนาดความกว้าง 6 เมตร ความยาว 9 เมตร ความสูง 4.2 เมตร
2. ความสูงระนาบผิวใช้งานจากพื้นห้อง 0.85 เมตร
3. การสะท้อนของผิวต่าง ๆ ของห้องเป็นดังนี้ ค่าการสะท้อนของเพดานมีค่า 0.7, ค่าการสะท้อนของผนังมีค่า 0.5 และค่าการสะท้อนของพื้นห้องมีค่า 0.2
4. ความสูงของแนวทิศทางการมองของผู้สังเกตจากพื้นห้อง 1.2 เมตร
5. ตัวประกอบการบำรุงรักษาเท่ากับ 1

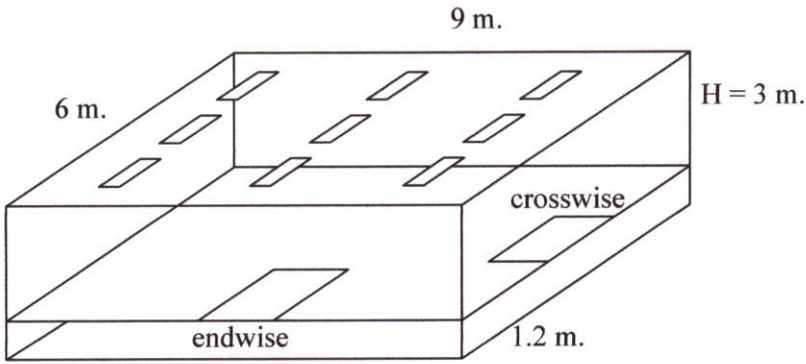
ทำการคำนวณโดยการเลือกติดตั้งดวงโคม 2 กรณีสื่อวงโคมแบบพาราโบลิคสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ มีชุดสะท้อนแสงและชุดก้ำบังแสงภายในดวงโคม และดวงโคมทรงกลม ลักษณะการติดตั้งแขวนห้อยจากเพดาน

5.2.1 ทดสอบผลโดยการติดตั้งดวงโคมแบบพาราโบลิค (parabolic)

ดวงโคมที่ทำการทดสอบติดตั้งมีคุณลักษณะดังนี้

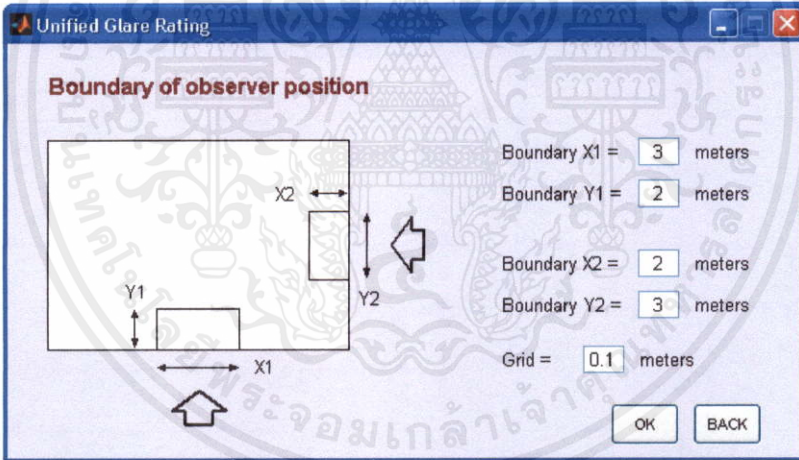
1. ดวงโคมใช้งานกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ ฟลักซ์ส่องสว่าง 3250 ลูเมน จำนวน 1 หลอดต่อดวงโคม มีชุดสะท้อนแสงและชุดก้ำบังแสงภายในดวงโคม
2. ติดตั้งดวงโคมจำนวน 9 ดวงโคมติดกับระนาบเพดาน มีลักษณะแถวสมมาตรในพื้นที่ห้องดังแสดงในรูปที่ 5.26
3. การเปลี่ยนแปลงของดวงโคมลักษณะส่องแสงลงด้านล่าง โดยมีพื้นที่เปลี่ยนแปลงของดวงโคมในระนาบนอนเท่ากับ 0.1425 ตารางเมตร
4. ข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมแสดงในภาคผนวก ข.
5. ตำแหน่งการมองของผู้สังเกต ทำการคำนวณภายในพื้นที่ขอบเขตกึ่งกลางของผนังด้านกว้างและด้านยาวของห้องดังที่ได้แสดงในรูปที่ 5.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.26 การติดตั้งดวงโคมแบบพาราโบลิคในพื้นที่ห้องตัวอย่าง

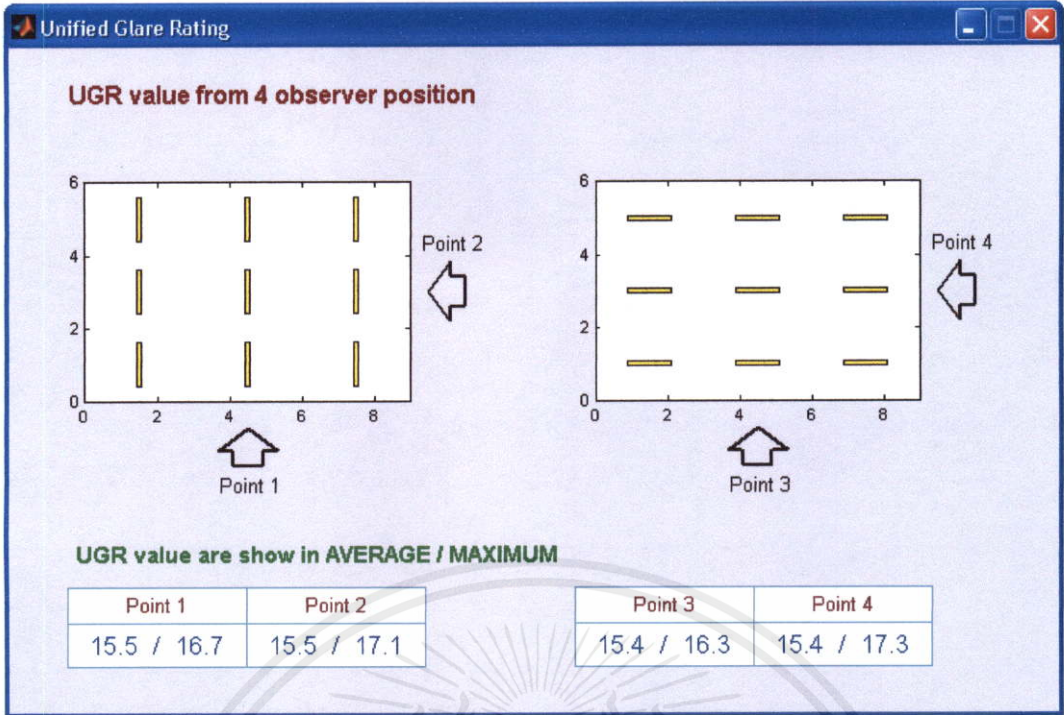
ทำการคำนวณภายในขอบเขตจุดสังเกตจุดที่ 1 คือ จุดริมผนังด้านยาวของห้องที่ขอบเขตแนวแกน X เท่ากับ 3 เมตร, แนวแกน Y เท่ากับ 2 เมตร และขอบเขตจุดสังเกตที่ 2 คือจุดริมผนังด้านกว้างของห้อง แนวแกน X เท่ากับ 2 เมตร, แนวแกน Y เท่ากับ 3 เมตร โดยระยะห่างของแต่ละจุดสังเกตเท่ากับ 0.1 เมตร แสดงได้ดังรูปที่ 5.27



รูปที่ 5.27 กำหนดขอบเขตจุดสังเกตในการคำนวณระดับแสงจ้า UGR

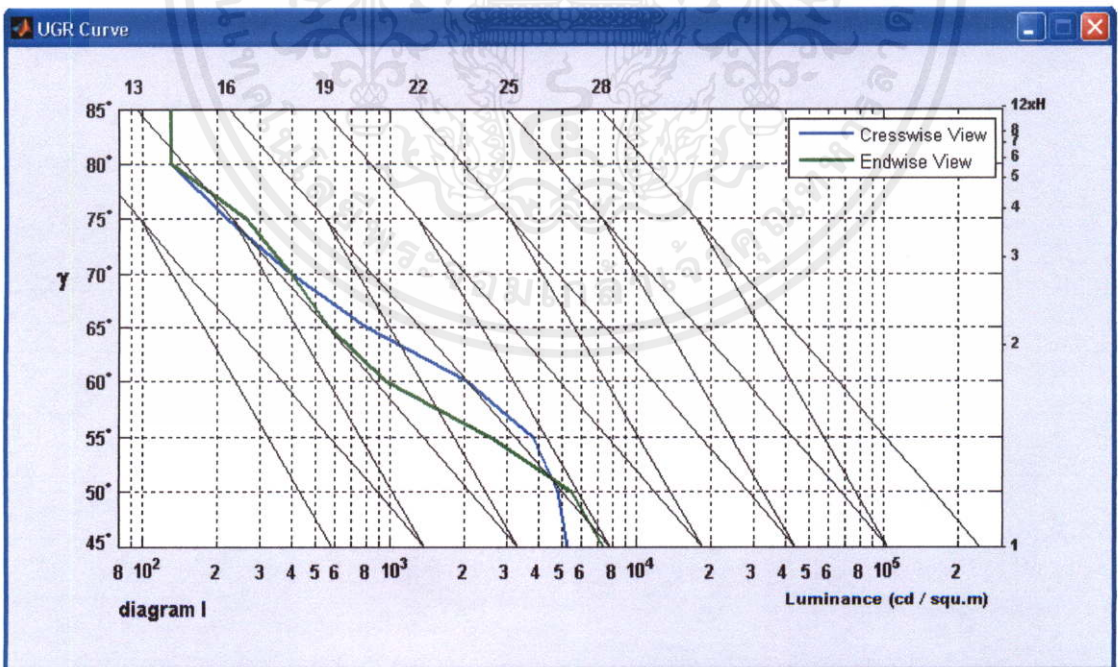
ผลการคำนวณระดับแสงจ้าโดยวิธีสูตรการคำนวณจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น แสดงได้ดังรูปที่ 5.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.28 ระดับแสงจ้าจากการติดตั้งดวงโคมแบบพาราโบลิค

ผลการคำนวณระดับแสงจ้าโดยวิธีเคอร์ฟ UGR แสดงได้ดังรูปที่ 5.29

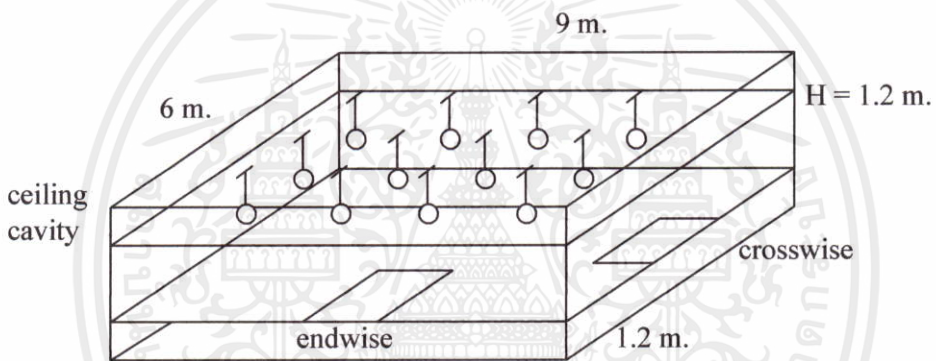


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 5.29 เคอร์ฟ UGR ของดวงโคมแบบพาราโบลิคก็ครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 ทดสอบผลโดยการติดตั้งดวงโคมแบบทรงกลม (sphere)

ดวงโคมที่ทำการทดสอบติดตั้งมีคุณลักษณะดังนี้

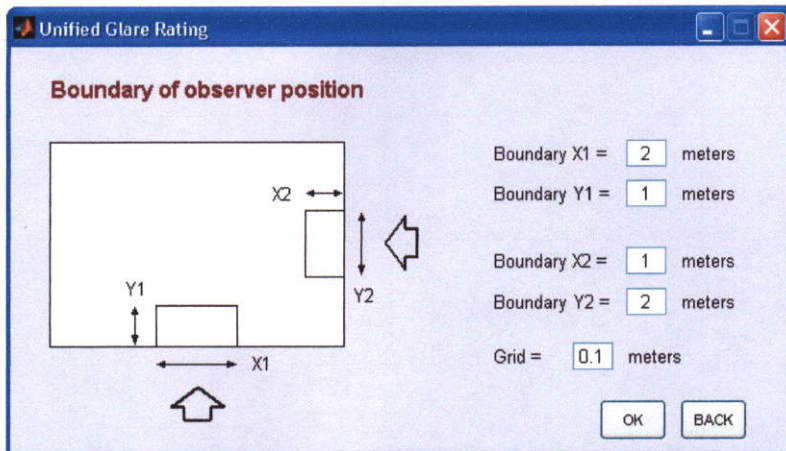
1. ดวงโคมใช้งานกับหลอดไฟขนาด 36 วัตต์ ฟลักซ์ส่องสว่าง 2900 ลูเมน จำนวน 1 หลอดต่อดวงโคม ดวงโคมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 เมตร
2. ติดตั้งดวงโคมจำนวน 12 ดวงโคม แขนงที่ความสูงจากระนาบเพดานถึงจุดศูนย์กลางดวงโคมเท่ากับ 1.2 เมตร มีลักษณะแถวสม่ำเสมอในพื้นที่ห้อง ดังแสดงในรูปที่ 5.30
3. การเปล่งแสงของดวงโคมลักษณะส่องแสงกระจายรอบทิศทาง โดยมีพื้นที่เปล่งแสงของดวงโคมเท่ากับ 0.1257 ตารางเมตร
4. ข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมแสดงในภาคผนวก ข.
5. ตำแหน่งการมองของผู้สังเกต ทำการคำนวณภายในพื้นที่ขอบเขตกึ่งกลางของผนังด้านกว้างและด้านยาวของห้องดังที่ได้แสดงในรูปที่ 5.30



รูปที่ 5.30 การติดตั้งดวงโคมทรงกลมในพื้นที่ห้องตัวอย่าง

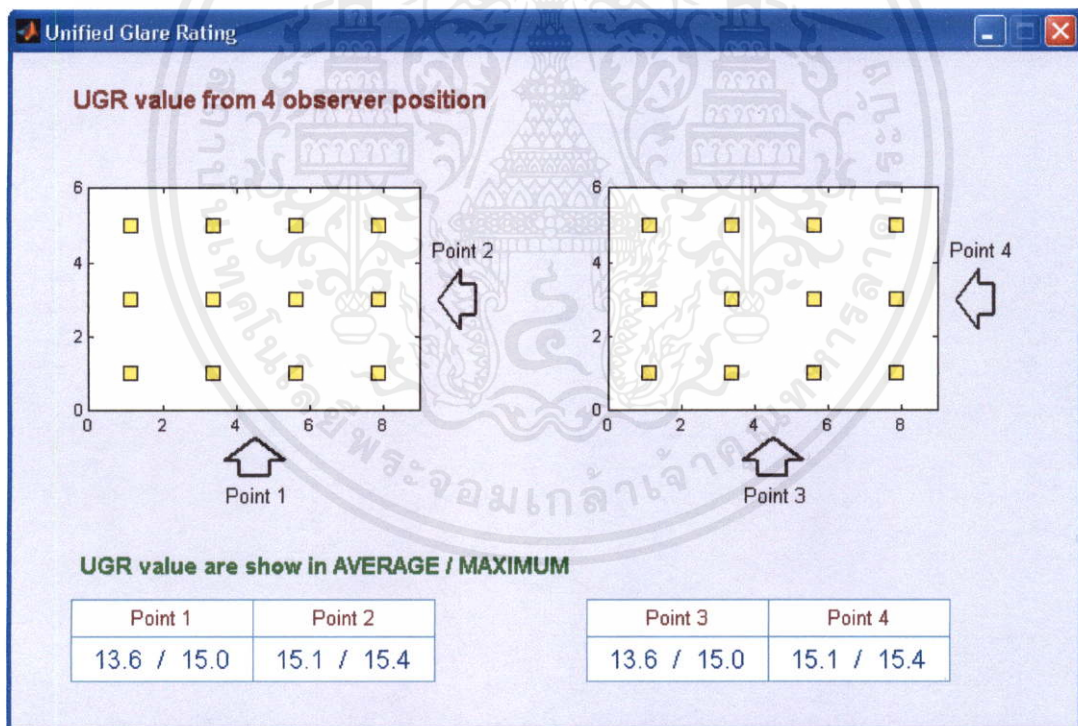
ทำการคำนวณภายในขอบเขตจุดสังเกตจุดที่ 1 คือ จุดริมผนังด้านยาวของห้องที่ขอบเขตแนวแกน X เท่ากับ 2 เมตร, แนวแกน Y เท่ากับ 1 เมตร และขอบเขตจุดสังเกตที่ 2 คือจุดริมผนังด้านกว้างของห้อง แนวแกน X เท่ากับ 1 เมตร, แนวแกน Y เท่ากับ 2 เมตร โดยระยะห่างของแต่ละจุดสังเกตเท่ากับ 0.1 เมตร แสดงได้ดังรูปที่ 5.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



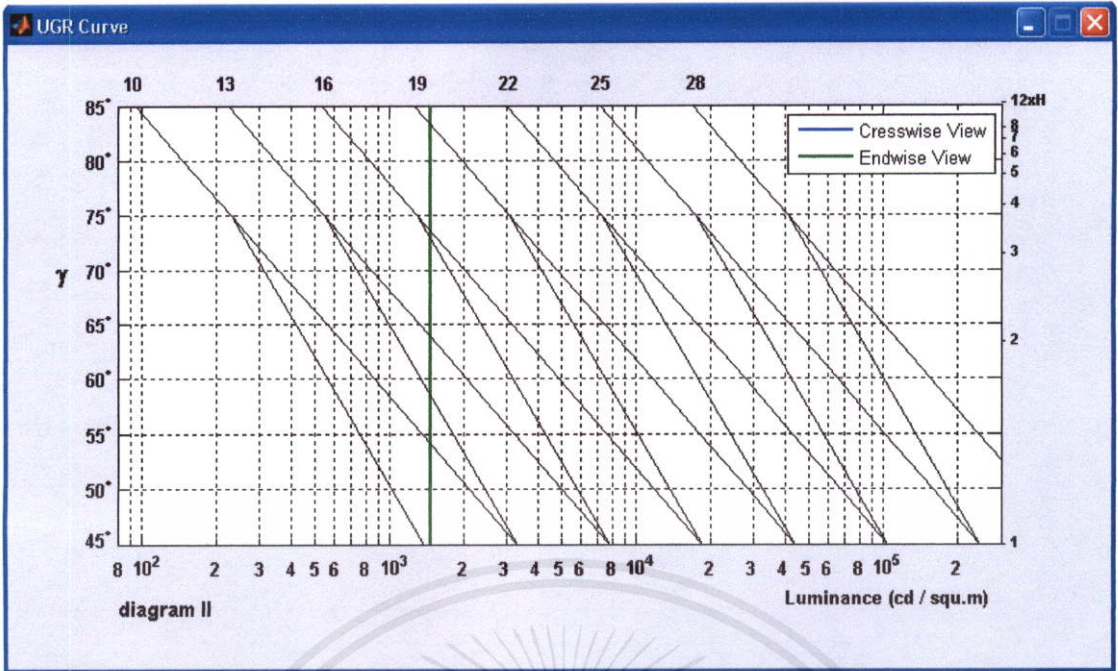
รูปที่ 5.31 กำหนดขอบเขตจุดสังเกตในการคำนวณระดับแสงจ้า UGR

ผลการคำนวณระดับแสงจ้าโดยวิธีสูตรการคำนวณจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น แสดงได้ดังรูปที่ 5.32



รูปที่ 5.32 ระดับแสงจ้าจากการติดตั้งดวง โคมแบบทรงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่แนะนำให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ผลการคำนวณระดับแสงจ้าโดยวิธีเคอร์ฟ UGR แสดงได้ดังรูปที่ 5.33
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.33 เคอร์ฟ UGR ของดวง โคมแบบทรงกลม

5.2.3 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากโปรแกรม

จากผลการคำนวณระดับแสงจ้าของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น โดยวิธีสูตรการคำนวณ เมื่อเปรียบเทียบผลจากตัวอย่างในรายงานของ CIE 117-1995 นั้นมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง โดยค่าที่คำนวณได้มีระดับแสงจ้าที่ต่ำกว่าผลจากตัวอย่างในรายงานของ CIE 117-1995 อยู่เล็กน้อย แต่ทว่าขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมนั้น ได้ทำการคำนวณตามระเบียบวิธีของวิธีแอฟไฟด์ของซีไออี (CIE Applied Method) และผ่านการตรวจสอบในแต่ละขั้นตอน โดยละเอียด

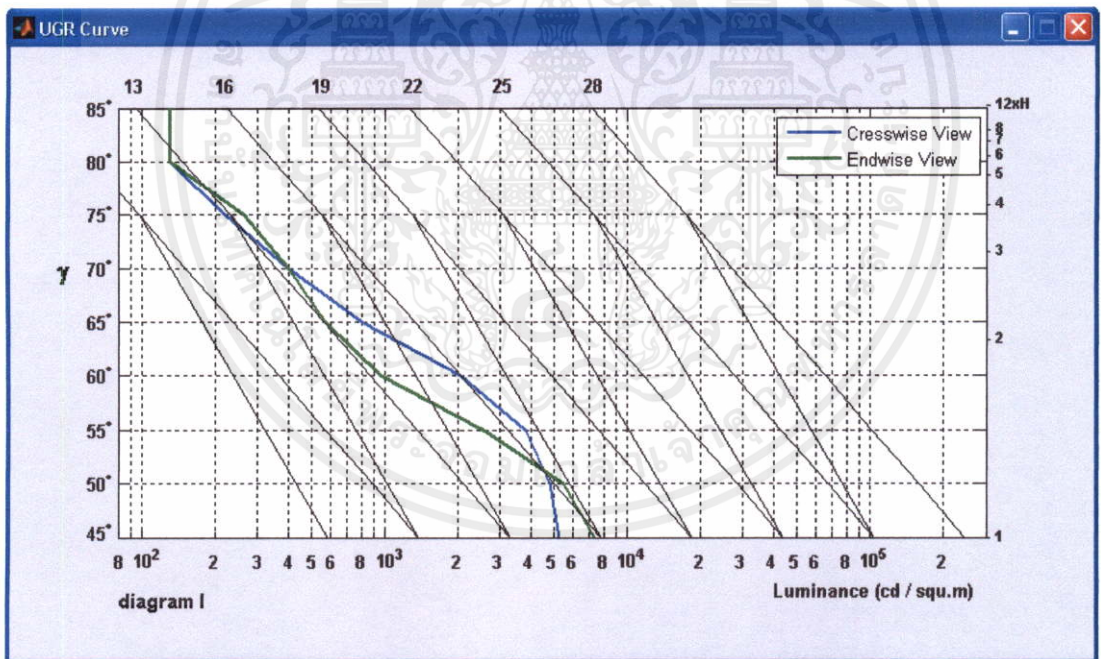
ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการคำนวณโดยวิธีสูตรการคำนวณ กับ โปรแกรมใช้งานทางวิศวกรรมส่องสว่างคือ โปรแกรม DIALux รุ่น 4.3 (DIALux 4.3 Light) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่เป็นที่นิยมใช้งานในหลายประเทศ โดยใช้ค่าการคำนวณและคุณสมบัติของพื้นที่ที่ทำการทดสอบ เช่นเดียวกับตัวอย่างที่ได้แสดงในหัวข้อที่ 5.2.1 และหัวข้อที่ 5.2.2 และทำการเปรียบเทียบกับผลการวิจัยของ P Sendrup[14] ในการนำเสนอผลการทดสอบโดยใช้วิธีประยุกต์ในการคำนวณชื่อว่า Pinball GUGR ดังแสดงได้ในตารางที่ 5.1 ซึ่งแสดงผลเป็นค่าระดับแสงจ้าเฉลี่ย / ระดับแสงจ้าสูงที่สุดที่ทำการคำนวณได้ในบริเวณตำแหน่งของผู้สังเกตดังแสดงในรูปที่ 5.26 และรูปที่ 5.30 ผลลัพธ์ที่ได้นั้นมีความสอดคล้องกันในระดับที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะมิใช่ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบผลลัพธ์การคำนวณระดับแสงจ้า UGR

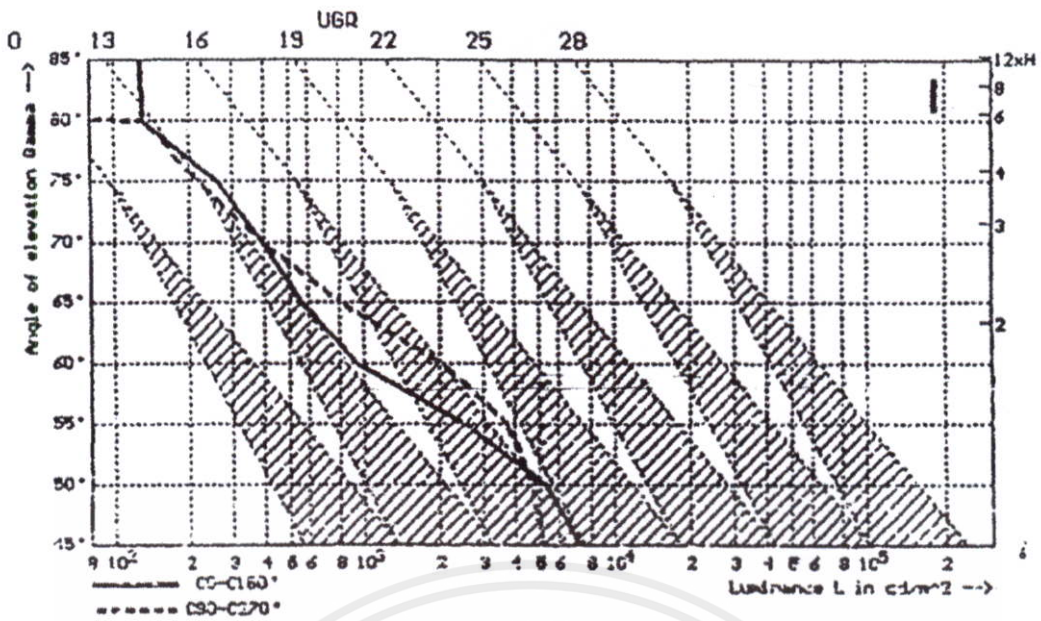
Luminaire :	Parabolic		Sphere	
	crosswise	endwise	crosswise	Endwise
Result from :				
ESIRC program	15.5 / 17.1	15.5 / 16.7	15.1 / 15.4	13.6 / 15.0
DIALux 4.3 Light	16	13	15	14
Pinball GUGR	15.3 / 16.5	15.6 / 16.4	15.5 / 15.8	14.3 / 15.0
CIE 117-1995	17.0 / 18.4	17.1 / 18.1	16.3 / 16.6	14.6 / 15.5

ในส่วนผลลัพธ์การคำนวณระดับแสงจ้าโดยวิธีเคอร์ฟ UGR สามารถแสดงผลเปรียบเทียบกับผลลัพธ์การคำนวณโดยวิธีเคอร์ฟ UGR ของดวงโคมแบบพาราโบลิกจากตัวอย่างในรายงานของ CIE ได้ดังแสดงในรูปที่ 5.34 และรูปที่ 5.35 และผลลัพธ์การคำนวณเคอร์ฟ UGR ของดวงโคมแบบทรงกลมดังแสดงในรูปที่ 5.36 และรูปที่ 5.37 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องอยู่ในระดับที่ดี

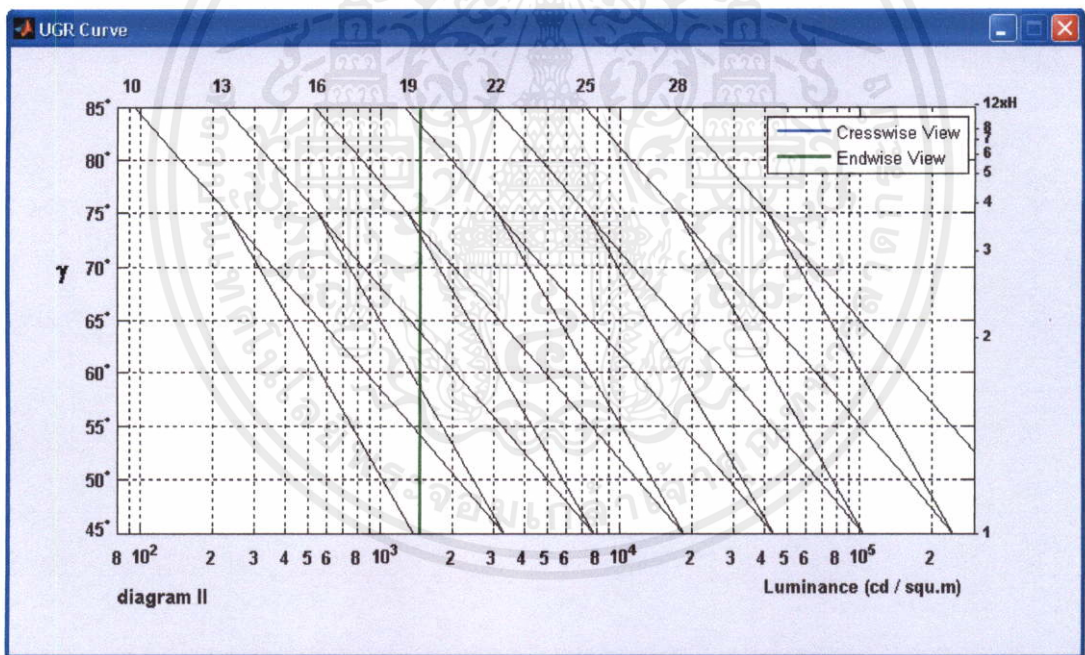


รูปที่ 5.34 เคอร์ฟ UGR ของดวงโคมแบบพาราโบลิกจากโปรแกรม ESIRC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

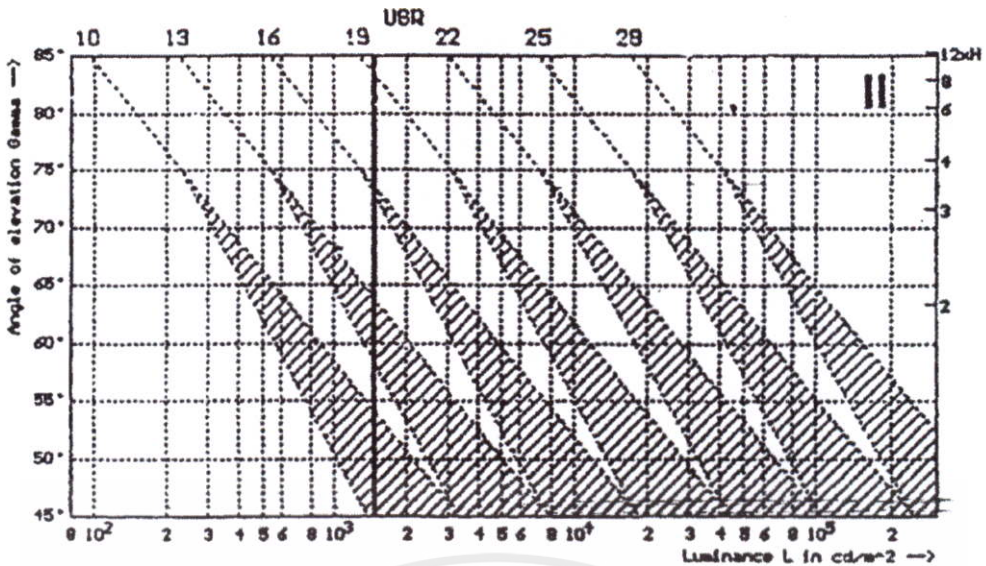


รูปที่ 5.35 เคอร์ฟ UGR ของดวงโคมแบบพาราโบลาโถงจากรายงานของ CIE



รูปที่ 5.36 เคอร์ฟ UGR ของดวงโคมแบบทรงกลมจากโปรแกรม ESIRC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

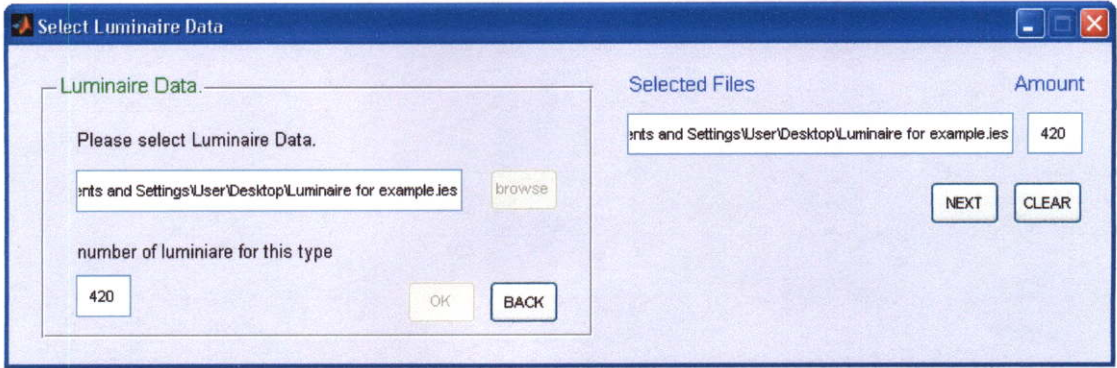


รูปที่ 5.37 เคอร์ฟ UGR ของดวง โคมแบบทรงกลมจากรายงานของ CIE

5.3 ตัวอย่างการทดสอบผลการทำงานของโปรแกรมจากพื้นที่ทำงานจริง

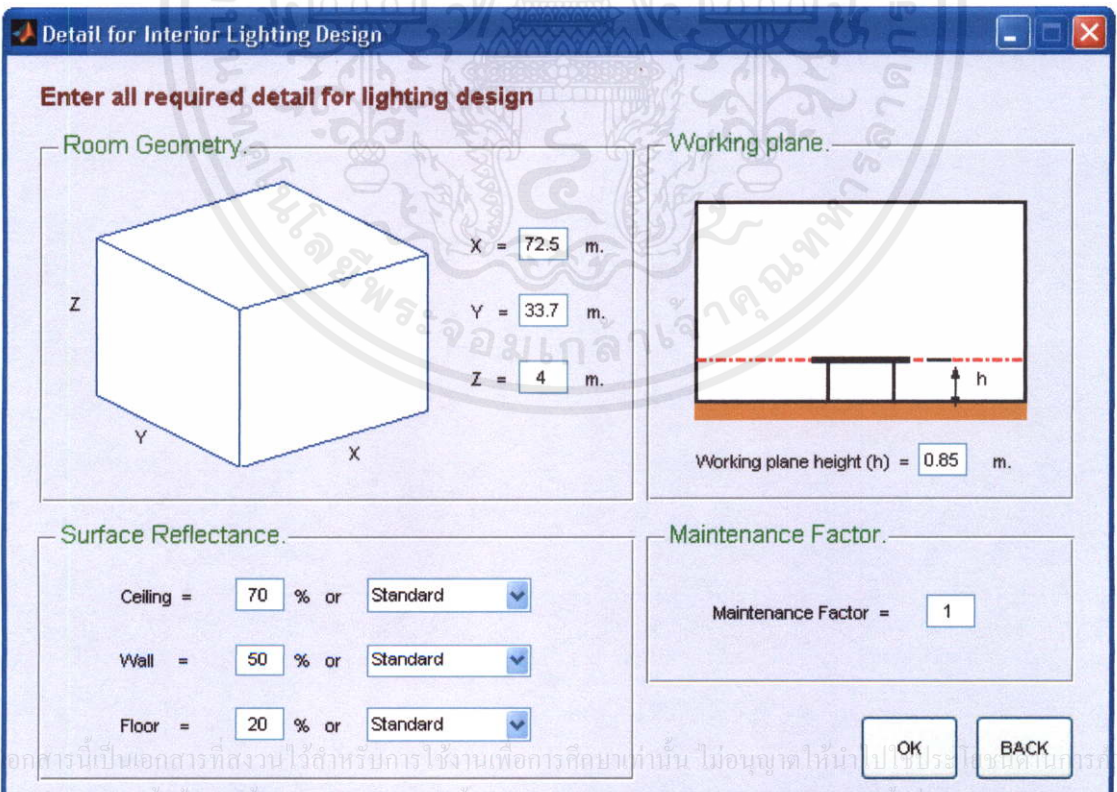
เนื้อหาในหัวข้อนี้เป็นผลทดสอบการทำงานของ โปรแกรม โดยทำการทดสอบจากพื้นที่ทำงานจริง ซึ่งใช้สำหรับงานประกอบชิ้นส่วนรถยนต์ในบริษัทแห่งหนึ่ง มีรายละเอียดของพื้นที่ทำงานดังต่อไปนี้

1. พื้นที่ห้องมีลักษณะทรงสี่เหลี่ยมขนาดความกว้าง 33.7 เมตร ความยาว 72.5 เมตร ความสูง 4 เมตร
2. ติดตั้งดวง โคมติดกับเพดานในลักษณะแถวยาวสม่ำเสมอ วางแนวยาวขนานกับด้านยาวของห้อง ระยะห่างระหว่างแถวเท่ากับ 2.4 เมตร ระยะห่างระหว่างดวงโคมในแถวเท่ากับ 2.4 เมตร จำนวน 14 แถว จำนวน 30 ดวงโคมต่อแถว รวมทั้งหมด 420 ดวงโคม แสดงระยะการติดตั้งดวงโคมได้ดังรูปที่ 5.38
3. ดวงโคมที่ทำการติดตั้ง เป็นดวงโคมสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ไม่มีชุดสะท้อนแสง ดังรูปที่ 5.39 ข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมแสดงในภาคผนวก ข.
4. ใช้หลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์สี่ออร์มไวท์ ขนาด 36 วัตต์ 3350 ลูเมน จำนวน 2 หลอดต่อดวงโคม
5. ค่าคุณลักษณะของห้องที่ใช้ในการคำนวณ ได้แก่ค่าการสะท้อนของพื้นผิวเพดานเท่ากับ 0.7 ค่าการสะท้อนของผนังเท่ากับ 0.5 และค่าการสะท้อนของพื้นเท่ากับ 0.2
6. ความสูงของระนาบผิวใช้งานจากพื้นห้องเท่ากับ 0.85 เมตร
7. ความสูงของระดับแนวทิศทางการมองของผู้สังเกตจากพื้นห้องเท่ากับ 1.2 เมตร
8. ตัวประกอบการบำรุงรักษาเท่ากับ 1



รูปที่ 5.41 เลือกไฟล์ข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมและจำนวนดวงโคม

จากนั้นทำการระบุข้อมูลคุณลักษณะของพื้นที่ห้องที่ทำการทดสอบ อันประกอบไปด้วยขนาดมิติของห้อง ซึ่งมีขนาดความยาวเท่ากับ 72.5 เมตร ความกว้างเท่ากับ 33.7 เมตร และความสูงเท่ากับ 4 เมตร, ค่าการสะท้อนของพื้นผิวต่างๆ อันประกอบไปด้วย ค่าการสะท้อนของพื้นผิวเพดานเท่ากับ 0.7 ค่าการสะท้อนของผนังเท่ากับ 0.5 และค่าการสะท้อนของพื้นเท่ากับ 0.2, ความสูงของระนาบผิวใช้งานจากพื้นห้องเท่ากับ 0.85 เมตร, ตัวประกอบการบำรุงรักษาเท่ากับ 1 แสดงได้ดังรูปที่ 5.42



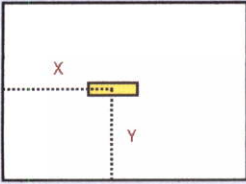
รูปที่ 5.42 ระบุข้อมูลคุณลักษณะของห้อง

เมื่อระบุข้อมูลคุณลักษณะของห้องที่ทำการทดสอบแล้ว โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างแสดงตำแหน่งการติดตั้งดวงโคม โดยทำการระบุตำแหน่งดวงโคมแบบแถวซึ่งมีระยะการติดตั้งต่างๆ ดังในรูปที่ 5.38 หน้าต่างของโปรแกรมในขั้นตอนการระบุตำแหน่งดวงโคมแสดงได้ดังรูปที่ 5.43 และหน้าต่างแสดงตำแหน่งการติดตั้งดวงโคม แสดงได้ดังรูปที่ 5.44

Luminaire position

Continuous Luminaires

Top View



Distance from the left wall (X)
X = 1.5 meters

Distance from the lower wall (Y)
Y = 1.3 meters

Distance between the row (A)
A = 2.4 meters

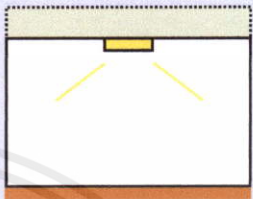
Distance between the column (B)
B = 2.4 meters

Number of the row
No. of row (N) = 14

Number of luminaire in the row
Luminaire in row (L) = 30

Rotate Luminaire

Front View

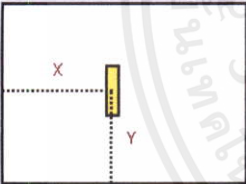


Suspend
 surface mount
 Recessed

suspension length from ceiling (Z)
Suspension Length = 1.2 meters

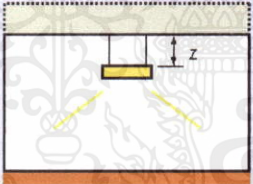
Single Luminaire

Top View



Rotate Luminaire

Front View



Specify distance and suspension length of luminaire position

X = 1.5 meters

Y = 1.3 meters

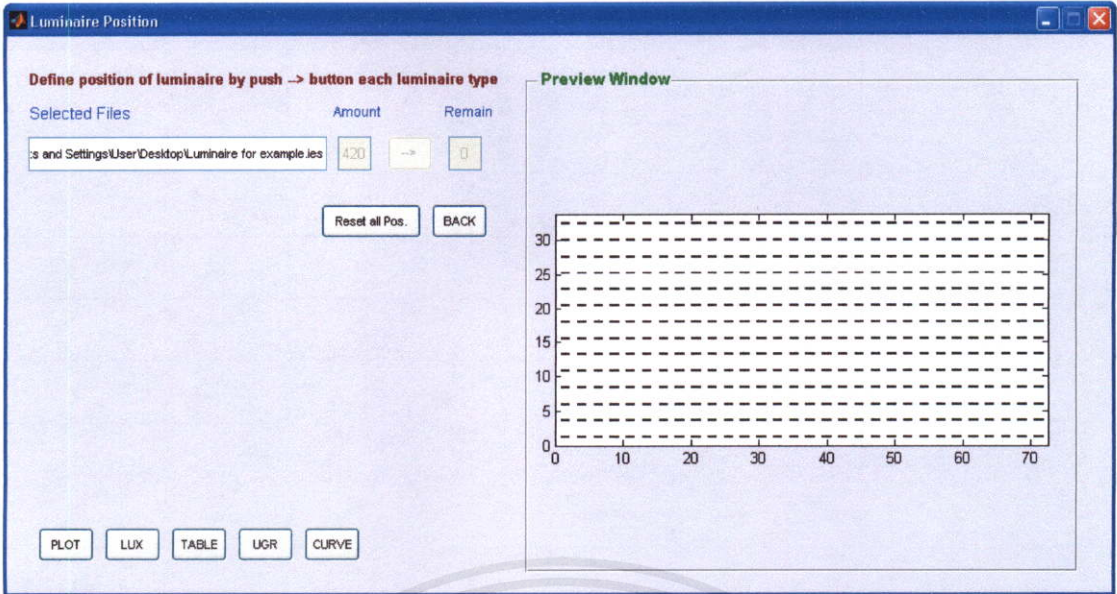
Z = 1.2 meters

Suspend
 surface mount
 Recessed

OK
BACK

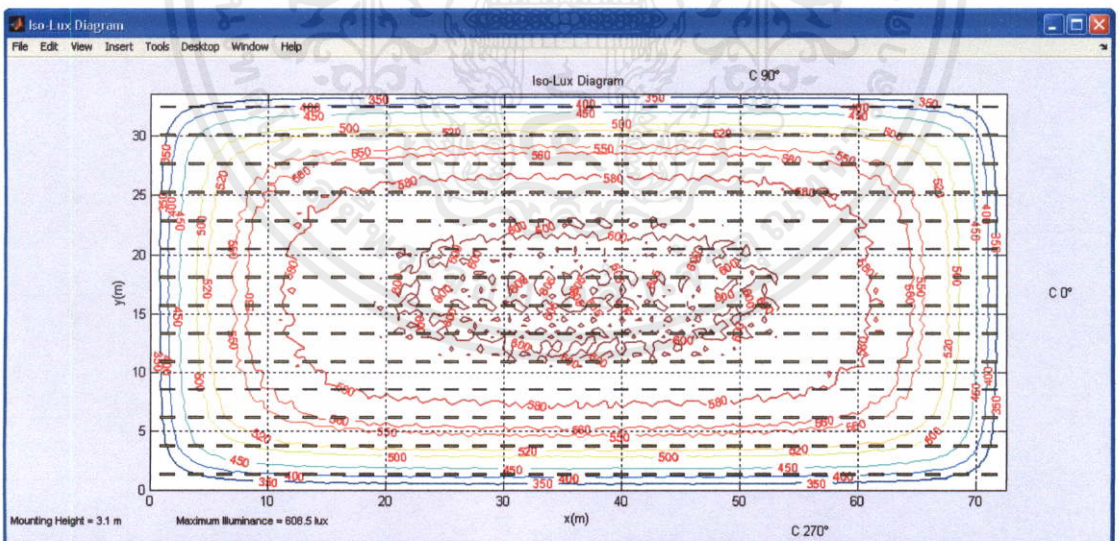
รูปที่ 5.43 กำหนดตำแหน่งของดวงโคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



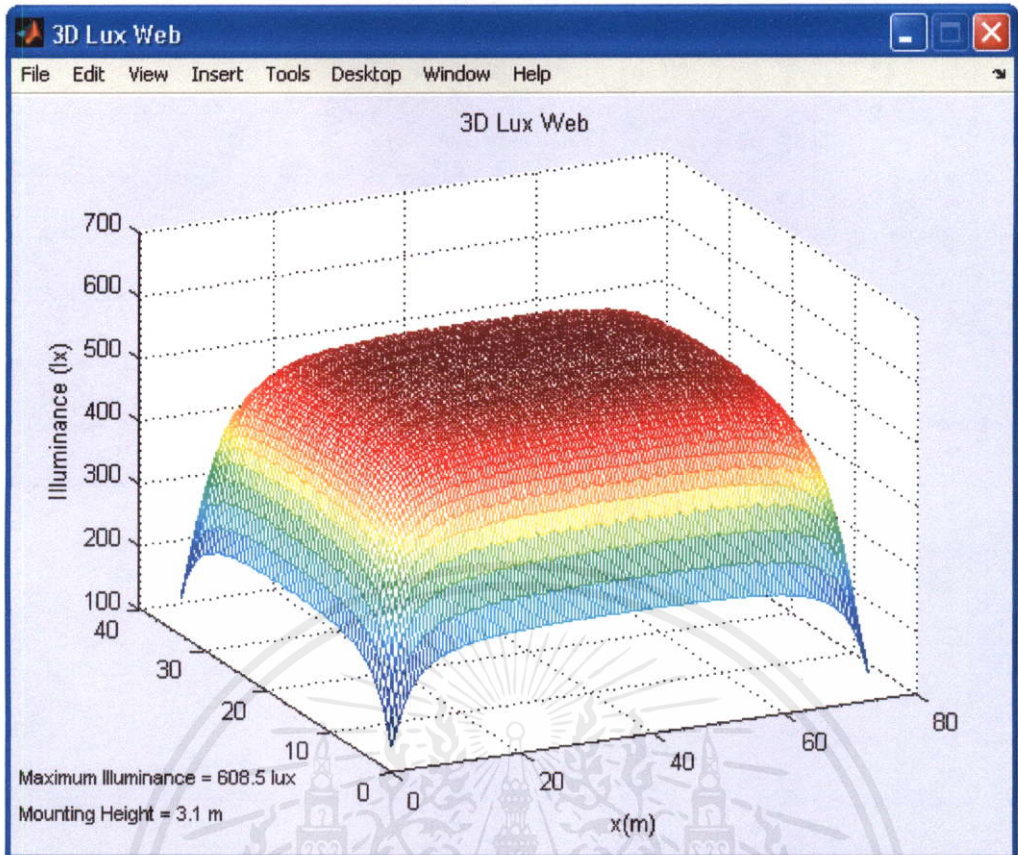
รูปที่ 5.44 หน้าต่างแสดงตำแหน่งการติดตั้งดวงโคม

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบโดยใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น สามารถแสดงเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าบนระนาบผิวใช้งานจากการติดตั้งดวงโคมตามที่กำหนดได้ดังรูปที่ 5.45 และรูปที่ 5.46 พร้อมกับแสดงค่าข้อมูลความเข้มแสงบนระนาบผิวใช้งาน ได้ดังรูปที่ 5.47

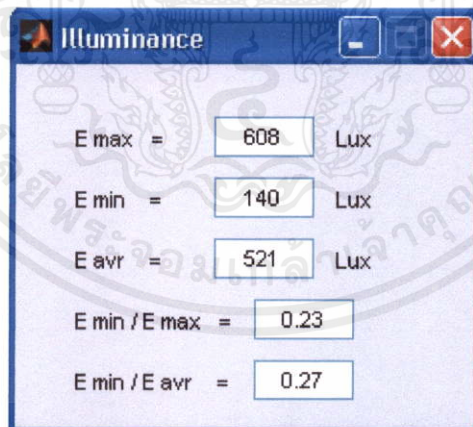


รูปที่ 5.45 เส้น โค้งความเข้มแสงเท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.46 เส้นโค้งความเข้มแสงเท่าบนแกน 3 มิติ



รูปที่ 5.47 ข้อมูลความเข้มแสงบนระนาบผิวใช้งาน

ตารางข้อมูลค่าความเข้มแสง ณ แต่ละจุดกริดบนระนาบผิวใช้งาน แสดงได้ดังรูปที่ 5.48 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

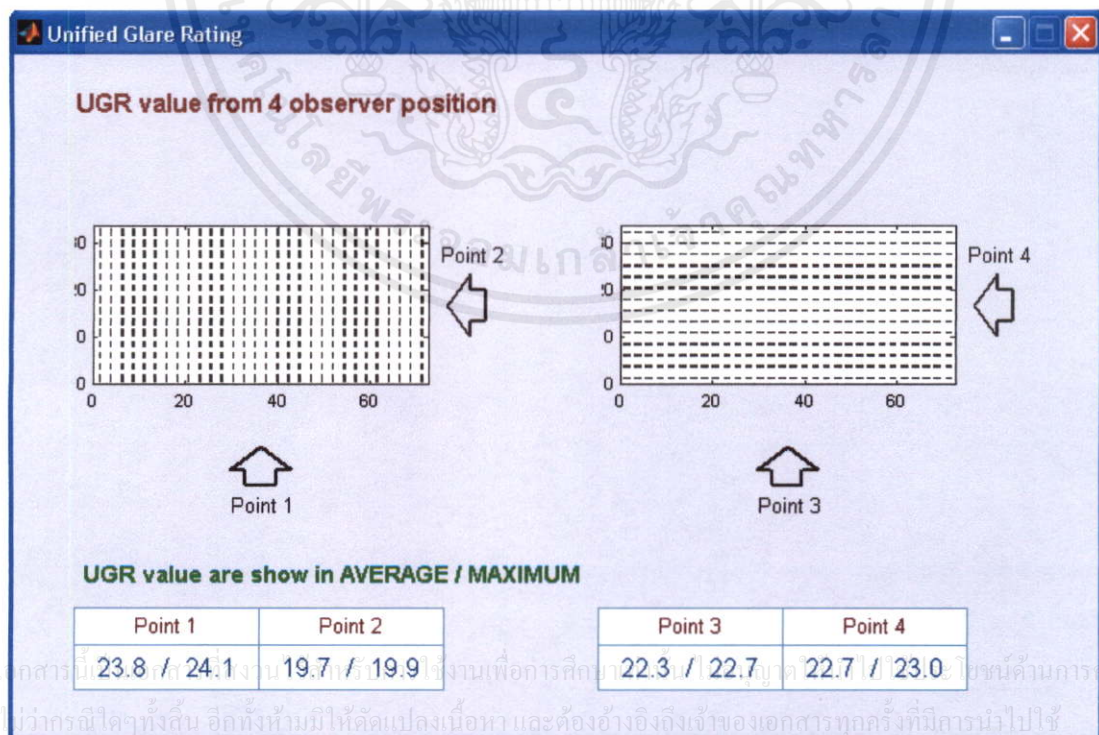
Illuminance Table

Illuminance on working plane Table

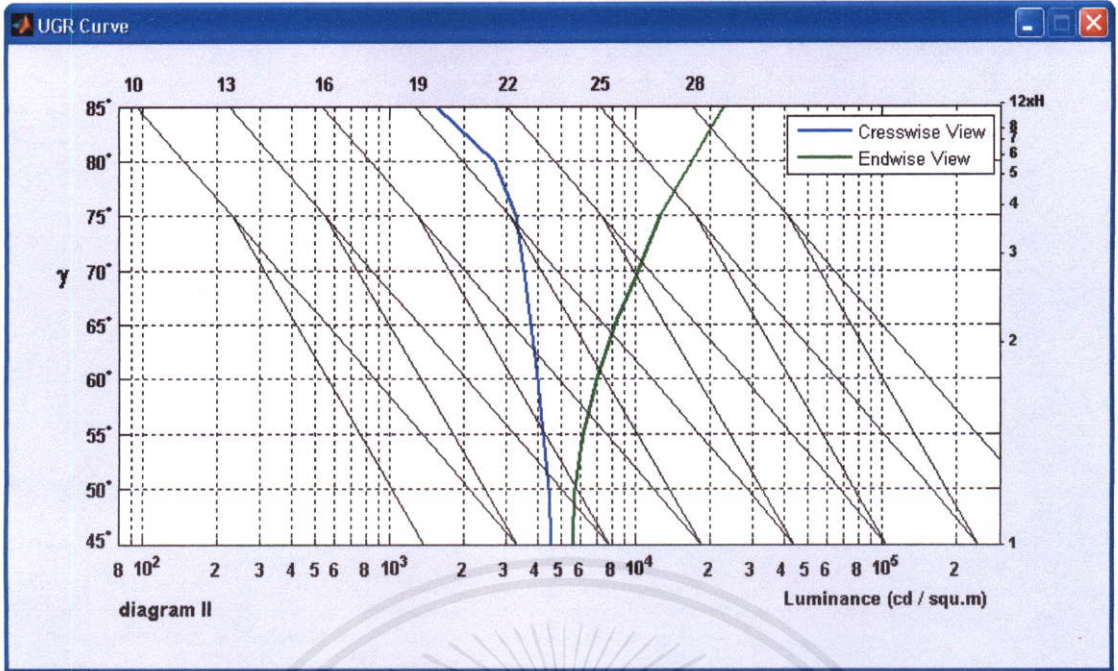
Y \ X	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5
10.5	280.6	319.4	357.4	390.4	422.2	447.7	466.7	478.1	495.3	507.0
10	277.7	316.5	355.7	390.2	419.2	440.8	461.8	477.7	493.2	503.0
9.5	277.5	318.6	355.5	390.1	416.6	440.6	462.4	478.9	493.6	501.8
9	275.3	318.4	360.5	390.6	416.1	443.1	463.1	478.8	493.0	502.0
8.5	277.8	316.0	355.8	390.5	415.5	443.2	459.6	475.4	490.2	499.8
8	274.7	312.9	351.1	384.7	415.6	440.7	458.6	472.1	489.0	499.5
7.5	271.3	310.6	348.5	384.8	412.4	432.6	454.0	469.3	486.8	495.1
7	270.2	311.7	347.3	380.9	408.8	433.4	455.6	469.1	483.6	492.8
6.5	267.6	308.5	350.3	383.1	409.2	433.9	450.8	470.5	483.1	493.1
6	268.4	306.4	347.5	378.1	407.6	432.0	448.8	463.7	476.4	489.0
5.5	263.4	300.5	339.2	371.9	402.6	426.3	443.4	458.1	473.2	483.1
5	258.8	297.3	333.9	371.1	396.9	416.4	436.6	452.1	469.8	476.5
4.5	254.3	295.6	330.4	362.5	390.2	414.2	436.2	446.4	461.0	469.9
4	249.9	287.7	327.7	352.6	388.9	409.2	424.0	441.6	455.6	466.4
3.5	246.1	282.6	320.7	349.0	378.8	401.9	418.0	429.2	441.8	454.1
3	236.2	270.5	307.1	337.4	365.5	386.4	402.3	416.7	429.1	438.2
2.5	226.1	260.7	293.7	328.4	350.1	367.8	384.6	399.6	415.5	420.0
2	213.7	250.0	280.9	307.7	331.3	352.1	370.6	377.0	391.1	398.3
1.5	201.5	231.4	263.4	291.8	315.0	329.7	341.3	353.8	365.3	376.0
1	184.7	213.1	238.3	259.6	283.7	301.5	313.8	319.9	329.7	338.8
0.5	160.9	186.5	209.4	226.7	245.7	258.3	274.6	281.1	287.3	292.9
0	139.9	159.5	177.6	193.1	207.2	219.2	229.0	237.6	244.0	249.2

รูปที่ 5.48 ตารางข้อมูลค่าความเข้มแสง ณ แต่ละจุดกริดบนระนาบผิวใช้งาน

ผลลัพธ์การคำนวณระดับแสงจ้า UGR ภายในพื้นที่ห้องทำงานตัวอย่าง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.49 และผลลัพธ์การคำนวณเคอร์ฟ UGR สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.50



รูปที่ 5.49 ผลลัพธ์ระดับแสงจ้า UGR ในห้องทำงานตัวอย่างที่ทำการทดสอบ



รูปที่ 5.50 ผลลัพธ์เคอร์ฟ UGR ในห้องทำงานตัวอย่างที่ทำการทดสอบ

ผลการคำนวณของโปรแกรมที่ได้จะแสดงให้เห็นว่า ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยที่เกิดขึ้นบนระนาบพื้นผิวใช้งานจากรูปที่ 5.47 มีค่าเท่ากับ 521 ลักซ์ ซึ่งมีค่าอยู่ในระดับที่เหมาะสม เนื่องจากระดับความเข้มแสงที่แนะนำสำหรับพื้นที่ทำงานประกอบชิ้นส่วนขนาดกลาง มีค่าที่ 500 ลักซ์ อีกทั้งเมื่อพิจารณาการกระจายแสงบนระนาบพื้นผิวใช้งาน จากเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าดังรูปที่ 5.45 และรูปที่ 5.46 มีลักษณะที่สม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นผิวใช้งานที่ดี แต่ทว่าเมื่อพิจารณาผลลัพธ์จากการคำนวณระดับแสงจ้าที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ทำงานที่ได้จากรูปที่ 5.49 เนื่องจากดวงโคมทำการติดตั้งในลักษณะแนวยาวนานกับด้านยาวของห้อง จึงทำการพิจารณาผลลัพธ์ระดับแสงจ้า UGR จากตำแหน่งการมองของผู้สังเกตจุดที่ 3 และจุดที่ 4 จากผลลัพธ์ในรูปที่ 5.49 ได้ว่าจุดที่ 3 มีค่าระดับแสงจ้ามากที่สุดเท่ากับ 22.7 และค่าระดับแสงจ้าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 22.3 ส่วนในจุดที่ 4 มีค่าระดับแสงจ้ามากที่สุดเท่ากับ 23.0 และค่าระดับแสงจ้าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 22.7 ซึ่งมีค่าอยู่ในระดับที่สูง อันเนื่องจากระดับแสงจ้าที่แนะนำสำหรับพื้นที่ทำงานประกอบชิ้นส่วนขนาดกลางควรมีค่าไม่เกิน 22 ดังนั้นอาจจะส่งผลกระทบต่อผู้ที่ทำงานภายในพื้นที่ห้องทำงานนี้ ให้เกิดความรู้สึกระคายเคืองตา อันเนื่องมาจากระดับแสงจ้าที่เกิดขึ้นได้เมื่อทำงานต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน โดยผู้ที่ทำงานอยู่ในบริเวณพื้นที่ทางด้านขวามือและด้านซ้ายมือของห้อง เมื่อมีทิศทางการมองเห็นหน้าเข้าหาพื้นที่ห้องแล้ว มีโอกาสที่จะเกิดความรู้สึกระคายเคืองตาจากแสงสว่างในห้องมากกว่าผู้ที่ทำงานอยู่ในบริเวณพื้นที่ทางด้านบนและด้านล่างของห้อง เมื่อมีทิศทางการมองเห็นหน้าเข้าหาพื้นที่ห้องเช่นเดียวกัน เนื่องจากว่ามีทิศทางการมองในแนวขนานกับดวงโคม โดยเมื่อพิจารณาผลลัพธ์จากเคอร์ฟ UGR ประกอบกัน จะเห็นได้ว่าเมื่อทิศทางการมองอยู่ในแนวขนานกับดวงโคมแล้ว จะมีโอกาสทำให้เกิด

ความระคายตาได้มากกว่าเมื่อทิศทางกรมองอยู่ในแนวตั้งฉากกับดวงโคม ซึ่งการแก้ไขระดับแสงจ้าที่สูงเกินข้อแนะนำภายในห้องนี้ สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนดวงโคมที่ทำการติดตั้งใหม่ โดยเลือกใช้งานดวงโคมที่มีลักษณะการกระจายแสงที่แคบลง สามารถพิจารณาได้จากผลลัพธ์เคอร์ฟ UGR ของดวงโคม ซึ่งควรจะเลือกใช้งานดวงโคมที่มีผลลัพธ์เคอร์ฟ UGR ที่มีลักษณะดังรูปที่ 5.25 จะทำให้ระดับแสงจ้าที่เกิดขึ้นภายในห้องมีระดับที่ลดลงได้



รูปที่ 5.51 มุมมองในห้องตัวอย่างระนาบขนานกับดวงโคม



รูปที่ 5.52 มุมมองในห้องตัวอย่างระนาบตั้งฉากกับดวงโคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผล

โปรแกรมสำหรับการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน ที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาโปรแกรมในด้านของการออกแบบระบบแสงสว่าง โดยได้สร้างโปรแกรมแบ่งออกเป็น 2 ฟังก์ชันการทำงานคือ ฟังก์ชันการคำนวณความเข้มแสงของระบบแสงสว่างภายใน มีวัตถุประสงค์เพื่อคำนวณค่าความเข้มแสงที่เกิดขึ้นบนระนาบพื้นผิวใช้งาน ที่เกิดจากการติดตั้งดวงโคมตามตำแหน่งที่ผู้ใช้งาน โปรแกรมเป็นผู้กำหนดเอง ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกติดตั้งดวงโคมมากกว่า 1 ชนิดดวงโคมในพื้นที่ได้ ในฟังก์ชันนี้โปรแกรมจะใช้วิธีการคำนวณความเข้มแสงโดยตรงวิธีจุดต่อจุด โดยผลลัพธ์จากการคำนวณสามารถแสดงอยู่ในลักษณะของเส้นโค้งความเข้มแสงเท่ากับระนาบ 2 มิติ, เส้นโค้งความเข้มแสงเท่ากับระนาบ 3 มิติ, ข้อมูลค่าความเข้มแสงที่คำนวณได้ และตารางค่าความเข้มแสง ณ จุดต่างๆ บนพื้นผิวใช้งาน ส่วนอีกฟังก์ชันการทำงานของโปรแกรมคือ ฟังก์ชันการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน มีวัตถุประสงค์เพื่อคำนวณจำนวนดวงโคม และตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมที่เหมาะสมในพื้นที่ เพื่อให้ได้ระดับความเข้มแสงที่เกิดขึ้นบนระนาบพื้นผิวใช้งานมีค่าตรงตามความต้องการ โดยผู้ใช้งานจะเป็นผู้กำหนดค่าระดับความเข้มแสงที่ต้องการ ในฟังก์ชันนี้โปรแกรมจะใช้วิธีการคำนวณความเข้มแสงเฉลี่ยวิธีไซนอลลาวิตี ผลลัพธ์จากการคำนวณจะแสดงผลจำนวนดวงโคมที่โปรแกรมคำนวณได้ และแสดงลักษณะการติดตั้งดวงโคมเพื่อให้ความเข้มแสงที่เกิดขึ้นบนระนาบพื้นผิวใช้งานมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นผิว อีกทั้งผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาความสามารถของโปรแกรม ในส่วนของการคำนวณระดับแสงจ้าที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ ทำการคำนวณโดยวิธียูนิไฟด์แกลร์เรตคิง หรือวิธี UGR ซึ่งใช้วิธีสูตรการคำนวณและวิธีเคอร์ฟ UGR ผลลัพธ์จากการคำนวณของโปรแกรมจะแสดงผลเป็นค่าระดับแสงจ้า UGR ในรูปของค่าเฉลี่ยที่ทำกรคำนวณได้ภายในขอบเขตพื้นที่จุดสังเกตและค่าระดับแสงจ้า UGR ที่มีค่ามากที่สุดที่ทำกรคำนวณได้ภายในขอบเขตพื้นที่จุดสังเกตแต่ละจุด ซึ่งทำการคำนวณ ณ จุดสังเกต 4 จุดตามเกณฑ์การพิจารณาแสงจ้า UGR พร้อมกับแสดงผลเคอร์ฟ UGR จากการคำนวณโดยวิธีเคอร์ฟ UGR ซึ่งความสามารถในการคำนวณระดับแสงจ้า UGR สามารถเรียกใช้งานได้จากทั้ง 2 ฟังก์ชันการทำงานของโปรแกรม

จากการทดสอบใช้งานโปรแกรมสำหรับการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน ที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ สามารถทำงานได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ คือสามารถทำงานได้ผลในทั้ง 2 ฟังก์ชัน คือฟังก์ชันการคำนวณความเข้มแสงของระบบแสงสว่างภายใน และฟังก์ชันการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน ผลลัพธ์จากการคำนวณสามารถทำความเข้าใจได้ง่าย รวมทั้ง

สามารถคำนวณระดับแสงจ้าที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ทำงาน อันจะส่งผลกระทบต่อผู้ที่ต้องทำงานภายในพื้นที่นั้นได้ จึงนับว่าเป็นสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งที่ไม่ควรมองข้ามในการพิจารณาสำหรับการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน ถึงแม้ว่าผลลัพธ์การคำนวณระดับแสงจ้าจากโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ จะมีความคลาดเคลื่อนจากตัวอย่างที่อ้างอิงในรายงานของ CIE แต่ทว่าผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบขั้นตอนการคำนวณทุกขั้นตอนอย่างละเอียด พร้อมกับทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากโปรแกรมที่ใช้งานทางวิศวกรรมส่องสว่างอื่นๆ พบว่าได้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกัน และเมื่อนำโปรแกรมสำหรับการออกแบบระบบแสงสว่างภายในที่พัฒนาขึ้น ทดสอบกับพื้นที่การทำงานจริงแห่งหนึ่งดังตัวอย่างที่ได้แสดงในบทที่ 5 สามารถให้ผลลัพธ์ที่เกิดประโยชน์ต่อการจัดการและการออกแบบระบบแสงสว่างภายในได้

6.2 ปัญหาจากงานวิจัยและข้อจำกัดของโปรแกรม

ปัญหาที่เกิดขึ้นในช่วงระหว่างการค้าเนงานวิจัย และข้อจำกัดสำหรับการใช้งานบางประการ ของโปรแกรมสำหรับการออกแบบระบบแสงสว่างภายในที่ได้ทำการพัฒนานั้น มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ขั้นตอนการคำนวณและสมการคำนวณระบบแสงสว่างภายในของโปรแกรม เป็นการคำนวณสำหรับพื้นที่ห้องที่มีลักษณะทรงสี่เหลี่ยมทั่วไปเพียงลักษณะเดียว
- การทำงานของโปรแกรม ในฟังก์ชันการคำนวณความเข้มแสงของระบบแสงสว่างภายใน ซึ่งทำการคำนวณโดยวิธีจุดต่อจุดนั้น เป็นการแสดงผลให้ผู้ใช้งานทราบถึงลักษณะการกระจายแสงภายในระบบแสงสว่าง เพื่อพิจารณาถึงความสม่ำเสมอของความเข้มแสงที่เกิดขึ้นบนระนาบพื้นผิวใช้งาน โดยที่ไม่ได้พิจารณาถึงการสะท้อนจากพื้นผิวต่างๆ ของห้องประกอบในการคำนวณ
- โปรแกรมได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยการเขียนโปรแกรมใน M-files ของโปรแกรมเมทแลป ดังนั้นผู้ที่ต้องการใช้งานโปรแกรมที่ได้พัฒนานี้ จะต้องทำการคัดลอก M-files ต้นฉบับลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต้องการใช้งาน และสามารถที่จะแก้ไข M-file ต้นฉบับ อาจจะโดยเจตนาหรือไม่เจตนาก็ได้

6.3 ข้อเสนอแนะ

โปรแกรมสำหรับการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน ที่ได้พัฒนาขึ้นภายในวิทยานิพนธ์นี้ เป็นการประยุกต์ใช้โปรแกรมเมทแลปในงานทางด้านวิศวกรรมส่องสว่าง มีจุดมุ่งหมายเพื่อใช้งานสำหรับการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน เพื่ออำนวยความสะดวกและก่อให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน โดยความสามารถของโปรแกรมที่พัฒนานี้ สามารถกล่าวได้ว่าครอบคลุมถึงความ

ต้องการโดยรวมของการออกแบบระบบแสงสว่างภายใน แต่ยังมีข้อจำกัดเล็กน้อยดังที่กล่าวในข้างต้น ซึ่งควรจะทำการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของโปรแกรมให้เกิดประโยชน์ โดยมีแนวทางการปรับปรุงดังต่อไปนี้

- พัฒนาโปรแกรมให้สามารถออกแบบสำหรับพื้นที่ห้อง ที่มีลักษณะรูปทรงอื่นๆ ที่นอกเหนือไปจากทรงสี่เหลี่ยมทั่วไป โดยการเพิ่มสมการการคำนวณในชั้นตอนต่างๆ สำหรับพื้นที่รูปทรงที่หลากหลายขึ้น
- พัฒนาโปรแกรมให้สามารถนำค่าการสะท้อนของพื้นผิวต่างๆ คือพื้นผิวเพดาน, พื้นผิวผนัง และพื้นห้อง มาพิจารณาในส่วนของ การคำนวณความเข้มแสงโดยวิธีจุดต่อจุด เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ของค่าความเข้มแสงที่เกิดขึ้นมีค่าที่ใกล้เคียงกับการติดตั้งมากยิ่งขึ้น
- พัฒนาโปรแกรมให้สามารถทำการเก็บ M-file ดัชนีฉบับ อยู่ในลักษณะของกล่องเครื่องมือบนโปรแกรมเมทแลป เพื่อความสะดวกในการใช้งาน และป้องกันการแก้ไข M-file ดัชนีฉบับโดยไม่เจตนาได้
- พัฒนาหน้าต่างติดต่อกับผู้ใช้งานและรูปแบบการแสดงผลของโปรแกรม ให้มีความสวยงามและน่าสนใจมากยิ่งขึ้น ซึ่งทำการปรับปรุงโดยการใช้งานในส่วนของ Graphic User Interface ของโปรแกรมเมทแลปเพิ่มมากขึ้น
- พัฒนาโปรแกรมให้สามารถทำการคำนวณ โคมไฟที่ติดตั้งในลักษณะติดกับผนัง หรือติดตั้งในลักษณะไฟหลืบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] วินัย พรพจน์รัตนะกุล, “การวิเคราะห์และประมวลผลการกระจายแสงของดวงโคมไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรมแมทแลบ (MATLAB)”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549
- [2] Commission International De L’Eclairage (CIE), Publication CIE 52-1982: “**Calculations for Interior Lighting Applied Method**”, 1982.
- [3] [Online]. Available : <http://www.dialux.com/>, 2007
- [4] Illumination Engineering Society of North America, “**IES Lighting Handbook: Reference Volume**”, New York 1981
- [5] Illumination Engineering Society of North America, “**The Calculation of Utilization Factors; The BZ Method**”, London.
- [6] ศุทธิ บรรจงจิตร, “**วิศวกรรมการส่องสว่าง**”, บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2538.
- [7] R.H. Simons and A.R. Bean, “**Lighting Engineering Applied Calculation**”, Architectural Press, 2001.
- [8] Illumination Engineering Society of North America, “**IESNA Lighting Handbook Reference & Application**”, Ninth Edition, New York, 2000.
- [9] Commission International De L’Eclairage (CIE), Technical report CIE 117-1995: “**Discomfort Glare in Interior Lighting**”, 1995.
- [10] O’Brien, **Lighting Calculations for Thirty-Five Thousand Rooms** (IES), 1959.
- [11] Illumination Engineering Society of North America, “**Standard File Format for The Electronic Transfer of Photometric Data and Related Information – IESNA LM-63-2002**”, December 9, 2002.
- [12] Commission International De L’Eclairage (CIE), CIE 102-1993: “**Recommended File Format for Electronic Transfer of Luminaire Photometric Data**”, 1993.
- [13] Commission International De L’Eclairage (CIE), Standard CIE S 008/E-2001: “**Lighting of Indoor Work Places**”, 2001
- [14] P Sendrup, “**Generalization of the unified glare rating method: a proposal and laboratory**”, *Lighting Res. Technol.*33.4, 243-257, 2001.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 [14] P Sendrup, “Generalization of the unified glare rating method: a proposal and laboratory”,
 “ไม่มีการเผยแพร่สิ่งอื่นที่คัดลอกแบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้”



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.
ตารางแสดงระดับความเข้มแสงและระดับแสงสำหรับพื้นที่ทำงาน
และกิจกรรมต่างๆ ภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงระดับความเข้มแสงสำหรับพื้นที่ทำงานและกิจกรรมต่างๆ ภายในอาคาร

ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	ความเข้มแสง (ลักซ์)	ระดับจำกัดแสงจ้า
พื้นที่อาคารทั่วไป		
ทางเดิน	100	22
บันไดเลื่อน ลิฟต์	150	-
ห้องน้ำ	150	-
ห้องเก็บของ	150	-
โรงงานประกอบ		
เครื่องจักรกลหนัก (ชิ้นงานขนาดใหญ่)	300	25
ประกอบเครื่องยนต์ (ชิ้นงานขนาดปานกลาง)	500	22
อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (ชิ้นงานขนาดเล็ก)	750	19
ประกอบอุปกรณ์เครื่องมือวัด (ชิ้นงานเล็กมาก)	1500	16
อุตสาหกรรมเคมี		
พื้นที่โรงงานภายในทั่วๆ ไป	300	25
กระบวนการอัตโนมัติ	150	15
ห้องปฏิบัติการ ห้องควบคุม	500	22
โรงงานยา	500	22
งานตรวจสอบ	700	19
โรงงานยางรถยนต์	500	22
โรงงานทอผ้า		
งานเย็บ	750	19
งานตรวจสอบ	1000	16
อุตสาหกรรมไฟฟ้า		
โรงงานผลิตสาย	300	-
โรงงานประกอบชุดโทรศัพท์	500	-
ประกอบการพันสาย	750	25
ประกอบวิทยุ โทรทัศน์	1000	-
ประกอบชิ้นส่วนละเอียดของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	1500	-
อุตสาหกรรมอาหาร		
งานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า		
พื้นที่ทำงานทั่วๆ ไป	300	25
ส่วนที่มีการทำงานอัตโนมัติ	200	25

ตารางแสดงระดับความเข้มแสงสำหรับพื้นที่ทำงานและกิจกรรมต่างๆ ภายในอาคาร (ต่อ)

ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	ความเข้มแสง (ลักซ์)	ระดับจำกัดแสงจ้า
งานตรวจสอบ	500	22
อุตสาหกรรมแก้ว		
ห้องเตา	150	28
ห้องผสม โมล	300	25
ห้องเคลือบ ห้องทำงานให้สมบูรณ์	500	22
ห้องสีตกแต่ง	750	-
งานแก้วผลึกและเลนส์ (งานละเอียด)	1000	16
งานเหล็ก		
โรงงานผลิตที่ไม่มีการทำงานโดยมีการเข้าประกอบ	100	-
โรงงานผลิตที่มีการทำงานโดยมีการเข้าประกอบ	150	-
โรงงานผลิตที่มีตำแหน่งทำงานแน่นอน	300	28
พื้นที่ส่วนที่ทำหน้าที่เป็นงานควบคุม	500	25
อุตสาหกรรมหนัง		
พื้นที่ทำงานทั่ว ๆ ไป	300	25
งานตัด เย็บงานผลิตรองเท้า	750	22
งานการควบคุมคุณภาพ	1000	16
ห้องปฏิบัติงานเครื่องจักรและงานขึ้นรูป		
งานที่ไม่แน่นอนหรือนาน ๆ ครั้ง	200	25
งานเชื่อมและโต๊ะทำงาน	300	25
งานที่มีเครื่องจักรอัตโนมัติประกอบ	500	22
งานละเอียดพร้อมทั้งมีเครื่องอัตโนมัติตรวจสอบ	750	22
งานละเอียดมาก ตรวจสอบในชิ้นส่วนเล็ก ๆ	1500	19
ห้องปฏิบัติงานสี		
ส่วนจุ่มและพ่นสี	300	25
งานสีและพ่นและทำให้สมบูรณ์	500	22
งานสีละเอียด	750	22
โรงงานกระดาษ		
งานทำกระดาษ	300	25
กระบวนการอัตโนมัติ	200	25

ตารางแสดงระดับความเข้มแสงสำหรับพื้นที่ทำงานและกิจกรรมต่างๆ ภายในอาคาร (ต่อ)

ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	ความเข้มแสง (ลักซ์)	ระดับจำกัดแสงจ้า
ตรวจสอบ	500	19
งานพิมพ์		
ห้องเครื่องพิมพ์	500	22
ห้องเรียงพิมพ์และพิสูจน์อักษร	750	16
งานแกะตัวพิมพ์และงานละเอียด	1000	16
งานสีและพิมพ์สี	1500	16
งานแกะสลักโลหะและทองแดง	2000	16
งานทำปกหนังสือ	500	19
งานตีกรอบ, งานทำลายนูน	750	22
อุตสาหกรรมสิ่งทอ		
งานแบบ, งานม้วน	300	25
งานปั่น พัน หลอดด้าย งานย้อม	500	22
งานปั่น บิด ถัก	750	25
งานเย็บตรวจสอบ	1000	16
ห้องปฏิบัติงานไม้และเฟอร์นิเจอร์		
งานตัด	200	22
โต๊ะทำงานประกอบ	300	22
งานไสไม้	500	22
งานประกอบสมบูรณ์ ตรวจสอบ	750	22
สำนักงาน		
สำนักงานทั่วไป, ห้องคอมพิวเตอร์	500	19
สำนักงานออกแบบ	750	16
ห้องประชุม	500	16
โรงเรียน		
ห้องเรียน, ห้องเล็กเซอร์	300	16
ห้องปฏิบัติการ, ห้องสมุด, ห้องอ่านหนังสือ	500	19
ห้องศิลป์	500	19
ห้องปฏิบัติงาน ส.โตร์ และพื้นที่แสดงนิทรรศการ	500	19
ห้องปฏิบัติงานที่มีความสะดวกสบาย	300	19

ตารางแสดงระดับความเข้มแสงสำหรับพื้นที่ทำงานและกิจกรรมต่างๆ ภายในอาคาร (ต่อ)

ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	ความเข้มแสง (ลักซ์)	ระดับจำกัดแสงจ้า
ห้องปฏิบัติงานที่ต้องทำงานด้วยตัวเอง	500	19
ซูเปอร์마켓	750	22
ห้องโถง	500	19
พิพิธภัณฑ์และห้องแสดงศิลป์		
งานแสดงที่ไวต่อแสง	150	16
งานแสดงที่ไม่ไวต่อแสง	300	16
โรงภาพยนตร์		
ห้องดู	50	-
ห้องพัก	150	19
ห้องคอนเสิร์ต		
ห้องฟัง	100	-
ห้องพัก	200	19
บ้าน		
ห้องนอน		
ทั่ว ๆ ไป	50	-
หัวเตียงนอน	200	-
ห้องน้ำ		
ทั่ว ๆ ไป	100	-
ส่วนแต่งหน้า	500	-
บันได	100	-
ครัว		
ทั่ว ๆ ไป	300	-
พื้นที่ทำงาน	500	-
ห้องทำงาน	300	-
พยาบาล	150	-
โรงแรม		
ทางเข้า	300	19
ห้องอาหาร	200	-
ครัว	500	22

ตารางแสดงระดับความเข้มแสงสำหรับพื้นที่ทำงานและกิจกรรมต่างๆ ภายในอาคาร (ต่อ)

ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	ความเข้มแสง (ลักซ์)	ระดับจำกัดแสงจ้า
ห้องนอนห้องน้ำ		
ทั่ว ๆ ไป	100	-
เฉพาะที่	300	-
โรงพยาบาล		
แผนกของโรงพยาบาล		
แสงสว่างทั่วไป	100	-
ห้องตรวจ	300	-
ห้องอ่านหนังสือ	200	-
ทางเดิน	5	-
ห้องตรวจ		
แสงสว่างทั่วไป	500	-
ตรวจสอบเฉพาะที่	1000	-
ห้องอายุรเวท		
หัวเตียง	50	-
จุดสังเกต	750	-
สถานีพยาบาล	300	-
ส่วนที่ทำงาน	-	-
แสงสว่างทั่วไป	750	-
เฉพาะที่	30,000	-
ห้องชันสูตร		
แสงสว่างทั่วไป	750	-
เฉพาะที่	10,000	-
ห้องปฏิบัติการและห้องยา		
แสงสว่างทั่วไป	500	19
เฉพาะที่	750	19
ห้องปรึกษา		
แสงสว่างทั่วไป	500	16
เฉพาะที่	750	16

ที่สว่างไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลมาตรฐานดวงโคมพาราโบลาที่ใช้ทดสอบในหัวข้อที่ 5.2.1

[1*36 WATT INTERIOR FLUORESCENT LUMINAIRE]

[TEST] FOR INTERIOR LIGHTING DESIGN

[Luminaire] Parabolic

[Lamp]

[Ballast]

[Starter]

[Capacitor]

TILT=NONE

1 3250.0 1.0 46 10 1 2 0.11875 1.20 0.000

1 1.00 36.0

0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0		
16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	26.0	28.0	30.0		
32.0	34.0	36.0	38.0	40.0	42.0	44.0	46.0		
48.0	50.0	52.0	54.0	56.0	58.0	60.0	62.0		
64.0	66.0	68.0	70.0	72.0	74.0	76.0	78.0		
80.0	82.0	84.0	86.0	88.0	90.0				
0.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0		
80.0	90.0								
910.0	913.25	916.5	919.75	929.5	936.0	952.25	968.5		
988.0	1010.75	1027.0	1040.0	1053.0	1062.75	1069.25	1069.25		
1066.0	1053.0	1033.5	997.75	942.5	867.75	786.5	698.75		
604.5	500.5	383.5	253.5	165.75	100.75	68.25	52.0		
39.0	29.25	22.75	19.5	13.0	9.75	9.75	6.5		
3.25	3.35	3.25	0.0	0.0	0.0				
910.0	916.5	919.75	923.0	929.5	939.25	952.25	965.25		
988.0	1004.25	1023.75	1033.5	1046.5	1056.25	1062.75	1062.75		
1059.5	1046.5	1023.75	991.25	939.25	864.5	786.5	698.75		
607.75	507.0	393.25	286.0	198.25	143.0	107.25	81.25		
58.5	42.25	32.5	22.75	16.25	13.0	9.75	6.5		
3.25	3.35	3.25	0.0	0.0	0.0				
910.0	916.5	919.75	923.0	926.25	936.0	945.75	958.75		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่นอนเอาให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

971.75	991.25	1007.5	1020.5	1023.75	1033.5	1033.5	1033.5
1030.25	1017.25	994.5	965.25	919.75	858.0	780.0	698.75
611.0	520.0	422.5	325.0	237.25	175.5	130.0	100.75
81.25	58.5	42.25	26.0	19.5	13.0	9.75	6.5
3.25	3.35	3.25	0.0	0.0	0.0		
910.0	913.25	916.5	916.5	923.0	926.25	932.75	942.5
955.5	965.25	978.25	988.0	994.5	997.75	997.75	997.75
991.25	981.5	965.25	939.25	903.5	858.0	793.0	715.0
630.5	546.0	455.0	367.25	276.25	201.5	143.0	104.0
78.0	55.25	39.0	26.0	16.25	9.75	6.5	6.5
3.25	3.35	3.25	0.0	0.0	0.0		
910.0	913.25	913.25	916.5	916.5	919.75	919.75	923.0
929.5	936.0	942.5	949.0	952.25	955.5	952.25	952.25
945.75	936.0	923.0	903.5	877.5	841.75	796.25	737.75
666.25	578.5	490.75	403.0	312.0	227.5	156.0	104.0
68.25	45.5	29.25	19.5	13.0	9.75	6.5	6.5
3.25	3.35	3.25	0.0	0.0	0.0		
910.0	913.25	913.25	913.25	913.25	913.25	910.0	906.75
903.5	906.75	903.5	906.75	910.0	910.0	910.0	903.5
897.0	887.25	874.25	858.0	832.25	806.0	770.25	724.75
669.5	604.5	523.25	438.75	347.25	260.0	178.75	113.75
71.5	42.25	29.25	19.5	13.0	9.75	6.5	6.5
3.25	3.35	0.0	0.0	0.0	0.0		
910.0	910.0	913.25	910.0	906.75	903.5	897.0	887.25
884.0	877.5	871.0	867.75	861.25	854.75	851.5	845.0
835.25	828.75	815.75	799.5	776.75	750.75	724.75	685.75
643.5	591.5	529.75	455.0	373.75	282.75	191.75	117.0
68.25	45.5	29.25	22.75	16.25	9.75	6.5	6.5
3.25	3.35	0.0	0.0	0.0	0.0		
910.0	906.75	906.75	903.5	897.0	890.5	880.75	871.0
864.5	851.5	841.75	832.0	822.25	809.25	796.25	783.25
773.5	757.25	741.0	724.75	705.25	682.5	656.5	627.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการสื่อสารเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

694.75	549.25	500.5	438.75	360.75	273.0	182.0	113.75
71.5	45.5	32.5	22.75	16.25	13.0	6.5	6.5
3.25	3.35	0.0	0.0	0.0	0.0		
910.0	906.75	903.5	900.25	897.0	884.0	874.25	864.5
854.75	838.5	828.75	812.5	796.25	780.0	763.75	747.5
728.0	705.25	685.75	659.75	637.0	611.0	585.0	555.75
523.25	487.5	445.25	390.0	321.75	247.0	165.75	107.25
65.0	42.25	29.25	19.5	13.0	9.75	6.5	6.5
3.25	3.35	3.25	0.0	0.0	0.0		
910.0	910.0	906.75	903.5	897.0	887.25	874.25	864.5
851.5	838.5	822.25	809.25	789.75	773.5	754.0	734.5
711.75	692.25	663.0	637.0	607.75	578.5	549.25	516.75
477.75	438.75	393.25	341.25	282.75	211.25	146.25	91.0
58.5	39.0	26.0	19.5	13.0	9.75	6.5	6.5
3.25	3.35	0.0	0.0	0.0	0.0		

ข้อมูลมาตรฐานดวงโคมทรงกลมที่ใช้ทดสอบในหัวข้อที่ 5.2.2

[1*36 WATT 2900 LUMEN SPHERE LUMINAIRE]

[TEST] FOR INTERIOR LIGHTING DESIGN

[Luminaire] Sphere

[Lamp]

[Ballast]

[Starter]

[Capacitor]NONE

TILT=NONE

1 2900.0 1.0 1 10 1 2 -0.40 -0.40 -0.40

1 1.00 58.0

0.0

0.0 10.0 20.0 30.0 40.0 50.0 60.0 70.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

185.6

185.6

185.6
 185.6
 185.6
 185.6
 185.6
 185.6
 185.6
 185.6

ข้อมูลมาตรฐานดวงโคมสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้ทดสอบในหัวข้อที่ 5.3

IESNA:LM-63-2002

[Test]

[Luminaire]

[Lamp] Philips 36W Warmwhite 3000k 3350lm 93lm/w

[Ballast] Philips

[Starter]

[Capacitor] none

TILT=NONE

2 3350 1 19 25 1 2 0.155 1.2 0.055

1 1.0 72

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75

80 85 90

0 15 30 45 60 75 90 105 120 135 150 165 180 195 210

225 240 255 270 285 300 315 330 345 360

886.4 921.1 884.6 851.8 875.5 831.7 760.6 716.8 682.1 627.4 559.9 483.3 403.1 326.5 253.5

184.2 107.6 38.3 10.9

886.4 913.5 886.4 862.9 850.2 790.5 781.5 698.3 682.0 629.5 559.0 475.8 396.2 341.9 269.5

206.2 177.3 159.2 81.4

886.4 888.2 868.7 854.5 827.9 806.6 774.7 714.4 698.5 609.9 590.3 508.8 478.7 429.0 400.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 379.4 349.2 319.1 187.9

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 886.4 836.8 856.3 835.0 810.2 781.8 757.0 723.3 687.9 631.1 592.1 558.4 528.3 512.3 524.8

512.3 487.5 386.5 269.5

886.4 931.0 900.6 872.2 845.8 870.2 821.5 766.7 778.9 722.1 707.9 697.8 655.2 645.0 651.1
645.0 618.7 527.4 367.1

886.4 875.7 912.2 862.8 845.6 828.5 804.9 781.2 798.4 751.2 719.0 723.3 727.6 727.6 734.0
729.7 695.4 530.1 399.2

886.4 865.4 831.7 863.3 848.5 823.2 766.4 770.6 774.8 758.0 720.1 696.9 696.9 711.7 739.0
707.4 692.7 560.1 395.8

886.4 884.2 895.2 864.5 882.0 886.4 816.4 812.0 779.2 752.9 763.8 728.8 763.8 726.6 768.2
742.0 724.4 531.8 407.1

886.4 902.8 884.4 874.1 857.8 865.9 861.8 786.1 777.9 767.7 741.1 704.2 704.2 659.2 671.5
698.1 648.9 526.1 364.4

886.4 857.7 873.9 845.1 793.1 784.1 785.9 755.4 712.4 662.1 638.8 572.4 545.5 549.1 507.8
513.2 484.5 400.1 274.5

886.4 871.9 900.9 844.7 828.4 794.0 794.0 763.1 688.8 659.8 580.1 516.6 485.8 422.4 413.3
384.3 378.9 339.0 201.2

886.4 873.6 899.2 848.0 858.9 783.9 771.0 745.4 664.8 628.2 545.8 500.0 412.1 333.3 282.0
227.1 183.1 164.8 89.7

886.4 855.7 859.3 830.3 839.4 776.1 732.6 700.1 642.2 586.1 548.1 474.0 405.2 345.5 255.1
179.1 114.0 41.6 10.9

886.4 909.9 902.7 855.7 810.4 819.5 768.8 736.3 680.2 618.7 537.3 474.0 414.3 352.8 258.7
222.5 175.5 155.6 79.6

886.4 907.9 852.3 861.3 857.7 787.7 793.1 739.3 674.7 656.7 604.7 538.3 488.1 450.4 396.6
367.8 342.7 299.7 186.6

886.4 903.4 863.8 856.2 848.7 839.3 820.4 750.6 724.2 669.5 626.1 626.1 577.1 539.4 548.8
522.4 492.2 396.1 286.7

886.4 884.4 878.3 866.2 864.2 852.1 785.5 799.6 739.0 714.8 720.8 678.4 642.1 644.1 658.2
652.2 603.7 458.3 355.4

886.4 882.0 925.9 882.0 901.8 882.0 849.1 840.3 776.7 761.3 754.8 739.4 763.5 719.7 730.6
715.3 649.4 517.8 394.9

886.4 913.5 884.1 893.2 879.6 909.0 866.1 863.8 836.7 798.2 775.6 784.7 766.6 753.0 793.7
762.0 698.7 569.8 416.1

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

886.4 869.1 875.6 877.7 853.9 882.1 823.6 808.4 817.1 752.0 780.2 721.7 721.7 723.9 739.0
726.0 687.0 518.0 394.4

886.4 907.1 890.5 876.1 896.7 832.7 853.4 803.8 772.8 762.4 704.6 719.0 663.3 688.1 652.9
663.3 636.4 462.8 349.2

886.4 909.9 923.6 917.7 862.9 845.3 806.2 817.9 737.7 710.3 681.0 639.9 598.8 589.0 542.0
563.5 508.8 397.2 273.9

886.4 859.5 864.9 836.2 836.2 780.5 746.5 712.4 692.6 619.1 590.3 509.6 486.3 418.1 409.1
380.4 362.5 294.3 190.2

886.4 902.9 879.1 849.8 857.1 780.2 767.4 725.2 646.5 626.3 573.2 492.7 423.1 338.8 278.4
217.9 186.8 157.5 82.4

886.4 859.5 838.0 866.7 802.1 782.3 719.5 674.7 640.6 567.0 534.7 450.4 400.1 315.8 242.2
177.6 100.5 39.5 10.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ลาดกระบัง

มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

ENGINEERING

ปีที่ 24 ฉบับที่ 3

กันยายน 2550

1. วงจรสะท้อนกระแสปรับค่าได้ทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้หลักการทรานสลิเนียร์
ยงยุทธ หงษ์พงษ์ พิพัฒน์ พรหมมี มนต์วี สมดุลยภนิก สมยศ จุณณะปิยะ 1
2. การตอบสนองทางแสงของโฟโตไดโอดชนิด Al_n-Si/Al แบบอินเตอร์ดิฟิเคชันด้วยระยะห่างของ
อิเล็กโทรดมีขนาดกว้าง
สุรศักดิ์ เนียมเจริญ อิศระ ศรีธนะชัย สัญญา คุณชาว 6
3. การศึกษาคุณภาพของท่อไอคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากการเตรียมสารแหล่งจ่าย แคตเตไลต์ และ
ฐานรองตัวชนิดกัน
รัฐพงษ์ นาคาไชย เต็มพงษ์ เพ็ชรกุล สมศักดิ์ เขียวศิริกุล สมเกียรติ สุขเดช
เอกราช รัตนอุดมพิสุทธิ 12
4. การเพิ่มประสิทธิภาพอุปกรณ์ Electronic Data Capture ด้วย SSL Protocol สำหรับระบบชำระเงิน
ยุทธนา สรวลธรรมศักดิ์ชัย ทิพย์จักรนุรัตน์ สมศักดิ์ มิตะดา 18
5. เครื่องกำเนิดไอโซโทปที่สนามไฟฟ้ามีความไม่สม่ำเสมอสูงโดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับกำลังต่ำ
แรงดันสูง ความถี่สูง
สุดาพร ขาตาพุทธสิริธรรมศักดิ์ วิจิตร กิณเรศ 24
6. การแก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสามเฟสโดยอาศัยหลักการทวีแรงดันแบบขนานซึ่งมีการควบคุม
แบบเวกเตอร์
องอาจ เกษภษา วิจิตร กิณเรศ 30
7. การหาเวลาที่เหมาะสมที่สุดของงานเจียรไนผิวด้านนอกชิ้นงานที่มีลักษณะทรงกระบอก
อนุสรณ์ วัชรวิไล มิ่ง โลกิจแสงทอง 36
8. การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบเดี่ยว
มนต์ศักดิ์ ทิมสาร อีรพัฒน์ ชัมภูคำ 42
9. การออกแบบพัฒนากล่องเครื่องมือของโปรแกรมแมทแลปสำหรับการประมวลผลข้อมูลทางแสงของ
ดวงโคมไฟถนน
ยุทธนา อัจฉริยะโพธา มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ ศุภี บรรจงจิตร 48
10. การถ่ายเทความร้อนผ่านหน้าต่างกระจกโกลด์ฟิล์มที่ส่งผลต่อการอนุรักษ์พลังงาน
อำพล พิชัยเชิด บรรยงค์ รุ่งเรืองด้วยบุญ 54
11. จลนพลศาสตร์เอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์ม
ชนินทร์ จินตนาวงศ์ ณัฐพงษ์ เสาะแสวงหา รัฐพงษ์ โอตาการ ประกอบ กิจไชยา 60

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม อีกทั้งยังมีให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบพัฒนากล่องเครื่องมือของโปรแกรมเมทแลปสำหรับ การประมวลผลข้อมูลทางแสงของดวงโคมไฟถนน

Development of MATLAB's Toolbox for Roadway Photometric Data Processing

พุทธนา อัจฉริยะโพธา บณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ สุทธิ บรรจงจิตร
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบพัฒนาสร้างกล่องเครื่องมือ (Tool box) สำหรับการประมวลผลข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมไฟถนน ภายใต้การทำงานของโปรแกรมเมทแลป โดยกล่องเครื่องมือที่ได้พัฒนาขึ้น สามารถประมวลผลข้อมูลการกระจายแสงได้ทั้งสองมาตรฐานการจัดเก็บคือ ข้อมูลมาตรฐานการจัดเก็บแบบไออีเอสและซีไออี ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมประกอบด้วย เส้นโค้งการกระจายความเข้มส่องสว่าง, เส้นโค้งโพลาร์, เส้นโค้งความสว่างเท่า, ค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์แสง, และสามารถจำแนกประเภทของดวงโคมไฟถนนตามมาตรฐานไออีเอสและซีไออีได้ ซึ่งถือเป็นคุณสมบัติของโปรแกรมที่จำเป็นอย่างมาก สำหรับการพิจารณาดวงโคมไฟถนน เป็นต้น ผลลัพธ์จากการคำนวณและประมวลผลของกล่องเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นนั้นให้ผลเป็นที่พึงพอใจ โดยผลลัพธ์ที่ได้นั้นมีความถูกต้องและแม่นยำสูงเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับโปรแกรมทางแสงอื่น ๆ

Abstract

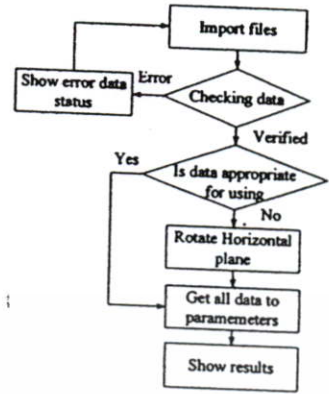
Roadway photometric data analysing and processing was presented in this paper. It was developed on MATLAB as a toolbox application. This toolbox has a capability of receiving luminous intensity data from both IES and CIE file format for processing. The results such as Iso-Candela curve, Polar Curve, Utilization Factor, Iso-Lux Curve, and IES's and CIE's roadway luminaire classification is necessary for consider luminaire's property. Moreover, all of results are promising when compared with other illumination programs.

1. บทนำ

ดวงโคมไฟถนนเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างมากสำหรับผู้ใช้งานท้องถนนในช่วงเวลากลางคืนเนื่องจากเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกด้านการส่องสว่างแก่ผู้ใช้งานในการมองเห็น ซึ่งการออกแบบติดตั้งโคมไฟถนนมีประสิทธิภาพมากเท่าไร ยิ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการมองเห็นของ

ผู้ใช้งานขึ้นเท่านั้น ทั้งนี้การที่จะออกแบบระบบไฟถนนให้มีประสิทธิภาพนั้นจะต้องทราบข้อมูลการกระจายทางแสงที่สำคัญของดวงโคมไฟถนนอย่างแม่นยำและสามารถเข้าใจได้ง่าย อันจะทำให้นำไปสู่การตัดสินใจเลือกใช้ดวงโคมให้ก่อเกิดประโยชน์สูงสุดด้วย

ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะพัฒนากล่องเครื่องมือประมวลผลข้อมูลการกระจายแสงของควมโคมโฟลนบนขึ้น โดยนำโปรแกรมเมทแลปที่มีคุณสมบัติเด่นในเรื่องการคำนวณทางวิศวกรรม มาพัฒนางานด้านวิศวกรรมส่องสว่าง โดยมีคุณสมบัติที่สามารถรองรับการใช้งานได้ทั้งระบบซีไออีและไออีเอส อีกทั้งผลลัพธ์จากการคำนวณและการแสดงผลยังสามารถเข้าใจได้ง่าย เพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้งานต่อผู้ใช้ และคาดหวังว่าจะสามารถก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการใช้งาน และการออกแบบทางวิศวกรรมการส่องสว่าง



รูปที่ 1 ขั้นตอนการทำงานของกล่องเครื่องมือประมวลผล

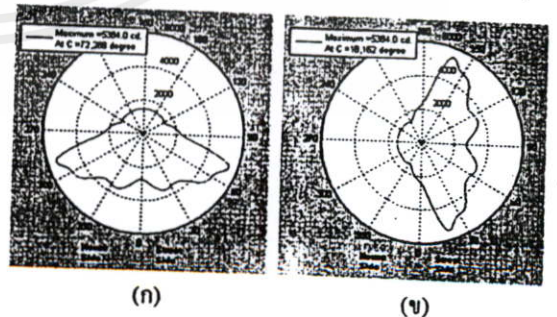
2. โครงสร้างของกล่องเครื่องมือ

การพัฒนากล่องเครื่องมือสำหรับการประมวลผลข้อมูลการกระจายแสงของควมโคมโฟลนในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้งาน M-files Script ประกอบกับการใช้งาน Graphic User Interface (GUI) บนโปรแกรมเมทแลป ในส่วน M-files Script เป็นส่วนของชุดคำสั่งฟังก์ชันการใช้งาน โดยนำฟังก์ชันพื้นฐานของโปรแกรมเมทแลปมาสร้างขึ้นประกอบกันเป็นฟังก์ชันที่ตรงตามลักษณะงานที่ต้องการ ซึ่งจัดเก็บอยู่ในข้อมูลนามสกุลเอ็ม (*.m) ประกอบกับการใช้ GUI สำหรับการติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ใช้งานกับโปรแกรม เช่น กล่องป้อนข้อมูล, รูปภาพ, ปุ่มกด เป็นต้น ซึ่งจะถูกสร้างและจัดเก็บอยู่ในข้อมูลนามสกุลเอฟไอจี (*.fig)

3. การทำงานของกล่องเครื่องมือ

กล่องเครื่องมือสำหรับการประมวลผลข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่างของควมโคมโฟลนที่พัฒนาขึ้น จะสามารถรับค่าข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่างในรูปแบบข้อมูลมาตรฐานนามสกุลไออีเอส (*.IES) ตามมาตรฐาน IESNA LM-63-02[1] และข้อมูลมาตรฐานนามสกุลซีไออี (*.CIE) ตามมาตรฐาน CIE 102-1993[2] ซึ่งมีขั้นตอนการตรวจสอบรายละเอียดของข้อมูลต่างๆ ภายในข้อมูลที่ได้รับ ว่าเป็นไปตามเงื่อนไขของแต่ละมาตรฐานหรือไม่ โดยขั้นตอนการทำงานของกล่องเครื่องมือแสดงได้ดังรูปที่ 1

กล่องเครื่องมือที่พัฒนาขึ้น มีฟังก์ชันในการปรับเปลี่ยนตำแหน่ง โคออดิเนตของแนวระนาบนอนของข้อมูลความเข้มส่องสว่างที่ได้รับ จึงทำให้สามารถรับค่าจากการทดสอบได้ทั้ง 2 รูปแบบในการประมวลผลได้อย่างสะดวก อีกทั้งยังให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลก่อนที่จะนำไปคำนวณและประมวลผลต่อไปได้ ดังรูปที่ 2(ก) เป็นเส้นโค้งโพลารบนศิวกรวยหลักที่ได้จากข้อมูลการกระจายแสงในรูปแบบไออีเอส จะเห็นได้ว่า การกระจายแสงที่แสดงออกมาในฝั่งทางเดินเท้าและฝั่งถนนเท่ากัน ซึ่งไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของควมโคมโฟลน หลังจากทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งโคออดิเนตของแนวระนาบนอนของข้อมูลความเข้มส่องสว่างแล้วจะได้กราฟดังรูปที่ 2(ข) ซึ่งเป็นข้อมูลการกระจายแสงที่เหมาะสมในการแสดงผลอื่นๆต่อไป



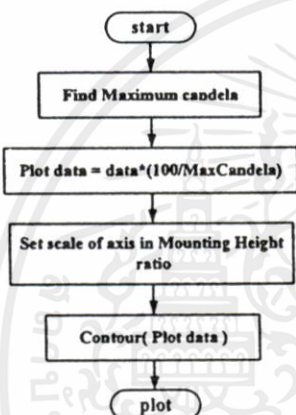
รูปที่ 2 เส้นโค้งโพลารบนศิวกรวยหลักจากข้อมูล

มาตรฐานแบบไออีเอสนำไปใช้
 (ก) ก่อนปรับเปลี่ยนโคออดิเนต
 (ข) หลังปรับเปลี่ยนโคออดิเนต

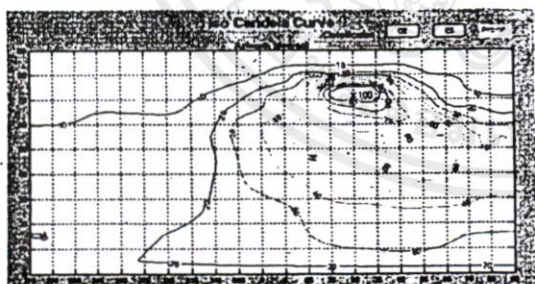
4. การกำหนดและประมวลผล

4.1 เส้นโค้งความเข้มส่องสว่างเท่า

ฟังก์ชันการแสดงผลเส้นโค้งความเข้มส่องสว่างเท่า แสดงได้ดังรูปที่ 3 เริ่มจากนำตัวแปรที่เก็บข้อมูลความเข้มส่องสว่างของดวงโคมมาทำการหาค่ามากที่สุด แล้วนำค่าที่มากที่สุดมาหารค่าข้อมูลทั้งหมด แล้วจึงนำผลหารที่ได้มาคูณด้วย 100 จากนั้นนำผลลัพธ์มาใช้ในการแสดงผลบนแกนอนคือมุม C และแกนตั้งคือมุม γ ได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 แผนภาพการทำงานของฟังก์ชันเส้นโค้งความเข้มส่องสว่างเท่า

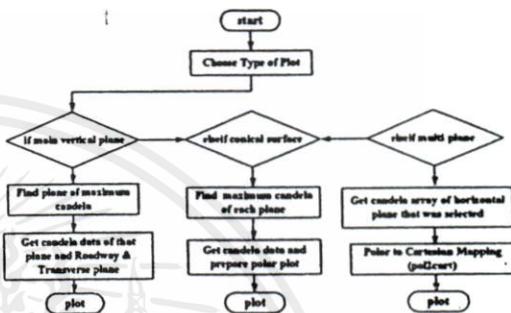


รูปที่ 4 เส้นโค้งการกระจายความเข้มส่องสว่างเท่า

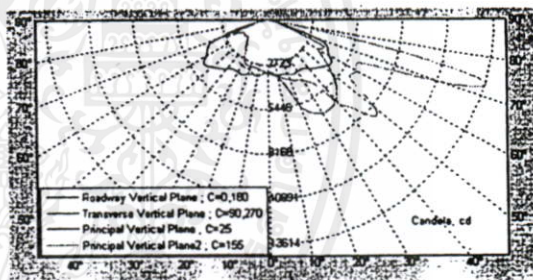
4.2 เส้นโค้งโพลาร์

ฟังก์ชันแสดงผลเส้นโค้งโพลาร์ (Polar curve) แสดงได้ดังรูปที่ 5 โดยโปรแกรมจะแสดงหน้าต่างสอบถามชนิดของการแสดงผล โดยแบ่งออกเป็นการแสดงผลเส้นโค้งของระนาบหลักต่างๆ ได้แก่ ระนาบคิงหลัก (Principal

Vertical Plane) ระนาบคิงที่ขนานกับแนวดถนน (Roadway Vertical Plane) ระนาบคิงที่ตั้งฉากกับแนวดถนน (Transverse Vertical Plane) และการแสดงผลแบบผิวของกรวยหลัก (Principal Conical Surface) พร้อมกันนี้ยังสามารถแสดงผลเส้นโค้งแบบหลายระนาบที่ตรงตามความต้องการได้ดังรูปที่ 6



รูปที่ 5 แผนภาพการทำงานของฟังก์ชันเส้นโค้งโพลาร์



รูปที่ 6 เส้นโค้งโพลาร์บนระนาบคิง

4.3 การจำแนกประเภทดวงโคมไฟถนน

การจัดประเภทของดวงโคมไฟถนนในมาตรฐานทั้งสองมีการกำหนดคุณลักษณะการจัดประเภทที่แตกต่างกันดังนี้

4.3.1 การจำแนกประเภทดวงโคมตามมาตรฐาน CIE

ฟังก์ชันการจำแนกประเภทดวงโคมตามมาตรฐาน CIE และเกณฑ์การจำแนกแต่ละประเภท แสดงได้ดังรูปที่ 8 โดยกรจำแนกดวงโคมตามมาตรฐาน CIE จะกำหนดคุณลักษณะดวงโคมออกเป็น 3 ตัวแปร [3] คือ Throw จะบอกถึงความสามารถในการส่องแสงออกไปทางด้านขนานแนวดถนนได้ช่วงระยะใดหรือไกลเท่าไร เพื่อประโยชน์ในการกำหนดระยะตั้งเสาไฟของโคม

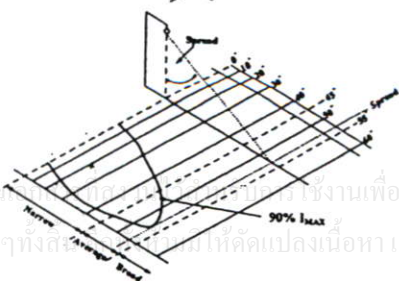
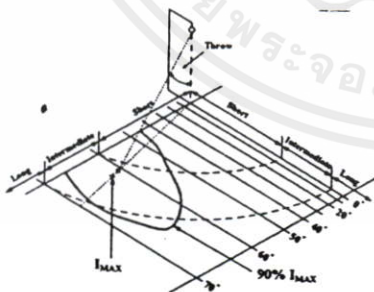
ส่องสว่างแต่ละเสา โพรแกรมจะหาค่าแหน่งมุมในแนวดิ่ง ที่ตำแหน่งมุมค่ากลางของความเข้มส่องสว่างเท่ากับ 90% ของค่าความเข้มส่องสว่างสูงสุดระนาบตั้งหลักตั้งรูปที่ 7

Spread จะบอกให้ทราบว่าจะวงโคจรสามารถส่องแสงออกไปทางด้านหน้าเข้าไปในพื้นที่ผิวดนได้ระยะเท่าไร เพื่อประโยชน์ในการพิจารณาความเหมาะสมของวงโคจรที่ใช้เทียบกับความกว้างของถนน โดยโพรแกรมจะหาค่าแหน่งมุมที่มีค่าความเข้มส่องสว่างเท่ากับ 90% โคที่ขึ้นออกไปด้านถนนมากที่สุด ดังรูปที่ 7

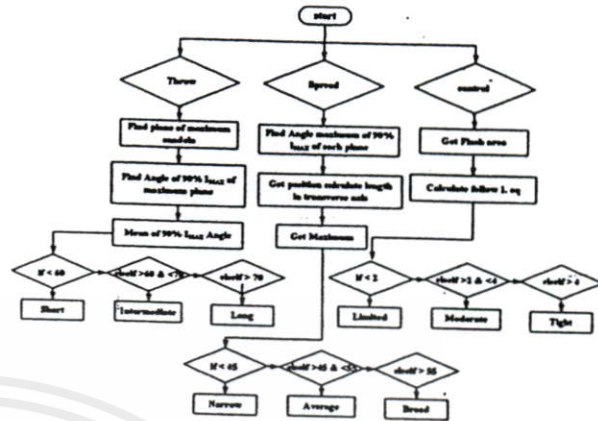
Control เป็นดัชนีจำเพาะของวงโคจร (Specific Luminaire Index: SLI) เพื่อใช้ในการพิจารณาแสงจ้า โพรแกรมจะรับค่าขนาดพื้นที่ส่องแสงของวงโคจร จากผู้ใช้งาน แล้วคำนวณหาค่าดัชนีความสมการที่ (1)

$$SLI = 13.84 - 3.31[\log I_{80}] + 1.3 \sqrt{\log\left(\frac{I_{80}}{I_{88}}\right)} - 0.08[\log\left(\frac{I_{80}}{I_{88}}\right)] + 1.29 \log F + C \quad (1)$$

เมื่อ I_{80}, I_{88} คือ ค่าความเข้มส่องสว่างในระนาบ $C = 0^\circ$ ที่มุม $\gamma = 80^\circ$ และ 88° ตามลำดับ, F คือ พื้นที่เปล่งแสงของโคมไฟเมื่อมองที่มุม $\gamma = 76^\circ$ ในแนวระนาบ $C = 0^\circ$, C คือ แฟคเตอร์ของแสงจากหลอดไฟ ขึ้นอยู่กับชนิดของหลอดไฟ



รูปที่ 7 มุมและช่วงการพิจารณาค่า Throw และ Spread

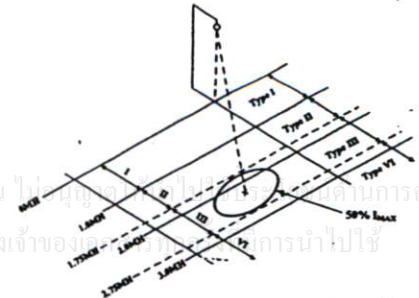
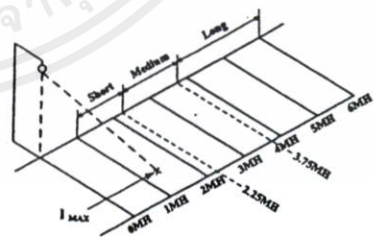


รูปที่ 8 แผนภาพการพิจารณาค่า Throw, Spread, Control

4.3.2 การจำแนกประเภทวงโคจรตามมาตรฐาน IES

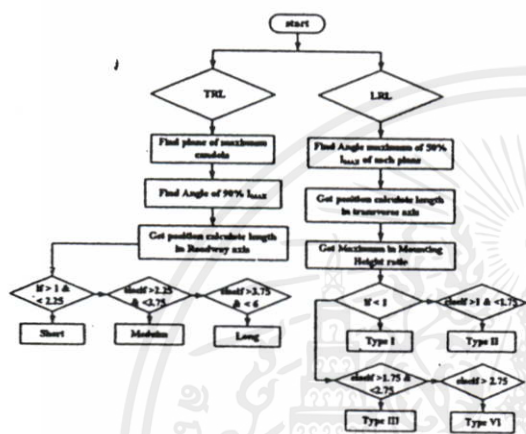
ฟังก์ชันการจำแนกประเภทวงโคจรตามมาตรฐาน IES และเกณฑ์การจำแนกแต่ละประเภท แสดงได้ดังรูปที่ 10 โดยการจำแนกวงโคจรตามมาตรฐาน IES จะกำหนดคุณลักษณะของวงโคจรออกเป็น 2 ตัวแปร คือ

TRL (Transverse Roadway Line) จะบ่งบอกให้ทราบถึงความสามารถของวงโคจรในการกระจายแสงออกไปในทิศทางขนานกับแนวดนว่าสามารถส่องได้ระยะไกลเท่าไร โดยแบ่งออกเป็น 3 ระดับ สามารถหาได้จากค่าแห่งของค่าความเข้มส่องสว่างสูงสุดที่ตกกระทบพื้นผิวดน โดยวัดเป็นอัตราส่วนต่อความสูงของการติดตั้ง ดังรูปที่ 9



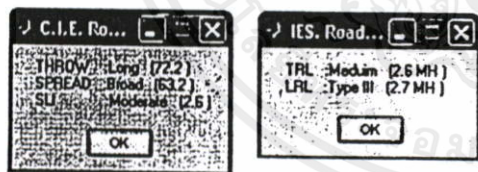
รูปที่ 9 ระยะและช่วงการพิจารณาค่า TRL และ LRL

LRL (Longitudinal Roadway Line) คือระยะที่ป้องกันให้ทราบถึงความสามารถของควมโคมในการกระจายแสงออกไปในทิศทางตั้งฉากกับแนวดนนั้นว่าสามารถส่องได้ระยะไกลเท่าไร แบ่งเป็น 4 ระดับ โดยหาได้จากระยะที่ไกลที่สุดของค่าความเข้มส่องสว่างที่ 50 % ของค่าความเข้มส่องสว่างสูงสุด ในแนวตั้งฉากกับแนวดน ดังรูปที่ 9



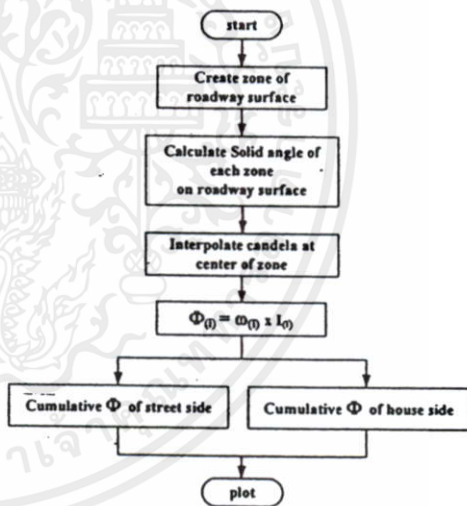
รูปที่ 10 แผนภาพการพิจารณาค่า TRL และ LRL

ผลการจำแนกประเภทของควมโคมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ผลการจัดประเภทโคมไฟถนนในระบบ CIE และ IES

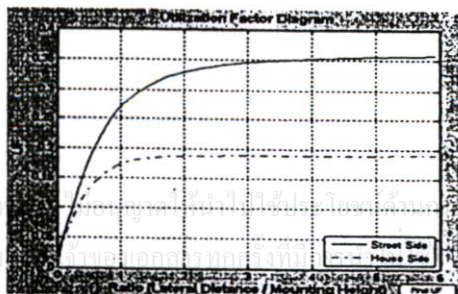
ฟังก์ชันการคำนวณ ตัวประกอบการใช้ประโยชน์แสงแสดงได้ดังรูปที่ 12 โดยจะทำการคำนวณขนาดต่าง ๆ อยู่ในอัตราส่วนของความสูงการติดตั้งควม โดย เริ่มจากการหาค่ามุมเชิงของแข็งของพื้นที่ที่ย่อ (ω) โดยฟังก์ชันแบ่งความละเอียดของพื้นที่ที่ย่อในขนาด 0.1 เท่าของความสูงการติดตั้งควม จากนั้นคำนวณหาค่ามุมในระนาบตั้งและระนาบนอนของตำแหน่งกึ่งกลางของพื้นที่ที่ย่อ แล้วนำค่าที่ได้ไปหาค่าความเข้มส่องสว่าง โดยวิธีการประมาณเชิงเส้น สุดท้ายก็นำค่าความเข้มส่องสว่าง และมุมเชิงของแข็งที่ได้ มาหาค่าฟลักซ์ส่องสว่างในแต่ละพื้นที่ที่ย่อแล้วจึงนำไปแสดงผลดังรูปที่ 13 ค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์แสง คือ อัตราส่วนของฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกบนพื้นผิวถนน กับผลรวมฟลักซ์ส่องสว่างจากโคมไฟถนนที่ส่องบนฝั่งพื้นผิวถนนและฝั่งทางเท้า



รูปที่ 12 แผนภาพการทำงานของฟังก์ชันการคำนวณค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์แสง

4.4 ค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์แสง

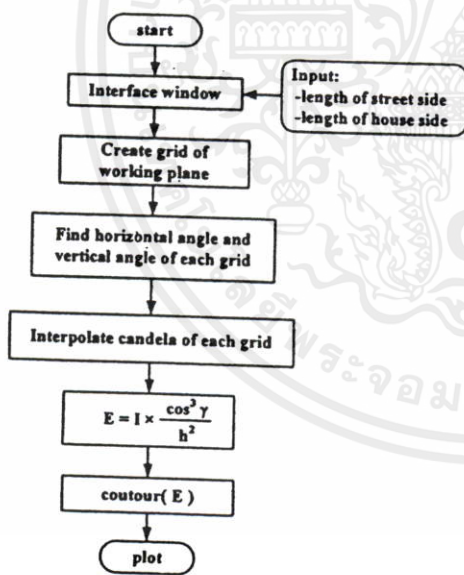
ตัวประกอบการใช้ประโยชน์แสงจะบอกให้ทราบถึงความสามารถของควมโคมในการกระจายฟลักซ์ส่องสว่างให้เกิดประโยชน์บนพื้นถนนและทางเดินเท้า ช่วยในการหาความสว่างเฉลี่ยบนพื้นถนนและการหาระยะห่างที่เหมาะสมของเสาไฟแต่ละต้น[4] ที่คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิง



รูปที่ 13 กราฟตัวประกอบการใช้ประโยชน์แสง

4.5 เส้นโค้งความสว่างเท่า

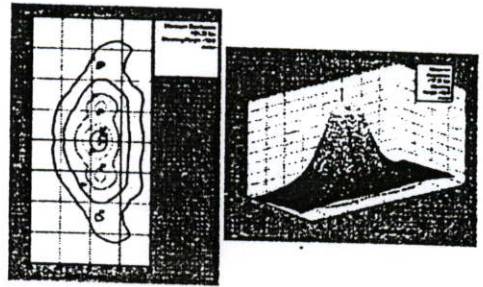
การทำงานของฟังก์ชัน แสดงเส้นโค้งความสว่างเท่าแสดงดังรูปที่ 14 ฟังก์ชันจะทำการสร้างหน้าต่างรองรับให้ผู้ใช้งาน กำหนดระยะของพื้นที่ถนนที่ต้องการ และความสูงการติดตั้งของดวงโคม (h) หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำการแบ่งกริดบนระนาบพื้นผิว เพื่อคำนวณค่ามุมในแนวตั้ง (มุม γ) และมุมในระนาบนอน (มุม C) ที่กระทำกับดวงโคมสำหรับทุกจุดกริด แล้วทำการคำนวณค่าความเข้มส่องสว่างที่แต่ละกริด โดยใช้วิธีการประมาณเชิงเส้น จากนั้นนำค่าความเข้มส่องสว่างที่ได้ไปคำนวณค่าความเข้มแสง โดยใช้วิธีจุดต่อจุด แล้วนำค่าที่ได้ มาหาค่าอัตราส่วนต่อค่าความเข้มแสงมากที่สุด แล้วจึงนำไปแสดงผล โดยจะอยู่ในรูปแบบ อัตราส่วนความสูงของการติดตั้งดวงโคม แสดงผลลักษณะเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าในระนาบ 2 มิติ และระนาบ 3 มิติ เพื่อที่มองเห็นลักษณะของการกระจายความส่องสว่าง บนพื้นถนนได้ชัดเจนมากขึ้นดังรูปที่ 15



รูปที่ 14 แผนภาพของฟังก์ชันเส้นโค้งความสว่างเท่า

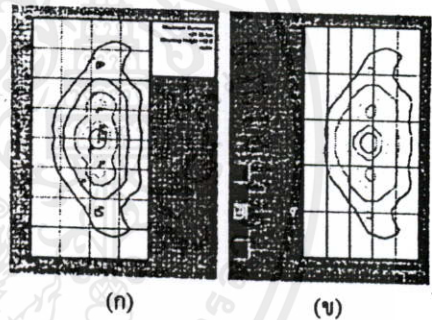
5. สรุปผล

ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณของกล้องเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นในบทความนี้ ในรูปที่ 16 (ก) เทียบกับโปรแกรมทั่วไปที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมทางด้านแสงสว่างในรูปที่ 16(ข) ได้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจ เพราะแสดงผลหลักการ



รูปที่ 15 เส้นโค้งความสว่างเท่าบนระนาบ 2 มิติและ 3 มิติ

กระจายแสงของดวงโคมได้ถูกต้องอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งค่าตัวเลขและรูปภาพที่แสดงผลแตกต่างกันน้อยมาก โดยผู้วิจัยมีความมุ่งมั่นที่จะทำการพัฒนากล้องเครื่องมือให้มีความมีประสิทธิภาพสูงขึ้นและประยุกต์ใช้ในงานทางด้านแสงสว่างอย่างหลากหลายต่อไป



รูปที่ 16 เปรียบเทียบเส้นโค้งความสว่างเท่าบนผิวดน

(ก) ผลลัพธ์จากกล้องเครื่องมือที่พัฒนาขึ้น

(ข) ผลลัพธ์จากโปรแกรมทางแสงทั่วไป

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] IESNA, "Standard Files Format for The Electronic Transfer of Photometric Data and Related Information", LM-63-02
- [2] TECHNICAL REPORTS AND GUIDES: 102-1993: Recommended file format for electronic transfer of luminaire photometric data
- [3] โชยะ แซ่มซ้อย, "พื้นฐานวิศวกรรมการส่องสว่าง", บริษัท เอ็มแอนคี่ จำกัด, 2544
- [4] สุทธิ บรรจงจิตร, "วิศวกรรมการส่องสว่าง", บริษัท ซี เอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2538.