

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบผู้เชี่ยวชาญการออกแบบแสงสว่างภายนอก
EXPERT SYSTEM FOR EXTERIOR LIGHTING DESIGN



โดย
นายอนุรักษ์ ตีระถักนานนท์
นายอุดมศักดิ์ อ้นประเสริฐพร
นายเอกรัฐ เดชานุรักษ์นุกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขหม.....

เลขทะเบียน 37012

วัน, เดือน, ปี 30 ส.ค. 2543

.....

.....

สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2542

ระบบผู้เชี่ยวชาญการออกแบบแสงสว่างภายนอก
EXPERT SYSTEM FOR EXTERIOR LIGHTING DESIGN



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. ศุติ บรรจงจิตร
อาจารย์ ชาย ชมภูอินไหว
อาจารย์ชวี่ ชมภูอินไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2542

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง


เรื่อง ระบบผู้เชี่ยวชาญการออกแบบแสงสว่างภายนอก

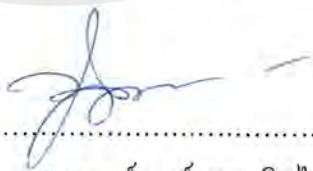
ผู้จัดทำ

1. นายอนุรักษ์ ดิระล็กนันทน์ 39014650
2. นายอุดมศักดิ์ อันประเสริฐพร 39014678
3. นายเอกรัฐ เตชานุรักษ์นุกูล 39014681




.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ. สุทธิ บรรจงจิตร)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ชาย ชมภูอินไหว)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ เชาวร์ ชมภูอินไหว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบผู้เชี่ยวชาญการออกแบบแสงสว่างภายนอก

นายอนุรักษ์ ตีระถึภานานนท์

นายอุดมศักดิ์ อันประเสริฐพร

นายเอกรัฐ เดชานุรักษ์นุกูล

รศ. ศุทธิ บรรจงจิตร อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ชาย ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ เชาวน์ ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2542

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามาใช้ในประเทศไทยของเราเป็นจำนวนมาก เพื่อความสะดวกรวดเร็วในการทำงาน ในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าส่วนการออกแบบระบบส่องสว่างไฟถนน จึงได้เกิดโครงการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยการออกแบบระบบไฟถนนซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานกรมทางหลวงขึ้น

ในส่วนของโปรแกรมนี้ได้นำข้อมูลของดวงโคมไฟฟ้า (IES file) ซึ่งเป็นไฟล์ที่มีการจัดเก็บค่าข้อมูลของดวงโคมทดสอบเป็นไปตามมาตรฐานมาทำการคำนวณโดยวิธีของ CIE เพื่อหาค่าความเหมาะสมในการออกแบบ โดยจะนำเสนอในรูปแบบตารางและกราฟซึ่งสะดวกรวดเร็วต่อการใช้และถูกต้อง

เดิมเราจะทำการคำนวณโดยใช้วิธี Point by point โดยมือ ซึ่งจะใช้เวลาในการคำนวณหาค่าความเข้มแสง และความส่องสว่างให้เป็นไปตามต้องการทั้งค่าความเข้มแสงเฉลี่ย ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย และค่าความสม่ำเสมอของแสงกับค่าความสม่ำเสมอในแนวยาวของถนน ซึ่งอาจจะเกิดความผิดพลาดในการคำนวณได้ เนื่องจากค่าที่ใช้มีจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีการนำคอมพิวเตอร์เข้าช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Expert System For Exterior Lighting Design

Aunrak Teeralabhnanon

Udomsak Anprasertporn

Akkarat Dachanuraknukul

Assoc. Prof. Sulee Banjongjit Advisor

Lecture Chai Chompoo-inwai Advisor

Lecture Chow Chompoo-inwai Advisor

1999

ABSTRACT

Now a day the modern technology are being utilized to provide facility and speed to writing in Thailand. In Electrical Engineering , the part of street lighting system design starts to develop computer software project help for street lighting system design.

This project uses IES file to calculate by CIE method and it shows table and graph. The traditional method , using Point by point method by hand to desire value for average illuminance , average luminance , uniform illuminance and uniform luminance. Sometimes the error occurs in the way and spend a lot of time because we have many values. So computer be brought to use.

สารบัญ

| เรื่อง | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อ | I |
| Abstract | II |
| สารบัญรูป | III |
| สารบัญตาราง | VI |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 1 |
| 1.3 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีการดำเนินงาน | 2 |
| 1.4 ขอบเขตของโครงการ | 2 |
| บทที่ 2 มาตรฐาน IES รูปแบบไฟล์ใช้ในการ โอนย้ายแบบอิเล็กทรอนิกส์ ของข้อมูลทางแสงและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง | 3 |
| บทที่ 3 การออกแบบระบบแสงสว่างไฟถนน | 8 |
| 3.1 ศัพท์และนิยามทางแสงที่เกี่ยวข้อง | 8 |
| 3.2 โคมไฟถนน | 24 |
| 3.3 การติดตั้งไฟถนน | 27 |
| 3.4 ผิวถนน | 30 |
| 3.5 หลอดไฟถนน | 34 |
| 3.6 การแสดงค่าความเข้มแสง | 38 |
| 3.7 การคำนวณค่าความเข้มแสง และค่าความส่องสว่าง | 46 |
| 3.8 การคำนวณแสงจ้าพร่ามันน์ตา | 50 |
| 3.9 การคำนวณแสงจ้ำระคายตา | 55 |
| บทที่ 4 การออกแบบและการใช้งานของ โปรแกรม | 57 |
| 4.1 โครงสร้างของโปรแกรม | 57 |
| 4.2 ขั้นตอนส่วนการนำเข้าข้อมูลการกระจายแสง (IES – Files) | 57 |
| 4.3 ขั้นตอนส่วนการนำเข้าของข้อมูลการติดตั้งของดวงโคมไฟฟ้า (Installation Data) | 57 |
| 4.4 ขั้นตอนส่วนการนำเสนอผลของค่าที่ได้จากข้อมูลการกระจายแสง และข้อมูลการติดตั้งของดวงโคมไฟฟ้า | 58 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|--|----|
| 4.5 วิธีกรใช้โปรแกรม | 64 |
| บทที่ 5 ผลการทดสอบและการเปรียบเทียบโปรแกรม | 76 |
| 5.1 ผลการทดสอบโปรแกรม | 76 |
| 5.2 การเปรียบเทียบโปรแกรม | 91 |
| บทที่ 6 บทสรุป | 96 |
| 6.1 สรุปผลการทดลอง | 96 |
| 6.2 ข้อเสนอแนะ | 97 |
| เอกสารอ้างอิง | |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 3.1 แสดงการหาค่าความส่องสว่าง | 8 |
| รูปที่ 3.2 แสดงความหมายของความเปรียบต่าง | 9 |
| รูปที่ 3.3 ความเข้มแสงและความส่องสว่างที่มองเห็น ตำแหน่งและระยะที่สังเกต | 10 |
| รูปที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสม่ำเสมอทั้งหมด (U_0) กับ ความส่องสว่างเฉลี่ยบนผิวถนน (L_{av}) เพื่อให้สังเกตวัตถุที่เหลี่ยมขนาด 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร ได้ 75 เปอร์เซ็นต์ เมื่อวางวัตถุไว้ตรงจุดที่มีคี่ที่สุดของผิวถนน | 13 |
| รูปที่ 3.5 ความสม่ำเสมอในแนวยาวของถนน | 14 |
| รูปที่ 3.6 แสงจ้าจากไฟถนน | 15 |
| รูปที่ 3.7 แสดงค่าคะแนนควบคุมแสงจ้าร่ายตา (Discomfort glare control make (G)) กับความส่องสว่างเฉลี่ย (L_{av}) ของผิวถนน | 17 |
| รูปที่ 3.8 ระบบสีแบบมันเชลล์ | 18 |
| รูปที่ 3.9 แสดงไดอะแกรมของสี | 19 |
| รูปที่ 3.10 แสดง ไดอะแกรมสีของ CIE ที่แสดงเส้นแพลนเคียน โกลด์ส (P) และเส้นคงที่อุณหภูมิสีที่เทียบเคียง | 20 |
| รูปที่ 3.11 ค่าความเข้มแสงที่แนะนำสำหรับแหล่งกำเนิดแสงที่มีอุณหภูมิต่างกัน | 20 |
| รูปที่ 3.12 ระบบเพลน $c - \gamma$ ที่แสดงลักษณะการกระจายความเข้มส่องสว่างของ ไฟถนน 25 พร้อมทั้งตัวอย่างค่าความเข้มส่องสว่างที่สัมพันธ์กับเพลน $c - \gamma$ | 25 |
| รูปที่ 3.13 (ก) แสดงโพลาร์ไดอะแกรมโดยเพลนที่ขนานกับแนวถนน (Δ) เพลนที่ตั้งฉากกับแนวถนน (0) และเพลนที่มีค่า I_{max} (x) (ข) แสดงโพลาร์ไดอะแกรมของดวงโคมซึ่งมีข้อมูล I จากรูปที่ 3.12 | 26 |
| รูปที่ 3.14 ตัวอย่างไอโซแคนเดลาไดอะแกรมที่สัมพันธ์กับข้อมูล I ในรูปที่ 3.12 (ก) แสดงในรูปสี่เหลี่ยม (ข) แสดงในรูปวงกลม | 27 |
| รูปที่ 3.15 แสดงการติดตั้งโคมไฟถนน | 27 |
| รูปที่ 3.16 แบบติดตั้งเสาไฟ | 29 |
| รูปที่ 3.16 (ต่อ) แบบติดตั้งเสาไฟ | 30 |
| รูปที่ 3.17 การติดตั้งไฟถนนและการมองความส่องสว่างของผิวถนน | 31 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|----|
| รูปที่ 3.18 การกำหนดค่ามุมของแนวที่มองกับแนวระดับ | 32 |
| รูปที่ 3.19 หลอดแสงจันทร์ | 35 |
| รูปที่ 3.20 โครงสร้างหลอดฟลูออเรสเซนต์ | 36 |
| รูปที่ 3.21 หลอดโซเดียมความดันต่ำขนาดต่างๆ | 36 |
| รูปที่ 3.22 หลอดโซเดียมความดันสูงขนาดต่างๆ | 37 |
| รูปที่ 3.23 โคอะแกรมยูทิลิเซชันแฟกเตอร์ | 39 |
| รูปที่ 3.24 แสดงการหาความสว่างที่จุด P | 40 |
| รูปที่ 3.25 (ก) ไอโซลักซ์โคอะแกรม | 41 |
| (ข) การหาความส่องสว่างที่จุด P โดยใช้ไอโซลักซ์โคอะแกรม | |
| รูปที่ 3.26 ไอโซลูมิแนนซ์โคอะแกรมของพื้นผิวถนนมาตรฐาน 4 แบบ | 43 |
| รูปที่ 3.27 ไอโซลูมิแนนซ์โคอะแกรม | 44 |
| รูปที่ 3.28 แสดงการหาค่าความส่องสว่างในกรณีและผู้สังเกตอยู่นอกแนวโคมไฟ | 45 |
| รูปที่ 3.29 แสดงตำแหน่งของโคม ผู้สังเกตและจุดที่พิจารณา (จุด P) บนผิวถนน | 47 |
| รูปที่ 3.30 แสดงการคำนวณหาค่ามุม γ_1 , มุม γ_2 และมุม β | 48 |
| รูปที่ 3.31 แสดงการคำนวณหาค่ามุม C | 50 |
| รูปที่ 3.32 แสดงช่วงมุมมองของผู้ขับขีวดยานบนถนน | 51 |
| รูปที่ 3.33 แสดงการคำนวณหามุม θ | 51 |
| รูปที่ 3.34 แสดงการคำนวณหาค่ามุมต่างๆเพื่อนำมาคำนวณหา L_{av} | 52 |
| รูปที่ 4.1 โพลีชาร์ทแสดงโครงสร้างการออกแบบ โปรแกรม | 59 |
| รูปที่ 4.2 โพลีชาร์ทแสดงขั้นตอนส่วนนำเข้าข้อมูลการกระจายแสง | 60 |
| รูปที่ 4.3 โพลีชาร์ทแสดงโครงสร้างข้อมูลการติดตั้งดวงโคมไฟฟ้า | 61 |
| รูปที่ 4.4 โพลีชาร์ทแสดงโครงสร้างการคำนวณแบบจุดต่อจุด(point by point) | 62 |
| รูปที่ 4.5 โพลีชาร์ทแสดงขั้นตอนส่วนการคำนวณและการนำเสนอผลการออกแบบ | 63 |
| รูปที่ 4.6 แสดงหน้าจอโปรแกรมของส่วนการนำเข้าข้อมูลการกระจายแสง | 65 |
| รูปที่ 4.7 แสดงหน้าจอโปรแกรมส่วนแสดงการกระจายความเข้มการส่องสว่าง | 66 |
| รูปที่ 4.8 แสดงหน้าจอโปรแกรมส่วนนำเข้าข้อมูลการติดตั้งดวงโคมไฟฟ้า | 68 |
| รูปที่ 4.9 แสดงหน้าจอโปรแกรมส่วนยูทิลิเซชันแฟกเตอร์โคอะแกรม | 69 |
| รูปที่ 4.10 แสดงหน้าจอโปรแกรมส่วนแสดงผลการกระจายความเข้มส่องสว่าง | 71 |
| รูปที่ 4.11 แสดงหน้าจอส่วนแสดงผลความเข้มส่องสว่าง โปรแกรม ไมโครซอฟท์เอ็กเซล | 71 |
| รูปที่ 4.12 แสดงหน้าจอส่วนแสดงค่าความเข้มแสง | 72 |

| | | |
|-------------|---|----|
| รูปที่ 5.1 | แสดงโพลาร์ไดอะแกรมของดวงโคมไฟฟ้าที่ใช้ในการออกแบบ | 84 |
| รูปที่ 5.2 | แสดงยูทิลิตีไลเซชันแฟกเตอร์ไดอะแกรมของดวงโคมไฟฟ้า | 84 |
| รูปที่ 5.3 | แสดงไอโซแคนเดลาไดอะแกรมของดวงโคมไฟฟ้า | 85 |
| รูปที่ 5.4 | แสดงไอโซลักส์ไดอะแกรมของดวงโคมไฟฟ้า | 88 |
| รูปที่ 5.5 | แสดงไอโซลูมิแนนซ์ไดอะแกรมของดวงโคมไฟฟ้า | 90 |
| รูปที่ 5.6 | แสดงหน้าจอของโพลาร์เคิร์ฟของโปรแกรมตัวใหม่ | 91 |
| รูปที่ 5.7 | แสดงภาพการติดตั้งเสาแบบทแยงทั้งด้านซ้ายและด้านขวา | 92 |
| รูปที่ 5.8 | แสดงหน้าจอส่วนแสดงการช่วยเหลือ | 93 |
| รูปที่ 5.9 | แสดงส่วนการดูค่ายูทิลิตีไลเซชันแฟกเตอร์โดยละเอียด | 94 |
| รูปที่ 5.10 | แสดงหน้าจอส่วนสรุปผลการคำนวณและการออกแบบทั้งหมด | 95 |



สารบัญตาราง

| | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 3.1 แสดงการแบ่งประเภทถนนตาม CIE | 11 |
| ตารางที่ 3.2 แสดงการกำหนดค่าทางแสงสว่างของไฟถนนตาม CIE | 12 |
| ตารางที่ 3.3 อุณหภูมิเทียบเคียงและสีที่ปรากฏ | 21 |
| ตารางที่ 3.4 สีที่ใช้ในการทดสอบหาค่าดัชนีการตอบสนองสี | 22 |
| ตารางที่ 3.5 การตอบสนองสีของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดต่างๆ | 23 |
| ตารางที่ 3.6 แสดงเกณฑ์ในการพิจารณาการติด โคมถนนบนเสา ก.พ.น. | 28 |
| ตารางที่ 3.7 แสดงการแบ่งประเภทของผิวถนนตาม CIE | 33 |
| ตารางที่ 3.8 แสดงค่าทางแสงของหลอดแสงจันทร์ | 35 |
| ตารางที่ 3.9 แสดงค่าทางแสงของหลอดโซเดียมความดันต่ำ | 37 |
| ตารางที่ 3.10 แสดงค่าทางแสงของหลอดโซเดียมความดันสูงขนาดต่างๆ | 38 |
| ตารางที่ 5.1 ตัวอย่างข้อมูลของดวงโคมไฟฟ้า | 76 |
| ตารางที่ 5.2 ตัวอย่างข้อมูลการติดตั้งของดวงโคมไฟฟ้า | 76 |
| ตารางที่ 5.3 แสดงค่าความเข้มส่องสว่างของดวงโคมของหลอดตัวอย่าง | 77 |
| ตารางที่ 5.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของผิวถนนสำหรับ Class I | 82 |
| ตารางที่ 5.5 แสดงผลของการออกแบบของค่าความเข้มแสง | 85 |
| ตารางที่ 5.6 แสดงผลของการออกแบบของค่าสูงสุด ค่าต่ำสุดและค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มแสง | 87 |
| ตารางที่ 5.7 แสดงผลของการออกแบบค่าความส่องสว่างของดวงโคมไฟฟ้า | 88 |
| ตารางที่ 5.8 แสดงผลของการออกแบบของค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ยและค่าความสม่ำเสมอของค่าความส่องสว่าง | 90 |

บทนำ

บทที่

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การติดตั้งของเสาไฟถนนนั้นเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องมีการออกแบบที่ดีไม่ว่าจะเป็นการตำแหน่งของเสา ความสูงของเสา ระยะขึ้นของเสาหรือแม้แต่การเลือกดวงโคมไฟให้เหมาะกับแต่ละถนนที่มีความกว้าง ความยาวของถนนและประเภทของผิวถนนที่แตกต่างกันไป การออกแบบระบบแสงสว่างภายนอก-ไฟถนนนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อลดอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นจากการขับขี่ยานยนต์ ซึ่งการออกแบบไฟถนนจะต้องคำนึงถึงความส่องสว่างและความเข้มแสงเป็นหลักใหญ่ โดยความเข้มแสงบนถนนสายประธาน ทางด่วนและตามทางแยกที่มีการจราจรแน่นและใช้ความเร็วสูง จะมีค่าความเข้มแสงโดยเฉลี่ยสูงกว่าตามถนน ซอยและทางเดินเท้า ความเข้มแสงบนพื้นถนนควรจะมีค่าสม่ำเสมอ (Uniformity) ซึ่งถนนที่มีความเข้มแสงน้อยแต่สม่ำเสมอ ยังจะดีกว่าถนนที่สว่างและมีดสลับกันเป็นช่วงๆ

แสงจ้ำระคายตา (Discomfort Glare) ที่มีต่อผู้ขับขี่ยานยนต์จะเป็นสิ่งที่ต้องนำมาพิจารณาด้วย ซึ่งเกิดจากแหล่งกำเนิดแสงที่มีความสว่างมากเกินไปเมื่อเทียบกับความสว่างโดยทั่วไป อันก่อให้เกิดความไม่สบายตาต่อการมองเห็น อาการระคายตาจะทำให้ดวงตาเกิดการเมื่อยตาและจะรบกวนต่อการมองเห็น ค่าของแสงจ้ำระคายตาที่ทำให้เกิดความไม่สบายตานี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของหลอดไฟ โคมไฟและการติดตั้งโคมไฟ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.) ศึกษาการเก็บข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมในรูปแบบไฟล์มาตรฐานของข้อมูลทางแสงตามมาตรฐาน IES LM-63-1991 ของ The Illuminating Engineering Society Of North America (IESNA)
- 2.) ทำการจำลองรูปแบบการติดตั้งดวงโคมลงบนพื้นที่ใช้งานจริงผ่านทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์
- 3.) พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการอำนวยความสะดวกสำหรับออกแบบระบบการส่องสว่างภายนอกตามมาตรฐานของกรมทางหลวง โดยวิธีการคำนวณตามหลักการของ CIE โดยการคำนวณค่าความเข้มแสงและค่าความส่องสว่าง
- 4.) สรุปผลการทดสอบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์พร้อมทั้งเสนอแนวทางในการพัฒนาของตัวโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีการดำเนินงาน

- 1.) ศึกษาการเก็บข้อมูลการทดสอบดวงโคมไฟฟ้า (IES-Files) ในรูปแบบของแฟ้มข้อมูลตามมาตรฐาน IES LM-63-1991
- 2.) ศึกษาวิธีการออกแบบระบบแสงสว่างภายนอก-ไฟถนนโดยการคำนวณแบบจุดต่อจุด
- 3.) ศึกษาวิธีการเขียนโปรแกรม Delphi เพื่อใช้ในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์
- 4.) เขียนโปรแกรมเพื่อออกแบบระบบการส่องสว่างไฟถนน
- 5.) ศึกษาโปรแกรม AutoCad เพื่อใช้ในการจำลองการติดตั้งให้ดูง่ายยิ่งขึ้น
- 6.) วิเคราะห์และสรุปผลที่ได้จากโปรแกรม

1.4 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้ศึกษาถึงการติดตั้งของดวงโคมสำหรับการออกแบบระบบแสงสว่าง ซึ่งจะศึกษาระบบส่องสว่างแบบไฟถนนโดยการวิเคราะห์ของค่าความเข้มแสง (Illuminance ; E) และค่าความส่องสว่าง (Luminance ; L) ซึ่งการคำนวณจะใช้วิธีการคำนวณแบบจุดต่อจุด (point by point method) เพราะสามารถคำนวณหาคุณสมบัติทางแสงบนผิวถนนได้ เช่น ค่าความสม่ำเสมอ ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุดและค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงและความส่องสว่างได้ และจะแสดงผลออกมาในรูปแบบของตารางและกราฟ คือ โพลาร์เคิร์ฟ (Polar Curve) ยูทิลไลเซชันแฟคเตอร์ไดอะแกรม (Utilization Factor Curve) และไอโซไดอะแกรม (IsoDiagram) ต่างๆ

สำหรับโครงการนี้จะวิเคราะห์และศึกษาการติดตั้งของเสาไฟถนน 5 แบบ คือ

- 1.) ติดตั้งดวงโคมเฉพาะด้านซ้ายของถนน (Left-Side Only)
- 2.) ติดตั้งดวงโคมเฉพาะด้านขวาของถนน (Right-Side Only)
- 3.) ติดตั้งดวงโคมทั้งด้านซ้ายและด้านขวาตรงข้ามของถนน (Opposite)
- 4.) ติดตั้งดวงโคมที่เกาะกลางถนนแบบกิ่งคู่ (Twin-Branch)
- 5.) ติดตั้งดวงโคมแบบทแยงทั้งด้านซ้ายและด้านขวา (Stagger)

บทที่ 2

มาตรฐาน IES รูปแบบไฟล์ใช้ในการโอนย้ายแบบอิเล็กทรอนิกส์ของข้อมูลทางแสง
และข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

(IES Standard File Format for Electronics Transfer of Photometric Data and Related Information)

รูปแบบไฟล์มาตรฐานนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อการตอบสนองต่อความต้องการของกลุ่มผู้ใช้งานระบบแสงสว่างทั้งในปัจจุบันและในอนาคต และตอบสนองความต้องการในการสร้างโปรแกรมที่สามารถทำการตัดสินใจเกี่ยวกับระบบแสงสว่างที่มีมนุษย์เข้าไปมีส่วนเกี่ยวข้องเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย รูปแบบเฉพาะของไฟล์ของ IES LM-63-1991 จะแสดงดังต่อไปนี้

IES LM-63-1991 ^[4]

| Id | Description |
|----|--|
| 00 | IESNA91 |
| 01 | <Keyword[TEST]> |
| 02 | <Keyword[MANUFAC]> |
| 03 | ... |
| 04 | <Keyword n> |
| 05 | TILT= <file-spec> or <INCLUDE> or <NONE> |
| 06 | <lamp to luminance geometry> |
| 07 | <# of pair of angles and multiplying factors> |
| 08 | <angle> |
| 09 | <multiplying factors> |
| 10 | <# of lamp> <lumens per lamp> <candela multiplier> <# of vertical angle> <# of horizontal angles> <photometric type> <units type> <width> <length> <height> |
| 11 | <ballast factor> <ballast lamp photometric factor> <input watt> |
| 12 | <vertical angle> |
| 13 | <horizontal angles> |
| 14 | <candela value for all vertical angles at first horizontal angle> |
| 15 | <candela value for all vertical angles at first horizontal angle> |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดของข้อมูลใน IES files

1 IESNA91

ใช้เพื่อแสดงว่าเป็นไฟล์ในรูปแบบของ IESNA LM-63-1991 และใช้เป็นจุดเริ่มต้นของไฟล์

2 <Keyword>

คีย์เวิร์ดจะแสดงในบรรทัดที่อยู่ระหว่างบรรทัดถัดจาก IESNA91 และบรรทัดก่อนที่จะถึง “TILT = ” คีย์เวิร์ดที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งของคีย์เวิร์ดทั้งหมดที่กำหนดโดย IES อย่างไรก็ตามคีย์เวิร์ดที่ควรจะปรากฏในทุกไฟล์ก็คือ [TEST] และ [MANUFAC]

[TEST] คือ หมายเลขของรายงานการทดสอบและห้องปฏิบัติการที่ทำทดสอบ

[MANUFAC] คือ ชื่อผู้ผลิตดวงโคมไฟฟ้า

[LUMCAT] คือ หมายเลขในแคตตาล็อกของดวงโคม

[LUMINAIRE] คือ รายละเอียดเกี่ยวกับดวงโคม

[LAMPCAT] คือ หมายเลขแคตตาล็อกของหลอดไฟฟ้า

[LAMP] คือ รายละเอียดของหลอดไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ

3 <TILT=>

บรรทัดนี้บอกให้ทราบว่าเอาที่พุดของดวงโคม / หลอดไฟฟ้าเป็นฟังก์ชันของมุมยกของดวงโคม หรือไม่ ถ้าใช้ในไฟล์จะแสดงข้อมูลของค่าตัวคูณของมุมยกของดวงโคม (Tilt multiplier) ซึ่งจะมี 3 ชนิด คือ “TILT=NONE”, “TILT=INCLUDE” และ “TILT= <filename>”

ถ้าเป็นกรณีของ <NONE> แสดงว่าเอาที่พุดของดวงโคม / หลอดไฟฟ้าไม่เป็นฟังก์ชันของมุมยกของดวงโคมและจะไม่ปรากฏข้อมูลค่าตัวคูณของมุมยกดวงโคม หากเป็นกรณีของ <INCLUDE> จะมีข้อมูลค่าตัวคูณของมุมยกของดวงโคมปรากฏเป็นส่วนหนึ่งของไฟล์ข้อมูลการทดสอบ และในกรณีของ <File-Spec> ข้อมูลของค่าตัวคูณของมุมยกดวงโคมจะแสดงในไฟล์ที่ระบุชื่อในฟิลด์ <File-Spec>

4 <lamp -to-luminaire geometry>

เป็นตัวเลขที่บอกถึงการปรับตำแหน่งภายในของหลอดสำหรับการกระจายแสง จะมีค่าดังนี้
ค่าเป็น 1 เมื่อดวงโคมถูกปรับให้ตั้งตรงลงด้านล่าง , หลอดไฟฟ้าอาจจะอยู่ในแนวตั้งอยู่ในลักษณะหงายขึ้นหรือคว่ำลงก็ได้

ค่าเป็น 2 เมื่อดวงโคมถูกปรับให้ตั้งตรงลงด้านล่าง , หลอดไฟฟ้าจะติดในแนวนอนและยังคงอยู่ในแนวนอน แม้ว่าจะปรับยกดวงโคมขึ้นในระนาบศูนย์กลางก็ตาม

ค่าเป็น 3 เมื่อดวงโคมถูกปรับให้ตั้งตรงลงด้านล่าง , หลอดไฟฟ้าจะอยู่ในแนวนอน แต่ถ้าเมื่อดวงโคมถูกยกขึ้นในระนาบศูนย์กลาง หลอดไฟฟ้าจะอยู่ในลักษณะหงายขึ้นหรือคว่ำลงซึ่งเป็นผลจากการยกดวงโคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 <Number of pairs of angles and multiplying factor>

เป็นค่าที่บอกถึงจำนวนคู่ของหลอด และค่าตัวคูณของความเข้มส่องสว่าง โดยค่านี้จะไม่มีถ้า

TILT=NONE

6 <angles>

บรรทัดนี้จะแจกแจงถึงมุมยกของหลอด และจะไม่มีถ้า TILT=NONE

7 <multiplying factors>

บรรทัดนี้แสดงค่าแฟกเตอร์ตัวคูณของความเข้มส่องสว่างที่สอดคล้องกับมุมยกของโคม

8 <number of lamps>

จำนวนของหลอดไฟฟ้าทั้งหมดภายใน 1 ดวงโคม

9 <lumens per lamp>

เป็นค่าที่บอกถึงอัตรา lumen per lamp ของโคมที่ใช้ในการทดสอบ

10 <multiplier>

ตัวคูณของค่าแคนเดลา ปกติแล้วจะมีค่าเท่ากับ 1.0 แต่ก็อาจจะมีค่าที่มากกว่า 1.0 ก็ได้

11 <# of vertical angles>

แสดงจำนวนมุมในแนวตั้งทั้งหมดในข้อมูลของดวงโคม

12 <# of horizontal angles>

แสดงจำนวนมุมในแนวระนาบทั้งหมดในข้อมูลดวงโคม

13 <photometric type>

เป็นค่าจำนวนเต็มที่บอกถึงชนิดของการทดสอบ โดยมีรายละเอียดของค่าดังนี้

1. สำหรับการทดสอบแบบ type C : Roadway
2. สำหรับการทดสอบแบบ type B : Floodlight
3. สำหรับการทดสอบแบบ type A : Interior

14 <units type>

เป็นค่าจำนวนจริงที่บอกถึงหน่วยที่ใช้ในการบอกมิติของพื้นที่กระจายแสงของโคมซึ่งมีรายละเอียดของค่าดังนี้

เป็น 1 เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางมีหน่วยเป็น ฟุต (feet)

เป็น 2 เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางมีหน่วยเป็น เมตร (meter)

15 <width>

คือระยะที่วัดพื้นที่การกระจายแสงของดวงโคมเมื่อการวัดกระทำในแนวระนาบ 90- 270 องศา

16 <length>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
คือระยะที่วัดพื้นที่การกระจายแสงของดวงโคมเมื่อการวัดกระทำในแนวระนาบ 0-180 องศา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. <height>

เป็นความสูงเฉลี่ยของพื้นที่กระจายแสงของโคม

| <u>พื้นที่กระจายแสงของโคม</u> | <u>ความกว้าง</u> | <u>ความยาว</u> |
|-------------------------------|--------------------------|----------------|
| รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า | ระบุมความกว้าง | ระบุมความยาว |
| รูปทรงวงกลม | เส้นผ่าศูนย์กลาง (ค่าลบ) | ศูนย์ |
| รูปทรงวงกลม | ความกว้างค่าลบ | ระบุมความกว้าง |
| แบบจุด | ศูนย์ | ศูนย์ |

18 <ballast factor>

บัลลาสต์แฟคเตอร์ เป็น อัตราส่วนค่าลูเมนของหลอดไฟฟ้าที่ใช้กับบัลลาสต์เทียบกับค่าลูเมนเมื่อใช้บัลลาสต์มาตรฐานซึ่งทำให้ค่าลูเมนได้ตามพิกัดของหลอด ซึ่งการนำค่าแคนเดลาไปใช้งาน จะต้องคูณด้วยค่าแฟคเตอร์นี้ด้วย

19 <ballast- lamp photometric factor>

เป็น อัตราส่วนของค่าลูเมนเอาต์พุตของโคมเมื่อบัลลาสต์ และ หลอดไฟฟ้าเป็นชนิดที่ใช้ในการสร้างรายงานการทดสอบโคมกับค่าลูเมนเอาต์พุตจากโคมเดียวกันที่ใช้หลอดไฟฟ้าและบัลลาสต์ชนิดอื่นภายใต้เงื่อนไขของการทดสอบ

20 <input watts>

เป็นค่าของวัตต์ทั้งหมดที่ใส่ให้กับดวง โคมรวมทั้งวัตต์ของบัลลาสต์ซึ่งค่านี้จะได้จากการวัดระหว่างการทดสอบดวงโคม

หมายเหตุ : สำหรับแฟคเตอร์ของบัลลาสต์ (ballast factor), แฟคเตอร์ของบัลลาสต์และหลอดที่ใช้ในการทดสอบ (ballast lamp photometric) และวัตต์ที่ป้อนให้ (input watts) ถ้าไม่ทราบค่าให้ใช้ค่า 1.0 , 1.0 และวัตต์รวม (total watts) ตามลำดับ

21 <vertical angles>

คือค่าของมุมแนวตั้ง (vertical angles) ในการทดสอบดวงโคม ซึ่งจะแสดงตามลำดับจากค่าน้อยไปหาค่ามาก สำหรับการทดสอบแบบ C (type C Photometry) ค่ามุมแรกจะเป็น 0 หรือ 90 องศา และค่ามุมสุดท้ายจะเป็น 90 หรือ 180 องศา

22 <horizontal angles>

คือ ค่ามุมแนวระนาบ (Horizontal angles) ในการทดสอบดวงโคม ซึ่งจะแสดงตามลำดับจากค่าน้อยไปหาค่ามากในการทดสอบแบบ C ค่ามุมแนวระนาบ ค่าแรกจะเป็น 0 องศาเสมอและค่าสุดท้ายจะมีค่าตั้งกรณีใดกรณีหนึ่งดังต่อไปนี้

0 ในกรณีนี้จะมีค่ามุมแนวระนาบค่าเดียวและดวงโคมถูกสมมติให้มี การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเอาไว้ใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า กระจายแสงที่สมมาตรในทุกระนาบ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 90 ดวง โคมถูกสมมติให้มีการกระจายแสงที่สมมาตรในแต่ละควอดแดรนต์
 180 ดวง โคมถูกสมมติให้มีการกระจายแสงที่สมมาตรรอบๆ เพลน 0 ถึง 180 องศา

23 <candela values>

เป็นค่าแคนเดลาที่ได้จากการทดสอบดวงโคมที่มุมแนวตั้งต่างๆในแต่ละเพลน โดยแต่ละบรรทัดจะแสดงค่าแคนเดลาที่มุมแนวตั้งตั้งแต่เพลนแรกที่ทำกรทดสอบถึงเพลนสุดท้าย ค่าแคนเดลา ค่าแรกของแต่ละเพลนจะแสดงที่จุดเริ่มต้นของบรรทัดใหม่โดยค่าแคนเดลาใดๆในเพลนเดียวกัน อาจ จะแสดงต่อกันในบรรทัดที่สองหรือถัดมาก็ได้หากมีความจำเป็น



บทที่ 3

การออกแบบระบบแสงสว่างไฟถนน

วัตถุประสงค์ของการออกแบบระบบแสงสว่างไฟถนนเพื่อลดอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นจากการขับขี่รถยนต์ ซึ่งการออกแบบจะคำนึงถึงค่าความส่องสว่างและความเข้มแสงเป็นหลัก

3.1 ศัพท์และนิยามทางแสงที่เกี่ยวข้อง ^[1]

ในงานด้านวิศวกรรมการส่องสว่างนั้นมีศัพท์เทคนิคที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

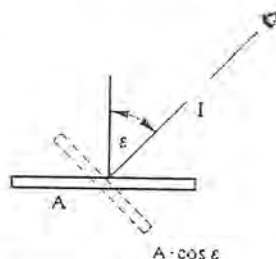
ฟลักซ์การส่องสว่าง (Luminous flux) เขียนย่อด้วย ϕ เป็นพลังงานแสงสว่างที่แผ่ออกจากแหล่งกำเนิดแสงสว่าง มีหน่วยเป็น lumen (lm)

ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (Luminous efficiency) คือการเปรียบเทียบการส่องสว่างของหลอดกับกำลังไฟฟ้าของหลอดนั้นๆ มีหน่วยเป็นลูเมนต่อวัตต์ (lm / w)

ความเข้มส่องสว่าง (Luminous intensity) เขียนย่อด้วย I เป็นความหนาแน่นของฟลักซ์การส่องสว่างจากแหล่งกำเนิดแสงในทิศทางใดๆต่อมุมเชิงของแข็ง มีหน่วยเป็นแคนเดลา (Candela ; cd) ความเข้มส่องสว่างจากโคมไฟที่กระจายในทิศทางต่างๆ อาจแสดงได้ด้วยกราฟการกระจายแสงในทิศทางต่างๆ เช่น แสงที่มุม γ ในเพลน C_0

ความเข้มแสง (Illuminance) เขียนย่อด้วย E คือฟลักซ์การส่องสว่างที่ตกกระทบส่วนย่อยส่วนหนึ่งของพื้นผิวนั้นหารด้วยพื้นที่ส่วนย่อยนั้น โดยถ้าพื้นที่มีหน่วยเป็นตารางเมตร ความเข้มแสงมีหน่วยเป็น lux ถ้าพื้นที่มีหน่วยเป็นตารางฟุต ถ้าพื้นที่มีหน่วยเป็น footcandle (fc) โดย 1 footcandle = 10.764 lux

ความส่องสว่าง (Luminance) เขียนย่อด้วย L คือค่าความเข้มส่องสว่างในทิศทางที่มองของพื้นที่ย่อยนั้น หารด้วยพื้นที่ส่วนย่อยนั้นในทิศตั้งฉากกับทิศทางที่มอง นั่นคือ ความรู้สึกของตาในความส่องสว่างของพื้นผิวที่ส่องสว่างที่ถูกส่องสว่าง มีหน่วยที่ใช้วัด คือ cd / m^2



รูปที่ 3.1 แสดงการหาค่าความส่องสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.1 จะได้

$$L = \frac{I}{A \cdot \cos \varepsilon}$$

ค่าความส่องสว่างสามารถหาได้อีกแบบคือ ผลคูณของค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่าง (Coefficient of luminance ; q) ในทิศทางที่มองกับค่าความเข้มแสงของพื้นผิวนั้น นั่นคือ $L = q \cdot E$

การเปรียบเทียบความส่องสว่าง (Luminance contrast) โดยทั่วไปไฟถนนจะมีระดับแสงค่อนข้างต่ำ การมองเห็นจึงไม่ค่อยดี การที่จะทำให้การมองเห็นดีขึ้นนั้นทำได้โดยการให้แสงที่แตกต่างกันระหว่างวัตถุกับบริเวณที่มองเห็น ซึ่งเรียกว่า luminance contrast (C)

$$C = \frac{L_a - L_b}{L_b}$$

โดย L_a เป็นความส่องสว่างของวัตถุ มีหน่วยเป็น cd/m^2

L_b เป็นความส่องสว่างของบริเวณที่มอง มีหน่วยเป็น cd/m^2

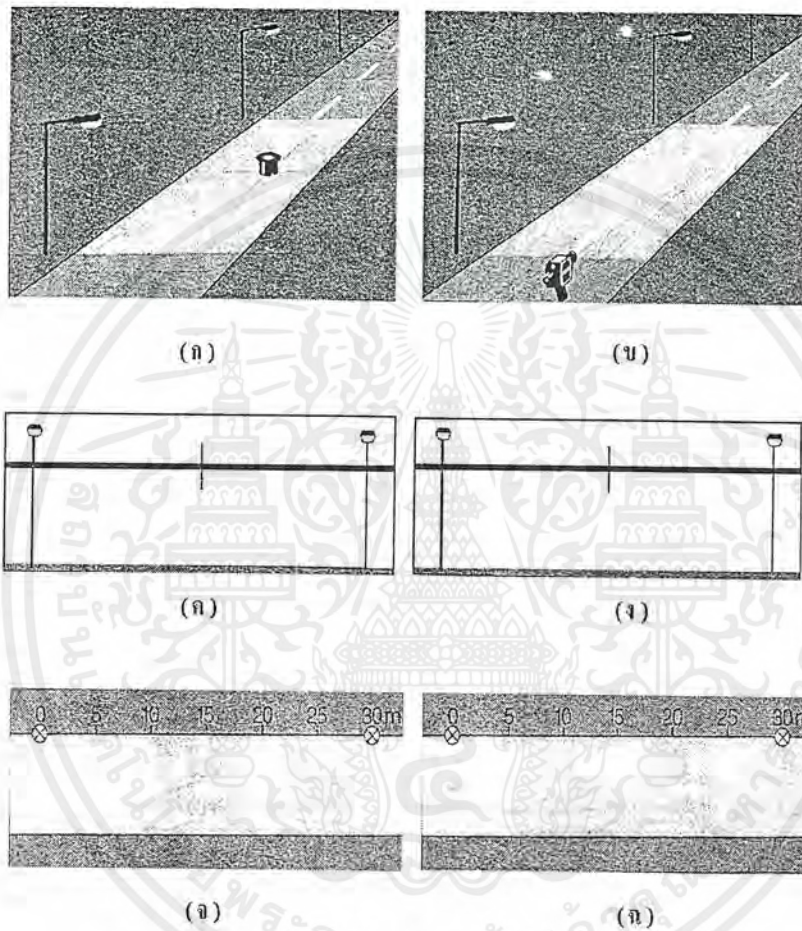
ถ้าวัตถุมืดกว่าบริเวณที่มองจะทำให้เห็นวัตถุเป็นเงาต่ำ ซึ่ง C จะมีค่าเป็นลบ และถ้าวัตถุสว่างกว่าบริเวณที่มอง ค่า C จะเป็นค่าบวก โดยทั่วไปการมองเห็นวัตถุบนถนนในขณะขับขี่ยานยนต์นั้น ค่า C จะมีค่าเป็นลบ นั่นคือ วัตถุมีความส่องสว่างต่ำกว่าความส่องสว่างของบริเวณที่มองโดยรวม ดังนั้นการที่จะทำให้การมองเห็นของผู้ขับขี่ยานยนต์ดีขึ้นนั้น ทำได้โดยการเพิ่มความส่องสว่างบนพื้นผิวดถนน



รูปที่ 3.2 แสดงความหมายของความเปรียบเทียบ

ในกรณีที่พื้นถนนหรือถนนถือว่าเป็นฉากและมีคนข้ามถนน ในกรณีนี้ผลของระดับความส่องสว่างที่มีต่อความสามารถในการมองเห็นงานขึ้นเดียวกัน แต่ถูกจัดให้อยู่ในสภาวะการเปรียบเทียบที่แตกต่างกัน ซึ่งจะพบว่าหากฉากหลังมีสีขาวหรือสว่างมากแล้ว เมื่อระดับความส่องสว่างลดลง ความสามารถในการมองเห็นจะลดลงเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ฉากหลังมีสีเทาหรือมืด ความสามารถในการมองเห็นจะลดลงอย่างมากเมื่อระดับความส่องสว่างลดลงแต่ภาพการมองเห็นที่ดีจะต้องมีการเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานกับผิวอื่นๆต่ำ กล่าวคือ ความเข้มแสงของพื้นผิวต่างๆในภาพที่มองเห็นต้องไม่แตกต่างกันมากนัก อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันมาก มิฉะนั้นจะทำให้การปรับสายตาเป็นไปด้วยความยากลำบากและทำให้เกิดความเมื่อยล้าได้ง่าย หลักการนี้เองจึงจำเป็นต้องจำกัดระดับค่าการเปรียบต่างของวัตถุกับฉากหลัง ไม่ให้มีค่าสูงดังที่อยากจะทำให้เป็น



รูปที่ 3.3 ความเข้มแสงและความส่องสว่างที่มองเห็น ตำแหน่งและระยะที่สังเกต

ความส่องสว่างเฉลี่ย (Average luminance) เขียนย่อด้วย L_{av} คือค่าเฉลี่ยของความส่องสว่างของถนนในบริเวณที่มอง ถ้าระดับความส่องสว่างเฉลี่ยของผิวถนนมีค่าสูงขึ้นจะทำให้การมองเห็นดีขึ้น โดย CIE แนะนำว่าควรมีค่าระหว่าง 0.5 ถึง 100 cd / m^2 ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของถนนว่ามีสภาพการจราจรคับคั่งหรือไม่ มีการแบ่งประเภทของถนนตามตารางข้างล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

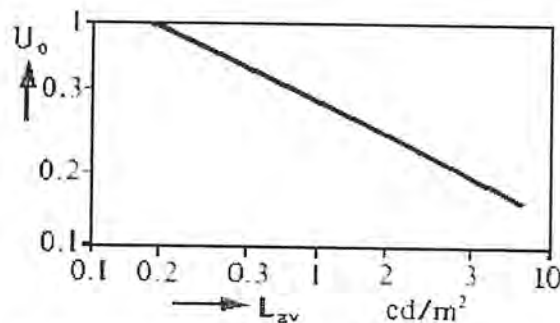
แตกต่างกันมากนัก โดยอัตราส่วนนี้ควรมีค่าเข้าใกล้ 1 ดังนั้นพารามิเตอร์ทางแสงสว่างที่จะกล่าวก็คือค่าความเฉลี่ยสม่ำเสมอทั้งหมด ซึ่งมีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างความส่องสว่างต่ำสุดกับความส่องสว่างเฉลี่ยของบริเวณที่มอง

$$U_o = \frac{L_{min}}{L_{av}}$$

ตารางที่ 3.2 แสดงการกำหนดค่าทางแสงสว่างของไฟถนนตาม CIE

| ประเภท | ส่วนแวล้อม | ระดับความส่องสว่าง ความส่องสว่างเฉลี่ย ของพื้นผิวถนน $L_{av} (cd/m^2) \geq$ | อัตราความสม่ำเสมอ | | ข้อกำหนดแสงจ้า | |
|--------|------------|--|--|---|-------------------------------|--------------------------------------|
| | | | อัตราความ สม่ำเสมอ ทั้งหมด $U_o \geq$ | อัตราความ สม่ำเสมอ ในแนวยาว $U_l \geq$ | ดัชนีความคมแสงจ้า $G \geq$ | การเพิ่มขีดเริ่มต้น $TI(\%) \geq$ |
| A | ใดๆ | 2 | 0.4 | 0.5 | 6 | 10 |
| B 1 | สว่าง | 2 | | | 5 | 10 |
| B 2 | มืด | 1 | 6 | 10 | | |
| C 1 | สว่าง | 2 | 0.4 | 0.5 | 5 | 20 |
| C 2 | มืด | 1 | | | 6 | 10 |
| D | สว่าง | 2 | 0.5 | 4 | 20 | |
| E 1 | สว่าง | 1 | 0.5 | 4 | 20 | |
| E 2 | มืด | 0.5 | 0.5 | 5 | 20 | |

จากการทดลองให้ผู้สังเกตวัตถุที่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาด 20 เซนติเมตรที่วางไว้บนถนนตรงจุดที่มีความส่องสว่างของผิวถนนต่ำที่สุด โดยให้วัตถุดังกล่าวมีค่าการเปรียบต่าง ความส่องสว่าง = 0.25 และผู้จับขีวดยานอยู่ห่างจากวัตถุเป็นระยะทาง 60 ถึง 100 เมตร ซึ่งได้ผลทดลองดังรูป 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสม่ำเสมอทั้งหมด (U_o) กับ ความส่องสว่างเฉลี่ยบนผิว
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ผู้ให้พิมพ์เรียงซึ่งจะขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถนน (L_{av}) เมื่อให้สังเกตวัตถุที่เหลี่ยมขนาด 20 ลูกบาศก์เซนติเมตรได้ 75 เปอร์เซ็นต์ เมื่อวางวัตถุไว้ตรงจุดที่มีคี่ที่สุดของผิวถนน

จากรูปที่ 3.4 เมื่อ $U_0 = 0.4$ จะได้ $L_{av} = 1.5 \text{ cd / m}^2$ แต่เมื่อค่า U_0 ลดลงครึ่งหนึ่ง นั่นคือ $U_0 = 0.2$ แล้วจะได้ว่า $L_{av} = 5 \text{ cd / m}^2$ จะเห็นว่าเมื่อมีการลดค่า U_0 ลงครึ่งหนึ่ง จะต้องเพิ่ม L_{av} ประมาณ 3 เท่าจึงจะทำให้การสังเกตวัตถุมีผลเท่าเดิม สำหรับค่าความสม่ำเสมอทั้งหมดนี้ CIE แนะนำว่าค่าต่ำสุดควรมีค่าเท่ากับ 0.4 ในขณะที่กรมทางหลวงกำหนดว่าค่าที่ยอมรับได้ต้องไม่ต่ำกว่า 1/3

ความสม่ำเสมอในแนวยาวของถนน (Longitudinal uniformity) เขียนย่อด้วย U_l สำหรับผิวถนนที่มีแถบมืดสว่างสลับกันไปนั้นจะรบกวนผู้ขับขี่รถยนต์ ซึ่งผลอันนี้สามารถลดได้ โดยการลดความแตกต่างของความส่องสว่างระหว่างแถบมืดสว่างลง พารามิเตอร์ที่ใช้วัดผลกระทบอันนี้เรียกว่า ความสม่ำเสมอในแนวยาวของถนน ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนของค่าต่ำสุดและสูงสุดของความส่องสว่างพื้นผิวถนน

$$U_l = \frac{L_{\min}}{L_{\max}}$$

ความสม่ำเสมอในแนวยาวของถนนของช่องวิ่งตามแนวถนนนี้ เป็นพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่ช่วยให้ผู้ขับขี่รถยนต์รู้สึกสบายตาในขณะขับขี่ จากรูปที่ 3.5 ถ้าความสม่ำเสมอตามแนวยาวต่ำ คือ มีการส่องสว่างของผิวถนนน้อยและมากสลับกันไป อาจทำให้เกิดการตาถลนและก่อให้เกิดอุบัติเหตุตามมาก็ได้ ค่าที่กรมทางหลวงแนะนำให้ใช้นั้นกำหนดว่าต้องไม่ต่ำกว่า 1/6

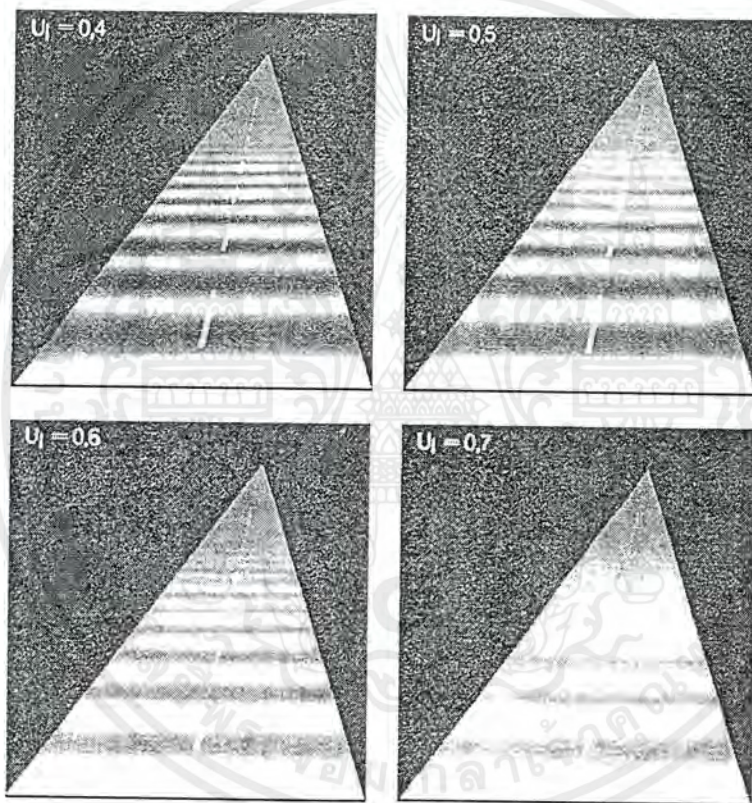
แสงจ้า (Glare) คือความสว่างจ้าที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสงที่มีความสว่างมากเกินไปเมื่อเทียบกับความสว่างโดยทั่วไป อันก่อให้เกิดความไม่สบายในการมองเห็น อาการระคายตาทำให้ดวงตาเมื่อยตาและรบกวนต่อการมองเห็น

แสงจ้าพร่ามัวตา (Disability glare) ในการมองวัตถุให้ได้ความชัดเจนนั้น ภาพของวัตถุนั้นจะต้องตกลงบนเรตินาภายในดวงตา แต่หากมีแสงที่อยู่ข้างเคียงกับวัตถุที่มองส่องเข้าสู่ดวงตา จะทำให้มีม่านบางๆกั้นภาพที่มองนั้นไว้ก่อนที่จะถึงเรตินา เป็นผลให้ภาพของวัตถุไม่ชัดเจน ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่าเกิดแสงจ้าพร่ามัวตา ซึ่งม่านของแสงสว่างดังกล่าวเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$L_v = \frac{h \cdot E_{sc}}{\theta^2} \quad ; \quad E_{sc} = \frac{I}{D^2} \cos \theta$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โดยที่ L_v คือ ค่าความส่องสว่างบดบัง (Veiling luminance) มีหน่วยเป็น cd / m^2
 E_{eye} คือ ค่าความเข้มแสงที่ตาที่เกิดจากต้นกำเนิดแสงที่ทำให้เกิดแสงจ้าพร่าใน
 ทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการมอง มีหน่วยเป็น lx
 θ เป็น มุมระหว่างทิศทางที่มองกับต้นกำเนิดแสงที่ทำให้เกิดแสงจ้าพร่าใน
 หน่วยเป็น องศา
 D เป็น ระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดแสง และ ดวงตา



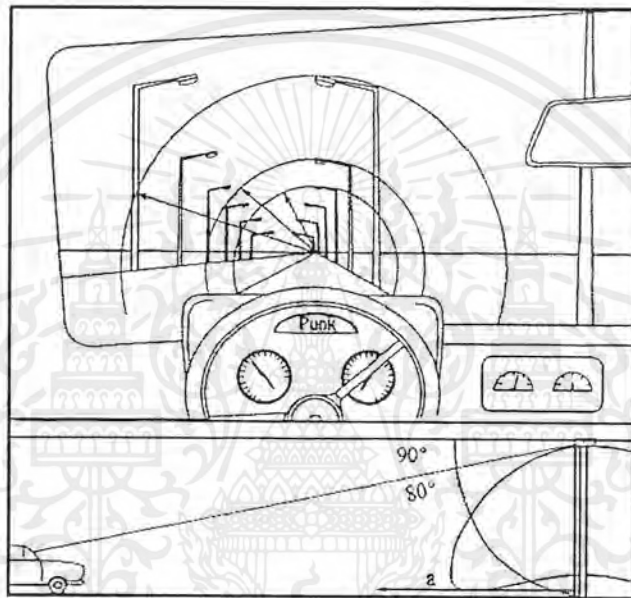
รูปที่ 3.5 ความสม่ำเสมอในแนวยาวของถนน

สำหรับค่า θ นั้นมีค่าอยู่ระหว่าง 1.5 ถึง 60 องศา และค่า h ในสมการเป็นค่าคงที่มีหน่วยเป็น
 องศา/สเทอเรเดียน ซึ่งขึ้นอยู่กับอายุของผู้มองโดยมีค่าเป็น 10 เมื่อผู้มองมีอายุระหว่าง 20 ถึง 30 ปี และ
 จะมีค่าเพิ่มขึ้น 0.2 องศา/สเทอเรเดียนต่อปีอายุผู้มองที่เพิ่มขึ้น

การเพิ่มขีดการมองเห็น (Threshold increment ; TI) คือ หากต้องการมองเห็นวัตถุให้ชัดเจน จะต้อง
 เพิ่มค่าการเปรียบต่างความส่องสว่างของวัตถุนั้น
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$TI = 65 \frac{L_v}{L_{av}^{0.6}}$$

CIE แนะนำว่า ค่า TI สูงสุดเท่ากับ 20 เเปอร์เซ็นต์ โดยมีเหตุผลเดียวกับค่า U_0 ซึ่งจากการทดลองถ้าค่า TI เพิ่มขึ้นจาก 7 เเปอร์เซ็นต์ เป็น 30 เเปอร์เซ็นต์ จะต้องเพิ่มค่า L_{av} ขึ้นประมาณ 2.5 เท่าจึงจะทำให้การสังเกตเห็นวัตถุบนถนนดีดังเดิม



รูปที่ 3.6 แสงจ้าจากไฟถนน

แสงจ้าระคายตา (Discomfort glare) แสงจากโคมไฟที่เข้าสู่ตาผู้ขับขี่รถยนต์บนถนนนั้น นอกจากจะทำให้ความสามารถในการมองเห็นวัตถุลดลงแล้ว ยังทำให้เกิดความรู้สึกไม่สบายตาอีกด้วย ค่าแสงจ้าระคายตาที่ทำให้เกิดความไม่สบายตานี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของหลอดไฟ โคมไฟ และการติดตั้งโคมไฟ ซึ่งแบ่งได้ดังนี้

ก. ลักษณะหลอดไฟและโคมไฟ

I_{80} เป็น ความเข้มส่องสว่างที่มุม 80 องศา กับแนวตั้งลง และขนานกับแนวถนน

I_{80}/I_{88} เป็น อัตราส่วนความเข้มส่องสว่างที่มุม 80 กับ 88 องศา กับแนวตั้งลงและขนานกับแนวถนน

F คือ พื้นที่แฟลช (Flashed area) เป็นพื้นที่ที่โคมไฟเปล่งแสงออกมาที่มุม 76 องศาในระนาบ C_0 มีหน่วยเป็นตารางเมตร ถ้าค่า F คลาดเคลื่อนไป 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การตีพิมพ์ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C เป็นค่าคงที่ทางสีของหลอดไฟซึ่งขึ้นอยู่กับการกระจายสเปกตรัม (Spectral distribution) ของแสงจากหลอดไฟ

ข. ดัชนีการติดตั้งโคมไฟ

L_{av} เป็นค่าความส่องสว่างเฉลี่ยบนผิวถนน

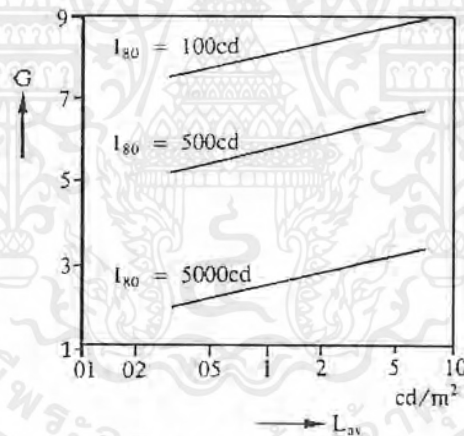
h เป็นความสูงระดับสายตาซึ่งสูงจากพื้นถนน 1.5 เมตร ถึงระดับโคมไฟ มีหน่วยเป็นเมตร

P เป็นจำนวนโคมไฟต่อความยาวถนน 1 กิโลเมตร โดย CIE กำหนดสมการเพื่อหาค่าแสงจ้านี้โดยเรียกว่า คะแนนควบคุมแสงจ้าระคายตา (Discomfort glare Mark)

$$G = SLI + C + 0.97 \log(L_{av}) + 4.41 \log(h) - 1.46 \log(P)$$

$$SLI = 13.84 - 3.31 \log(I_{s0}) + 1.3 \log(I_{s0}/I_{gg})0.5 - 0.08 \log(I_{s0}/I_{ss}) + 1.29 \log(F)$$

โดยที่ SLI คือ ดัชนีจำเพาะของดวงโคม (Specific lantern index)



รูปที่ 3.7 แสดงค่าคะแนนควบคุมแสงจ้าระคายตา (Discomfort glare control make (G)) กับความส่องสว่างเฉลี่ย (L_{av}) ของผิวถนน

CIE ได้ทดลองให้คนนั่งในรถที่ขับไปตามสภาพการติดตั้งไฟถนนต่าง ๆ กัน แล้วถามถึงความพอใจและความสบายตาในการมองผิวถนน แล้วสรุปออกมาได้ว่า

ถ้า $G = 1$ หมายถึง มีแสงจ้าในระดับที่ทนไม่ได้

$G = 3$ หมายถึง มีแสงจ้าระดับรบกวนตา

$G = 5$ หมายถึง มีแสงจ้าระดับที่พอรับได้

$G = 7$ หมายถึง มีแสงจ้าระดับที่น่าพอใจ

$G = 9$ หมายถึง ไม่รู้สึกว่ามีแสงจ้าเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนค่า G ที่เป็นเลขคู่ หมายถึง ความรู้สึกที่อยู่ระหว่างค่า G ที่เป็นเลขคี่ ซึ่งจะสังเกตได้ว่าการคำนวณค่า G นั้นไม่ขึ้นอยู่กับความต่ำเสมอของความส่องสว่าง ความกว้างของถนน และ ชนิดการติดตั้งโคมไฟเลย

สีของแสง (Colour) เป็นปัจจัยที่สำคัญอันหนึ่งในการส่งเสริมบรรยากาศและอารมณ์ การมองเห็นสีนั้นเกิดจากแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งสเปกตรัมของคลื่นที่ออกจากแหล่งกำเนิดสีจะมีผลอย่างมากต่อสีที่ปรากฏบนวัตถุ โดยวัตถุจะมีสีเปลี่ยนไปเมื่ออยู่ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงต่างชนิดกัน

ระบบในการแบ่งแยกสี (System of colour specification) ในการแบ่งสีนั้นในระบบวิศวกรรมแสงสว่างสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลักๆ กลุ่มแรกเป็นระบบที่แบ่งสีเอกรงค์ (Monochromatic colour classification system) โดยระบบที่ใช้ในกลุ่มนี้จะประกอบด้วยตัวอย่างสีมาตรฐานที่ถูกจัดเรียงและตั้งชื่อเพื่อสะดวกในการกำหนด สีที่ต้องการนำมาจัดประเภทจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับสีใดสีหนึ่งในระบบนี้ ระบบที่เป็นที่รู้จักกันดีและใช้กันแพร่หลายที่สุดคือ ระบบมันเชลล์ ส่วนกลุ่มหลังนี้เป็นระบบที่แบ่งสีแบบไตรรงค์ (Trichromatic colour classification system) ระบบนี้อาศัยหลักที่ว่าสีใดๆก็ตามสามารถสร้างขึ้นได้โดยอาศัยการผสมแม่สีทั้งสามสี ระบบที่เด่นที่สุดในกลุ่มนี้ถูกคิดแปลงโดย CIE โดยใช้โดอะแกรม Uniform Chromatic Scale (UCS) สำหรับแบ่งประเภทความแตกต่างของสี

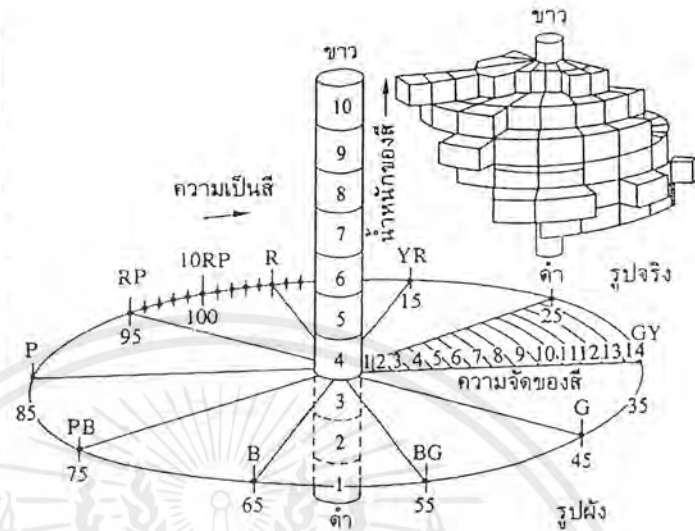
1. ระบบมันเชลล์ ระบบนี้แบ่งประเภทสีของวัตถุภายใต้แสงตะวัน โดยจะกำหนดประเภทสีจากลักษณะดังต่อไปนี้

1.1 ความเป็นสี โดยแบ่งออกเป็น 5 สีหลัก คือ แดง (R) , เหลือง (Y) , เขียว (G) , ฟ้า (B) , และ ม่วง (P) กับ 5 สีกลาง คือ YR, GY, BG, PB และ RP ซึ่งความเป็นสีทั้งสิบนี้ยังถูกแบ่งย่อยออกเป็น 10 ประเภทโดยกำหนดเป็นตัวเลขตั้งแต่ 1 ถึง 10 โดยนำมาใส่หน้าชื่อของความเป็นสีที่ใกล้ที่สุด เช่น 4R หรือ 7BG

1.2 น้ำหนักของสี (Value) คือ ค่าความสว่างหรือความมืดของสี ในระบบมันเชลล์จะแบ่งน้ำหนักสีจาก 0 (ดำ) ไปจนถึง 10 (ขาว) ซึ่งค่าน้ำหนักของสีนี้สัมพันธ์กับค่าการสะท้อนอีกด้วย

1.3. ความจัดของสี (Saturation) หรือบางทีเรียกว่า chroma คือ ความสดหรือความบริสุทธิ์ของสีอย่างหนึ่ง ซึ่งถ้าหากสีนั้นถูกสีขาว เทา หรือ ดำผสมเข้าไปแล้วทำให้สีสีนั้นมีค่าจัดลดน้อยลง

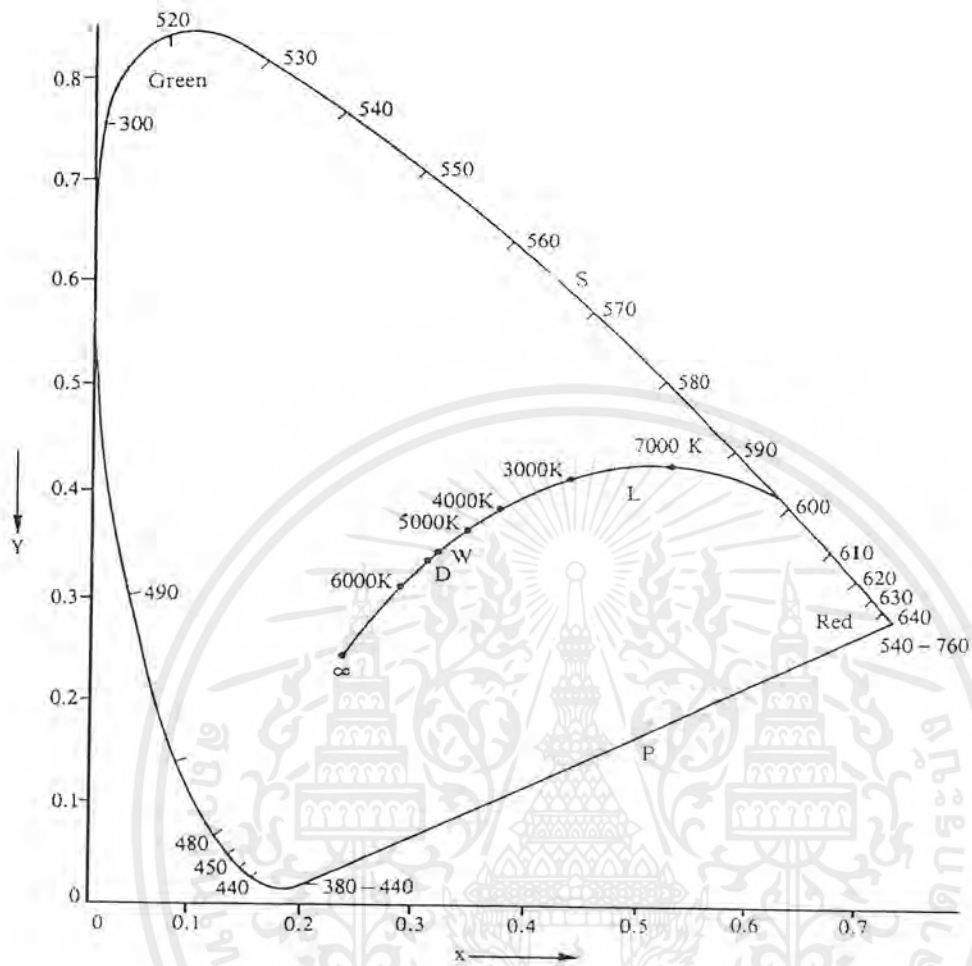
| ชื่อ | สัญลักษณ์ | |
|---------------|-----------|----|
| แดง | 5 | R |
| เหลือง-แดง | 15 | YR |
| เหลือง | 25 | Y |
| เขียว-เหลือง | 35 | GY |
| เขียว | 45 | G |
| น้ำเงิน-เขียว | 55 | BG |
| น้ำเงิน | 65 | B |
| ม่วง-น้ำเงิน | 75 | PB |
| ม่วง | 85 | P |
| แดง-ม่วง | 95 | RP |



รูปที่ 3.8 ระบบสีแบบมินเชลล์

ในระบบมินเชลล์ สีใดๆก็ตามสามารถกำหนดได้โดยใช้ลักษณะทั้งสามอย่างนี้ โดยเรียงลำดับอยู่ในรูปความเป็นสี น้ำหนักของสี ความจืดของสี เช่น 5R 6/10 เป็นต้น

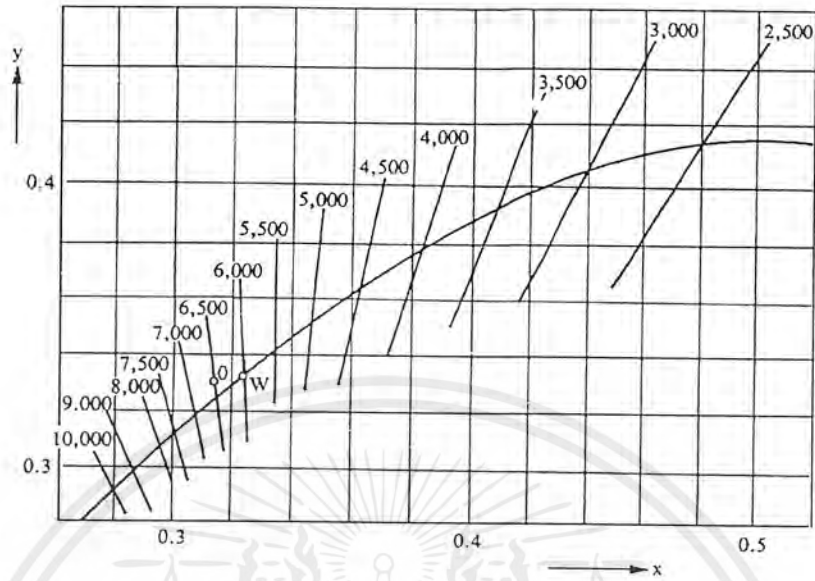
ระบบ CIE ได้เสนอวิธีกำหนดสีของแสงโดยกำหนดอยู่ในรูปโคออร์ดิเนต (x,y) ในไดอะแกรมสี ดังรูปที่ 3.9 ซึ่งค่าโคออร์ดิเนตของสีเหล่านี้สามารถคำนวณได้จากค่าการกระจายสเปกตรัมในการแผ่รังสีของแหล่งกำเนิดแสงต่างๆ โดยมีเส้น P เชื่อมปลายทั้งสองของเส้นโลกัส s เส้นโลกัสของวัตถุดำ (Black body) บนไดอะแกรมสีจะเรียกว่าแพลนเคียนโลกัส (Planckian locus, L) เช่น จุด W ในรูปที่ 3.9 คือ จุดที่มีค่าโคออร์ดิเนต (0.33 , 0.33) แทนจุดสีที่มีค่าสเปกตรัมของพลังงานเท่ากัน ซึ่งจุดนี้ CIE กำหนดให้เป็นสีขาว



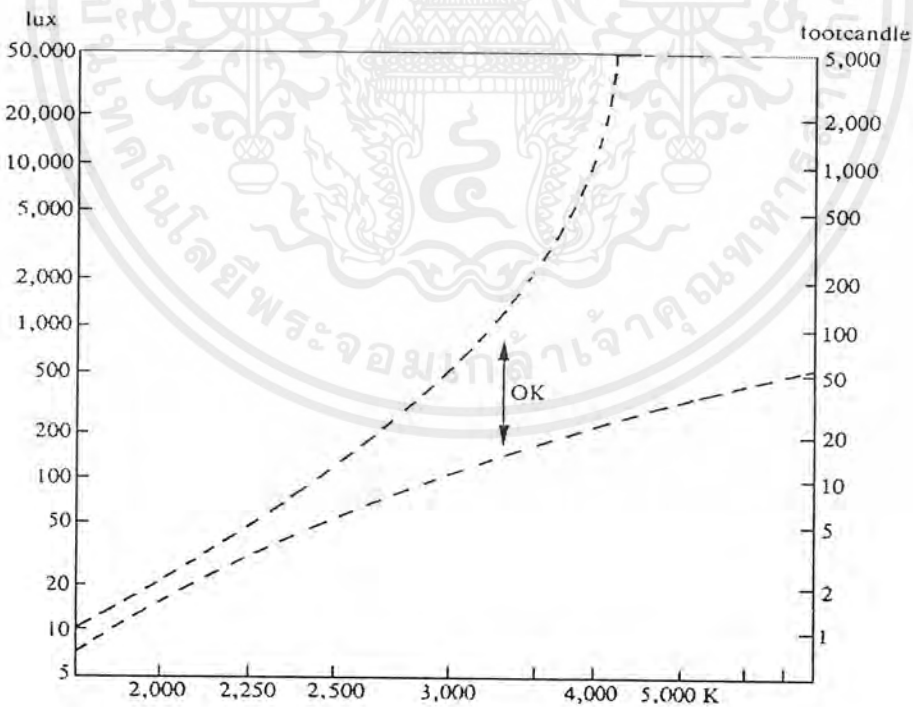
รูปที่ 3.9 แสดง ไดอะแกรมของสี

อุณหภูมิสี (Colour temperature) อุณหภูมิสีใช้เพื่อแสดงสีที่ปรากฏ (Colour appearance) ของแหล่งกำเนิดแสงเมื่อเปรียบเทียบกับสีของวัตถุดำ ถ้าอุณหภูมิของวัตถุดำใดที่สามารถเทียบเคียงได้จะเรียกว่าเป็นอุณหภูมิสีของแหล่งกำเนิดนั้น โดยในการกำหนดค่าอุณหภูมิสีนั้นจะอยู่ในรูปขององศาเคลวิน (K) รูปที่ 3.10 เป็นไดอะแกรมสีของ CIE โดยแสดงเส้นแพลนเคียน โลกัส (Planckian locus , L) และเส้นอุณหภูมิสีเทียบเคียงหรืออุณหภูมิสีเกี่ยวพันกัน (Correlated colour temperature , CCT) ดังนั้นแหล่งกำเนิดแสงใดที่มีสีบนเส้นโลกัสนี้สามารถกำหนดได้โดยอุณหภูมิสี อย่างไรก็ตามถ้าแหล่งกำเนิดแสงใดไม่อยู่บนเส้นแพลนเคียน โลกัส ก็สามารถใช้ค่าอุณหภูมิเทียบเคียงมากำหนดแทนได้ โดยถือเอาค่าอุณหภูมิของวัตถุของวัตถุดำที่อยู่ใกล้กับค่าของแหล่งกำเนิดแสงนั้นมากที่สุดเป็นค่าอุณหภูมิเทียบเคียง โดยต้องอยู่ในแนวขนานกับเส้นโลกัส เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดคลูไวต์ (Cool white) มีค่าอุณหภูมิสีเทียบเคียง (CCT) 4,100 K จะให้สีที่ปรากฏใกล้เคียงกับสีของวัตถุดำที่อุณหภูมิ 4,100 K ตารางที่ 3.3 แสดงสีที่ปรากฏเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงช่วงของอุณหภูมิเทียบเคียง

ข้อเสนอแนะในการนำใช้
 แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดง ไดอะแกรมสีของ CIE ที่แสดงเส้นแพลนเคียน โลกัส (P) และเส้นคงที่
 อุณหภูมิสีที่เทียบเคียง



รูปที่ 3.11 ค่าความเข้มแสงที่แนะนำสำหรับแหล่งกำเนิดแสงที่มีอุณหภูมิต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.11 ถ้าใช้หลอดไฟที่มีอุณหภูมิสูงจะได้ออกแบบให้มีความเข้มแสงมากกว่าเมื่อเลือกใช้หลอดไฟที่มีค่าอุณหภูมิสีต่ำมาก ถ้าออกแบบให้มีความเข้มแสงไม่สอดคล้องกับหลอดไฟที่เลือกใช้แล้ว เราจะรู้สึกอึดอัดไม่สบาย เช่น ถ้าใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดควอร์มไวต์ที่มีอุณหภูมิสีประมาณ 3,000 K ควรจะออกแบบให้ค่าความเข้มแสงอยู่ระหว่าง 100-500 lux แต่ถ้าเลือกใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดควัวต์ที่มีอุณหภูมิสีประมาณ 4,000 K ค่าความเข้มแสงควรอยู่ระหว่าง 200-10,000 lux ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของงาน

ตารางที่ 3.3 อุณหภูมิเทียบเคียงและสีที่ปรากฏ

| อุณหภูมิเทียบเคียง (K) | สีที่ปรากฏ |
|------------------------|------------------------------------|
| > 5,500 | คลูไวท์ (ขาวค่อนข้างเป็นสีน้ำเงิน) |
| 3,300-5,500 | อินเตอร์มีเดียค (ขาว) |
| < 3,300 | วอร์ทไวท์ (ขาวปนแดงเรื่อๆ) |

การตอบสนองสี (Colour rendering) ลักษณะทางสีของแหล่งกำเนิดแสงสามารถบอกได้โดยใช้อุณหภูมิสีเพื่อแสดงสีที่ปรากฏ และ คุณสมบัติการตอบสนองสี เพื่อแสดงผลกระทบของแหล่งกำเนิดแสงที่มีต่อสีที่ปรากฏคล้ายกันอาจมีคุณสมบัติการตอบสนองสีแตกต่างกันมากก็ได้ ดังนั้นจึงไม่สามารถที่จะบอกคุณสมบัติการตอบสนองสีของแหล่งกำเนิดแสงได้จากสีที่ปรากฏ

CIE ได้แนะนำวิธีการวัดและกำหนดคุณสมบัติการตอบสนองสีของแหล่งกำเนิดแสง โดยพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับสีของวัตถุที่มองเห็น เมื่อแหล่งกำเนิดแสงที่ทดสอบถูกแทนที่โดยแหล่งกำเนิดแสงอ้างอิง (วัตถุดำ หรือตัวแผ่รังสีแพลนเคียน (Planckian radiator) สำหรับอุณหภูมิสีที่ต่ำกว่า 5,000 K หรือ แสงตะวันที่มีการกระจายพลังงานสเปกตรัมแบบพิเศษที่มีอุณหภูมิสีเทียบเคียงมากกว่า 5,000 K) ซึ่งค่าการเปลี่ยนแปลงนี้สามารถหาได้จากขนาดของการเลื่อน โคออดิเนตจุดสีในไดอะแกรมสี โดยสามารถหาได้โดยในขั้นแรกนำสีของแหล่งกำเนิดแสงมาพล็อตลงบนไดอะแกรม UCS (Uniform chromaticity scale diagram) จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับจุดสีของแหล่งกำเนิดแสงที่ทดสอบ ผลต่างระหว่างค่าสีทั้งสองจะเรียกเป็นค่าการเลื่อนสีแบบเฉพาะ (Special colour shift, $\Delta E_{m,i}$) ซึ่งสามารถนำไปหาค่าดัชนีการตอบสนองสีเฉพาะ (special colour rendering index, R_i) ได้จากสูตร

$$R_i = 100 - 4.6 \Delta E_{m,i}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า R_u สูงสุดมีค่าเท่ากับ 100 ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อการกระจายสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ทดสอบเหมือนกับแหล่งกำเนิดแสงอ้างอิง แต่ CIE ได้แนะนำให้ทดสอบกับสีของวัตถุที่ CIE กำหนดขึ้น 8 สี (ดูได้จากตารางที่ 8.4 โดยสีที่ 9 ถึง 14 เป็นสีที่ CIE เพิ่มขึ้นมาสำหรับการทดสอบกับผิวหนังของมนุษย์และใบไม้) ซึ่งค่าเฉลี่ยทั้ง 8 สีจะเรียกว่าดัชนีการตอบสนองสีทั่วไป (General colour rendering index, R_u)

$$R_u = 100 - 4.6 \overline{\Delta E_{m,i}}$$

ค่า R_u ยังมีค่าน้อยกว่า 100 มากเท่าไร จะแสดงถึงคุณสมบัติการตอบสนองสีของหลอดไฟที่ทดสอบจะบิดเบือนจากแหล่งกำเนิดแสงอ้างอิงมากเท่านั้น

ตารางที่ 3.4 สีที่ใช้ในการทดสอบหาค่าดัชนีการตอบสนองสี

| หมายเลข | เครื่องหมายโดย ประมาณ | สีปรากฏภายใต้แสงแดด |
|---------|--------------------------|----------------------|
| 1 | 7.5R6 / 4 | สีแดงปนเทาอ่อน |
| 2 | 5Y6 / 4 | สีเหลืองปนเทาอ่อน |
| 3 | 5GY6 / 8 | สีเขียวปนเหลืองเข้ม |
| 4 | 2.5G6 / 6 | สีเขียวปนเหลือง |
| 5 | 10BG6 / 4 | สีเขียวปนน้ำเงินอ่อน |
| 6 | 5PB6 / 8 | น้ำเงินอ่อน |
| 7 | 2.5P6 / 8 | ม่วงอ่อน |
| 8 | 10P6 / 8 | ม่วงปนแดงอ่อน |
| 9 | 4.5R1 / 13 | แดงจัด |
| 10 | 5Y8 / 10 | เหลืองจัด |
| 11 | 4.5G5 / 8 | เขียวจัด |
| 12 | 3PB3 / 11 | น้ำเงินจัด |
| 13 | 5YR8 / 4 | ชมพูปนเหลืองอ่อน |
| 14 | 5GY4 / 4 | เขียวใบไม้ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากในการทดสอบนั้น แหล่งกำเนิดแสงอ้างอิงที่ใช้จะต้องมีอุณหภูมิสีใกล้เคียงกับหลอดที่ใช้ทดสอบ ดังนั้นการเปรียบเทียบคุณสมบัติการตอบสนองสีจะต้องใช้กับหลอดไฟที่มีอุณหภูมิสีประเภทเดียวกัน ในการทดสอบสีของ CIE นั้น ทั้งตัวแปรรังสีเพนเดียนที่มีอุณหภูมิสี 3,000 K กับแสงตะวันที่มีอุณหภูมิสี 7,500 K จะมีค่า R_u เท่ากับ 100 ทั้งๆที่คุณสมบัติการตอบสนองสีของทั้งสองจะแตกต่างกัน หลอดไฟชนิดวอร์มไวต์กับชนิดเคย์ไลต์ที่มีค่า R_u เหมือนกันไม่ได้หมายความว่าหลอดทั้งสองจะมีคุณสมบัติการตอบสนองสีเหมือนกัน ทั้งนี้เนื่องจากหลอดทั้งสองเปรียบเทียบกับแหล่งกำเนิดแสงอ้างอิงต่างชนิดกัน

ตารางที่ 3.5 การตอบสนองสีของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดต่างๆ

| ดัชนีการตอบสนองสี | แหล่งกำเนิด |
|-------------------|--|
| 100 | ค่ามาตรฐาน (มีแสงแดดประกอบ , ตัวแปรรังสีเพนเดียน) |
| (92 – 97) | หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดขาวพิเศษ |
| 90 | (92 – 95) หลอดนีออน |
| | หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดเคอลูกซ์ไวท์ |
| 80 | |
| 70 | หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดสเตนคาร์ดไวท์ |
| 60 | |
| 50 | หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดสเตนคาร์ดวอร์มไวท์ |
| 90 – 100 | การตอบสนองสีดีมาก |
| 70 – 90 | การตอบสนองสีดี |
| 50 – 70 | การตอบสนองสีพอประมาณ |

ค่า R_u เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการบิดเบือนของสี 8 สี ดังนั้นจึงไม่สามารถบอกความสามารถในการตอบสนองสีของวัตถุแต่ละชนิดได้ เช่น หลอดไฟที่มีค่า R_u เท่ากับ 70 หรือต่ำกว่า ไม่ได้หมายความว่าวัตถุทุกชนิดจะมีการตอบสนองสีของหลอดไฟชนิดนั้นไม่ดี ดังนั้นค่า R_u จึงเป็นเพียงตัวบอกโดยประมาณว่าหลอดชนิดนั้นมีการตอบสนองทางสีใดดีเท่าไร จากตารางที่ 3.5 เป็นตารางบอกค่าการตอบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนองสี่ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดต่างๆจะเห็นว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดขาวพิเศษให้การตอบสนองสี่ที่ดีที่สุด โดยให้ค่า R_u อยู่ในช่วง 92 – 97

3.2 โคมไฟถนน

โคมไฟถนนประกอบด้วยส่วนหลักๆ คือ ตัวโคมซึ่งแบ่งเป็น 2 ตอน ตอนหน้าเป็นส่วนของระบบของแสง และ หลอดไฟฟ้า ตอนหลังติดเครื่องควบคุมกระแสและจุดหลอด มีบัลลาสต์ คาปาซิเตอร์ และ อินนิเตอร์ ส่วนล่างเป็นฝาครอบหลอดไฟ ซึ่งเป็นแก้วทนความร้อนหรือสารอะคริลิก เป็นต้น

ตัวโคมไฟควรทำด้วยโลหะที่ไม่เป็นสนิมและผุกร่อนง่ายแข็งแรงทนทานต่อดินฟ้าอากาศ โคมไฟบางแบบอาจทำด้วยสารสังเคราะห์ และเสริมให้แข็งแรงด้วยใยแก้วระหว่างตัวโคมกับฝาครอบ มีปะเก็นกันฝุ่น และ แมลงติดกันแน่นด้วยบานพับและสปริงล็อก

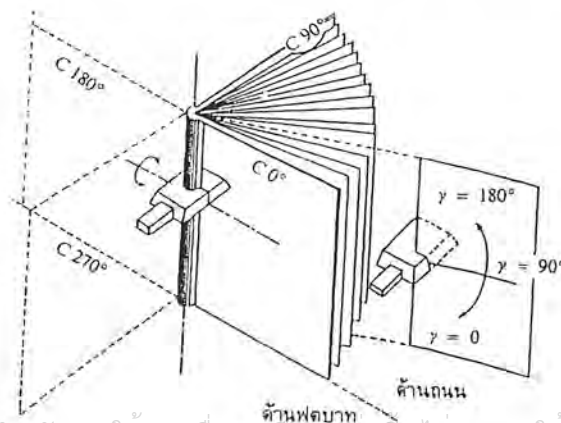
ระบบอปติกประกอบด้วย ฝาครอบแก้วใส หรือ มีร่องลักษณะปริซึมเพื่อหักเหแสงด้านข้าง หลอดมักมีแผ่นสะท้อนแสงเพื่อช่วยให้มีการกระจายแสงจากดวงโคมมากยิ่งขึ้น

อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในประกอบด้วยหลอดไฟฟ้า ขั้วหลอด บัลลาสต์ คาปาซิเตอร์สำหรับแก้เพาเวอร์แฟกเตอร์ และอินนิเตอร์ซึ่งใช้จุดหลอด สายทนความร้อนและขั้วต่อสาย

3.2.1 การแบ่งประเภทของดวงโคม สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท

ระบบเพน $c - \gamma$ เป็นการแบ่งเพนในแนวกิ่งโดยแบ่งตามมุมต่างๆ ตั้งแต่ C_0 ถึง C_{360} โดยกำหนดให้เพนที่ขนานกับด้านขวาของแกนโคมไฟเป็นเพน C_0 และ ในแต่ละเพน C จะแบ่งการกระจายแสงตามมุม γ โดยแบ่งจาก 0 ไปจนถึง 180 องศา ดังแสดงดังรูป 3.12

การกระจายความเข้มส่องสว่าง ดวงโคมที่ใช้กับไฟถนนจะมีลักษณะการกระจายความเข้มส่องสว่าง 2 ลักษณะ คือ การกระจายโคอะแกรมในรูปโพลาร์ และ ไอโซแคนเดลา (Polar diagram and isocandela diagram)

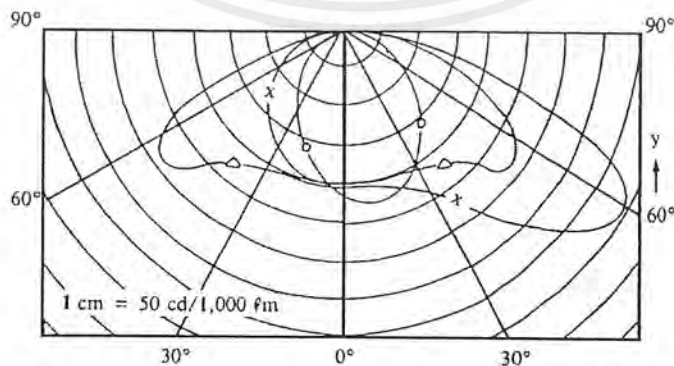


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| γ \ C | 270 | 285 | 300 | 310 | 315 | 320 | 325 | 330 | 335 | 340 | 345 | 350 | 355 | 360 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 60 | 75 | 90 |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | 194 | 194 | 194 | 194 | 194 | 194 | 194 | 194 | 194 | 194 | 194 | 194 | 194 | 194 | 194 | 194 | 194 | 194 | 194 | 194 | 194 | 194 | 194 | 194 | 194 | 194 | 194 |
| 10 | 188 | 188 | 187 | 188 | 189 | 190 | 190 | 191 | 190 | 191 | 192 | 192 | 193 | 193 | 193 | 195 | 195 | 194 | 194 | 194 | 194 | 193 | 193 | 193 | 193 | 193 | 194 |
| 20 | 177 | 177 | 179 | 182 | 184 | 187 | 188 | 191 | 191 | 192 | 194 | 197 | 198 | 200 | 200 | 199 | 202 | 203 | 198 | 196 | 195 | 194 | 192 | 190 | 185 | 184 | 185 |
| 30 | 160 | 163 | 168 | 173 | 178 | 181 | 185 | 188 | 192 | 194 | 200 | 204 | 206 | 214 | 212 | 212 | 214 | 211 | 207 | 203 | 198 | 192 | 189 | 184 | 173 | 169 | 170 |
| 35 | 150 | 154 | 160 | 167 | 171 | 176 | 180 | 183 | 189 | 195 | 201 | 209 | 212 | 215 | 216 | 215 | 215 | 211 | 207 | 200 | 198 | 186 | 189 | 178 | 165 | 160 | 161 |
| 40 | 139 | 144 | 152 | 159 | 164 | 170 | 176 | 180 | 187 | 193 | 198 | 204 | 207 | 210 | 215 | 223 | 227 | 220 | 210 | 196 | 185 | 177 | 173 | 169 | 155 | 150 | 151 |
| 45 | 125 | 134 | 146 | 155 | 157 | 160 | 165 | 171 | 178 | 186 | 193 | 200 | 210 | 225 | 226 | 230 | 238 | 238 | 219 | 201 | 186 | 174 | 168 | 162 | 150 | 142 | 139 |
| 47.5 | 115 | 123 | 137 | 145 | 151 | 159 | 163 | 169 | 178 | 191 | 196 | 201 | 215 | 230 | 233 | 240 | 257 | 259 | 235 | 205 | 186 | 169 | 163 | 157 | 142 | 135 | 132 |
| 50 | 106 | 114 | 127 | 136 | 142 | 149 | 157 | 166 | 176 | 188 | 198 | 210 | 221 | 235 | 248 | 258 | 284 | 280 | 252 | 21 | 182 | 162 | 152 | 147 | 133 | 128 | 125 |
| 52.5 | 98 | 106 | 120 | 129 | 135 | 142 | 151 | 162 | 173 | 187 | 200 | 215 | 231 | 240 | 250 | 279 | 309 | 300 | 258 | 217 | 173 | 157 | 146 | 140 | 128 | 120 | 120 |
| 55 | 90 | 99 | 113 | 121 | 128 | 135 | 143 | 155 | 166 | 180 | 197 | 215 | 236 | 246 | 270 | 303 | 334 | 319 | 274 | 223 | 173 | 150 | 142 | 136 | 121 | 114 | 113 |
| 57.5 | 82 | 93 | 104 | 114 | 120 | 128 | 133 | 135 | 153 | 166 | 184 | 210 | 241 | 255 | 276 | 325 | 352 | 331 | 274 | 225 | 163 | 142 | 134 | 130 | 112 | 108 | 103 |
| 60 | 75 | 84 | 96 | 106 | 110 | 117 | 120 | 126 | 140 | 155 | 175 | 207 | 250 | 263 | 293 | 340 | 364 | 343 | 282 | 225 | 161 | 138 | 128 | 122 | 104 | 95 | 98 |
| 62.5 | 68 | 76 | 88 | 97 | 101 | 107 | 110 | 116 | 128 | 145 | 168 | 199 | 254 | 267 | 302 | 348 | 381 | 351 | 282 | 223 | 161 | 134 | 122 | 112 | 97 | 85 | 88 |
| 65 | 62 | 69 | 80 | 90 | 94 | 99 | 104 | 110 | 121 | 139 | 157 | 190 | 218 | 257 | 300 | 359 | 393 | 346 | 284 | 222 | 159 | 127 | 114 | 105 | 91 | 77 | 79 |
| 67.5 | 53 | 63 | 73 | 83 | 87 | 92 | 96 | 102 | 115 | 134 | 152 | 179 | 210 | 247 | 294 | 348 | 350 | 330 | 277 | 227 | 150 | 117 | 106 | 100 | 85 | 71 | 71 |
| 70 | 36 | 47 | 67 | 74 | 78 | 82 | 89 | 91 | 104 | 126 | 150 | 177 | 204 | 241 | 276 | 324 | 343 | 306 | 260 | 215 | 134 | 101 | 87 | 93 | 76 | 65 | 68 |
| 72.5 | 10 | 29 | 50 | 59 | 65 | 71 | 74 | 77 | 93 | 115 | 142 | 168 | 190 | 219 | 261 | 312 | 320 | 276 | 231 | 188 | 111 | 80 | 62 | 84 | 61 | 51 | 62 |
| 75 | 5 | 8 | 19 | 29 | 36 | 43 | 47 | 52 | 66 | 97 | 120 | 151 | 160 | 168 | 210 | 279 | 275 | 187 | 162 | 144 | 59 | 33 | 41 | 60 | 22 | 27 | 47 |
| 77.5 | 2 | 4 | 6 | 7 | 9 | 11 | 12 | 12 | 20 | 39 | 60 | 82 | 80 | 77 | 110 | 188 | 124 | 46 | 51 | 86 | 17 | 7 | 8 | 34 | 5 | 14 | 16 |
| 80 | 0 | 1 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 6 | 7 | 7 | 8 | 11 | 12 | 13 | 20 | 85 | 13 | 6 | 8 | 27 | 9 | 3 | 7 | 8 | 1 | 2 | 3 |
| 82.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 13 | 5 | 3 | 4 | 5 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 |
| 85 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 2 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 87.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 90→180 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

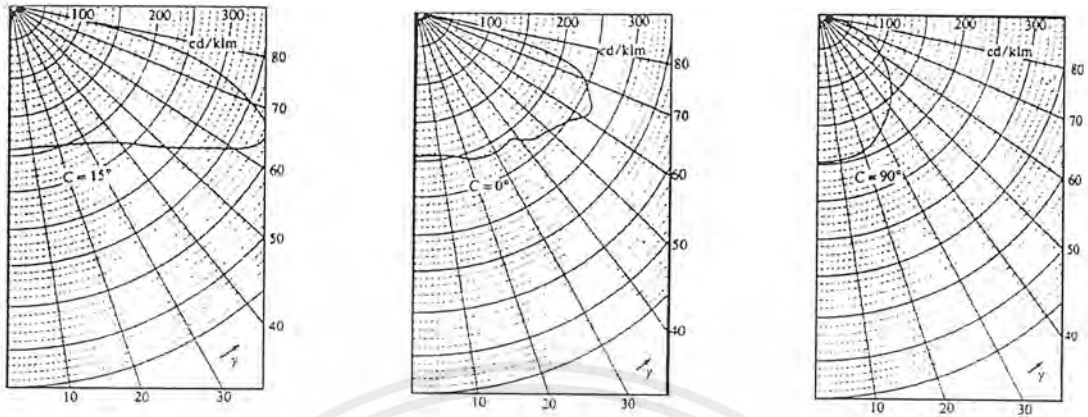
รูปที่ 3.12 ระบบเพลน c - γ ที่แสดงลักษณะการกระจายความเข้มส่องสว่างของไฟถนน พร้อมทั้งตัวอย่างค่าความเข้มส่องสว่างที่สัมพันธ์กับเพลน c - γ

โพลาร์ไดอะแกรมจะแสดงการกระจายความเข้มส่องสว่างอยู่ 3 เพลน คือ เพลน c ที่ขนานกับแนวดน (c = 0 และ c = 180) เพลน c ที่ตั้งฉากกับแนวดน (c = 90 ถึง c = 270) และ เพลน C ที่มีค่าความเข้มสูงสุด ซึ่งพิจารณาได้ดังรูป 3.13



(ก) แสดงโพลาร์ไดอะแกรมโดยเพลนที่ขนานกับแนวดน (Δ) เพลนที่ตั้งฉากกับแนวดน (O) และเพลนที่มีค่า I_{max} (x)

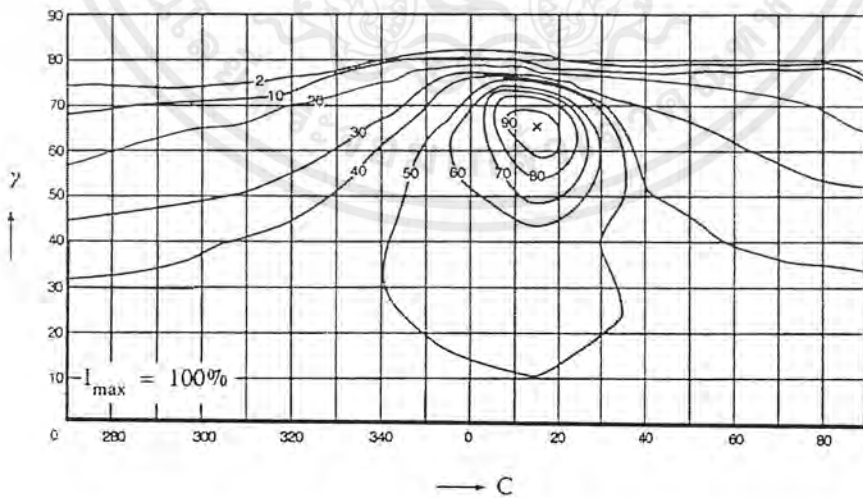
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) แสดงโพลาร์ไดอะแกรมของดวงโคมซึ่งมีข้อมูล I จากรูปที่ 3.12

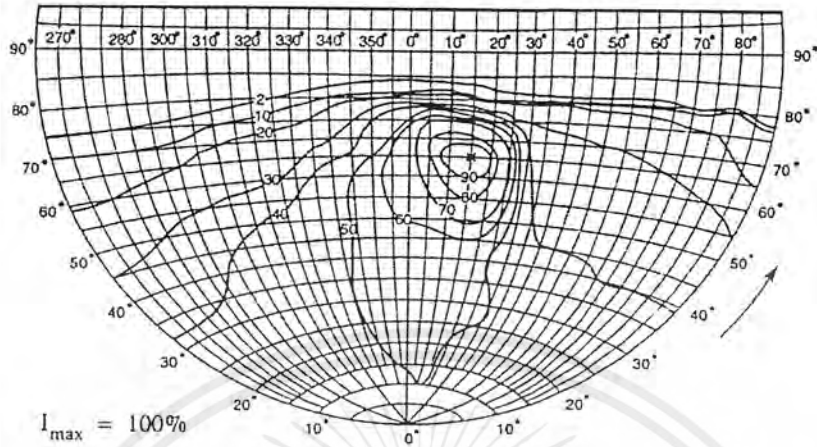
รูปที่ 3.13

ไอโซแคนเดลาไดอะแกรม เป็นการแสดงการกระจายค่าความเข้มส่องสว่างรอบๆดวงโคม ในการสร้างไอโซแคนเดลานี้จะลากจากจุดที่มีค่าความเข้มส่องสว่างที่เท่ากัน ลงบนระนาบรอบๆดวงโคม ดังนั้นไอโซแคนเดลาไดอะแกรมจะแสดงความเข้มส่องสว่างในระนาบ c และมุม γ ที่มีความเข้มส่องสว่างเท่ากัน ดังแสดงดังรูป 3.14



(ก) แสดงในรูปสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

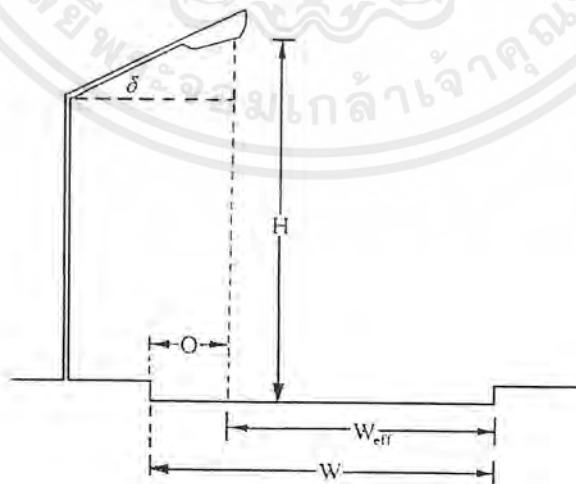


(ข) แสดงในรูปวงกลม

รูปที่ 3.14 ตัวอย่างไอโซเคนเคลาโดแกรมที่สัมพันธ์กับข้อมูล I ในรูปที่ 3.12

3.3 การติดตั้งไฟถนน

การติดตั้งไฟถนนมีอยู่หลายแบบขึ้นอยู่กับเหตุผลทางเทคนิคและทางเศรษฐกิจ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความสวยงามและสภาพของสถานที่นั้นด้วย เสาไฟที่นิยมใช้กันทั่วไปเป็นเสาเหล็กชุบสังกะสีซึ่งมีความแข็งแรง ทนทาน ปลอดภัยและติดตั้งง่ายอีกด้วย รูปที่ 3.15 แสดงการติดตั้งโคมไฟถนน



รูปที่ 3.15 แสดงการติดตั้ง โคมไฟถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|-----|------------------|--|
| โดย | H | คือ ความสูงในการติดตั้ง (mounting height) |
| | O | คือ ช่วงยื่น (overhang) |
| | δ | คือ มุมเอียง (tilt angle) |
| | W_{eff} | คือ ความกว้างประสิทธิผลของถนน (effective road width) |
| | W | คือ ความกว้างของถนน (road width) |

3.3.1 ความสูงในการติดตั้ง (Mounting Height) ไฟถนนที่ติดตั้งกันทั่วไปนั้นใช้เสาสูงประมาณ 9 – 12 เมตร แต่บนทางแยกที่ซับซ้อน วงเวียน และถนนกว้างหลายๆเลน การติดตั้งเสา 9 – 12 เมตรแบบทั่วไปจะไม่เหมาะสมเพราะต้องใช้เสา และดวงโคมจำนวนมาก ทำให้ผู้ขับขี่รถยนต์เกิดความสับสนได้ นอกจากนี้ยังดูรุงรัง ไม่สวยงามในตอนกลางวันอีกด้วย จึงมีการนำระบบแสงสว่างแบบใช้เสาสูง (high mast) ซึ่งมีความสูงประมาณ 20 – 50 เมตร ซึ่งทำให้การมองเห็นดีกว่าใช้เสาดำมาก ในการออกแบบจะต้องกำหนดตำแหน่ง ความสูงของเสา และจำนวนโคมไฟต่อเสา เพื่อให้ได้ความเข้มแสงตามที่กำหนด

ในการติดตั้งไฟถนนนั้น มีวิธีการติดตั้งหลายแบบด้วยกันดังรูป ซึ่งการที่จะติดตั้งไฟถนนแบบไหนก็แล้วแต่คุณภาพของไฟถนนและงบค่าใช้จ่าย โดยความสูงในการติดตั้งควรจะมากกว่าค่าความกว้างประสิทธิผลของถนน

ตารางที่ 3.6 แสดงเกณฑ์ในการพิจารณาการติดตั้งโคมถนนบนเสา ก.พ.น.

| ชนิดถนน | ความเข้มที่กทม. ค่องการ | กว้างโคม | กว้าง ม. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ความยาวกิ่ง | ความเข้มที่ได้ | ความสม่ำเสมอของแสง |
|----------------------------|-------------------------|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------------------------|----------------|--------------------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | | | |
| ตรอก | 0.1 FC | Hg 50 W | [Diagram showing beam spread for 50W lamp] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.40 m | 3 lux | 1 : 6 |
| ซอยขนาดเล็ก | 0.1 FC | Hg 80 W | [Diagram showing beam spread for 80W lamp] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.20 m | 4 lux | 1 : 6 |
| ซอยขนาดใหญ่ ซอยขนาดเล็ก | 0.6 FC | Hg 125 W | [Diagram showing beam spread for 125W lamp] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.80-2.40 m | 6 lux | 1 : 6 |
| ถนนขนาดกลาง | 0.8 FC | HPNa | [Diagram showing beam spread for HPNa lamp] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.70 m. (พิเศษ) | 18 lux | 1 : 3 |
| | | 250 W | [Diagram showing beam spread for 250W lamp] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.70 m. (พิเศษ) สองฝั่ง | 18 lux | 1 : 3 |
| ถนนขนาดใหญ่ | 0.8 FC | HPNa | [Diagram showing beam spread for HPNa lamp] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.70 m. (พิเศษ) | 18 lux | 1 : 3 |
| | | 400 W | [Diagram showing beam spread for 400W lamp] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.70 m. (พิเศษ) สองฝั่ง | 18 lux | 1 : 3 |

* 1 footcandle (FC) = 10.75 lux

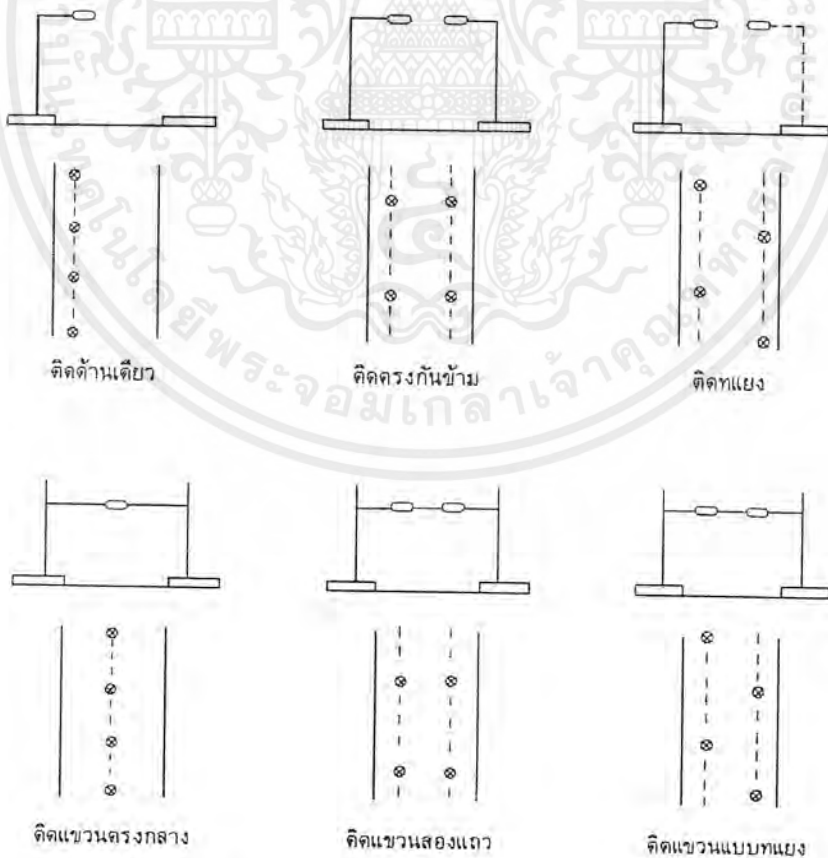
** ความกว้าง หมายถึง รวมทั้งทางเดินเท้าด้วย หรือ หมายถึงความกว้างวัดจากรั้วถึงรั้วกรณีไม่มีทางเท้า

*** ค่าความเข้มต่ำสุด : ค่าความเข้มเฉลี่ย

หมายเหตุ คู่มือการพิจารณาเกี่ยวกับการติดตั้งโคมถนน ก.พ.น.(ระยะห่างระหว่างเสา 35 – 40 เมตร) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

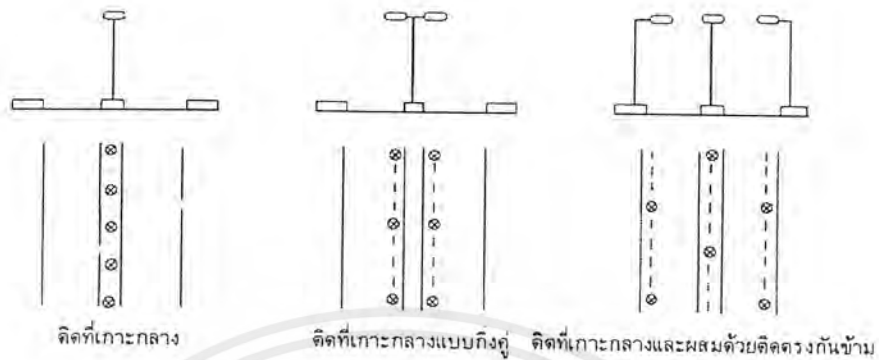
1. ความกว้างของถนน
2. การจราจร
3. ความโค้งของของแนวถนน
4. สภาพสิ่งแวดล้อม
5. สภาพผิวจราจร (ผิวแอสฟัลต์ควรใช้ความเข้มสูงกว่าผิวคอนกรีต)
6. บริเวณทางแยกทางร่วมควรให้ความเข้มเท่ากับผลรวมของความเข้มของทางทั้งสอง
7. หากจะติดโคมใหญ่ต้องคำนึงถึงโคมข้างเคียงด้วยว่ามีแสงสีชนิดใกล้เคียงกัน
8. ถนนขนาดใหญ่ที่มีความกว้างเกิน 26 เมตร ควรออกติดตั้งบนเสาเหล็กกิ่งคู่ตามแนวเกาะกลางถนน หรือ อาจพิจารณาแบบเป็นรายๆ ไป

3.3.2. ระยะห่างระหว่างเสา (Spacing) ระยะห่างระหว่างเสาไฟถนนแต่ละอันนั้นขึ้นอยู่กับความสูงของเสาไฟถนน ถ้าเสาไฟถนนสูงขึ้นก็จะทำให้ระยะห่างของเสาไฟถนนกว้างมากขึ้นด้วย ซึ่งจะทำให้ค่าแสงจ้าลดลง แต่ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยลดลงด้วย โดยทั่วไประยะห่างระหว่างเสาจะประมาณ 30 – 50 เมตร



รูปที่ 3.16 แบบติดตั้งเสาไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 (ต่อ) แบบติดตั้งเสาไฟ

3.3.3. มุมเงย (Tilt Angle) ในกรณีที่มีการจำกัดความสูงของเสาไฟถนน อาจทำให้ถนนด้านตรงข้ามกับโคมไฟถนนมีแสงไม่เพียงพอ การเอียงโคมไฟให้สูงขึ้นจากแนวระดับจะช่วยเพิ่มปริมาณแสงให้ตกถึงด้านตรงข้ามมากขึ้น แต่การเอียงโคมไฟมากเกินไปจะทำให้เกิดแสงจ้ามากขึ้น ดังนั้นจึงไม่ควรเอียงโคมไฟไปจากแนวระดับมากกว่า 10 องศา โดยทั่วไปนิยมเอียงเป็นมุม 5 องศา

3.3.4. ช่วงยื่น (Overhang) ในการติดตั้งเสาไฟถนนนั้น จะต้องติดตั้งให้ไฟถนนเรียงเป็นเส้นเดียวกันไปตามขอบถนน เพื่อให้แสงที่เข้าตาผู้ขับขี่รถยนต์มีความสม่ำเสมอตลอดเส้นทางที่ขับขี่ ดังนั้นในบริเวณที่ถนนมีการเว้าเข้าไป เช่น บริเวณป้ายรถประจำทาง เสาไฟถนนที่ปักในช่วงนั้นจะต้องมีช่วงยื่นออกมามากกว่าปกติ เพื่อให้โคมไฟอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน

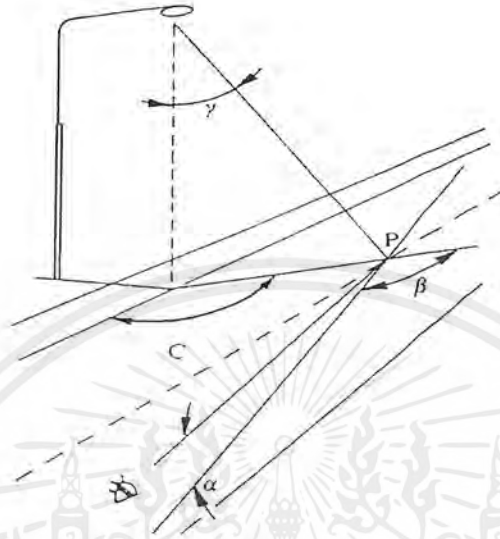
3.4. ผิวถนน

ผิวถนนเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟถนนเป็นอย่างมากซึ่งจะสามารถแสดงรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับผิวถนนได้ คือ

3.4.1. ค่าสัมประสิทธิ์การส่องสว่างของผิวถนน ค่าสัมประสิทธิ์การส่องสว่าง (luminance coefficient) สามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างค่าการส่องสว่างของผิวถนนต่อค่าความเข้มแสงของผิวถนนที่พิจารณา

$$q = \frac{L}{E}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โดย α คือ มุมของแนวที่มองกับแนวระดับ

β คือ มุมของระนาบแสงตกกับระนาบที่มองโดยวัดในแนวนอน

γ คือ มุมของแนวแสงตกกับแนวตั้ง โดยวัดในแนวตั้ง

รูปที่ 3.17 การติดตั้งไฟถนนและการมองความส่องสว่างของผิวถนน

ค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่าง (q) ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำผิวถนน ตำแหน่งที่แสงตกลงบนผิวถนน และ ตำแหน่งของผู้มอง ไปยังผิวถนนที่พิจารณา ซึ่งค่าเหล่านี้กำหนดได้ด้วยมุม 3 มุม ดังรูป 3.17

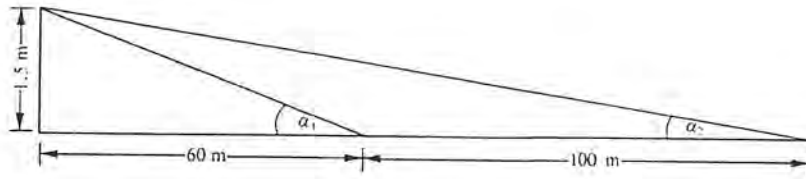
โดยทั่วไปแล้วในทางปฏิบัติ ระยะจากผู้สังเกตถึงจุดที่พิจารณาอยู่ระหว่าง 60 เมตร ถึง 160 เมตร และผู้สังเกตอยู่สูงจากพื้น 1.5 เมตร ดังรูป 3.18 จะได้มุม α อยู่ระหว่าง 0.53 ถึง 1.43 องศา โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การส่องสว่างมีผลเปลี่ยนแปลงน้อยมากในช่วงของมุมดังกล่าว มาตรฐาน CIE จึงกำหนดให้ค่ามุม α มีค่าคงที่เป็นค่าเฉลี่ยระหว่างมุม 0.53 ถึง 1.43 องศา คือเท่ากับ 1 องศา ดังนี้

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \frac{1.5}{60} = 1.43$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1} \frac{1.5}{160} = 0.53$$

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} = \frac{0.53 + 1.43}{2} = 1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 การกำหนดค่ามุมของแนวที่มองกับแนวระดับ

ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างจึงขึ้นอยู่กับมุม 2 มุม คือ α และ γ เวลาหาค่าสามารถเขียนอยู่ในรูป $q(\beta, \gamma)$ ส่วนในการคำนวณค่าความส่องสว่างของผิวถนน นิยมใช้ค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของความส่องสว่าง (reduced luminance coefficient, R) ในการคำนวณ เนื่องจากจะสะดวกกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่าง (luminance coefficient, q) ดังจะเห็นได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} L &= q(\beta, \gamma) \cdot E(C, \gamma) \\ &= \frac{q(\beta, \gamma) \cdot I(C, \gamma) \cdot \cos^3 \gamma}{h^2} \\ &= \frac{R(\beta, \gamma) \cdot I(C, \gamma)}{h^2} \end{aligned}$$

3.4.2. การจัดประเภทของผิวถนนในสภาพแห้ง

การจัดประเภทของผิวถนนในสภาพแห้ง โดยพิจารณาจากคุณสมบัติในการสะท้อนแสงของผิวถนนแตกต่างกันมากขึ้นตามเวลาและสภาพการใช้งาน ดังนั้นในกรณีที่ไม่รู้ค่าจริงของคุณสมบัติในการสะท้อนแสงของผิวถนน แต่รู้ประเภทวัสดุที่ใช้ทำถนน ก็ยังสามารถคำนวณออกแบบไฟถนนโดยคิดค่าความส่องสว่างของผิวถนนโดยประมาณใกล้เคียงกับความเป็นจริงมาก

จากตาราง 3.7 จะเห็นว่าผิวถนนจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของการสะท้อนแสง โดยคุณสมบัติการสะท้อนแสงของผิวถนนกำหนดด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่าง (average illuminance coefficient; Q_0) และค่าความมันผิว (specular; S_0) ผิวถนนแห้งแบ่งออกเป็น 4 แบบตามมาตรฐาน CIE คือ R_1, R_2, R_3 และ R_4 ในทางปฏิบัติจะคิดจากผิวถนน 4 ประเภทนี้

ตารางที่ 3.7 แสดงการแบ่งประเภทของผิวถนนตาม CIE

| Class | Description |
|-------|---|
| I | <ul style="list-style-type: none"> - Asphaltic type road surface containing either at least 15 per cent artificial brightener or at least 30 per cent very bright anorthosites. - Surface dressing containing chipping that cover over 80 per cent of the road surface, where the chipping mainly consist of either artificial brighteners or are 100 per cent very bright anorthosites. - Concrete road surfaces. |
| II | <ul style="list-style-type: none"> - Surface dressings having a harsh texture and containing normal aggregates. - Asphaltic surfaces containing 10 to 15 per cent artificial brighteners. - Coarse and harsh asphaltic concrete, rich in gravel (> 60%) of sizes up to or greater than 10 mm. - New condition mastic asphalt. |
| III | <ul style="list-style-type: none"> - Asphaltic concrete (cold asphalt, mastic asphalt) having gravel sizes up to 10 mm, but of a harsh texture (similar to sand paper). - Polished, coarse textured, surface dressings. |
| IV | <ul style="list-style-type: none"> - Mastic asphalt after some month of use. - Road surface having smooth or polished texture. |

3.4.2.1. R_1 ผิวถนนมีสีสว่างและหยาบมาก เป็นผิวถนนที่เหมาะสมที่สุดกับไฟถนน ค่า Q_0 และ S มีค่าที่เหมาะสม ราคาไม่แพง ตัวอย่าง วัสดุของผิวถนนประเภทนี้ คือ ผิวถนนคอนกรีต

3.4.2.2. R_2 ผิวถนนมีสีสว่างและหยาบ ค่า Q_0 อยู่ในเกณฑ์ดี ค่า S สูงขึ้น แต่ยังไม่ส่งผลต่อความส่องสว่างมากนัก ตัวอย่าง วัสดุของผิวถนนประเภทนี้ ได้แก่ ผิวถนนแอสฟัลต์คอนกรีตผสมหินเกล็ดขาว

3.4.2.3. R_3 ผิวถนนมีสีมืดและเรียบ ค่า Q_0 ตกลง ค่า S ยังมีค่าไม่สูงมากนัก ผิวถนนแบบนี้มีใช้อยู่ทั่วไปทั้งที่แบบ R_1 และ R_2 ดีกว่า ตัวอย่าง วัสดุของผิวถนนประเภทนี้ ได้แก่ ผิวถนนแอสฟัลต์คอนกรีต

3.4.3.4. R_4 ผิวถนนมีสีมืดและเรียบมาก การสะท้อนแสงไม่ดี ค่า S มีค่าไม่น่าพอใจนัก บนถนนเปียกตอนฝนตกจะเห็นแถบสว่างจ้าเป็นแถบ ตัวอย่าง วัสดุของผิวถนนประเภทนี้ ได้แก่ ผิวถนนราดยางมะตอยและผิวเรียบ

โดยปกติค่า R ตามมาตรฐาน CIE จะขึ้นอยู่กับ 3 พารามิเตอร์ คือ

ค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่าง

$$Q_0 = \int \frac{qd\omega}{d\omega}$$

ค่าความมันผิว

$$S_1 = \frac{R(0,2)}{R(0,0)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน $R(\beta 0^\circ; \gamma 63^\circ)$ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ $R(\beta 0^\circ; \gamma 0^\circ)$

ค่าดัชนีความมันผิว

$$S_p = \frac{Q_p}{R(0,0)} = \frac{Q_p}{R(\beta 0^\circ, \gamma 0^\circ)}$$

โดยที่ q คือ สัมประสิทธิ์ความส่องสว่างในทิศทางที่กำหนด

$$q = \frac{\text{ความส่องสว่าง ในทิศทางนั้น}}{\text{ความเข้มแสงแนวระนาบ}}$$

ω = มุมของแข็ง

$$R(0,0) = R \text{ ที่มีค่าโคออร์ดิเนตอยู่ที่ } \beta = 0, \tan \gamma = 0$$

$$R(0,2) = R \text{ ที่มีค่าโคออร์ดิเนตอยู่ที่ } \beta = 0, \tan \gamma = 2$$

ดังนั้น ในการหาค่า R จากตารางในภาคผนวกสามารถหาได้จาก

$$R = \frac{R_{\text{(จากตาราง)}}}{10,000} \times \frac{Q_0(\text{วัดจากถนน})}{Q_0(\text{จากตาราง})}$$

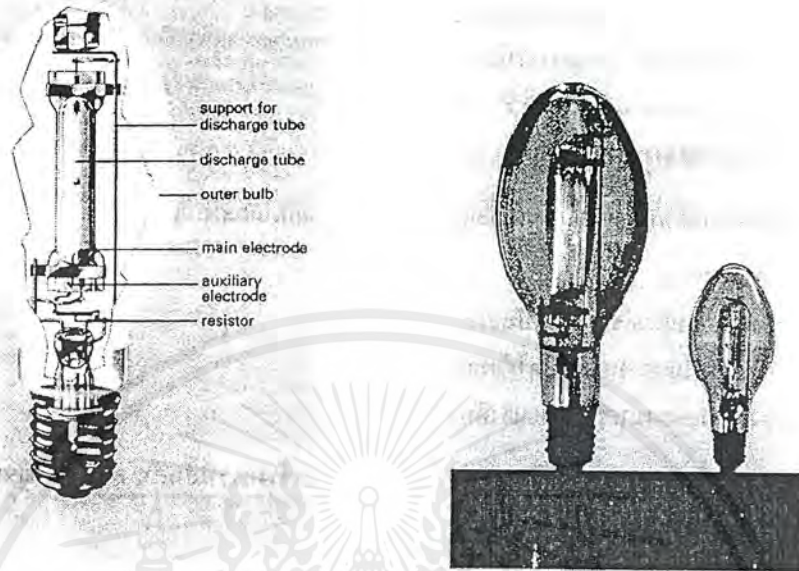
3.5. หลอดไฟถนน

หลอดไฟเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ให้แสงสว่าง ส่วนใหญ่เป็นสิ่งที่ให้กำเนิดแสงจากพลังงานไฟฟ้าคุณสมบัติที่สำคัญและต้องคำนึงถึงเกี่ยวกับหลอดไฟที่ใช้ส่องสว่างทั่วไปคือ ประสิทธิภาพความส่องสว่าง อายุการใช้งานของหลอด ความเหมาะสมในการใช้งานสี หรือ สเปกตรัมของแสง และการตอบสนองสี (Colour rendering) ความส่องสว่าง และ ค่าทางไฟฟ้าในการใช้งานประสิทธิภาพความส่องสว่างเป็นสิ่งสำคัญมาก พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหลอดส่วนใหญ่เปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนและรังสีที่ตามองไม่เห็น จึงมีการนำเทคนิคใหม่มาใช้ เช่น เพิ่มอุณหภูมิทำงานของไส้หลอดให้สูงขึ้น หรือใช้หลอดก๊าซดิสชาร์จซึ่งเพิ่มสารบางชนิดเข้าไปทำให้สามารถเกิดรังสีที่ตามองเห็นมากขึ้น เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพความส่องสว่างและอายุการใช้งานของหลอดด้วย หลอดไฟที่ดีควรมีสีขาวยังมีการแผ่รังสีตลอดทั้งสเปกตรัมเท่ากัน

หลอดไฟที่ใช้กับระบบไฟถนนของกรมทางหลวงและการไฟฟ้านครหลวง มีอยู่ 4 ประเภท คือ

3.5.1 หลอดแสงจันทร์ (High pressure mercury-vapor lamp) หลอดแสงจันทร์ เป็นหลอดแบบก๊าซดิสชาร์จความดันสูง ภายในบรรจุไอปรอทความดันสูง ตัวหลอดมีลักษณะเป็นแบบ elliptical มีตั้งแต่ 50 – 2,000 W ดังแสดง ดังรูป 3.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 หลอดแสงจันทร์

ตารางที่ 3.8 แสดงค่าทางแสงของหลอดแสงจันทร์

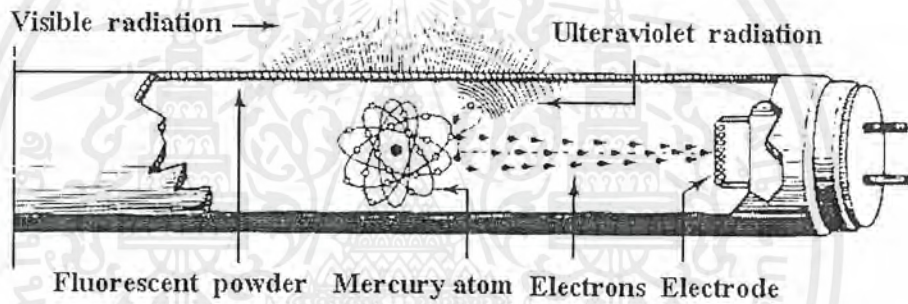
| หลอด | แรงดันไฟฟ้าค่าสุดที่ใช้จุดหลอด (V) | แรงดันไฟฟ้าที่ | | กระแสเฉลี่ย (A) | แรงดันไฟฟ้าค่าสุดสำหรับการทำงานมีสถานะ (V) | ค่าฟลักซ์เฉลี่ย (lm) | สีแสงเฉลี่ย (%) | ค่าความสว่างเฉลี่ย (cd/cm ²) | ช่วงเวลาค่อยหลอด (นาฬิกา) |
|-----------------------------|------------------------------------|----------------|---------|-----------------|--|----------------------|-----------------|--|---------------------------|
| | | + 20° C | - 18° C | | | | | | |
| HPL-N 50W ⁽¹⁾ | 180 | 210 | 95 | 0.60 | 198 | 1800 | 13.5 | 4.5 | 5 |
| HPL-N 80W ⁽¹⁾ | 180 | 210 | 115 | 0.80 | 198 | 3700 | 13.0 | 5.0 | 4 |
| HPL-N 125W ^(3x) | 180 | 210 | 125 | 1.15 | 198 | 6300 | 12.5 | 9.0 | 4 |
| HPL-N 175W ⁽³⁾ | 180 | 210 | 130 | 1.50 | 198 | 8400 | 12.0 | 9.5 | 4 |
| HPL-N 250W ⁽³⁾ | 180 | 210 | 135 | 2.13 | 198 | 13000 | 12.0 | 10.0 | 4 |
| HPL-N 400W ⁽³⁾ | 180 | 210 | 140 | 3.25 | 198 | 22000 | 12.0 | 11.5 | 4 |
| HPL-N 700W ⁽³⁾ | 180 | 210 | 145 | 5.40 | 198 | 38500 | 10.5 | 14.5 | 4 |
| HPL-N 10000W ⁽³⁾ | 180 | 210 | 145 | 7.50 | 198 | 58000 | 10.0 | 18.0 | 4 |
| HPL-N 20000W ⁽³⁾ | 180 | 210 | 270 | 8.00 | 198 | 120000 | 10.0 | 26.0 | 4 |

หลอดแสงจันทร์นี้ใช้แรงดันสูงในการสตาร์ท ความต้านทานของไอปรอทจะแปรผันกับกระแสไฟฟ้า เมื่อมีกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นความต้านทานจะลดลง จึงต้องใช้บัลลาสต์เพื่อทำหน้าที่จำกัดกระแสไฟฟ้าและเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงพอในการสตาร์ท เวลาที่ใช้ในการจุดหลอดประมาณ 4 – 5 นาที ถ้าตัดวงจรขณะทำงานเป็นเวลานานกว่า 0.01 วินาที หลอดจะดับ เมื่อต้องการจะจุดหลอดใหม่ จะต้องทิ้งให้หลอดเย็นก่อนประมาณ 5 – 15 นาที จึงจะจุดติด

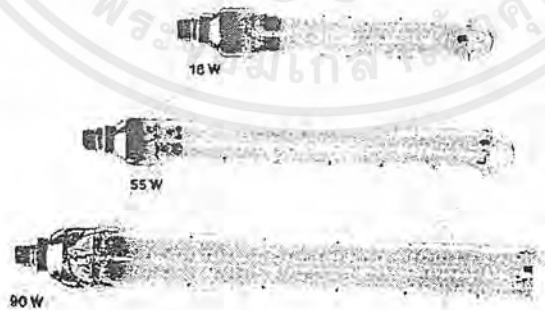
หลอดแสงจันทร์มีอายุการใช้งานเฉลี่ยประมาณ 12,000-24,000 ชั่วโมงค่าประสิทธิภาพความส่องสว่าง 30 – 60 lumen / W ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของวัตต์ที่ใช้และชนิดสีของหลอด หลอดชนิดนี้ให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณแสงได้สม่ำเสมอทำให้ค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาต่ำ แต่ข้อเสียของหลอดชนิดนี้คือการลงทุนติดตั้งสูง เพราะต้องใช้อุปกรณ์บัลลาสต์และสตาร์ทเตอร์ซึ่งมีราคาแพง

3.5.2 หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent) หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดแบบก๊าซดิสชาร์จความดันต่ำ ภายในบรรจุไอปรอทประมาณ 1 / 100 ของความดันบรรยากาศ ผิวด้านในฉาบด้วยสารฟอสเฟอร์ มีขนาด 4 – 110 W ค่าประสิทธิภาพส่องสว่างประมาณ 40 – 80 lumen / W อายุการใช้งาน 9,000 – 15,000 ชั่วโมง มีความสว่างไม่มากนักและให้ความร้อนออกมาน้อย เป็นหลอดที่ให้แสงที่อบอุ่นและสบายตา ให้สีที่ถูกต้องตามธรรมชาติ มักใช้ในย่านการค้าหรือบริเวณที่อยู่อาศัยที่ต้องการเห็นสีสันทันทีถูกต้อง แต่ข้อเสียของหลอดฟลูออเรสเซนต์ คือ ต้องใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่น เช่น บัลลาสต์ สตาร์ทเตอร์ ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายส่วนหนึ่งในการบำรุงรักษา



รูปที่ 3. 20 โครงสร้างหลอดฟลูออเรสเซนต์



รูปที่ 3.21 หลอดโซเดียมความดันต่ำขนาดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 หลอดโซเดียมความดันต่ำ (Low pressure sodium lamp) หลอดโซเดียมความดันต่ำเป็นหลอดแบบก๊าซคิสซาร์จความดันต่ำ ภายในบรรจุก๊าซโซเดียมที่ความดันต่ำประมาณ 3 – 4 นิวตันต่อตารางเมตร รูปทรงภายนอกเป็นแบบทรงกระบอกยาวรูปตัวยู ดังรูป 3.21

ตารางที่ 3.9 แสดงค่าทางแสงของหลอดโซเดียมความดันต่ำ

| ชนิดของหลอด | ฐานหลอด | แรงดันไฟฟ้าต่ำสุดสำหรับโซเดียมหลอด | แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (V) | กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (A) | แรงดันไฟฟ้าต่ำสุดสำหรับการทำงานมีสถานะ (V) | ค่าฟลักซ์เฉลี่ย (lm) | ค่าความสว่างเฉลี่ย (cd/cm ²) | ช่วงเวลาอุ่นหลอด (นาที) |
|-------------|---------|------------------------------------|-----------------------|----------------------|--|----------------------|--|-------------------------|
| SOX 35 W | BY 22 | 190 | 200 | 68 | 200 | 4500 | 10 | 7 |
| SOX 55 W | BY 22 | 190 | 200 | 107 | 200 | 7400 | 10 | 7 |
| SOX 90 W | BY 22 | 190 | 200 | 117 | 200 | 13000 | 10 | 9 |
| SOX 135 W | BY 22 | 190 | 200 | 176 | 200 | 21500 | 10 | 10 |
| SOX 180 W | BY 22 | 190 | 200 | 250 | 200 | 30500 | 10 | 12 |

หลอดชนิดนี้มีประสิทธิภาพการส่องสว่างประมาณ 180 lumen / W โดยมีประสิทธิภาพสูงที่สุดคือจะให้แสงมากกว่าหลอดชนิดอื่นเมื่อใช้กำลังไฟฟ้าเท่ากัน มีขนาดตั้งแต่ 35 – 180 W อายุการใช้งานประมาณ 15,000 ชั่วโมง ใช้เวลาในการจุดหลอดให้สว่างเต็มที่ประมาณ 10 – 20 นาที

ลักษณะสีของแสงที่ได้จากหลอดโซเดียมความดันต่ำนี้จะให้แสงสีเหลืองอย่างเด่นชัด จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในงานที่ต้องการเห็นความแตกต่างในสีสิ่งของวัตถุ นิยมใช้กับไฟถนน บริเวณทางแยก ทางรถไฟ สะพาน และไฟส่องสว่างเพื่อความปลอดภัย



รูปที่ 3.22 หลอดโซเดียมความดันสูงขนาดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4. หลอดโซเดียมความดันสูง (High Pressure Sodium Lamp , HPS) หลอดโซเดียมความดันสูงเป็นหลอดแบบก๊าซดิสชาร์จความดันสูง ภายในหลอดจะบรรจุก๊าซโซเดียมความดันสูง หลอดชนิดนี้มีขนาดและรูปร่างเหมือนกับหลอดแสงจันทร์ สามารถใช้แทนกันได้โดยมิตยกัน ลักษณะของหลอดเป็นดังรูป 3.22

หลอดชนิดนี้มีประสิทธิภาพการส่องสว่างประมาณ 120 lumen / W เป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพสูงรองจากหลอดโซเดียมความดันต่ำ มีขนาดตั้งแต่ 50 – 1,000 W อายุการใช้งานประมาณ 20,000 ชั่วโมง ใช้แรงดันสแตร์ตประมาณ 1,500 – 3,000 V ใช้เวลาในการจุดติดหลอดประมาณ 3 – 4 นาที และหากระบบไฟฟ้าเกิดดับขึ้น หลอดจะใช้ประมาณ 1 นาที เพื่อให้ไส้หลอดเย็นจนกระทั่งสามารถจุดติดไฟได้อีกครั้ง

แสงที่ได้จากหลอดโซเดียมความดันสูงนี้จะออกไปทางโทนเหลือง การมองเห็นสีจะดีกว่าหลอดโซเดียมความดันต่ำ เพราะยังมีแสงสีอื่นปนอยู่ด้วย หลอดชนิดนี้ใช้กันมากในถนนสายประธาน ทางด่วน และที่แยกต่างๆ

ตารางที่ 3.10 แสดงค่าทางแสงของหลอดโซเดียมความดันสูงขนาดต่างๆ

| หลอด | ฐานหลอด | แรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่ใช้จุดหลอด (V) | แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่หลอด (V) | กระแสเฉลี่ย (A) | แรงดันไฟฟ้าต่ำสุดสำหรับการทำงานมีสถานะ (V) | กระแสสแตร์ตสูงสุด (A) | ค่าฟลักซ์เฉลี่ย (lm) | ค่าความสว่างเฉลี่ย (cd/cm ²) | ช่วงเวลาคืนหลอด (นาที) |
|-------------------------|---------|------------------------------------|------------------------------|-----------------|--|-----------------------|----------------------|--|------------------------|
| SON 50 W-I ¹ | E27 | 198 | 85 | 0.76 | 200 | 1.08 | 3,300 | 4.5 | 5 |
| SON 50 W-I ² | E27 | 198 | 85 | 0.76 | 200 | 1.08 | 3,300 | 4.5 | 5 |
| SON 70 W-I ¹ | E27 | 198 | 90 | 1.00 | 200 | 1.35 | 5,800 | 7.0 | 5 |
| SON 70 W-I ² | E27 | 198 | 90 | 1.00 | 200 | 1.35 | 5,800 | 7.0 | 5 |
| SON 150 W | E40/45 | 198 | 100 | 1.80 | 200 | 2.40 | 13,500 | 10.0 | 5 |
| SON 250 W | E40/45 | 198 | 100 | 3.00 | 200 | 4.50 | 25,000 | 19.0 | 5 |
| SON 400 W | E40/45 | 198 | 105 | 4.45 | 200 | 6.50 | 47,000 | 24.0 | 5 |
| SON 1000 W | E40/45 | 198 | 110 | 10.30 | 200 | 14.00 | 120,000 | 36.0 | 6 |

3.6. การแสดงค่าความเข้มแสง

ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยที่ได้จากโคมไฟบนถนนและค่าความเข้มแสงที่จุดใดๆบนพื้นถนนสามารถคำนวณหาได้ง่ายและรวดเร็วโดยใช้แผ่นข้อมูลที่แสดงยูนิตไลเซนซ์แฟกเตอร์ไดอะแกรมและไอโซลักซ์ไดอะแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.1. ยูติไลเซชันแฟกเตอร์โคอะแกรม (Utilization Factor Diagram) ค่ายูติไลเซชันแฟกเตอร์ของโคมไฟสามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างค่าฟลักซ์การส่องสว่างที่ตกลงบนพื้นถนน (ϕ_u) กับค่าฟลักซ์การส่องสว่างทั้งหมดที่กระจายออกมาจากหลอดไฟ (ϕ_L)

$$\eta = \frac{\phi_u}{\phi_L}$$

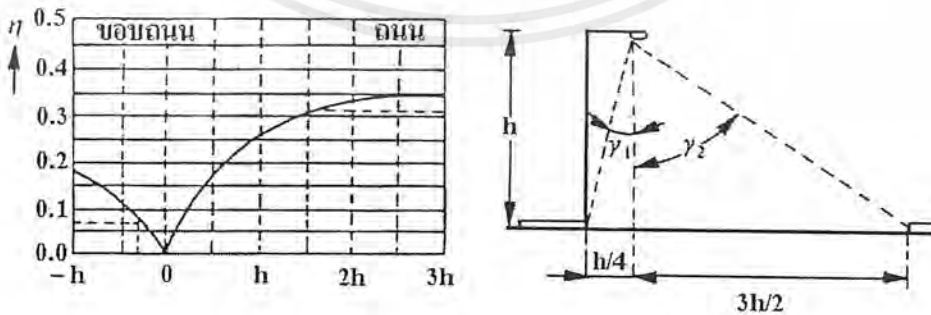
โดยสามารถนำค่านี้ไปคำนวณหาค่าความเข้มแสงเฉลี่ยของถนนสายตรงที่มีระยะทางไม่จำกัดได้จากสูตร

$$E_{av} = \frac{n \cdot \phi_L \cdot \eta}{w \cdot s}$$

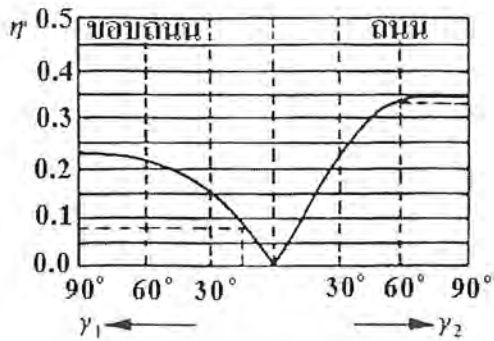
- โดย ϕ_L คือ ค่าฟลักซ์การส่องสว่างของหลอดไฟที่ติดตั้งในดวงโคม (ลูเมน)
- n คือ จำนวนของหลอดไฟต่อโคมไฟ 1 ดวง
- w คือ ความกว้างของถนน (เมตร)
- s คือ ระยะห่างระหว่างดวงโคม (เมตร)
- η คือ ค่ายูติไลเซชันแฟกเตอร์

ยูติไลเซชันแฟกเตอร์โคอะแกรมสำหรับโคมไฟดวงหนึ่งสามารถบอกได้ 2 แบบ คือ

1. บอกในรูปของระยะทางตามแนวขวาง โดยวัดในหน่วยของความสูงในการติดตั้งดวงโคม โดยวัดจากดวงโคมไปยังขอบถนนทั้งสองฝั่ง วิธีนี้ใช้หาค่า η เมื่อรู้ความกว้างของถนน
2. บอกในรูปของมุม γ_1 และ γ_2 วิธีนี้ใช้ดูว่าการเอียงของโคมไฟจะช่วยให้ได้ค่ายูติไลเซชันแฟกเตอร์มากขึ้นหรือทำให้ได้ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยดีขึ้นหรือไม่ ดังแสดงในรูปที่ 3.23



กรณี n เป็นฟังก์ชันของ h



กรณี η เป็นฟังก์ชันของมุม γ_1 และ γ_2
 รูปที่ 3.23 ไดอะแกรมยูทิลิตีไลเซชันแฟกเตอร์

จากรูปที่ 3.23 ค่ายูทิลิตีไลเซชันแฟกเตอร์นั้นจะต้องรวมค่ายูทิลิตีไลเซชันแฟกเตอร์ของถนนกับขอบถนนเข้าด้วยกัน เพื่อจะได้ค่าที่แท้จริงสำหรับความกว้างทั้งหมดของถนน จากรูปที่ 3.23 ค่า

$$\eta = 0.075 + 0.32 = 0.395$$

และ รูปที่ 3.23 มุม

$$\gamma_1 = \arctan h/4h = 14^\circ$$

มุม

$$\gamma_2 = \arctan 3h/2h = 56.5^\circ$$

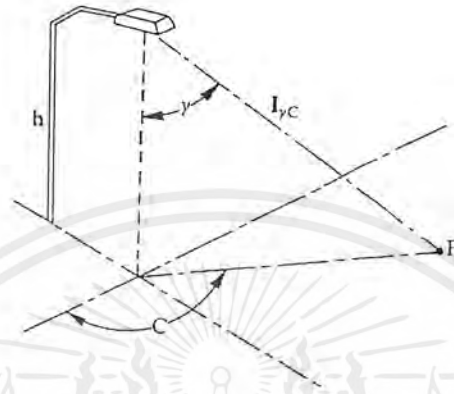
ดังนั้นค่า

$$\eta = 0.075 + 0.32 = 0.395$$

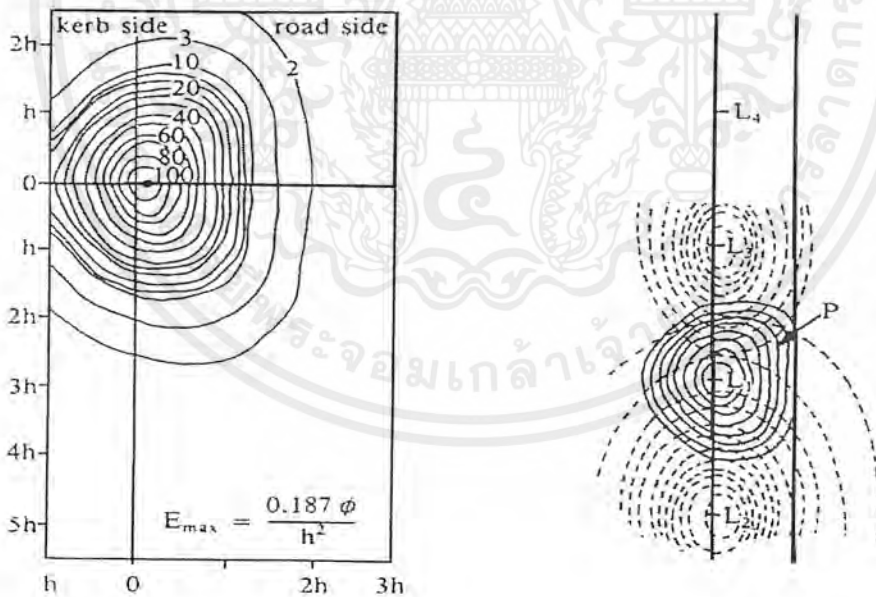
3.6.2. ไอโซลักซ์ไดอะแกรม (Isolux diagram) ความเข้มแสงที่จุดใดจุดหนึ่งบนถนนสามารถหาได้โดยใช้ไอโซลักซ์ไดอะแกรมของดวงโคมที่นำมาติดตั้ง โดยในการสร้างไอโซลักซ์นั้นจะหาความเข้มแสงที่จุด P ใดๆก่อน ซึ่งหาได้จากสมการ

$$E_p = \sum^n \frac{I_{xc} \cdot \cos^3 \gamma}{h^2}$$

โดย $I_{\gamma C}$ เป็นค่าความส่องสว่างของดวงโคมที่จุด P โดยมุม γ และ C ดังรูปที่ 3.24 เป็นจำนวนของดวงโคม



รูปที่ 3.24 แสดงการหาความส่องสว่างที่จุด P



รูปที่ 3.25 (ก) ไอโซลักซ์ไดอะแกรม

(ข) การหาความส่องสว่างที่จุด P โดยใช้ไอโซลักซ์ไดอะแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสูตรข้างบนสามารถคำนวณหาค่าความเข้มแสงที่จุดต่างๆบนพื้นถนนได้เมื่อกำหนดค่าเหล่านี้
 ถูกล้อตลงบนแปลนถนน และเชื่อมจุดที่มีความเข้มแสงเท่ากัน (Illuminance contour) โดยเส้นไอโซ
 ลักซ์แต่ละเส้นกำหนดให้เป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์ของความเข้มแสงสูงสุดที่ได้จากโคมไฟ ซึ่งค่าความเข้ม
 แสงที่จุดใดๆ สามารถอ่านได้จากไอโซลักซ์ไดอะแกรมนี้ โดยทั่วไปไอโซลักซ์ไดอะแกรมมีลักษณะดัง
 รูปที่ 3.25 (ก) จะเห็นว่าหน่วยของแกนตั้งและแกนนอนจะอยู่ในเทอมของความสูงในการติดตั้งดวงโคม
 (h) เพื่อที่จะสามารถนำไปใช้กับการติดตั้งโคมไฟที่ระดับความสูงต่างๆได้ความเข้มแสงที่จุดใดๆ
 สามารถหาได้โดยนำไอโซลักซ์ไดอะแกรมมาวางทับบนแบบแปลนถนนที่มีสเกลเดียวกัน โดยให้จุด
 (0,0) ของไดอะแกรมอยู่ตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่งของโคมไฟดังรูปที่ 3.25 (ข) ซึ่งค่าความเข้มแสงที่
 จุด P สามารถหาได้โดยการรวมค่าความเข้มแสงที่ได้จากดวงโคมไฟอื่นที่อยู่ใกล้เคียง ในทางปฏิบัติ
 นิยมรวมค่าความเข้มแสงจากโคมไฟเพียง 3 ดวงเท่านั้น นั่นคือ ดวงที่อยู่ใกล้ที่สุดกับจุดที่พิจารณาและ
 ดวงที่อยู่ข้างๆเพื่อที่จะให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องแม่นยำ

เนื่องจากค่าที่อ่านได้จากไดอะแกรมเป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มแสงสูงสุดซึ่งอาจจะ
 ระบุไว้ในไดอะแกรม เช่นจากรูป 3.25 (ข) ค่า

$$E_{\max} = 0.187\phi / h^2$$

โดย ϕ คือ ฟลักซ์การส่องสว่างจากดวงโคม

h คือ ความสูงที่ใช้ในการติดตั้งดวงโคม

3.6.3. การแสดงค่าความส่องสว่าง (luminance) ค่าความส่องสว่างที่จุดใดๆบนท้องถนน
 สามารถหาได้ง่ายและรวดเร็วโดยอาศัยแผ่นข้อมูลที่มีไอโซลูมิแนนซ์ไดอะแกรม(Isoluminance
 diagram)

ไอโซลูมิแนนซ์ไดอะแกรม หมายถึง วิธีคำนวณหาค่าความส่องสว่างแบบจุดจะเหมือนกับ
 กับการหาค่าความเข้มแสงแบบจุด ค่าความส่องสว่างที่จุดจุดหนึ่งบนผิวถนนจะมีค่าเท่ากับค่าความส่อง
 สว่างที่ได้จากดวงโคมแต่ละดวงมารวมกัน ค่าความส่องสว่างรวมที่จุด P หาได้จากสมการ

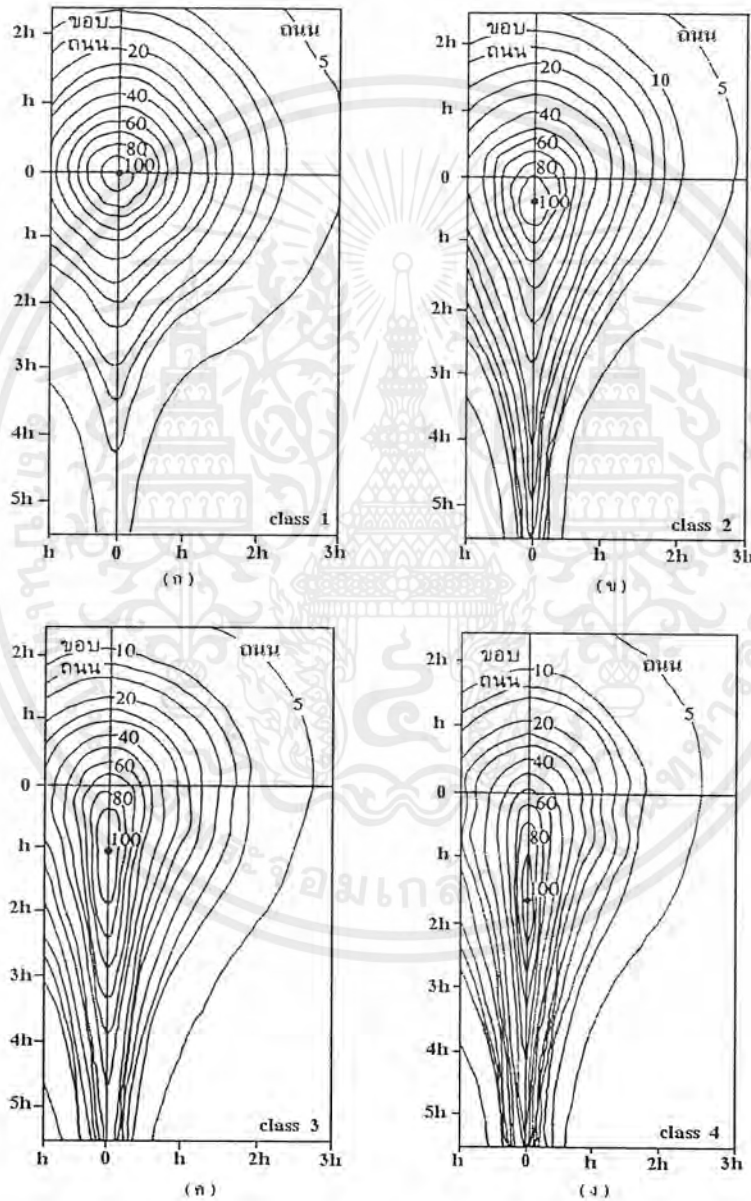
$$L_p = \sum \frac{I_{yc}}{h^2} q(\beta\gamma) \cos^3 \gamma$$

โดยที่ I_{yc} คือ ค่าความส่องสว่างของดวงโคม

$q(\beta\gamma)$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างบนผิวถนน

จากสูตรนี้สามารถหาค่าความส่องสว่างที่จุดต่างๆบนผิวถนนได้ เมื่อนำค่าเหล่านี้มา ล้อตลง
 เบบนแปลนถนน และ เชื่อมจุดที่มีค่าความส่องสว่างเท่ากัน (Isoluminance contour) ก็จะได้ ไอโซลูมิ
 นีว่ากรณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนผังไออะแกรม (Isoluminance diagram หรืออาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า iso-cd / m² diagram) เนื่องจาก CIE ได้แบ่งประเภทของถนนเป็น 4 แบบตามค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างของผิวถนน ดังนั้นจึงมีไอโซลูมิแนนซ์ไออะแกรม 4 แบบตามค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างของผิวถนน ดังรูปที่ 3.26

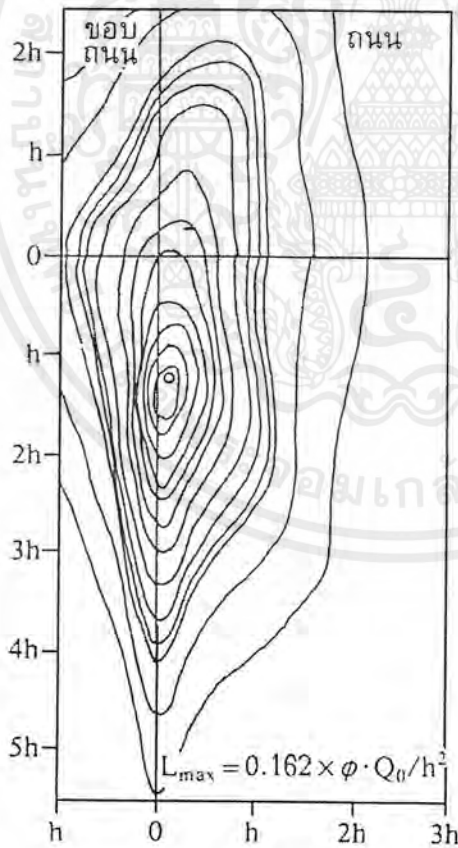


รูปที่ 3.26 ไอโซลูมิแนนซ์ไออะแกรมของพื้นผิวถนนมาตรฐาน 4 แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.26 จะเห็นเส้นไอโซลูมิแนนซ์แต่ละเส้นมีค่าเป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์ของความส่องสว่างที่ได้จากโคมไฟ และหน่วยของแกนตั้งและแกนนอนจะอยู่ในเทอมของความสูงในการติดตั้งดวงโคม (h) เพื่อที่จะสามารถนำไปใช้กับการติดตั้งโคมไฟที่ระดับความสูงต่างๆได้ โดยไดอะแกรมเหล่านี้ถูกคำนวณสำหรับผู้สังเกตในระนาบ C_0 โดยอยู่ห่างจากดวงโคมเป็นระยะทาง 10 h ดังนั้นการใช้ไอโซลูมิแนนซ์จึงขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่แท้จริงของผู้สังเกต ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กรณี

1. กรณีผู้สังเกตอยู่ในแนวแถวเดียวกับโคมไฟ กรณีนี้ค่อนข้างง่าย โดยในขั้นแรกทำการวาดแปลนถนนโดยให้มีสเกลอยู่ในเทอมของความสูงในการติดตั้งดวงโคม จากนั้นนำไอโซลูมิแนนซ์ไดอะแกรมมาวางทับบนแปลนถนนนี้ โดยให้แกนตามยาวของถนนกับไดอะแกรมขนานกัน ให้ตำแหน่งของโคมไฟที่พิจารณาอยู่ในตำแหน่ง (0,0) ของไดอะแกรม ค่าความส่องสว่างที่จุด P ใดๆ สามารถหาได้โดยรวมค่าความส่องสว่างที่ได้จากโคมไฟที่อยู่ใกล้กับจุดที่พิจารณา โดยทั่วไปนิยมใช้โคมไฟเพียง 3 ดวง โดยใช้โคมไฟดวงที่อยู่ใกล้กับจุดที่พิจารณามากที่สุดกับดวงโคมที่อยู่ข้างๆ ดังรูปที่ 3.27



(ก) ไอโซลูมิแนนซ์ไดอะแกรม



(ข) การหาความส่องสว่างกรณีผู้สังเกตอยู่ในแนวแถวโคมไฟ

รูปที่ 3.27 ไอโซลูมิแนนซ์ไดอะแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากค่าที่อ่านได้จากไดอะแกรมนี้เป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์ของค่าความส่องสว่างสูงสุด ดังนั้น จะต้องนำค่าที่อ่านได้มาคูณกับค่าความส่องสว่างสูงสุดซึ่งอาจจะระบุไว้ในไดอะแกรม ดังรูปที่ 3.27 เช่น ค่า

$$L_{\max} = 0.126 \phi \cdot Q_0 / h^2$$

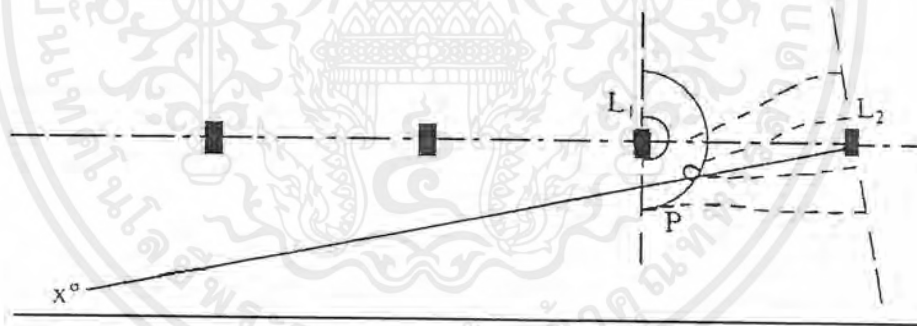
โดย ϕ คือ ฟลักซ์การส่องสว่างจากดวงโคม

h คือ ความสูงที่ใช้ในการติดตั้งดวงโคม

Q_0 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การส่องสว่างเฉลี่ยของพื้นผิวถนน

โดยมีข้อควรระวัง คือ อย่าหมุนกลับด้านกันระหว่างฟังก์ชันกับขอบถนนของไดอะแกรม

2. กรณีผู้สังเกตอยู่ในตำแหน่งนอกแนวแถวของดวงโคม ค่าความส่องสว่างที่จุดจุดหนึ่งบนถนนที่อยู่ระหว่างผู้สังเกตกับโคมไฟไม่เพียงขึ้นอยู่กับการกระจายแสงของดวงโคมเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับตำแหน่งจุดที่พิจารณาเมื่ออ้างอิงกับผู้สังเกตและโคมไฟ สำหรับค่าความส่องสว่างของจุดบนถนนที่อยู่ด้านหลังโคมไฟจะขึ้นอยู่กับค่าการกระจายแสงของโคมไฟเพียงอย่างเดียว ไม่ค่อยมีผลต่อตำแหน่งของผู้สังเกต



รูปที่ 3.28 แสดงการหาค่าความส่องสว่างในกรณีที่ผู้สังเกตอยู่นอกแถวโคมไฟ

ดังนั้น ในกรณีที่จุดที่พิจารณาอยู่ด้านหลังโคมไฟโดยผู้สังเกตอยู่ในระนาบ $C = 0$ องศา ก็จะสามารถหาค่าความส่องสว่างที่จุดใดๆ ได้โดยใช้ดังกรณีที่ 1 อย่างไรก็ตามในกรณีที่สนใจอยู่ระหว่างโคมไฟกับผู้สังเกต จะต้องหมุนไอโซลูมิแนนซ์ไดอะแกรมให้แกนตามยาวของไดอะแกรมอยู่ในแนวเดียวกับตำแหน่งผู้สังเกตที่กำหนดไว้บนแปลนถนน ดังรูปที่ 3.28 ซึ่งจะทำได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องยิ่งขึ้น จากนั้นก็ทำการอ่านค่าความส่องสว่างที่จุดนั้น ซึ่งขั้นตอนการคำนวณหาค่าความส่องสว่างจะเหมือนกับในกรณีที่ 1 ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

วิธีนี้จะมีความถูกต้องอยู่ในระหว่าง 10 กับ - 10 เปอร์เซ็นต์ในกรณีที่ใช้โซลูชันแนชไดอะแกรม ถูกหมุนเป็นมุมไม่มากกว่า 5 องศา นั่นคือ ผู้สังเกตจะอยู่ในระยะ 0.875 h จากระนาบ $C = 0$ องศาของดวงโคมที่ระยะการมอง 10 h

3.7. การคำนวณค่าความเข้มแสง และค่าความส่องสว่าง

วิธีการคำนวณที่ใช้ที่นี่จะเป็นการคำนวณแบบจุด (Point by point method) เพราะเราสามารถคำนวณหาคุณสมบัติทางแสงบนผิวถนน เช่น ค่าความสม่ำเสมอ ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงและความส่องสว่างได้

ค่าความเข้มแสงในแนวระดับที่จุด P บนผิวถนน (พิจารณารูปที่ 3.31) โดยหาได้จาก

$$E_{P(\text{hor})} = \frac{I(\gamma, C) \cdot \cos(\gamma)}{D^2}$$

โดย $E_{P(\text{hor})}$ คือ ความเข้มแสงในแนวระดับที่จุด P โดยมีมุม γ บนระนาบ C ดังรูปที่ 3.29

$I(\gamma, C)$ คือ ค่าความเข้มส่องสว่างของดวงโคมไฟในทิศทางมาที่จุด P โดยมีมุม γ บนระนาบ C ดังรูปที่ 3.29

D คือ ระยะห่างจากดวงโคมมายังจุด P

จากรูปที่ 3.29 จะเห็นว่า $D = H / \cos(\gamma)$ ดังนั้น

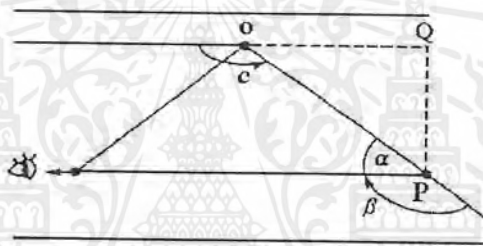
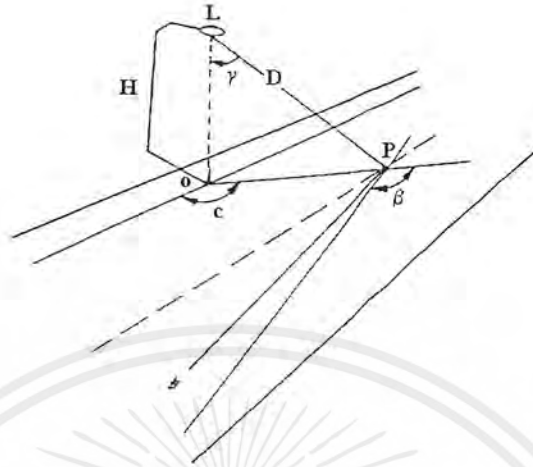
$$E_{P(\text{hor})} = \frac{I(\gamma, C) \cdot \cos^3(\gamma)}{H^2}$$

โดย H คือ ความสูงของดวงโคม
ค่าความส่องสว่างที่จุด P บนพื้นถนน หาได้จาก

$$L_p = q(\gamma, \beta) \cdot (E_p)_{\text{hor}}$$

โดย $q(\gamma, \beta)$ คือ สัมประสิทธิ์ความส่องสว่างบนผิวถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 แสดงตำแหน่งของ โคม ผู้สังเกตและจุดที่พิจารณา (จุด P) บนผิวถนน

เนื่องจาก $R(\gamma, \beta) \cdot \cos^3(\gamma)$ โดย $R(\gamma, \beta)$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของความส่องสว่าง (Reduced luminance coefficient) ดังนั้น

$$L_p = \frac{R(\gamma, \beta) \cdot I(\gamma, C)}{H^2} \quad ; \quad \gamma = \tan^{-1} \left(\frac{PO}{LO} \right)$$

$$\alpha = \cos^{-1} \left[\frac{(PO)^2 + (PE)^2 - (OE)^2}{2(PO)(PE)} \right]$$

$$\beta = 180^\circ - \alpha$$

ในกรณีที่มีจำนวนดวงโคมเท่ากับ n ดวงโคม จะได้ว่า

$$E_{p(lux)} = \sum_{i=1}^n \frac{I(\gamma, C) \cdot \cos^3(\gamma)}{H^2} \quad \text{lux}$$

$$L_p = \sum_{i=1}^n \frac{R(\gamma, \beta) \cdot I(\gamma, C)}{H^2} \quad \text{cd / m}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่โดยปกติการติดตั้งดวงโคมจะมีมุมเงยด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.30 ดังนั้น ค่าความเข้มแสง และความส่องสว่าง จะมีค่า

$$E_{P(\text{hor})} = \frac{I(\gamma, C) \cdot \cos^3(\gamma_2)}{H^2}$$

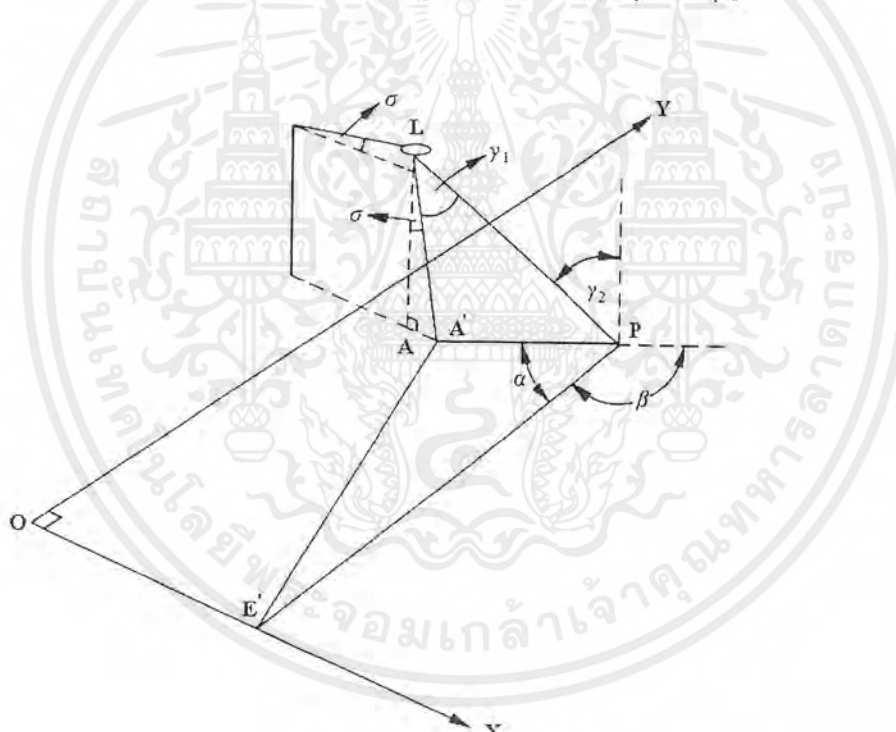
$$L_p = \frac{R(\gamma_2, \beta) \cdot I(\gamma, C)}{H^2}$$

จากรูปที่ 3.30 พิจารณาสามเหลี่ยม A'PE' จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$A'P = \sqrt{(A'_x - P_x)^2 + (A'_y - P_y)^2}$$

$$PE' = \sqrt{(P_x - E'_x)^2 + (P_y - E'_y)^2}$$

$$E'A' = \sqrt{(E'_x - A'_x)^2 + (E'_y - A'_y)^2}$$



รูปที่ 3.30 แสดงการคำนวณหาค่ามุม γ_1 , มุม γ_2 และมุม β

กำหนดให้

- L_x คือ ตำแหน่งของโคมไฟตามแกน X
- L_y คือ ตำแหน่งของโคมไฟตามแกน Y
- A'_x คือ ตำแหน่งของจุดเลี้ยงของโคมไฟตามแกน X
- A'_y คือ ตำแหน่งของจุดเลี้ยงของโคมไฟตามแกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- E'_x คือ ตำแหน่งของผู้สังเกตตามแกน X บนแผ่น XY (มีค่าเท่ากับเศษหนึ่งส่วนสี่ของความกว้างถนน)
- E'_y คือ ตำแหน่งของผู้สังเกตตามแกน Y บนแผ่น XY (มีค่าเท่ากับศูนย์)
- P_x คือ ตำแหน่งจุดที่พิจารณาบนพื้นถนนตามแกน X
- P_y คือ ตำแหน่งจุดที่พิจารณาบนพื้นถนนตามแกน Y

โดยใช้กฎของ cosine จะได้ว่า

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{(A'P)^2 + (PE')^2 - (E'A')^2}{2 \cdot A'P \cdot PE'}$$

$$\beta = 180^\circ - \alpha$$

พิจารณาสามเหลี่ยม $A'PL$

$$PL = \sqrt{(P_x - L_x)^2 + (P_y - L_y)^2}$$

$$LA' = \frac{H}{\cos(\sigma)}$$

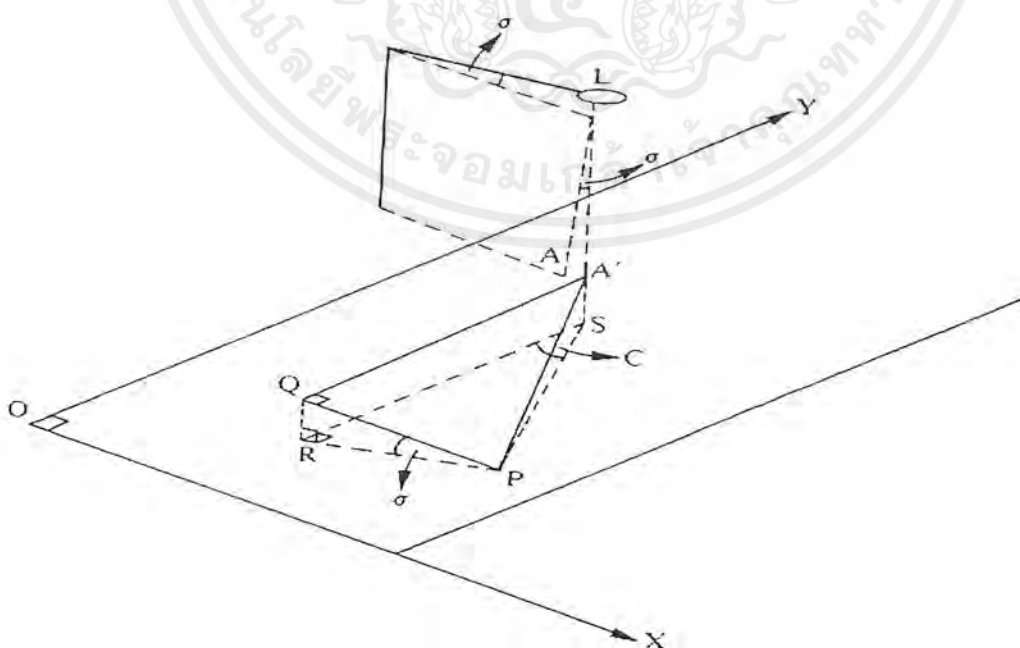
โดยใช้กฎของ cosine จะได้ว่า

$$\gamma_1 = \cos^{-1} \frac{(LA')^2 + (PL)^2 - (A'P)^2}{2 \cdot LA' \cdot PL}$$

$$\gamma_2 = \tan^{-1} \left(\frac{LP}{H} \right)$$

โดยที่

$$LP = \sqrt{(L_x - P_x)^2 + (L_y - P_y)^2}$$



รูปที่ 3.31 แสดงการคำนวณหาค่ามุม C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้

- L_x คือ ตำแหน่งของโคมไฟตามแกน X
 L_y คือ ตำแหน่งของโคมไฟตามแกน Y
 A'_x คือ ตำแหน่งของจุดเตี้ยของโคมไฟตามแกน X
 A'_y คือ ตำแหน่งของจุดเตี้ยของโคมไฟตามแกน Y
 P_x คือ ตำแหน่งจุดที่พิจารณาบนพื้นถนนตามแกน X
 P_y คือ ตำแหน่งจุดที่พิจารณาบนพื้นถนนตามแกน Y

การคำนวณหาค่ามุม C ทำได้โดยการพิจารณาจากรูป 3.31 เนื่องจากมีมุมเงยมาเกี่ยวข้องทำให้ผิวถนนไม่ตั้งฉากกับเพดาน C ดังนั้นจึงต้องหาระนาบที่ตั้งฉากกับเพดาน C ที่ผ่านจุด P จากรูปคือ ระบาย PRS ที่มีด้าน RS อยู่ใต้ผิวถนนยาวเท่ากับ $A'Q$ ซึ่งอยู่บนผิวถนน

พิจารณาสองเหลี่ยม PRS ซึ่งเป็นสามเหลี่ยมมุมฉาก

$$PR = (P_x - A'_x) \cdot \cos(\sigma)$$

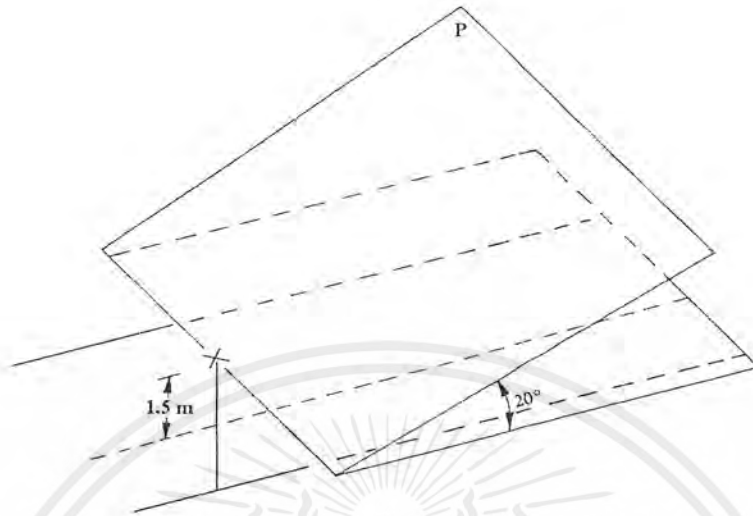
$$RS = A'Q = P_y - A'_y$$

$$C = \tan^{-1}\left(\frac{PR}{RS}\right)$$

จากค่ามุม C และมุม γ_1 นำไปคำนวณหาค่าความเข้มการส่องสว่างจากตาราง I ของดวงโคม และมุม β และมุม γ_2 นำไปหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนจากตาราง R ของผิวถนนที่กำหนดให้เพื่อนำมาคำนวณหาค่าความเข้มแสงและความส่องสว่างที่จุด P ต่อไป

3.8. การคำนวณแสงจ้ำพรำนัยน์ตา

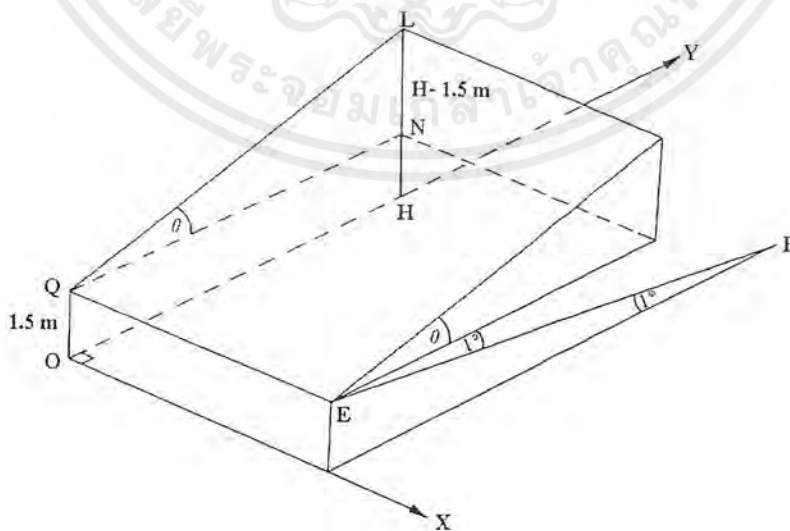
ในการหาค่าแสงจ้ำพรำนัยน์ตา โดยทั่วไปจะพิจารณาในเทอมของค่าความสว่างบดบัง หรือ ค่าการเพิ่มขีดเริ่มเห็น ซึ่งมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการคำนวณต่อไปนี้จะป็นขั้นตอนในการหาแสงจ้ำพรำนัยน์ตา



รูปที่ 3.32 แสดงช่วงมุมมองของผู้ขับขี่รถยนต์บนถนน

จากรูปที่ 3.32 กำหนดให้ผู้ขับขี่รถยนต์มองฟิวถน โดยทำมุมลงจากแนวระดับ 1 องศาและ โคมไฟที่อยู่ภายในมุมยกขึ้น 20 องศากับแนวมอง จะนำมาคิดค่าความส่องสว่างบดง นั่นคือ โคมไฟที่อยู่ภายในมุม 19 องศากับแนวระดับ หรืออาจกล่าวได้ว่าการพิจารณาความส่องสว่างบดงนั้นจะพิจารณาเฉพาะดวงโคมที่อยู่ภายในมุมยกขึ้น 20 องศาเท่านั้น ขั้นตอนในการคำนวณ มีดังต่อไปนี้

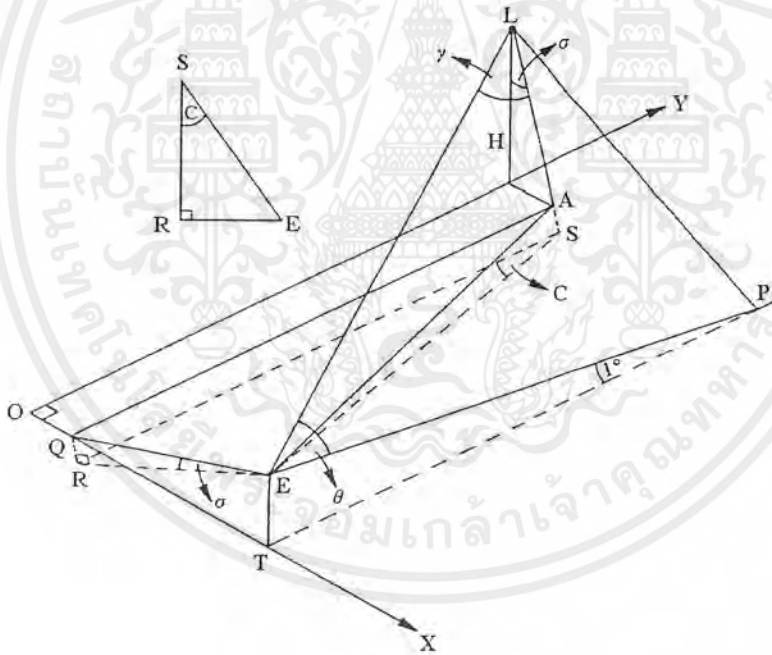
$$\theta = \tan^{-1} \frac{(H - 1.5)}{L_v}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดย L_v เป็น ตำแหน่งของโคมไฟตามแกน Y ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- E เป็นตำแหน่งตาผู้สังเกต โดยอยู่สูงจากผิวถนน 1.5 เมตร
- P เป็นจุดสังเกตบนผิวถนน
- L เป็นตำแหน่งของดวงโคม
- H เป็นความสูงของดวงโคม โดยวัดจากผิวถนน

3.8.1. การคำนวณหาตำแหน่งของดวงโคมไฟดวงแรก โดยพิจารณาจากโคมไฟดวงที่อยู่ใกล้หน้าของผู้สังเกตมากที่สุดในแต่ละแถว ซึ่งมีขั้นตอนการพิจารณาดังนี้ จากรูปที่ 3.34 ทำการหามุมถ่าน้อยกว่า 19 องศา ก็นำดวงโคมดวงนั้นมาพิจารณาหาค่าความส่องสว่างบดบัง แต่ถ้ามุม มีค่ามากกว่า หรือเท่ากับ 19 องศา จึงกำหนดให้โคมดวงนั้นเป็นโคมดวงแรกในแถวที่จะคำนวณหาค่าความส่องสว่างของ (L_v) จนกระทั่งค่า L_v ของดวงโคมที่พิจารณามีค่าน้อยกว่า 2 เฮอร์เซ็นต์ของค่า L_v รวมของแถวนั้น จากรูปที่ จะสามารถหาค่าได้จาก $\theta = \tan^{-1} \frac{(H - 1.5)}{L_v}$



- E เป็นตำแหน่งตาผู้สังเกต โดยอยู่สูงจากผิวถนน 1.5 เมตร
- P เป็นจุดสังเกตบนผิวถนน
- L เป็นตำแหน่งของดวงโคม
- A เป็นจุดเลี้ยงของดวงโคมบนผิวถนน
- C เป็นมุมเงยของโคมไฟ
- H เป็นความสูงของดวงโคมโดยวัดจากผิวถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 3.34 แสดงการคำนวณหาค่ามุมต่างๆ เพื่อนำมาคำนวณหา L_v ขึ้นด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.2. คำนวณหามุม จากรูปที่ 3.34 พิจารณาสามเหลี่ยม LAE

$$LA = \sqrt{H^2 + (A_x - L_x)^2}$$

$$AE = \sqrt{(1.5)^2 + (E_x - A_x)^2 + (E_y - A_y)^2}$$

$$EL = \sqrt{(H-1.5)^2 + (L_x - E_x)^2 + (L_y - E_y)^2}$$

กำหนดให้

L_x เป็นตำแหน่งของดวงโคมไฟตามแกน X

L_y เป็นตำแหน่งของดวงโคมไฟตามแกน Y

A_x เป็นตำแหน่งของจุดตั้งของดวงโคมตามแกน X

A_y เป็นตำแหน่งของจุดตั้งของดวงโคมตามแกน Y (เท่ากับ L_y)

E_x เป็นตำแหน่งผู้สังเกตตามแกน X (มีค่าเท่ากับ $\frac{1}{4}$ ของความกว้างถนน)

E_y เป็นตำแหน่งผู้สังเกตตามแกน Y (มีค่าเท่ากับ 0)

จากกฎของ cosine จะได้ว่า

$$\gamma = \cos^{-1} \frac{LA^2 + EL^2 - AE^2}{2.LA.EL}$$

3.8.3. การหามุม C จากรูปที่ 3.34 พิจารณาสามเหลี่ยมมุมฉาก SRE

$$SR = AQ$$

$$RE = QE \cdot \cos(\sigma) = \sqrt{(E_x - A_x)^2 + (1.5)^2} \cdot \cos \sigma$$

$$C = \tan^{-1} \left(\frac{RE}{SR} \right)$$

จากค่า γ, C ที่ได้ นำไปคำนวณหาค่า I จากโคมไฟในทิศทางมายังผู้สังเกต โดยหาจากตา

วาง

คำนวณหาค่าความส่องสว่างบดบังความเข้มแสงจากโคมไฟที่ปรากฏบนสายตาสามารถหา

ได้จาก

$$E = \frac{I(\gamma, C) \cdot \cos}{D^2}$$

$$D = \sqrt{(H-1.5)^2 + (L_x - E_x)^2 + (L_y - E_y)^2}$$

ดังนั้น ค่าค่าความเข้มแสงในทิศตั้งฉากกับทิศทางการมองของผู้สังเกตสามารถหาได้จาก

$$E_v = E \cdot \cos(\theta) = \frac{I(\gamma, C) \cdot \cos(\theta)}{D^2}$$

จากรูปที่ 3.34 พิจารณาสามเหลี่ยม LPE มุม θ หาได้จาก

$$LP = \sqrt{H^2 + (L_x - P_x)^2 + (L_y - P_y)^2}$$

$$PE = \frac{1.5}{\sin(1^\circ)}$$

$$LE = \sqrt{(H-1.5)^2 + (L_x - E_x)^2 + (L_y - E_y)^2}$$

จากกฎของ cosine จะได้ว่า

$$\theta = \cos^{-1} \frac{LE^2 + PE^2 - LP^2}{2 \cdot LE \cdot PE}$$

ดังนั้น สามารถหาความส่องสว่างบดบังได้จาก

$$\begin{aligned} L_v &= 0.03 \sum_{i=1}^n \frac{E_{v_i}}{\theta^2} && (\theta \text{ อยู่ในรูปเรเดียน}) \\ &= 0.03 \sum_{i=1}^n \frac{I(C, \gamma) \cdot \cos \theta}{D^2 \cdot \theta^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_v &= 10 \sum_{i=1}^n \frac{E_{v_i}}{\theta^2} && (\theta \text{ อยู่ในรูปองศา}) \\ &= 10 \sum_{i=1}^n \frac{I(C, \gamma) \cdot \cos \theta}{D^2 \cdot \theta^2} \end{aligned}$$

โดยที่ n เป็นจำนวนโคมไฟทั้งหมดที่ทำให้เกิดความส่องสว่างบดบัง (เป็นโคมที่ถูกพิจารณาภายใต้เงื่อนไขที่ได้กล่าวมาแล้ว)

การคำนวณแสงจ้าพร่านัยน์ตา เมื่อทราบค่าความส่องสว่างบดบังแล้วก็สามารถหาค่าแสงจ้าพร่านัยน์ตาหรือการเพิ่มขีดการมองเห็นได้ (TI %) โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(TI \%) = \frac{65 L_{av}}{(L_{av})^{0.8}} \%$$

โดยที่ L_{av} เป็นค่าความส่องสว่างเฉลี่ยในบริเวณที่พิจารณา

ในการคำนวณหาค่าแสงจ้าพรั่นยั้งคืนนั้น กำหนดให้จุดสังเกตอยู่ห่างจากขอบซ้ายถนนเท่ากับ $1/4$ ของความกว้างถนน โดยอยู่สูงจากพื้นถนน 1.5 เมตร และทำมุมยกขึ้น 19 องศาับแนวระดับ ซึ่งโคมไฟที่อยู่ในมุมนี้จะต้องนำมาคำนวณทั้งหมด โดยกำหนดให้ผู้ขับขี่ยวดยานมองผิวถนนห่างออกไป 90 เมตรจากจุดที่สังเกต หรือ มองลงประมาณ 1 องศาับแนวระดับนั่นเอง

3.9. การคำนวณแสงจ้าร่ายคายตา

ค่าแสงจ้าร่ายคายตานี้สามารถคำนวณได้จาก

$$G = SLI + C + 0.97 \log(L_{av}) + 4.41 \log(h) - 1.46 \log(P)$$

$$SLI = 13.84 - 3.31 \log(I_{80}) + 1.3 \log(I_{80}/I_{88})^{0.5} - 0.08 \log(I_{80}/I_{88}) + 1.29 \log(F)$$

โดยที่ SLI คือ ดัชนีจำเพาะของดวงโคม (Specific lantern index)

I_{80} เป็น ความเข้มส่องสว่างที่มุม 80 องศาับแนวตั้งลง และขนานกับแนวถนน

I_{80} / I_{88} เป็น อัตราส่วนความเข้มส่องสว่างที่มุม 80 กับ 88 องศาับแนวตั้งลงและขนานกับแนวถนน

F คือ พื้นที่แฟลช (Flashed area) เป็นพื้นที่ที่โคมไฟเปล่งแสงออกมาที่มุม 76 องศาในระนาบ C_0 มีหน่วยเป็นตารางเมตร ถ้าค่า F ลดลงเล็กน้อยไป 10 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ค่า Glare Control Mark (G) ผิดไป 0.06 เปอร์เซ็นต์

C เป็น ค่าคงที่ทางสีของหลอดไฟซึ่งขึ้นอยู่กับการกระจายสเปกตรัม (Spectral distribution) ของแสงจากหลอดไฟ

L_{av} เป็น ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของผิวถนน

h เป็น ความสูงระหว่างระดับสายตาซึ่งสูงจากพื้นถนน 1.5 เมตรถึงระดับ โคมไฟ มีหน่วยเป็นเมตร

P เป็น จำนวนโคมไฟต่อความยาวถนน 1 กิโลเมตร

SLI คือ Specific Lantern Index

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสมการหาค่าแสงจ้ำระคายตา จะใช้ได้ต่อเมื่อ

$$50 \leq I_{80} \leq 7,000 \text{ cd}$$

$$1 \leq I_{80}/I_{88} \leq 50$$

$$0.007 \leq F \leq 0.4 \text{ m}^2$$

$$0.3 \leq L \leq 7 \text{ cd/m}^2$$

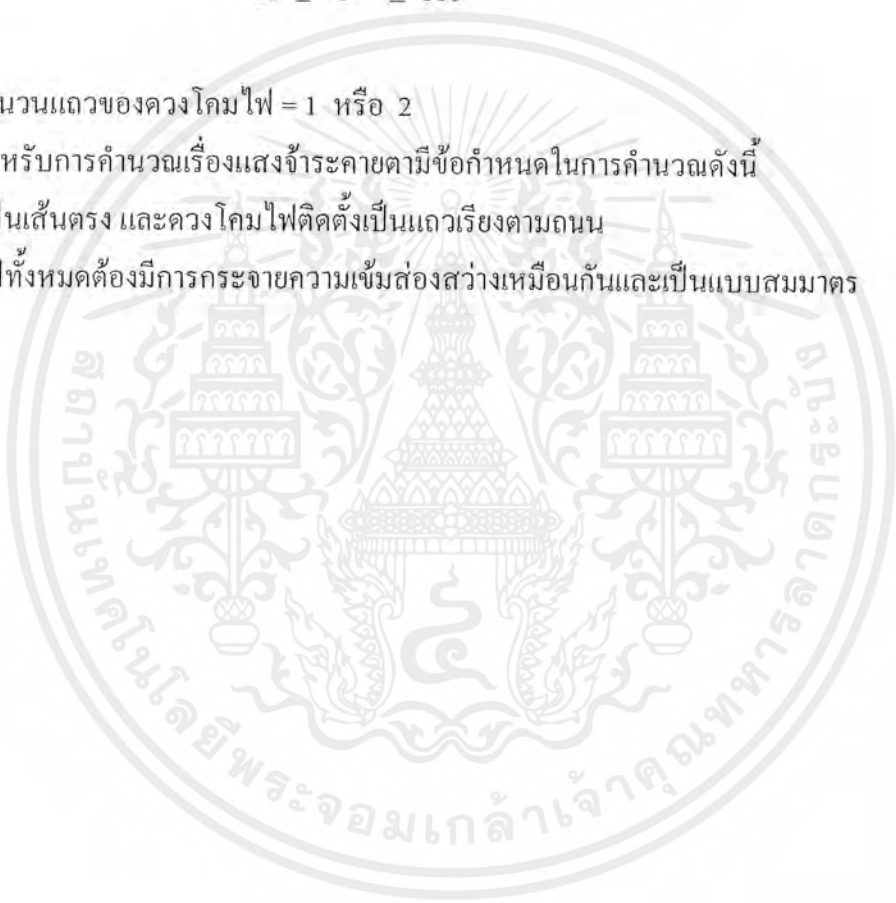
$$5 \leq h \leq 20 \text{ m}$$

$$20 \leq P \leq 100$$

จำนวนแถวของดวงโคมไฟ = 1 หรือ 2

สำหรับการคำนวณเรื่องแสงจ้ำระคายตามีข้อกำหนดในการคำนวณดังนี้

1. ถนนเป็นเส้นตรง และดวงโคมไฟติดตั้งเป็นแถวเรียงตามถนน
2. โคมไฟทั้งหมดต้องมีการกระจายความเข้มส่องสว่างเหมือนกันและเป็นแบบสมมาตร



บทที่ 4

การออกแบบและการทำงานของโปรแกรม

4.1 โครงสร้างของโปรแกรม

สำหรับโปรแกรมการออกแบบระบบแสงสว่างภายนอก – ไฟถนนนี้ จะประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ คือ

- 1.) ส่วนการนำเข้าของข้อมูลการกระจายแสงของดวง โคม (Input IES Standard File Format For Photometric Data)
 - 2.) ส่วนการนำเข้าของข้อมูลการติดตั้งของดวง โคม ไฟฟ้า (Input Installation Data)
 - 3.) ส่วนการนำเสนอผลของค่าที่ได้จากข้อมูลการกระจายแสงและข้อมูลการติดตั้งของดวง โคม ไฟฟ้าที่ได้ทำการออกแบบระบบแสงสว่างภายนอก – ไฟถนน
- แสดงผังโฟลว์ชาร์ทรูปที่ 4.1

4.2 ขั้นตอนส่วนการนำเข้าข้อมูลการกระจายแสง (IES – Files)

ส่วนนี้เป็นการเลือกข้อมูลการกระจายแสงแต่ละดวง โคม ซึ่งจะใช้จาก IES – Files ของผู้ผลิตดวง โคม ไฟฟ้า ในการออกแบบของส่วนการนำเข้าข้อมูลการกระจายแสง จะมีขั้นตอนดังนี้

- 1.) เลือกดวง โคมที่จะใช้ในการออกแบบจาก IES – Files ของผู้ผลิตดวง โคม โดยเลือกจากข้อมูลในไดเรกทอรีของไดรฟ์ที่ใช้การเก็บข้อมูล ซึ่งจะแสดงรายละเอียดของข้อมูลการกระจายแสงเพื่อนำไปทำการคำนวณและออกแบบ
- 2.) สามารถเลือกการแสดงผลรายละเอียดโดยสังเขปของข้อมูลการกระจายแสงให้แสดงผลออกมาโดยการคลิกที่ปุ่มแสดงข้อมูลโดยสังเขป
- 3.) เมื่อทำการเลือกดวง โคมแล้ว ก็สามารถดูลักษณะของการกระจายแสงของดวง โคมได้ คือ กราฟโพลาร์โคออร์ดิเนตและ ไอโซแคนเดลาโคออร์ดิเนต ซึ่งหากว่าคุณลักษณะของการกระจายแสงไม่ตรงกับความต้องการ ก็สามารถกลับไปเลือกดวง โคมใหม่ได้

แสดงโครงสร้างผังโฟลว์ชาร์ทรูปที่ 4.2

4.3 ขั้นตอนส่วนการนำเข้าของข้อมูลการติดตั้งของดวง โคม ไฟฟ้า (Installation Data)

การออกแบบส่วนการนำเข้าข้อมูลการติดตั้งของดวง โคม ไฟฟ้า มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

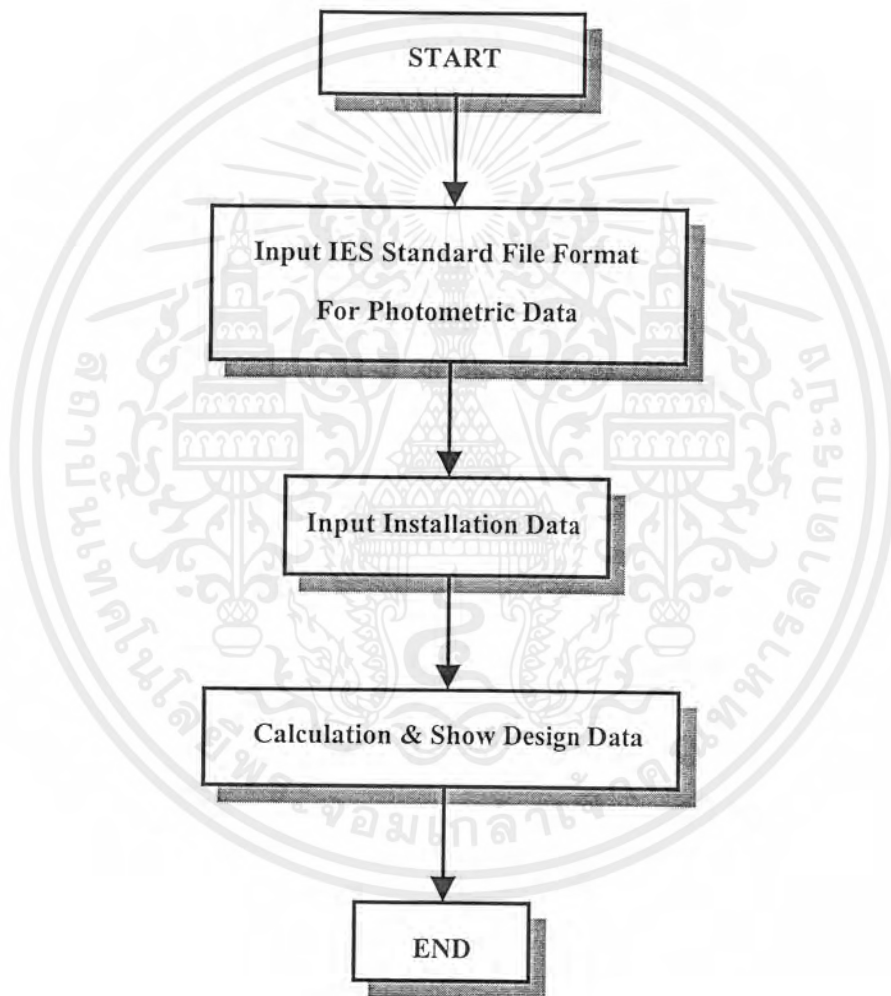
- 1.) หลังจากที่ได้เลือกดวงโคมไฟฟ้าจากส่วนการนำเข้าของข้อมูลการกระจายแสงแล้ว ก็จะเป็นการป้อนค่าสำหรับการติดตั้งดวงโคม ได้แก่ ความสูงของเสาในการติดตั้ง (Mounting Height) , ช่วงยื่นของเสาไฟถนน (Overhang) , ความกว้างของถนนแต่ละเลน , จำนวนของเลนและความยาวของถนน เป็นต้น
- 2.) หลังจากที่ได้ป้อนข้อมูลการติดตั้งแล้ว โปรแกรมจะแสดงภาพชนิดของการติดตั้งของเสา (Mounting Arrangement) และแสดงรายละเอียดของชนิดผิวถนน แสดงขั้นตอนตั้งโพลีชาร์ตรูปที่ 4.3

4.4 ขั้นตอนส่วนการนำเสนอผลของค่าที่ได้จากข้อมูลการกระจายแสงและข้อมูลการติดตั้งของดวงโคมไฟฟ้า

สำหรับขั้นตอนการออกแบบระบบแสงสว่างภายนอก – ไฟถนน จะเป็นการคำนวณแบบจุดต่อจุด (point by point method) ของ CIE ซึ่งจะมีขั้นตอนการคำนวณ แสดงโพลีชาร์ตดังรูปที่ 4.4

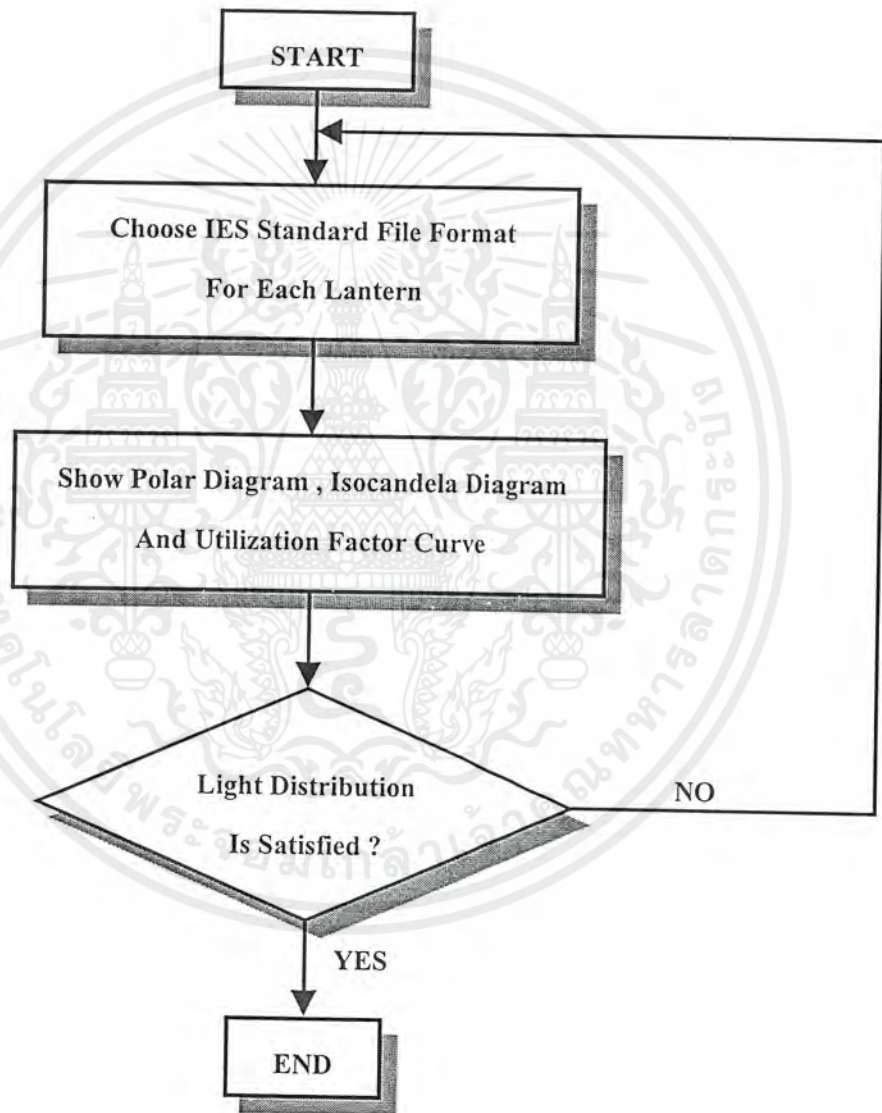
เมื่อโปรแกรมได้รับค่าตัวแปร จากขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลการติดตั้งของดวงโคมแล้ว ผู้ใช้จะต้องเลือกว่าจะคำนวณหาค่าความเข้มแสง (illuminance) หรือค่าความส่องสว่าง (luminance) หลังจากที่ได้เลือกแล้ว โปรแกรมก็จะทำการคำนวณแบบจุดต่อจุด และจะหาค่าสูง (Maximum) , ค่าต่ำสุด (Minimum) , ค่าเฉลี่ย (Average) , ค่าความสม่ำเสมอ (Uniform) และถ้าผู้ใช้เลือกการคำนวณหาค่าความส่องสว่าง ก็จะมีการหาค่าความส่องสว่างบดบัง (Veiling luminance) และการเพิ่มขีดเริ่มเห็น (Threshold Increment) ด้วย

หลังจากที่โปรแกรมคำนวณเสร็จแล้ว ผู้ใช้สามารถดูผลการคำนวณได้จากตารางค่าความเข้มแสง หรือตารางค่าความส่องสว่างที่จุดต่างๆ และสามารถดูกราฟไอโซลักซ์หรือไอโซลูมิแนนซ์ได้อีกด้วย นอกจากนี้ โปรแกรมก็จะทำการแสดงผลสรุปของค่าที่ทำการคำนวณได้ ขั้นตอนของส่วนการคำนวณและนำเสนอผลการออกแบบ แสดงโพลีชาร์ตดังรูปที่ 4.5



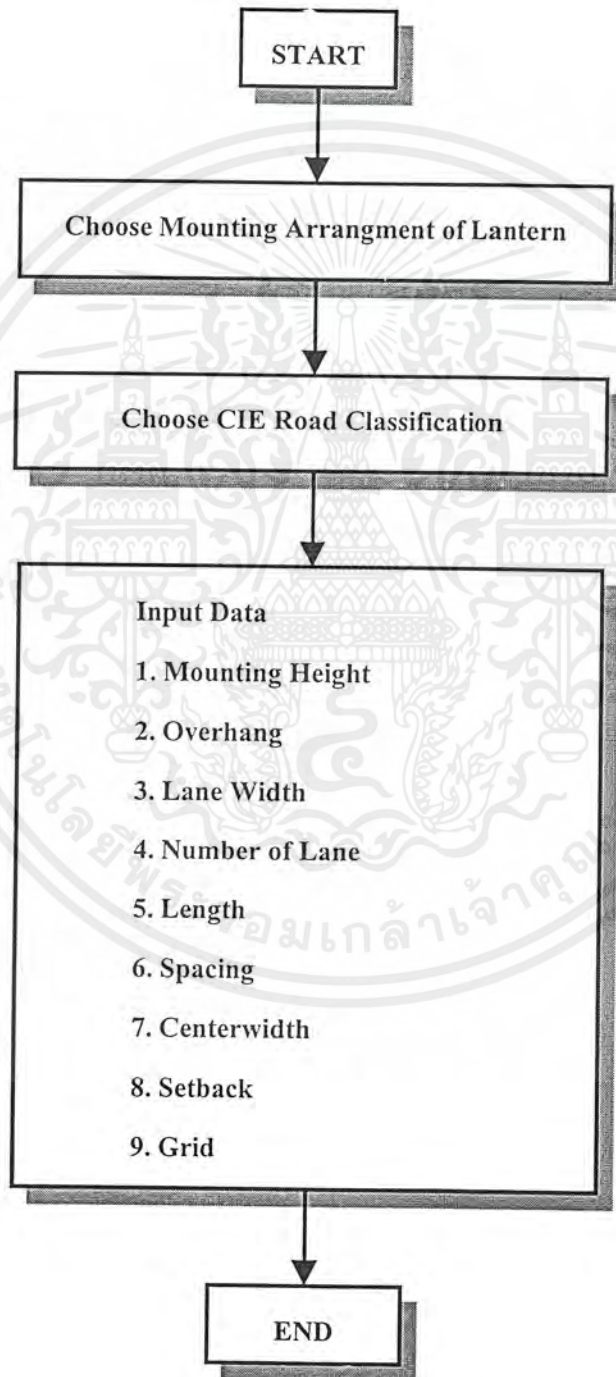
รูปที่ 4.1 โฟลว์ชาร์ทแสดงโครงสร้างการออกแบบโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

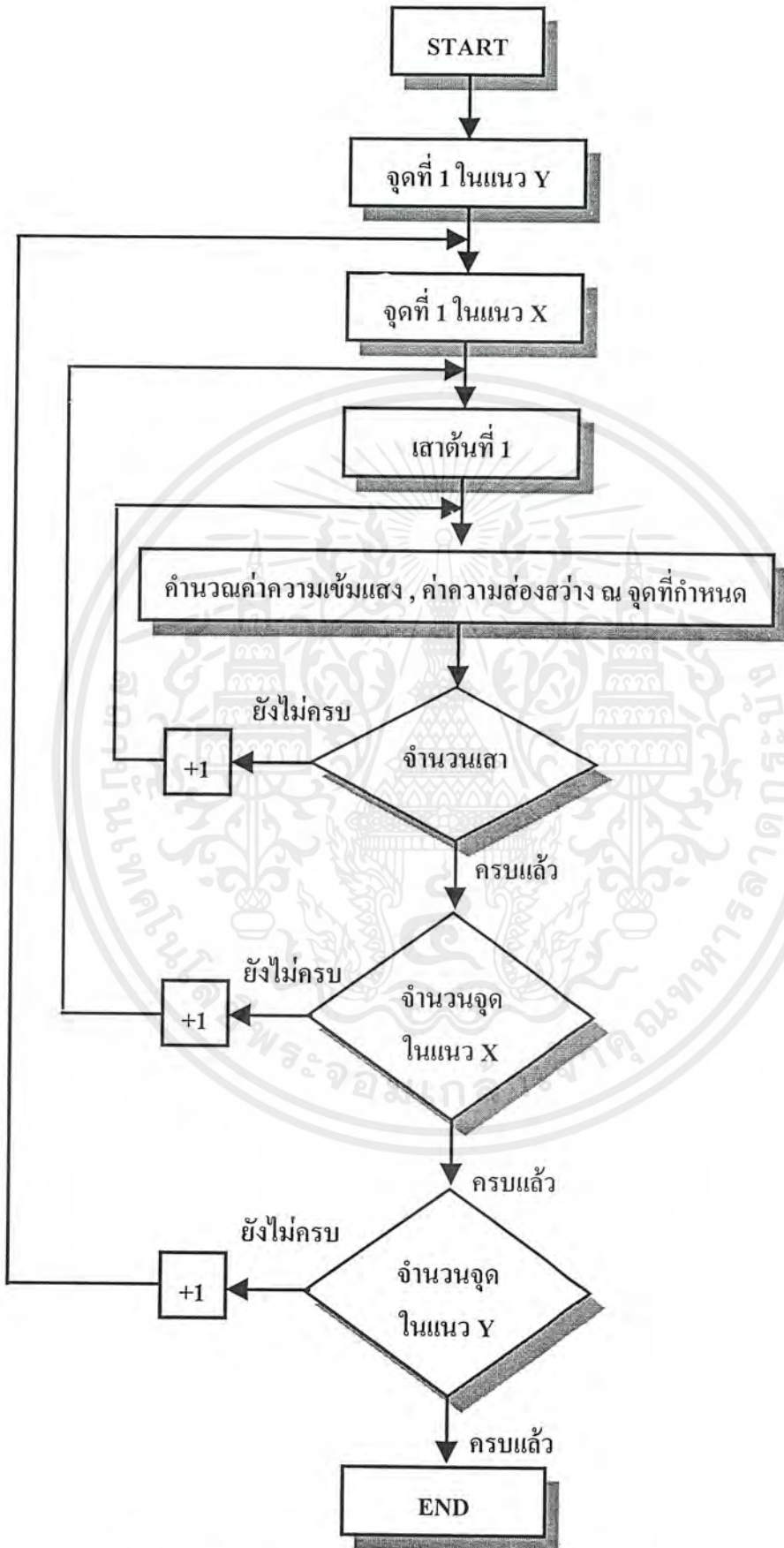


รูปที่ 4.2 โพลีชาร์ตแสดงขั้นตอนส่วนนำเข้าข้อมูลการกระจายแสง

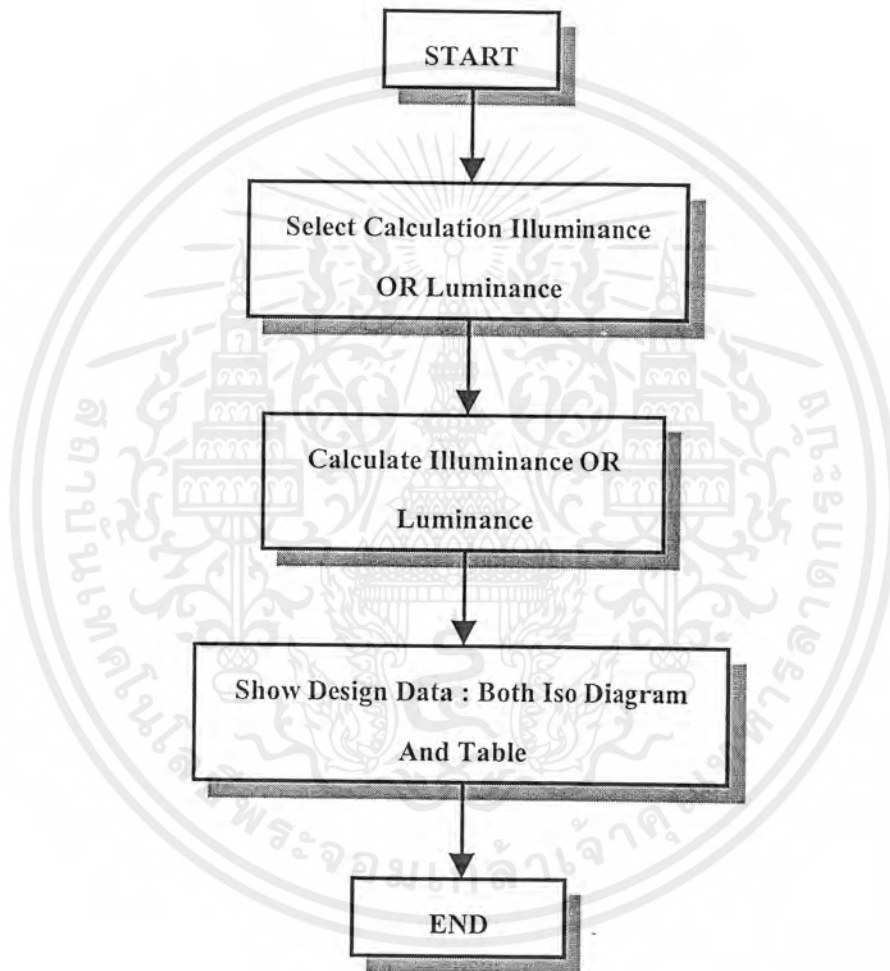
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในหน่วยงานเท่านั้น ไม่สามารถนำออกไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.3 ไฟล์ชาร์ตที่แสดง โครงสร้างข้อมูลการติดตั้งดวงโคมไฟฟ้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.4 ไฟล์ตัวอักษรที่แสดงโครงสร้างการคำนวณแบบจุดต่อจุด(point by point) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 โฟลว์ชาร์ตแสดงขั้นตอนส่วนการคำนวณและการนำเสนอผลการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 วิธีการใช้โปรแกรม

จากที่กล่าวมาข้างต้นว่าโครงสร้างของโปรแกรมนั้นมี 3 ส่วนหลัก ๆ ดังนั้นแสดงวิธีการใช้งานของโปรแกรมตามโครงสร้างของโปรแกรม

4.5.1 ส่วนการนำเข้าข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมไฟฟ้า

ลักษณะของจอภาพที่แสดงส่วนนี้ ดังรูปที่ 4.6 จะประกอบด้วย

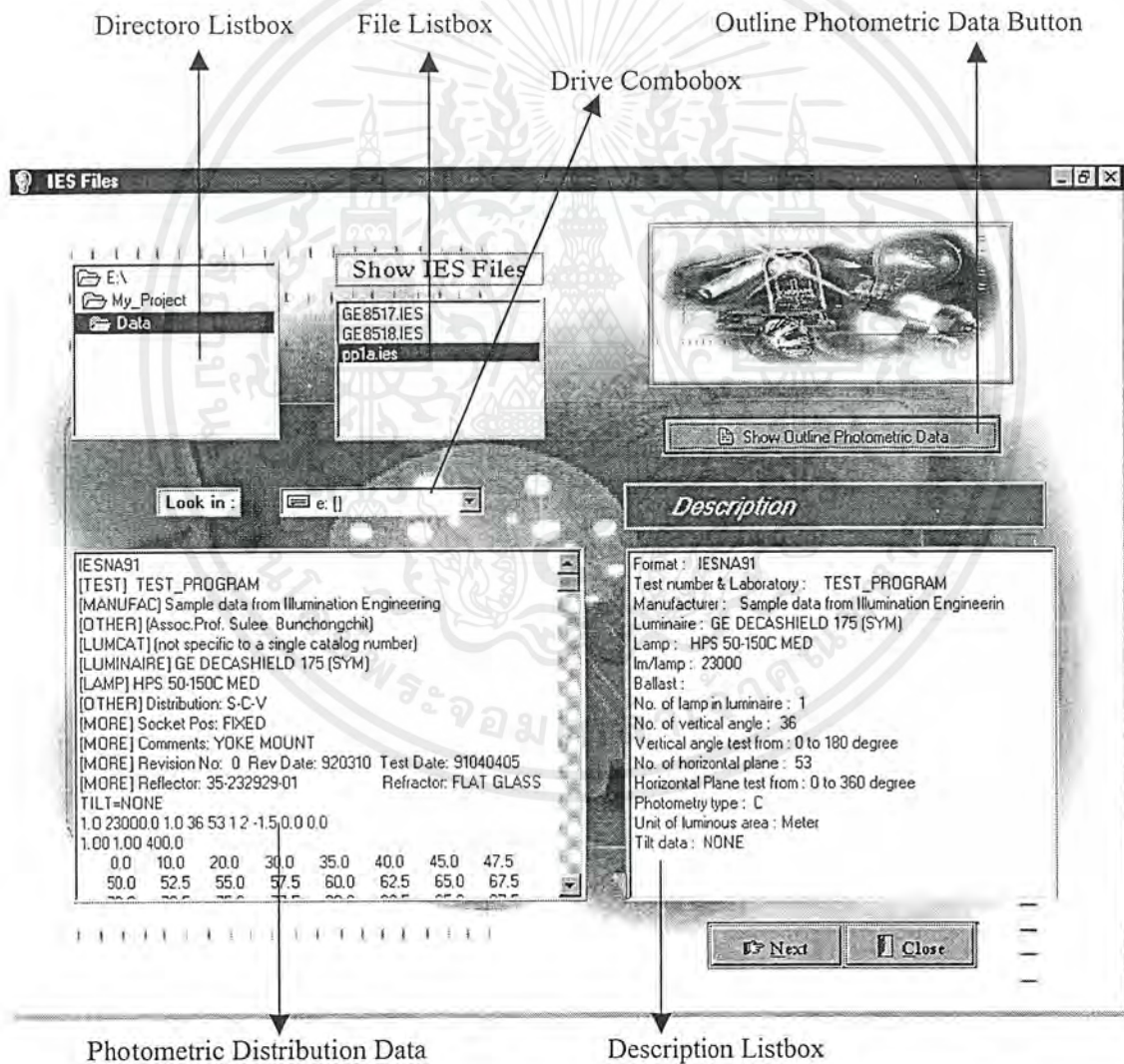
- 1.) Drive Combobox : แสดงไดรฟ์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ ใช้สำหรับเลือกว่าผู้ใช้ได้ทำการเก็บข้อมูลไว้ในไดรฟ์อะไร
- 2.) Directory Listbox : แสดงไดเรกทอรีทั้งหมดที่อยู่ในไดรฟ์ที่ได้เลือกมาก่อนหน้านี้แล้วจาก Drive Combobox ซึ่งผู้ใช้จะทำการเลือกไดเรกทอรีที่ได้เก็บข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมไฟฟ้าไว้
- 3.) File Listbox : แสดง IES - Files ทั้งหมดที่อยู่ในไดเรกทอรีและไดรฟ์ที่เราได้ทำการเลือกไว้ก่อนหน้านี้ จาก Directory Listbox และ Drive Combobox ตามลำดับ ซึ่งผู้ใช้จะเลือก IES - Files ของดวงโคมไฟฟ้าที่ใช้ในการติดตั้งที่ File Listbox
- 4.) Photometric Distribution Data : แสดงรายละเอียดข้อมูลทั้งหมดของดวงโคมไฟฟ้าตามมาตรฐานของ IESNA LM-63-1991 ที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ซึ่งจะแสดงข้อมูลไว้ใน Listbox
- 5.) Outline Photometric Data Button : เป็นปุ่มที่เมื่อทำการคลิกแล้ว จะทำให้มีการแสดงรายละเอียดของข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมไฟฟ้าโดยสังเขป
- 6.) Description Listbox : แสดงรายละเอียดของข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมไฟฟ้าโดยสังเขป

4.5.1.1 วิธีเลือกข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมไฟฟ้า (IES - Files)

- 1.) เมื่อทำการเรียกโปรแกรม Design_Roadway ขึ้นมาก็จะปรากฏหน้าจอบอกชื่อของโปรเจกต์นี้ เมื่อรอสักประมาณ 3 วินาที ก็จะมีหน้าจอหลักแสดงขึ้นมา ให้ผู้ใช้เลื่อนเมาส์ไปที่เมนูบาร์เลือกไฟล์จะมี submenu ปรากฏขึ้นมาให้เลือก 2 อย่างคือ Input New - Lantern กับ Exit ให้ผู้ใช้เลือก Input New Lantern ก็จะปรากฏหน้าจอของส่วนการนำเข้าข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.6
- 2.) ในหน้าจอของรูปที่ 4.6 นี้ ผู้ใช้ต้องทำการเลือกไดรฟ์และไดเรกทอรีที่เก็บข้อมูลการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กระจายแสงของดวงโคมไว้ ซึ่งเมื่อได้เลือกแล้ว ก็จะมี IES-Files ขึ้นมาแสดงใน File Listbox ซึ่งตรงนี้ผู้ใช้สามารถเลือก IES-Files ตามความต้องการและจะแสดงรายละเอียดของข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมไฟฟ้าขึ้นมาอีกด้วยเพื่อให้ผู้ใช้ได้รู้ถึงรายละเอียดของดวงโคมนั้นและเมื่อได้คลิกที่ปุ่ม Show Outline Photometric Data โปรแกรมก็จะทำการแสดงรายละเอียดของดวงโคมโดยสังเขปขึ้นมาอีกครั้ง
- 3.) เมื่อผู้ใช้ได้เลือกดวงโคมเรียบร้อยแล้ว ให้เลือกเมาส์ไปคลิกที่ปุ่ม Next เพื่อที่โปรแกรมจะทำการแสดงกราฟโพลาร์เคิร์ฟ (Polar Curve) ขึ้นมา



รูปที่ 4.6 แสดงหน้าจอโปรแกรมของส่วนการนำเข้าข้อมูลการกระจายแสง

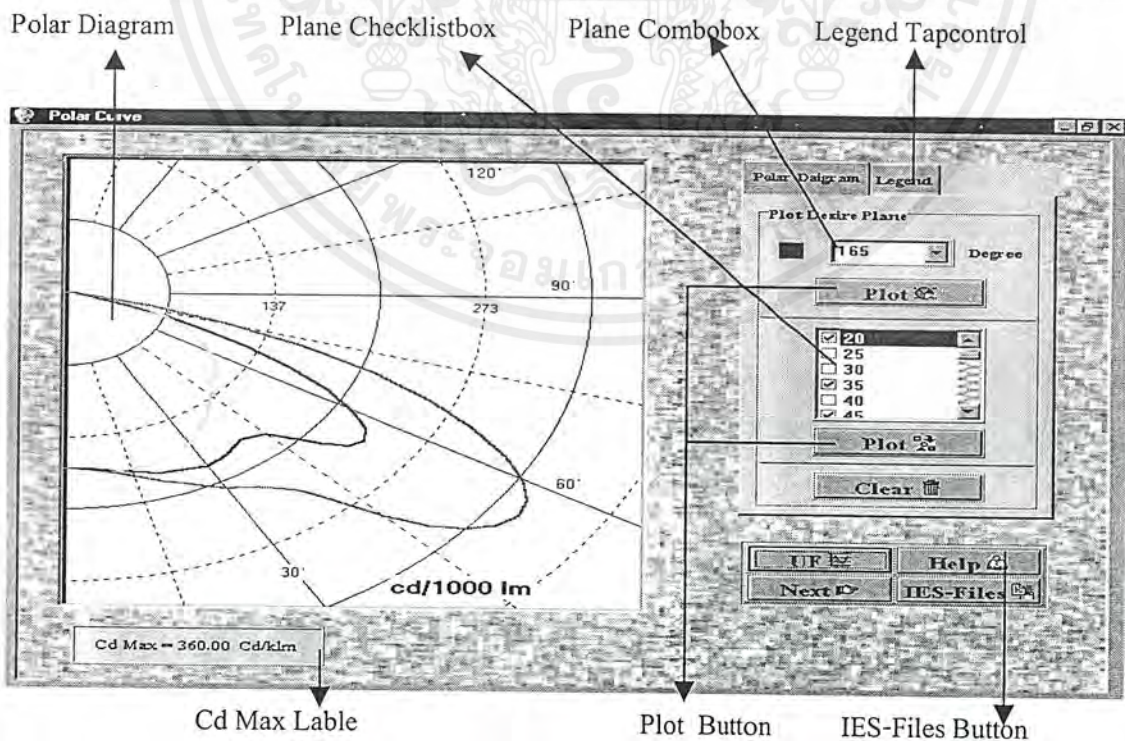
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1.2 ส่วนแสดงการกระจายความเข้มส่องสว่างของดวงโคมไฟฟ้า

ดวงโคมไฟฟ้าที่ใช้กับไฟถนนจะมีลักษณะการกระจายความเข้มแสงสว่าง 2 ลักษณะคือการกระจายโคอะแกรมในรูปโพลาร์และไอโซแคนเดลา (polar diagram and isocandela diagram) ซึ่งส่วนนี้โปรแกรมจะแสดงโพลาร์โคอะแกรมก่อน ส่วนของไอโซแคนเดลาจะไปแสดงอยู่ในขั้น-ตอนส่วนการนำเข้าข้อมูลการติดตั้งของดวงโคมไฟฟ้า ซึ่งจะกล่าวถึงในภายหลัง

ลักษณะหน้าจอของโพลาร์โคอะแกรมมีลักษณะดังรูป 4.7 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- 1.) Polar diagram แสดงโพลาร์โคอะแกรมของดวงโคมไฟฟ้าที่ได้เลือกไว้ก่อนหน้านี้
- 2.) Legend Tapcontrol แสดงลักษณะของเส้นโพลาร์โคอะแกรมแต่ละเพลน C ซึ่งจะแยกเป็นสีต่างๆ ตามที่ได้กำหนดไว้แล้ว
- 3.) Plane Combobox แสดงมุมเพลน C ต่าง ๆ ที่จะใช้ในการพล็อตโพลาร์โคอะแกรม
- 4.) Plane Checklistbox แสดงมุมเพลน C ต่าง ๆ ที่จะใช้ในการพล็อตโพลาร์โคอะแกรมที่ต้องการพล็อตกราฟหลายๆเพลนพร้อมกัน
- 5.) Cd Max Label แสดงค่าความเข้มส่องสว่าง (candela, I) สูงสุดในดวงโคมนั้น
- 6.) Plot Button ใช้สำหรับให้โปรแกรมทำการพล็อตกราฟในมุมเพลน C ที่ได้เลือกไว้ใน Plane combobox
- 7.) IES - Files Button ใช้คลิกเพื่อเลือกข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมใหม่ ดังรูป 4.6



รูปที่ 4.7 แสดงหน้าจอโปรแกรมส่วนแสดงการกระจายความเข้มการส่องสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1.3 วิธีใช้งานส่วนแสดงของโพลาร์ไดอะแกรม

โพลาร์ไดอะแกรมจะแสดงการกระจายความเข้มส่องสว่างอยู่ 3 เพลน คือ เพลน C ที่ขนานกับแนวถนน ($C = 0^\circ$) เพลน C ที่ตั้งฉากกับแนวถนน ($C = 90^\circ$) และเพลน C ที่มีความเข้มสูงสุด

- 1.) รูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าเมื่อได้เลือกดวงโคมแล้ว โปรแกรมจะแสดงโพลาร์ไดอะแกรมอยู่ 3 เพลน คือ เพลน $C = 0^\circ$, เพลน $C = 90^\circ$ และเพลน C ที่มีความเข้มสูงสุด โดยจะแสดงตามสีที่ได้กำหนดไว้แล้วที่ Legend และ โปรแกรมจะแสดงค่าของค่าความเข้มส่องสว่างสูงสุดไว้อีกด้วยที่ใต้รูปของโพลาร์ไดอะแกรม
- 2.) ถ้าผู้ใช้ต้องการดูโพลาร์ไดอะแกรมที่ค่าเพลน C ต่าง ๆ ก็ให้ไปเลือกมุมได้ที่ Plane - Combobox จากนั้นให้ไปคลิกที่ปุ่มพล็อต ซึ่ง โปรแกรมจะแสดงกราฟออกมาตามมุมที่ต้องการ และถ้าผู้ใช้ต้องการพล็อตกราฟหลายๆเพลนพร้อมกันให้ไปเลือกที่ Plane - Checklistbox จากนั้นให้คลิกที่ปุ่มพล็อต

4.5.2 ส่วนการนำเข้าของข้อมูลการติดตั้งของดวงโคมไฟฟ้า

ส่วนนี้เป็นการป้อนข้อมูลต่างๆของการติดตั้งเสา , ส่วนแสดงยูทิลไลเซชันแฟกเตอร์ไดอะแกรมและส่วนการกระจายความเข้มส่องสว่างในรูปของไอโซแคนเดลา จากลักษณะของรูปที่ 4.8 จะแสดงหน้าจอของส่วนการป้อนข้อมูลการติดตั้งและส่วนของการแสดงผลของค่าที่ได้จากการคำนวณด้วย แต่เนื่องจากหัวข้อกล่าวถึงเฉพาะส่วนการนำเข้าของข้อมูลการติดตั้งของดวงโคมเท่านั้น จึงจะนำส่วนของการเสนอผลที่ได้จากการคำนวณไปกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

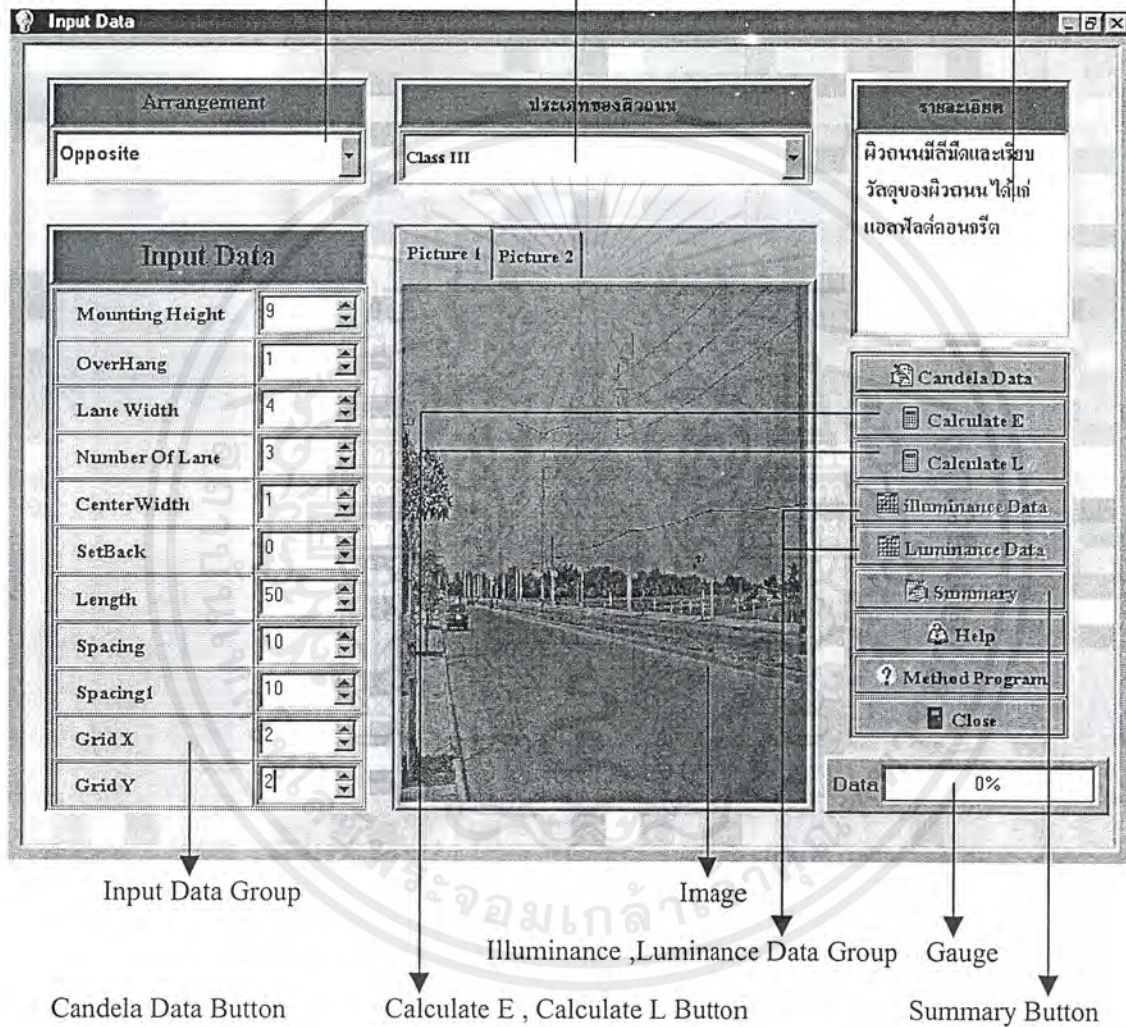
รายละเอียดของหน้าจอส่วนการนำเข้าของข้อมูลการติดตั้งของดวงโคมมีดังนี้

- 1.) Arrangement Combobox แสดงชนิดของการติดตั้งของเสาไฟถนน
- 2.) CIE – Road Classification Combobox แสดงประเภทของผิวถนนต่าง ๆ
- 3.) Description Listbox แสดงรายละเอียดของผิวถนนแต่ละชนิด ที่ได้เลือกมาจาก CIE – Road Classification Combobox
- 4.) Input Data Group ใช้ในการป้อนค่าข้อมูลการติดตั้งเสาไฟถนนเพื่อไปคำนวณต่อไป
- 5.) Image แสดงรูปแบบการติดตั้งของดวงโคมตามชนิดของการติดตั้งที่ได้เลือกไว้จาก Arrangement Combobox
- 6.) Calculate E Button , Calculate L Button ใช้คลิกเพื่อการคำนวณค่าความเข้มแสงและค่าความส่องสว่างตามลำดับ
- 7.) Gauge แสดงเปอร์เซ็นต์ของการคำนวณและการประมวลผลของโปรแกรม
- 8.) Candela Data Button ใช้แสดงส่วนการกระจายความเข้มส่องสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.) Illuminance Data Button , Luminance Data Button ใช้คลิกเพื่อแสดงผลลัพธ์จากการที่โปรแกรมทำการออกแบบ

10.) Summary Button ใช้คลิกเพื่อแสดงหน้าจอรูปร่างผลการออกแบบทั้งหมดของโปรแกรม
Arrangement Combobox CIE-Road Classification Combobox Description Listbox



รูปที่ 4.8 แสดงหน้าจอโปรแกรมส่วนนำเข้าสู่ข้อมูลการติดตั้งดวงโคมไฟฟ้า

4.5.2.1 วิธีการป้อนข้อมูลการติดตั้งของดวงโคม (Installation Data)

- 1.) ให้ทำการเลือกชนิดของการติดตั้งของเสาก่อน โดยเลือกจาก Arrangement Combobox ซึ่งจะมี 5 แบบคือ การติดตั้งด้านซ้ายด้านเดียว, การติดตั้งด้านขวาด้านเดียว, การติดตั้ง 2 ด้านตรงกันข้ามกัน, การติดตั้งแบบกิ่งกุ่มและติดตั้ง 2 ด้านแบบทแยง

2.) ถ้าจะทำการหาค่าความเข้มแสงให้ไปตามข้อ 3 เลยแต่ถ้าต้องการหาค่าความส่องสว่าง
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนลิขสิทธิ์ของกรมการช่างไฟฟ้าที่มีอยู่ ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

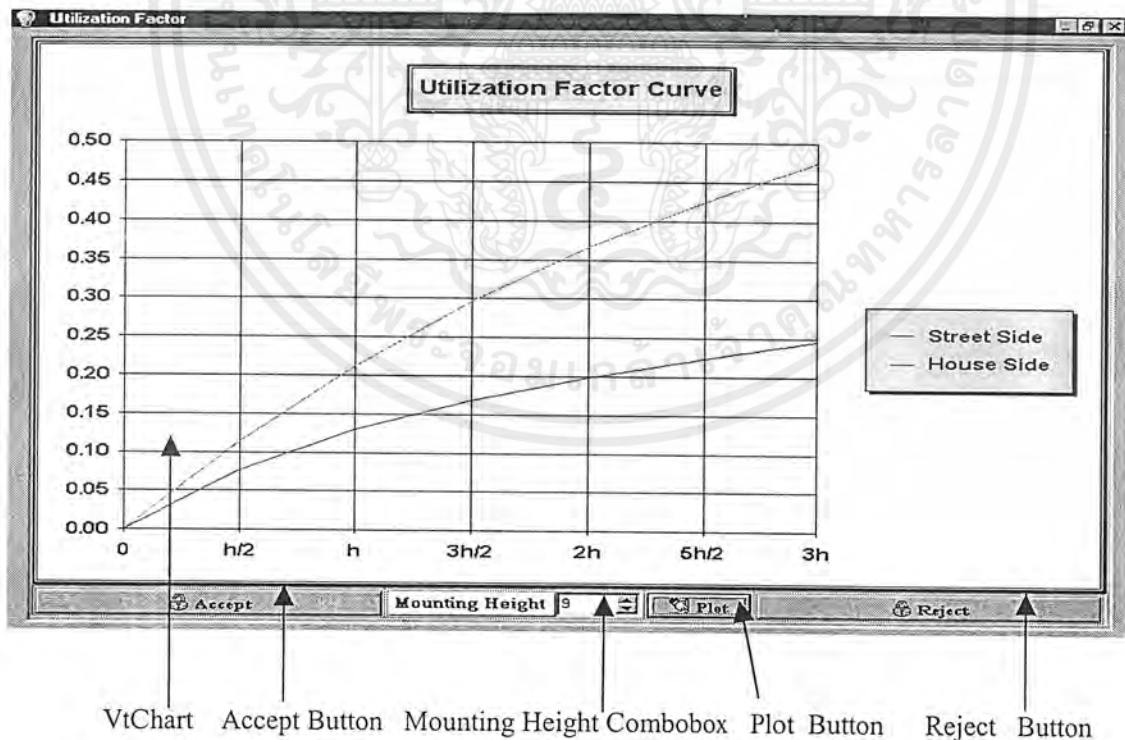
สว่างด้วย ให้ไปเลือกประเภทของฟิวถนนก่อนใน CIE – Road Classification Combobox ซึ่งมี 4 แบบคือ Class I, Class II, Class III, Class IV ตามมาตรฐาน CIE

- 3.) ป้อนค่าตัวแปรต่าง ๆ ใน Spinedit ตามต้องการ จากนั้นก็เลือกว่าการคำนวณหาค่าความเข้มแสงหรือค่าความส่องสว่าง ให้ไปคลิกที่ปุ่ม Calculate E หรือ Calculate L ตามลำดับเมื่อกดปุ่มแล้ว โปรแกรมจะทำการประมวลผล ซึ่งจะมีตัวเลขบอกเป็นเปอร์เซ็นต์แสดงควมดับหน้าของการคำนวณ

4.5.2.2 ส่วนแสดงยูทิลิตี้ไลเซนซ์แฟกเตอร์โคอะแกรม (Utilization Factor Diagram)

ลักษณะหน้าจอของกราฟยูทิลิตี้ไลเซนซ์แฟกเตอร์โคอะแกรมแสดงลักษณะดังรูปที่ 4.9 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1.) Vtchart เป็นส่วนแสดงยูทิลิตี้ไลเซนซ์แฟกเตอร์โคอะแกรมของดวงโคมที่เลือกไว้
- 2.) Mounting Height Combobox ใช้ในการปรับความสูงของเสาไฟถนนตามต้องการ
- 3.) Plot Button ใช้คลิกเพื่อทำการพล็อตกราฟ
- 4.) Accept Button , Reject Button ใช้สำหรับคลิกเลือกว่าโคอะแกรมที่ปรากฏนั้นตรงตามต้องการหรือไม่



รูปที่ 4.9 แสดงหน้าจอโปรแกรมส่วนยูทิลิตี้ไลเซนซ์แฟกเตอร์โคอะแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2.3 วิธีใช้งานส่วนยูทิลิตี้ไอโซเซชันแฟลตเตอร์ไออะแกรม

- 1.) จากรูปที่ 4.9 ผู้ใช้ต้องทำการป้อนค่าความสูงของเสาไฟถนนในการติดตั้งก่อน
- 2.) หลังจากป้อนค่าความสูงในการติดตั้งแล้ว ให้เลื่อนเมาส์ไปคลิกที่ปุ่มพล็อต โปรแกรมจะแสดงกราฟยูทิลิตี้ไอเซชัน ไออะแกรมขึ้นมา โดยมี Legend แสดงอยู่ด้านขวาของกราฟ
- 3.) ถ้าผู้ใช้ต้องการจะดูค่าโดยละเอียดแล้ว ให้เลื่อนเมาส์ไปอยู่ที่กราฟแล้วคลิกขวาจะมีเมนูให้เลือก ให้ผู้ใช้เลือก Edit Chart Data โปรแกรมจะแสดงค่าของการพล็อตยูทิลิตี้ไอเซชันแฟลตเตอร์ไออะแกรมโดยละเอียด
- 4.) ถ้ากราฟเป็นที่ต้องการให้คลิกที่ปุ่ม Accept โปรแกรมจะแสดงหน้าจอเตรียมการแสดงผลของค่าที่ได้จากข้อมูลการกระจายแสงและข้อมูลการติดตั้งของดวงโคม ถ้ากราฟไม่ตรงตามต้องการให้คลิกที่ปุ่ม Reject โปรแกรมจะให้ผู้ผู้ใช้ไปเลือกดวงโคมใหม่

4.5.2.4 ส่วนแสดงการกระจายความเข้มการส่องสว่างในรูปของไอโซแคนเดลา (Isocandela - Diagram)

เมื่อทำการคลิกที่ปุ่ม Candela Data ในรูปที่ 4.8 โปรแกรมจะแสดงตารางให้เลื่อนเมาส์ไปคลิกที่ปุ่ม Show Candela Data โปรแกรมจะแสดงค่าความเข้มส่องสว่างลงในตาราง ดังรูปที่ 4.10 หลังจากนั้นให้คลิกที่ปุ่ม Isocandela โปรแกรมจะสั่งให้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล (Microsoft Excel) สร้างเวิร์กชีต (worksheet) และ ชาร์ต (chart) ขึ้นมา โดยชาร์ตจะแสดงไออะแกรมพล็อตค่าความเข้มส่องสว่างในระนาบ C และมุม γ ที่มีความเข้มส่องสว่างเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 4.11

4.5.3 ส่วนแสดงการนำเสนอผลของค่าที่ได้จากข้อมูลการกระจายแสงและข้อมูลการติดตั้งของดวงโคมไฟถนน

ในส่วนนี้จะแสดงผลการคำนวณของค่าความเข้มแสง ค่าความส่องสว่างและแสดงผลสรุปของค่าที่โปรแกรมทำการคำนวณออกแบบ

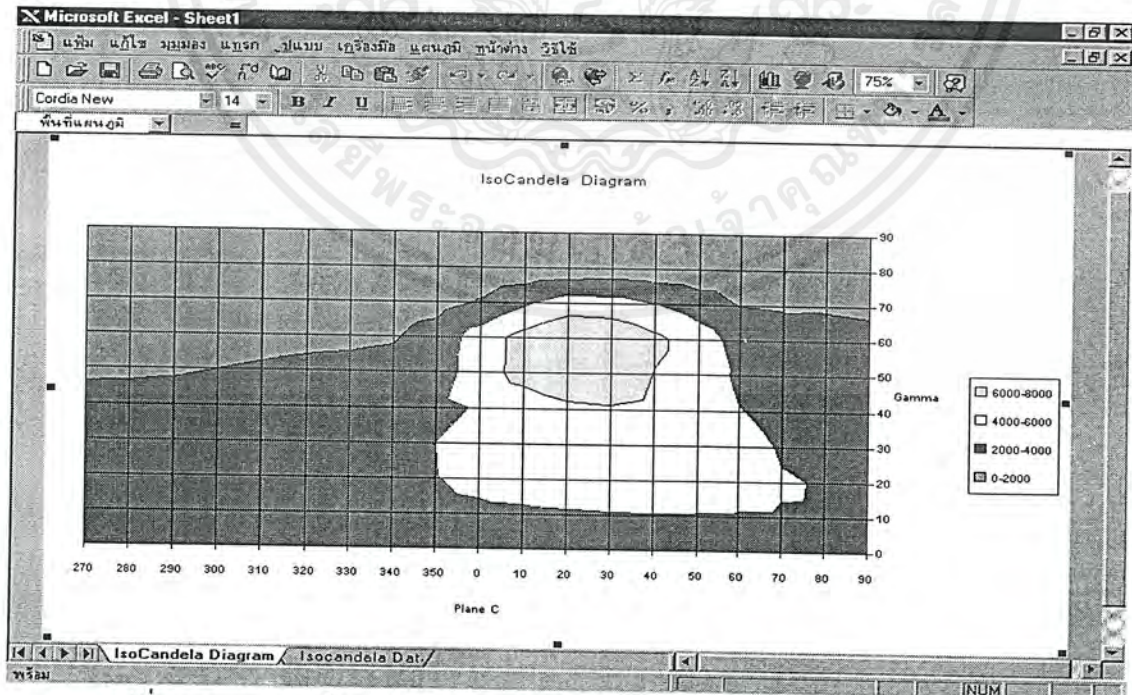
4.5.3.1 ส่วนแสดงค่าความเข้มแสงและไอโซลักซ์ไออะแกรม (illuminance data and isolux diagram)

เมื่อทำการคลิกที่ปุ่ม Calculate E ในรูปที่ 4.8 และโปรแกรมได้ประมวลเสร็จแล้ว จะทำปุ่ม illuminance data เกิดการ enable ขึ้นมา ซึ่งเมื่อคลิกที่ปุ่มนี้ โปรแกรมจะทำงานเหมือนกับส่วนแสดงการกระจายความเข้มส่องสว่างในรูป ไอโซแคนเดลา คือ โปรแกรมจะแสดงผลของค่าความเข้มแสงที่คำนวณได้ ดังในรูป 4.12 และจะสั่งให้ไมโครซอฟท์เอ็กเซล สร้างเวิร์กชีตและชาร์ตขึ้นมา โดยชาร์ตจะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดง ไดอะแกรมพล็อตค่าความเข้มแสงและเชื่อมจุดที่มีความเข้มแสงเท่ากัน (illuminance contour) ดังแสดงในรูป 4.13

| Candela Data | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Gamma | Plane C | | | | | | | | | | | | |
| | 270 | 280 | 290 | 300 | 310 | 320 | 330 | 340 | 350 | 0 | 10 | 20 | 30 |
| 0 | 3795 | 3795 | 3795 | 3795 | 3795 | 3795 | 3795 | 3795 | 3795 | 3795 | 3795 | 3795 | 3795 |
| 10 | 3610 | 3606 | 3627 | 3657 | 3657 | 3703 | 3749 | 3795 | 3840 | 3887 | 3910 | 3933 | 3956 |
| 20 | 3288 | 3298 | 3330 | 3380 | 3450 | 3542 | 3679 | 3840 | 3979 | 4140 | 4231 | 4324 | 4370 |
| 30 | 2852 | 2861 | 2895 | 2967 | 3105 | 3266 | 3496 | 3726 | 4002 | 4300 | 4530 | 4853 | 4990 |
| 40 | 2369 | 2382 | 2400 | 2460 | 2645 | 2852 | 3059 | 3312 | 3657 | 4117 | 4738 | 5543 | 5796 |
| 50 | 1794 | 1812 | 1881 | 2000 | 2162 | 2299 | 2369 | 2576 | 3082 | 4991 | 6785 | 7843 | 7705 |
| 60 | 1218 | 1207 | 1258 | 1380 | 1518 | 1656 | 1702 | 1840 | 2852 | 4968 | 6762 | 7912 | 7590 |
| 70 | 759 | 738 | 754 | 805 | 805 | 828 | 828 | 874 | 1219 | 2185 | 3703 | 4968 | 4853 |
| 80 | 345 | 298 | 278 | 299 | 253 | 207 | 184 | 207 | 230 | 275 | 368 | 644 | 782 |
| 90 | 46 | 60 | 71 | 68 | 68 | 68 | 69 | 92 | 115 | 161 | 160 | 184 | 161 |

รูปที่ 4.10 แสดงหน้าจอโปรแกรมส่วนแสดงผลการกระจายความเข้มส่องสว่าง



รูปที่ 4.11 แสดงหน้าจอส่วนแสดงผลความเข้มส่องสว่างโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

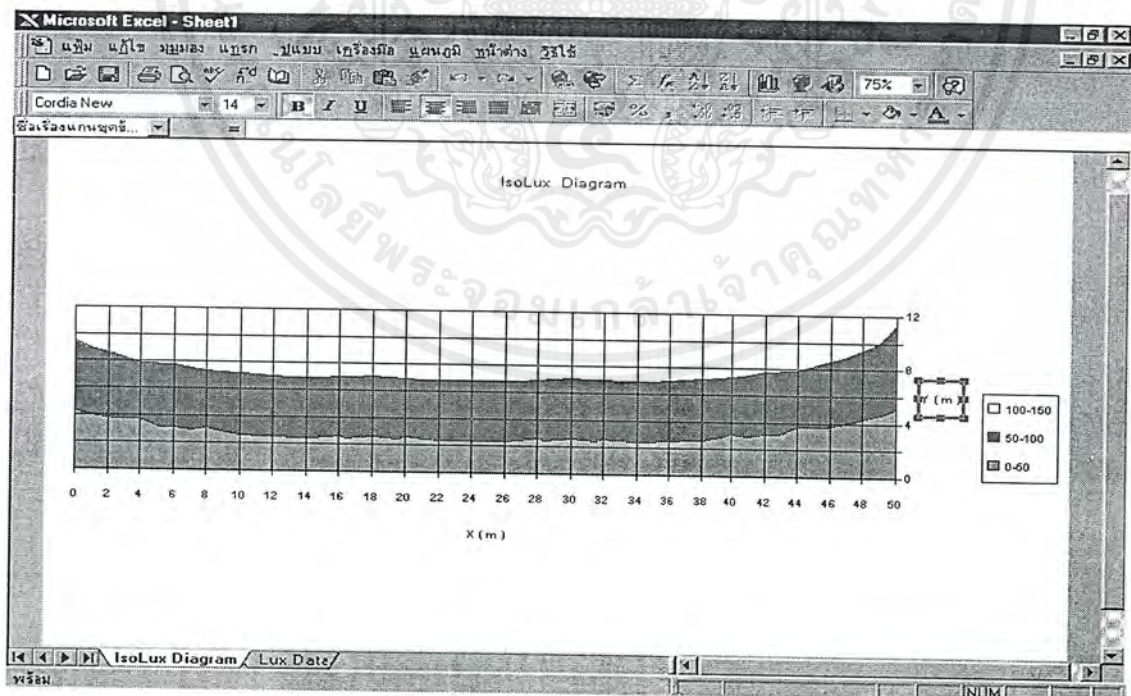
illuminance data

Illuminance Data

| Width | Length | | | | | | | | | | | | |
|-------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 |
| 0 | 22 | 24 | 25 | 25 | 28 | 30 | 31 | 32 | 31 | 30 | 31 | 33 | 33 |
| 2 | 32 | 35 | 37 | 37 | 41 | 44 | 45 | 46 | 45 | 43 | 45 | 47 | 47 |
| 4 | 47 | 52 | 52 | 61 | 57 | 63 | 64 | 65 | 62 | 68 | 62 | 66 | 66 |
| 6 | 66 | 73 | 76 | 79 | 83 | 86 | 87 | 89 | 87 | 87 | 88 | 90 | 90 |
| 8 | 87 | 95 | 101 | 103 | 108 | 110 | 112 | 113 | 113 | 111 | 113 | 114 | 114 |
| 10 | 105 | 110 | 112 | 113 | 118 | 125 | 128 | 127 | 123 | 121 | 123 | 128 | 130 |
| 12 | 114 | 115 | 116 | 118 | 123 | 130 | 136 | 132 | 128 | 126 | 128 | 133 | 138 |

Show Illuminance Data
 IsoLux
 Close

รูปที่ 4.12 แสดงหน้าจอส่วนแสดงค่าความเข้มแสง



รูปที่ 4.13 แสดงหน้าจอส่วนแสดงค่าความเข้มแสงในโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

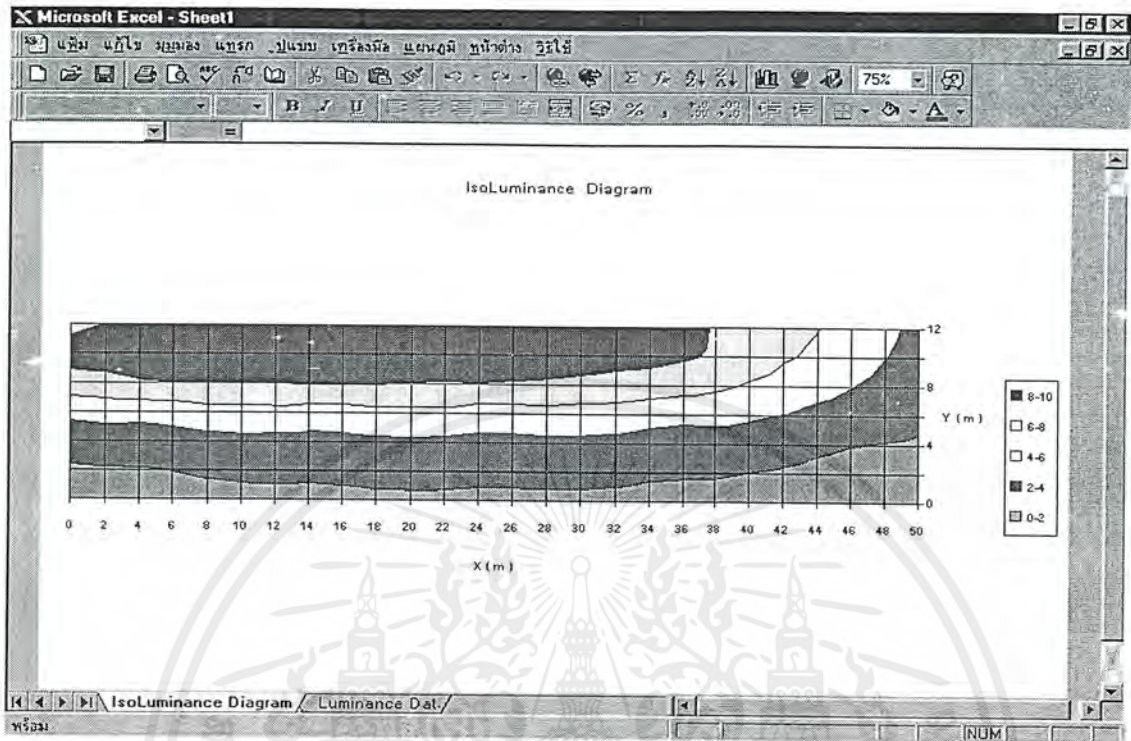
4.5.3.2 ส่วนแสดงค่าความส่องสว่างและไอโซลูมิแนนซ์ไดอะแกรม (luminance data and isoluminance diagram)

เมื่อทำการคลิกที่ปุ่ม Calculate L และ โปรแกรมได้ประมวลเสร็จแล้ว จะทำปุ่ม Luminance data เกิดการ enable ขึ้นมา ซึ่งเมื่อคลิกที่ปุ่มนี้ โปรแกรมจะทำงานเหมือนกับส่วนแสดงการกระจายความเข้มส่องสว่างในรูป ไอโซเคนเดลตา คือ โปรแกรมจะแสดงผลของค่าความส่องสว่างที่คำนวณได้ ดังในรูป 4.14 และจะส่งให้ไมโครซอฟท์เอ็กเซล สร้างเวิร์กชีตและชาร์ทขึ้นมา โดยชาร์ทจะแสดงไดอะแกรมพล็อตค่าความส่องสว่างและเชื่อมจุดที่มีความส่องสว่างเท่ากัน (luminance contour) ดังแสดงในรูป 4.15

| Width | Length | | | | | | | | | | | | |
|-------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 |
| 0 | 1.20 | 1.28 | 1.31 | 1.37 | 1.49 | 1.58 | 1.62 | 1.61 | 1.62 | 1.69 | 1.73 | 1.73 | 1.68 |
| 2 | 1.77 | 1.86 | 1.89 | 2.02 | 2.21 | 2.30 | 2.32 | 2.27 | 2.33 | 2.45 | 2.47 | 2.44 | 2.34 |
| 4 | 2.79 | 2.86 | 2.90 | 3.08 | 3.34 | 3.50 | 3.45 | 3.36 | 3.44 | 3.60 | 3.68 | 3.56 | 3.41 |
| 6 | 4.54 | 4.75 | 4.67 | 4.85 | 5.28 | 5.34 | 5.40 | 5.14 | 5.17 | 5.50 | 5.47 | 5.45 | 5.11 |
| 8 | 7.30 | 7.49 | 7.83 | 7.93 | 8.04 | 8.00 | 8.04 | 8.17 | 8.08 | 8.08 | 7.92 | 7.88 | 7.92 |
| 10 | 8.81 | 8.89 | 9.40 | 9.61 | 9.68 | 9.70 | 9.62 | 9.93 | 9.92 | 9.84 | 9.72 | 9.54 | 9.74 |
| 12 | 7.51 | 8.04 | 8.83 | 9.03 | 8.79 | 8.60 | 9.04 | 9.66 | 9.67 | 9.30 | 8.97 | 9.29 | 9.80 |

รูปที่ 4.14 แสดงหน้าจอส่วนแสดงค่าความส่องสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงหน้าจอส่วนแสดงค่าส่องสว่างในโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล

4.5.3.3 ส่วนแสดงผลสรุปของค่าที่โปรแกรมทำการออกแบบ

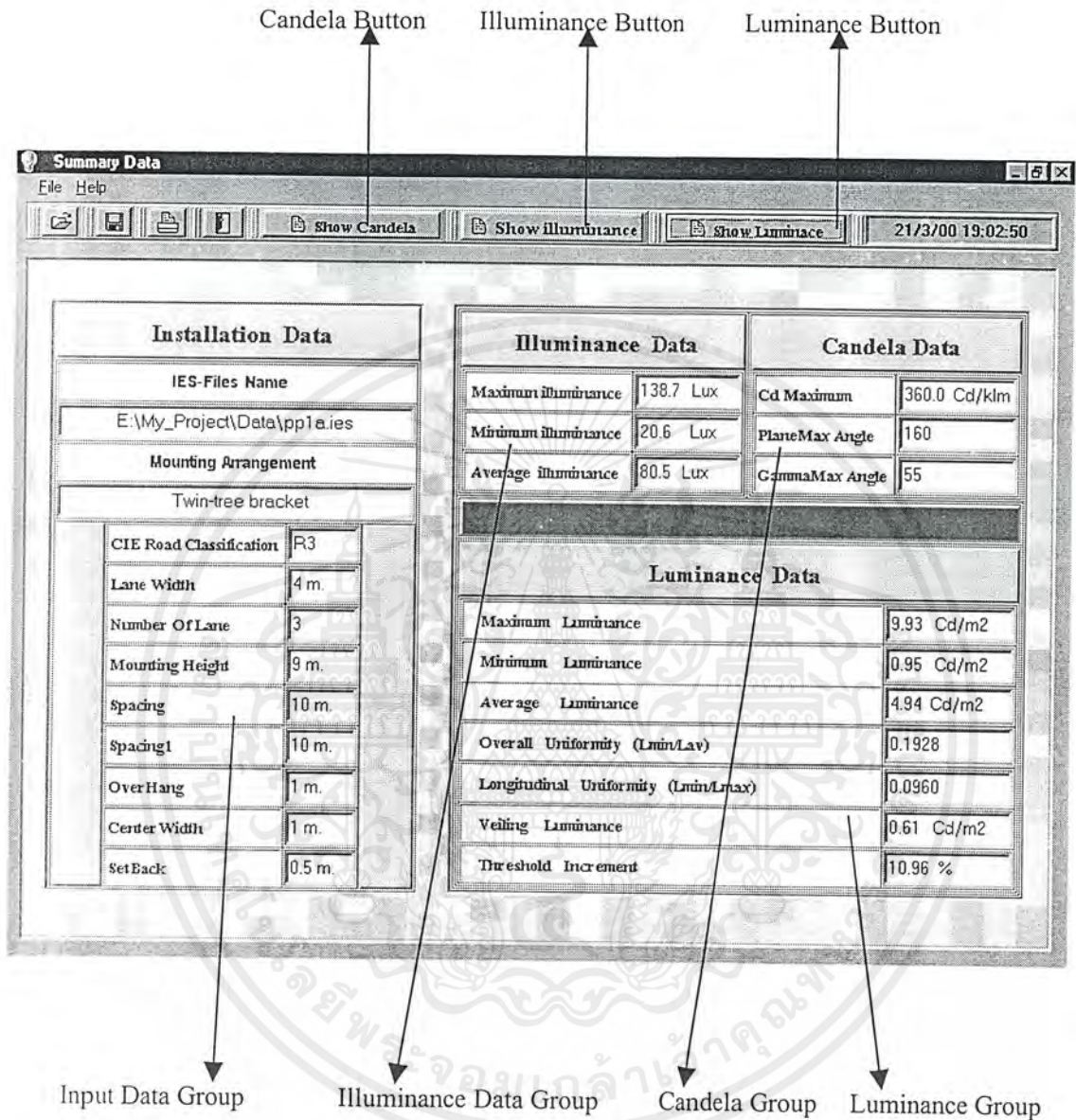
เมื่อทำการคลิกที่ปุ่ม Calculate E หรือ Calculate L และโปรแกรมได้ประมวลผลแล้วจะทำให้ปุ่ม Summary เกิดการ enable ขึ้นมา ซึ่งเมื่อคลิกที่ปุ่มนี้ โปรแกรมก็จะแสดงหน้าจอสรุปค่าทั้งหมด รวมทั้งข้อมูลจากส่วนการนำเข้าข้อมูลการติดตั้งของดวงโคม

จากลักษณะของรูปที่ 4.16 ส่วนประกอบของหน้าจอนี้ประกอบด้วย

1. Input Data Group แสดงข้อมูลจากส่วนการติดตั้งของดวงโคมไฟฟ้า
2. Illuminance Data Group แสดงข้อมูลสรุปของค่าที่สำคัญของค่าความเข้มแสง
3. Luminance Data Group แสดงข้อมูลสรุปของค่าที่สำคัญของค่าความส่องสว่าง
4. Candela Data Group แสดงข้อมูลสรุปของค่าที่สำคัญของค่าความเข้มส่องสว่าง
5. Candela Button ใช้คลิกเมื่อแสดงผลของค่าความเข้มส่องสว่าง
6. Illuminance Button ใช้คลิกเมื่อแสดงผลของค่าความเข้มแสง
7. Luminance Button ใช้คลิกเมื่อแสดงผลของค่าความส่องสว่าง

เมื่อผู้ใช้ทำการคลิกปุ่ม Candela , Illuminance และ Luminance ก็จะปรากฏค่าที่โปรแกรมได้ทำการประมวลผลไว้ก่อนหน้าแล้ว ซึ่งจะ ไปแสดงค่าใน edit box

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงหน้าจอส่วนแสดงผลสรุปของค่าที่โปรแกรมทำการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดสอบและการเปรียบเทียบโปรแกรม

5.1 ผลการทดสอบโปรแกรม

ผลของโปรแกรมซึ่งบอกลักษณะการกระจายแสงของดวงโคมไฟฟ้าและค่าที่คำนวณออกมาได้ จะแสดงผลออกมาในรูปแบบของกราฟและตารางที่มีลักษณะต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของดวงโคมไฟฟ้า และรูปแบบการติดตั้ง ดังนั้นจึงนำตัวอย่างของการออกแบบติดตั้งของระบบแสงสว่างไฟถนนมาแสดง โดยจะกำหนดข้อมูลของดวงโคมไฟฟ้าและข้อมูลการติดตั้งดวงโคมไฟฟ้า ดังนี้

ข้อมูลของดวงโคมไฟฟ้า

ตารางที่ 5.1 ตัวอย่างข้อมูลดวงโคมไฟฟ้า

| | |
|----------------------------|-------------------------|
| ชื่อหลอด (IES- Files Name) | GE DECASHIELD 175 (SYS) |
| ลูเมนต่อหลอด (Lumens/Lamp) | 23,000 ลูเมน |
| จำนวนหลอดในดวงโคม | 1 ดวง |
| ค่าวัตต์ (Input Watt) | 400 วัตต์ |

ข้อมูลการติดตั้งของดวงโคมไฟฟ้า

ตารางที่ 5.2 ตัวอย่างข้อมูลการติดตั้งของดวงโคมไฟฟ้า

| | |
|---------------------------------------|-----------------|
| ชนิดของการติดตั้งดวงโคม | Opposite |
| ประเภทของผิวถนน | Class I |
| ความสูงของเสา (Mounting Height) | 9 เมตร |
| ระยะห่างระหว่างเสา (Spacing) | 10 เมตร |
| จำนวนของเลน (Nimber of Lane) | 3 เลน |
| ความกว้างของถนนแต่ละเลน (Lane Width) | 4 เมตร |
| ระยะยื่นของเสา (OverHang) | 1 เมตร |
| ความกว้างของเกาะกลางถนน (CenterWidth) | 1 เมตร |
| ระยะห่างระหว่างเสากับขอบถนน (SetBack) | 0.4 เมตร |
| มุมเงย (Tilt Angle) | 0 องศา |
| Grid X * Grid Y | 2 เมตร * 2 เมตร |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าความเข้มส่องสว่างของดวงโคมของหลอดตัวอย่าง

| Gamma | C (deg) | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 270 | 285 | 300 | 310 | 315 | 320 | 325 | 330 | 335 | 340 | 345 | 350 | 355 |
| | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 60 | 75 |
| 90 | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 165 | 165 | 165 | 165 | 165 | 165 | 165 | 165 | 165 | 165 | 165 | 165 | 165 |
| | 165 | 165 | 165 | 165 | 165 | 165 | 165 | 165 | 165 | 165 | 165 | 165 | 165 |
| | 165 | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 157 | 157 | 159 | 159 | 160 | 161 | 162 | 163 | 164 | 165 | 166 | 167 | 168 |
| | 169 | 170 | 170 | 171 | 171 | 172 | 172 | 173 | 173 | 171 | 173 | 173 | 173 |
| | 172 | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 143 | 144 | 147 | 150 | 152 | 154 | 157 | 160 | 163 | 167 | 170 | 173 | 176 |
| | 180 | 181 | 184 | 186 | 188 | 189 | 190 | 189 | 188 | 186 | 184 | 179 | 174 |
| | 172 | | | | | | | | | | | | |
| 30 | 124 | 125 | 129 | 135 | 139 | 142 | 147 | 152 | 156 | 162 | 168 | 174 | 180 |
| | 187 | 190 | 197 | 205 | 211 | 215 | 217 | 216 | 211 | 205 | 197 | 183 | 168 |
| | 162 | | | | | | | | | | | | |
| 35 | 114 | 115 | 120 | 125 | 130 | 134 | 139 | 144 | 149 | 155 | 161 | 169 | 177 |
| | 185 | 189 | 200 | 212 | 221 | 229 | 231 | 229 | 223 | 213 | 202 | 181 | 162 |
| | 154 | | | | | | | | | | | | |
| 40 | 103 | 104 | 107 | 115 | 120 | 124 | 128 | 133 | 138 | 144 | 151 | 159 | 169 |
| | 179 | 187 | 206 | 226 | 241 | 251 | 252 | 246 | 235 | 220 | 203 | 176 | 154 |
| | 145 | | | | | | | | | | | | |
| 45 | 92 | 93 | 98 | 106 | 111 | 113 | 115 | 118 | 123 | 129 | 136 | 146 | 161 |
| | 185 | 209 | 245 | 276 | 294 | 301 | 297 | 281 | 260 | 234 | 297 | 170 | 145 |
| | 135 | | | | | | | | | | | | |
| 47.5 | 85 | 86 | 93 | 100 | 104 | 106 | 108 | 111 | 114 | 120 | 127 | 137 | 162 |
| | 199 | 231 | 272 | 304 | 321 | 325 | 317 | 299 | 274 | 243 | 218 | 168 | 141 |

เอกสารนี้ 131 เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 (ต่อ) แสดงค่าความเข้มส่องสว่างของดวงโคมของหลอดตัวอย่าง

| gamma | C (deg) | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 270 | 285 | 300 | 310 | 315 | 320 | 325 | 330 | 335 | 340 | 345 | 350 | 355 |
| 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 60 | 75 | 90 |
| 50 | 78 | 80 | 87 | 94 | 98 | 100 | 101 | 103 | 106 | 112 | 118 | 134 | 170 |
| | 217 | 252 | 295 | 327 | 341 | 343 | 335 | 313 | 257 | 254 | 214 | 164 | 137 |
| | 126 | | | | | | | | | | | | |
| 52.5 | 72 | 73 | 80 | 88 | 92 | 94 | 95 | 96 | 99 | 104 | 111 | 133 | 181 |
| | 233 | 269 | 312 | 342 | 355 | 354 | 343 | 322 | 293 | 269 | 219 | 159 | 133 |
| | 123 | | | | | | | | | | | | |
| 55 | 66 | 66 | 73 | 81 | 84 | 87 | 88 | 89 | 92 | 97 | 105 | 133 | 187 |
| | 238 | 292 | 316 | 348 | 360 | 357 | 346 | 323 | 295 | 263 | 223 | 154 | 128 |
| | 119 | | | | | | | | | | | | |
| 57.5 | 59 | 59 | 66 | 74 | 77 | 80 | 81 | 82 | 85 | 90 | 99 | 131 | 185 |
| | 232 | 265 | 311 | 345 | 357 | 353 | 341 | 318 | 290 | 260 | 222 | 149 | 123 |
| | 115 | | | | | | | | | | | | |
| 60 | 53 | 53 | 60 | 66 | 70 | 72 | 73 | 74 | 76 | 80 | 91 | 124 | 175 |
| | 216 | 246 | 294 | 330 | 344 | 342 | 330 | 307 | 281 | 252 | 217 | 143 | 116 |
| | 109 | | | | | | | | | | | | |
| 62.5 | 47 | 48 | 54 | 58 | 61 | 63 | 64 | 65 | 67 | 78 | 81 | 110 | 155 |
| | 192 | 223 | 271 | 306 | 323 | 322 | 310 | 289 | 264 | 236 | 204 | 134 | 109 |
| | 102 | | | | | | | | | | | | |
| 65 | 41 | 42 | 48 | 50 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 59 | 68 | 93 | 130 |
| | 163 | 191 | 240 | 278 | 293 | 293 | 284 | 265 | 242 | 215 | 185 | 121 | 101 |
| | 96 | | | | | | | | | | | | |
| 67.5 | 37 | 37 | 41 | 43 | 45 | 45 | 45 | 46 | 46 | 48 | 55 | 73 | 102 |
| | 130 | 155 | 204 | 242 | 257 | 258 | 251 | 233 | 212 | 188 | 160 | 105 | 92 |

เอกสารนี้ 86 เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 (ต่อ) แสดงค่าความเข้มส่องสว่างของดวงโคมของหลอดตัวอย่าง

| Gamma | C (deg) | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 270 | 285 | 300 | 310 | 315 | 320 | 325 | 330 | 335 | 340 | 345 | 350 | 355 |
| 0 | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 60 | 75 |
| 90 | 90 | | | | | | | | | | | | |
| 70 | 33 | 32 | 35 | 35 | 35 | 36 | 36 | 36 | 36 | 38 | 42 | 53 | 72 |
| 95 | 115 | 161 | 202 | 216 | 220 | 211 | 196 | 176 | 154 | 130 | 85 | 82 | |
| 76 | 76 | | | | | | | | | | | | |
| 72.5 | 29 | 27 | 29 | 28 | 28 | 27 | 27 | 27 | 27 | 28 | 31 | 37 | 49 |
| 62 | 76 | 112 | 145 | 164 | 170 | 165 | 152 | 135 | 118 | 99 | 66 | 71 | |
| 66 | 66 | | | | | | | | | | | | |
| 75 | 25 | 22 | 24 | 21 | 20 | 19 | 19 | 19 | 19 | 20 | 22 | 24 | 30 |
| 37 | 45 | 68 | 94 | 110 | 117 | 114 | 106 | 94 | 82 | 69 | 49 | 58 | |
| 54 | 54 | | | | | | | | | | | | |
| 77.5 | 20 | 17 | 18 | 15 | 14 | 13 | 13 | 12 | 12 | 13 | 14 | 15 | 18 |
| 21 | 24 | 35 | 50 | 61 | 68 | 68 | 63 | 58 | 51 | 44 | 35 | 45 | |
| 42 | 42 | | | | | | | | | | | | |
| 80 | 15 | 12 | 13 | 11 | 10 | 9 | 8 | 8 | 8 | 9 | 9 | 10 | 11 |
| 12 | 13 | 16 | 22 | 28 | 32 | 34 | 33 | 31 | 29 | 27 | 25 | 33 | |
| 30 | 30 | | | | | | | | | | | | |
| 82.5 | 10 | 8 | 9 | 7 | 7 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 8 |
| 8 | 9 | 10 | 12 | 14 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 22 |
| 19 | 19 | | | | | | | | | | | | |
| 85 | 7 | 5 | 6 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 6 | 7 |
| 7 | 7 | 8 | 9 | 9 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 11 | 14 |
| 12 | 12 | | | | | | | | | | | | |
| 87.5 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 | 6 |
| 6 | 7 | 7 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 | 8 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 (ต่อ) แสดงค่าความเข้มส่องสว่างของดวงโคมของหลอดตัวอย่าง

| Gamma | C (deg) | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 270 | 285 | 300 | 310 | 315 | 320 | 325 | 330 | 335 | 340 | 345 | 350 | 355 |
| 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 60 | 75 | |
| 90 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 9 |
| | 7 | 7 | 7 | 8 | 8 | 8 | 7 | 7 | 7 | 6 | 6 | 6 | 5 |
| | 3 | | | | | | | | | | | | |
| 92.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | | | | | | | | | | | | |
| 95 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | | | | | | | | | | | | |
| 97.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | | | | | | | | | | | | |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | | | | | | | | | | | | |
| 102.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | | | | | | | | | | | | |
| 105 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | | | | | | | | | | | | |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 (ต่อ) แสดงค่าความเข้มส่องสว่างของดวงโคมของหลอดตัวอย่าง

| Gamma | C (deg) | | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| | 270 | 285 | 300 | 310 | 315 | 320 | 325 | 330 | 335 | 340 | 345 | 350 | 355 | |
| 0 | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 60 | 75 | |
| 90 | | | | | | | | | | | | | | |
| 135 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 165 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 180 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 0 | | | | | | | | | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของผิวนอนสำหรับ Class I

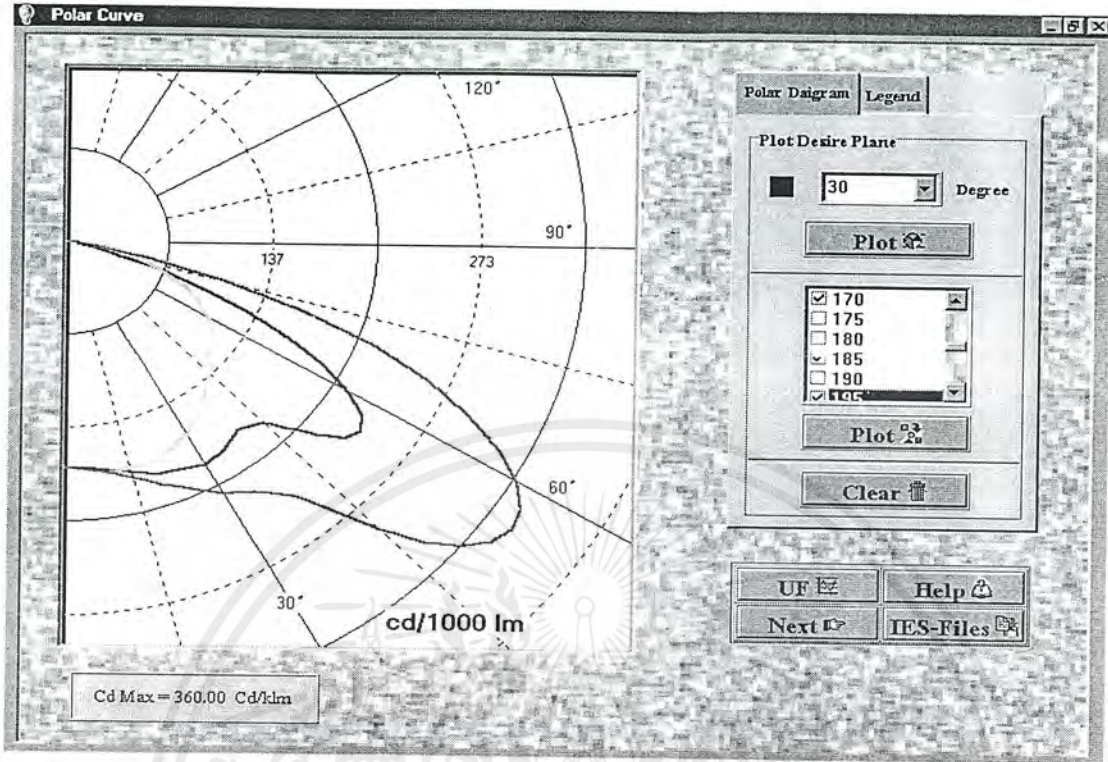
| β | Tan γ | | | | | | | | | |
|---------|------------------|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|------------|
| | 0 3.0 8.0 | 0.25 3.5 8.5 | 0.5 4.0 9.0 | 0.75 4.5 9.5 | 1.0 5.0 10 | 1.25 5.5 10.5 | 1.5 6.0 11 | 1.75 6.5 11.5 | 2.0 7.0 12 | 2.5 7.5 |
| 0 | 655 94 35 | 619 81 33 | 539 71 31 | 431 63 30 | 341 57 29 | 269 51 28 | 224 47 27 | 189 43 26 | 162 40 25 | 121 37 |
| 2 | 655 94 28 | 619 80 25 | 539 69 23 | 431 59 22 | 341 52 20 | 269 47 18 | 224 42 16 | 189 38 15 | 162 34 14 | 121 31 |
| 5 | 655 86 14 | 619 66 12 | 539 55 10 | 431 43 9.0 | 341 36 8.2 | 269 31 7.3 | 224 25 6.6 | 189 22 6.1 | 157 18 5.6 | 117 15 |
| 10 | 655 66 5.7 | 619 46 4.8 | 539 32 4.1 | 431 24 3.7 | 341 19 3.2 | 260 15 3.0 | 215 12 2.7 | 171 10 2.4 | 135 8.1 2.2 | 95 6.9 |
| 15 | 655 49 4.0 | 610 33 3.6 | 539 23 3.2 | 431 17 2.8 | 323 14 2.4 | 251 11 2.2 | 198 8.5 1.9 | 153 6.7 1.7 | 117 5.6 1.6 | 79 4.7 |
| 20 | 655 41 3.6 | 610 28 3.1 | 539 20 2.8 | 431 14 2.5 | 323 12 2.2 | 242 9.0 1.9 | 180 7.2 1.7 | 139 5.8 0 | 108 4.8 0 | 66 4.0 |
| 25 | 655 38 3.2 | 610 25 2.9 | 521 18 0 | 431 13 0 | 305 10 0 | 224 8.1 0 | 171 6.5 0 | 130 5.2 0 | 99 4.4 0 | 60 3.8 |
| 30 | 655 36 0 | 610 23 0 | 521 16 0 | 431 12 0 | 296 9.0 0 | 207 7.8 0 | 162 6.3 0 | 121 5.0 0 | 94 4.2 0 | 57 0 |
| 35 | 655 34 0 | 610 22 0 | 521 15 0 | 431 12 0 | 287 9.0 0 | 198 7.7 0 | 153 6.2 0 | 117 0 0 | 90 0 0 | 54 0 |
| 40 | 655 34 0 | 610 22 0 | 521 15 0 | 431 12 0 | 287 9.0 0 | 189 7.7 0 | 148 6.2 0 | 112 0 0 | 85 0 0 | 52 0 |
| 45 | 655 32 0 | 610 21 0 | 521 14 0 | 431 11 0 | 287 8.8 0 | 189 7.7 0 | 144 0 0 | 108 0 0 | 85 0 0 | 51 0 |
| 60 | 655 31 0 | 610 21 0 | 503 14 0 | 386 11 0 | 269 8.7 0 | 180 0 0 | 144 0 0 | 103 0 0 | 83 0 0 | 50 0 |
| 75 | 655 31 0 | 610 31 0 | 503 22 0 | 371 15 0 | 269 12 0 | 180 9.0 0 | 139 0 0 | 99 0 0 | 84 0 0 | 51 0 |
| 90 | 655 33 0 | 601 22 0 | 503 17 0 | 371 13 0 | 269 10 0 | 180 0 0 | 139 0 0 | 99 0 0 | 84 0 0 | 52 0 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

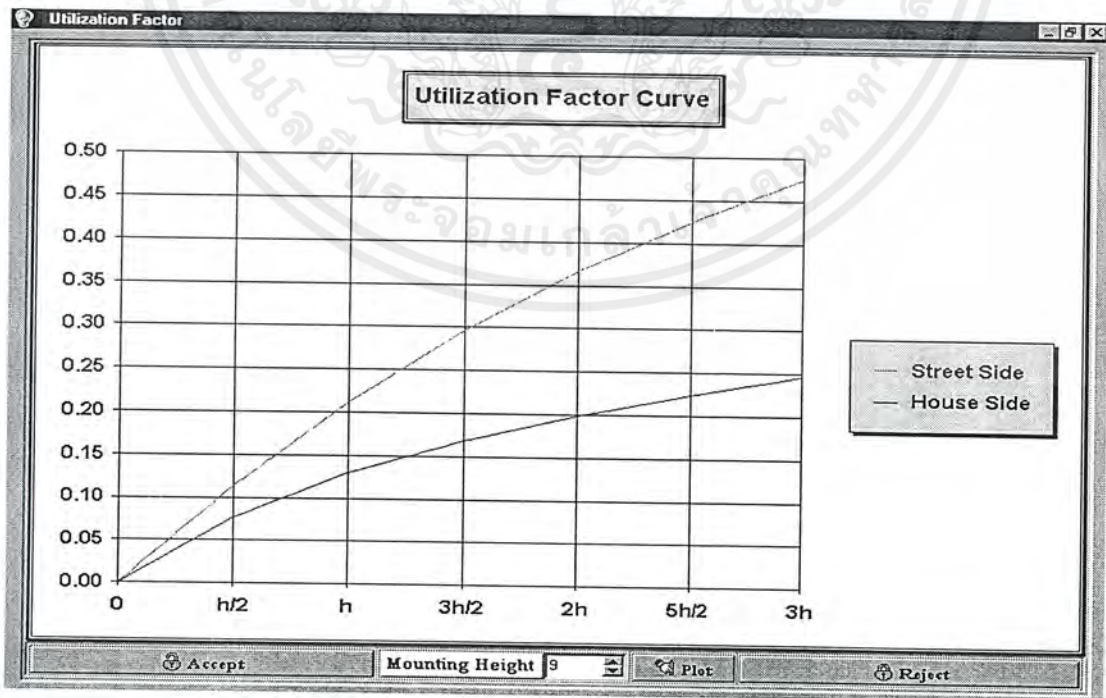
ตารางที่ 5.4 (ต่อ) แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของผิวนนสำหรับ Class I

| β | Tan γ | | | | | | | | | |
|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| | 0 | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1.0 | 1.25 | 1.5 | 1.75 | 2.0 | 2.5 |
| | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 5.5 | 6.0 | 6.5 | 7.0 | 7.5 |
| | 8.0 | 8.5 | 9.0 | 9.5 | 10 | 10.5 | 11 | 11.5 | 12 | |
| 105 | 655 35 0 | 601 24 0 | 503 19 0 | 371 14 0 | 269 11 0 | 180 0 0 | 139 0 0 | 103 0 0 | 85 0 0 | 54 0 0 |
| 120 | 655 38 0 | 601 27 0 | 503 20 0 | 371 14 0 | 269 13 0 | 180 0 0 | 144 0 0 | 108 0 0 | 90 0 0 | 58 0 0 |
| 135 | 655 40 0 | 601 29 0 | 503 22 0 | 371 16 0 | 269 14 0 | 189 0 0 | 148 0 0 | 112 0 0 | 94 0 0 | 61 0 0 |
| 150 | 655 43 0 | 601 31 0 | 503 23 0 | 386 17 0 | 278 15 0 | 198 0 0 | 153 0 0 | 121 0 0 | 99 0 0 | 65 0 0 |
| 165 | 655 47 0 | 601 34 0 | 503 25 0 | 395 19 0 | 278 16 0 | 207 0 0 | 162 0 0 | 130 0 0 | 103 0 0 | 69 0 0 |
| 180 | 655 51 0 | 601 38 0 | 503 27 0 | 395 21 0 | 278 16 0 | 224 0 0 | 180 0 0 | 139 0 0 | 111 0 0 | 75 0 0 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

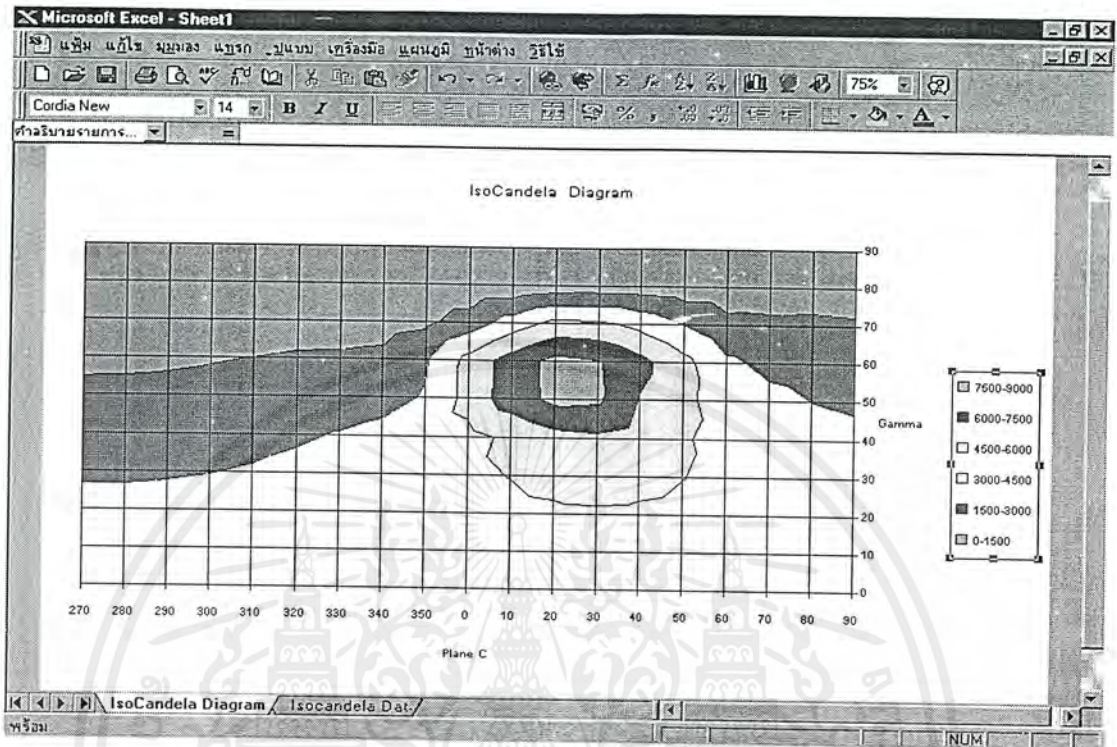


รูปที่ 5.1 แสดงโพลาร์ไดอะแกรมของดวงโคมไฟฟ้าที่ใช้ในการออกแบบ



รูปที่ 5.2 แสดงยูทิลิเซชันแฟกเตอร์ไดอะแกรมของดวงโคมไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 แสดงไอโซแคนเดลาไดอะแกรมของดวงโคมไฟฟ้า

ตารางที่ 5.5 แสดงผลของการออกแบบของค่าความเข้มแสง

| โคออร์ดิเนต X/Y (m.) | 0.00 | 2.00 | 4.00 | 6.00 | 8.00 | 10.00 | 12.00 | 14.00 |
|-------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 0.00 | 85 | 90 | 97 | 102 | 106 | 109 | 111 | 113 |
| 2.00 | 102 | 109 | 117 | 124 | 131 | 137 | 137 | 137 |
| 4.00 | 111 | 121 | 130 | 139 | 148 | 155 | 156 | 155 |
| 6.00 | 113 | 125 | 126 | 136 | 153 | 159 | 161 | 153 |
| 8.00 | 111 | 121 | 130 | 139 | 148 | 155 | 156 | 155 |
| 10.00 | 102 | 109 | 117 | 124 | 131 | 137 | 137 | 137 |
| 12.00 | 85 | 90 | 97 | 102 | 106 | 109 | 111 | 113 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 (ต่อ) แสดงผลของการออกแบบของค่าความเข้มแสง

| โคออร์ดิเนต X/Y (m.) | 16.00 | 18.00 | 20.00 | 22.00 | 24.00 | 26.00 | 28.00 | 30.00 |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.00 | 114 | 114 | 114 | 115 | 115 | 115 | 114 | 113 |
| 2.00 | 139 | 141 | 144 | 142 | 140 | 140 | 142 | 143 |
| 4.00 | 157 | 161 | 164 | 161 | 159 | 159 | 161 | 163 |
| 6.00 | 155 | 156 | 168 | 167 | 157 | 157 | 167 | 168 |
| 8.00 | 157 | 161 | 164 | 162 | 159 | 159 | 162 | 164 |
| 10.00 | 139 | 141 | 144 | 142 | 141 | 141 | 143 | 145 |
| 12.00 | 114 | 114 | 114 | 115 | 116 | 116 | 116 | 116 |

| โคออร์ดิเนต X/Y (m.) | 32.00 | 34.00 | 36.00 | 38.00 | 40.00 | 42.00 | 44.00 | 46.00 |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.00 | 113 | 111 | 109 | 104 | 100 | 93 | 82 | 69 |
| 2.00 | 140 | 136 | 133 | 130 | 127 | 118 | 105 | 91 |
| 4.00 | 160 | 155 | 153 | 151 | 148 | 139 | 127 | 115 |
| 6.00 | 166 | 155 | 153 | 161 | 159 | 153 | 136 | 126 |
| 8.00 | 162 | 159 | 158 | 160 | 162 | 157 | 151 | 141 |
| 10.00 | 143 | 142 | 142 | 144 | 147 | 144 | 139 | 136 |
| 12.00 | 116 | 117 | 118 | 118 | 119 | 119 | 118 | 118 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

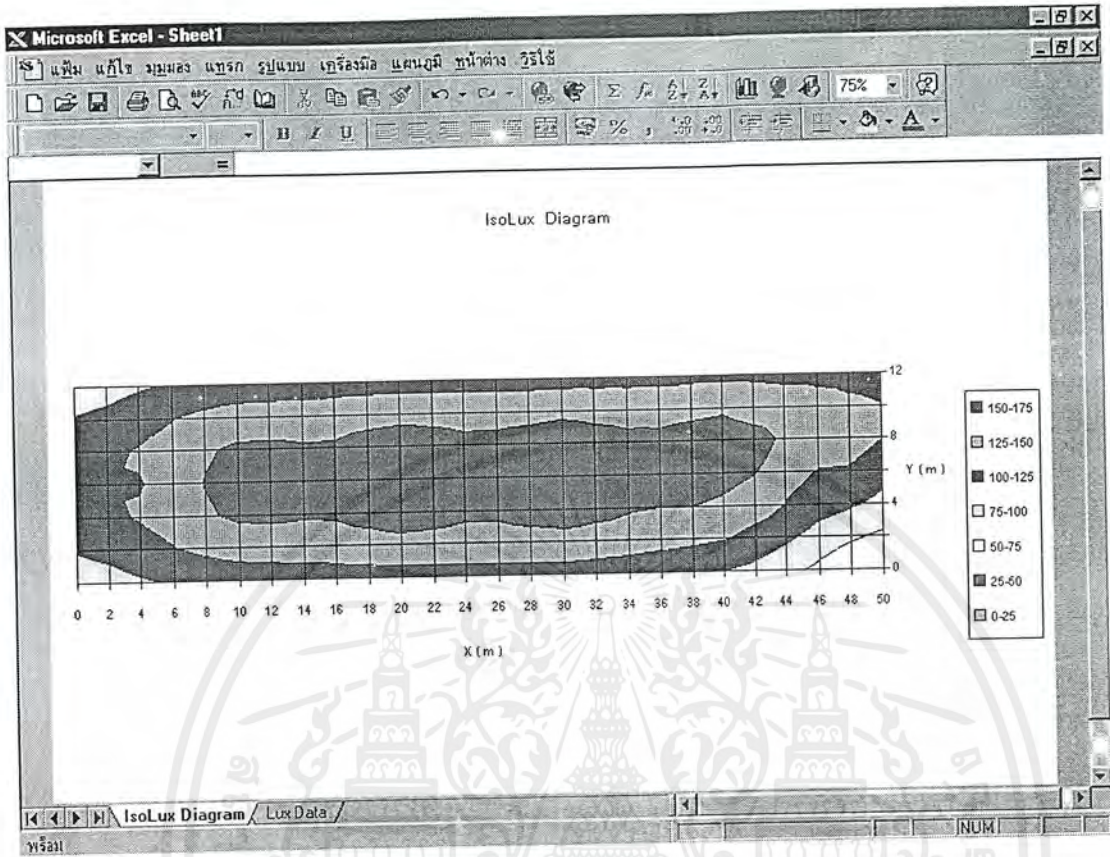
ตารางที่ 5.5 (ต่อ) แสดงผลของการออกแบบของค่าความเข้มแสง

| โคออร์ดิเนต X/Y (m.) | 48.00 | 50.00 |
|-------------------------|-------|-------|
| 0.00 | 57 | 50 |
| 2.00 | 79 | 71 |
| 4.00 | 105 | 94 |
| 6.00 | 125 | 113 |
| 8.00 | 135 | 126 |
| 10.00 | 132 | 126 |
| 12.00 | 116 | 112 |

ตารางที่ 5.6 แสดงผลการออกแบบของค่าสูงสุด ค่าต่ำสุดและค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มแสง

| | |
|---|-------------|
| ค่าสูงสุดของความเข้มแสง (Maximum Illuminance) | 170.9 ลักซ์ |
| ค่าต่ำสุดของความเข้มแสง (Minimum Illuminance) | 50.2 ลักซ์ |
| ค่าเฉลี่ยของความเข้มแสง (Average Illuminance) | 132.5 ลักซ์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 แสดงไอโซลักส์โคเอแกรมของดวงโคมไฟฟ้า

ตารางที่ 5.7 แสดงผลของการออกแบบค่าความส่องสว่างของดวงโคมไฟฟ้า

| โคออร์ดิเนต X/Y (m.) | 0.00 | 2.00 | 4.00 | 6.00 | 8.00 | 10.00 | 12.00 | 14.00 |
|-------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.00 | 7.02 | 7.56 | 8.22 | 8.77 | 8.85 | 9.02 | 9.53 | 9.94 |
| 2.00 | 8.8 | 9.3 | 10.02 | 10.77 | 11.22 | 11.69 | 11.94 | 12.15 |
| 4.00 | 9.75 | 10.37 | 11.5 | 12.3 | 12.77 | 13.37 | 13.51 | 14.05 |
| 6.00 | 9.9 | 10.69 | 11.37 | 12.2 | 13.25 | 13.7 | 13.93 | 14.04 |
| 8.00 | 9.88 | 10.64 | 11.62 | 12.42 | 12.94 | 13.47 | 13.72 | 14.14 |
| 10.00 | 8.73 | 9.22 | 9.92 | 10.68 | 11.16 | 11.65 | 11.85 | 12.06 |
| 12.00 | 6.78 | 7.31 | 8.03 | 8.61 | 8.67 | 8.84 | 9.33 | 9.76 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 (ต่อ) แสดงผลของการออกแบบค่าความส่องสว่างของดวงโคมไฟฟ้า

| โคออร์ดิเนต X/Y (m.) | 16.00 | 18.00 | 20.00 | 22.00 | 24.00 | 26.00 | 28.00 | 30.00 |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.00 | 10.11 | 9.87 | 9.76 | 10.05 | 10.29 | 10.32 | 9.95 | 9.74 |
| 2.00 | 12.41 | 12.43 | 12.56 | 12.55 | 12.55 | 12.63 | 12.51 | 12.51 |
| 4.00 | 14.27 | 14.21 | 14.41 | 14.24 | 14.53 | 14.54 | 14.31 | 14.36 |
| 6.00 | 14.26 | 14.78 | 14.81 | 14.71 | 14.56 | 14.55 | 14.88 | 14.74 |
| 8.00 | 14.35 | 14.35 | 14.49 | 14.44 | 14.6 | 14.6 | 14.42 | 14.41 |
| 10.00 | 12.33 | 12.39 | 12.53 | 12.49 | 12.48 | 12.57 | 12.48 | 12.49 |
| 12.00 | 9.98 | 9.71 | 9.63 | 9.91 | 10.16 | 10.23 | 9.85 | 9.65 |

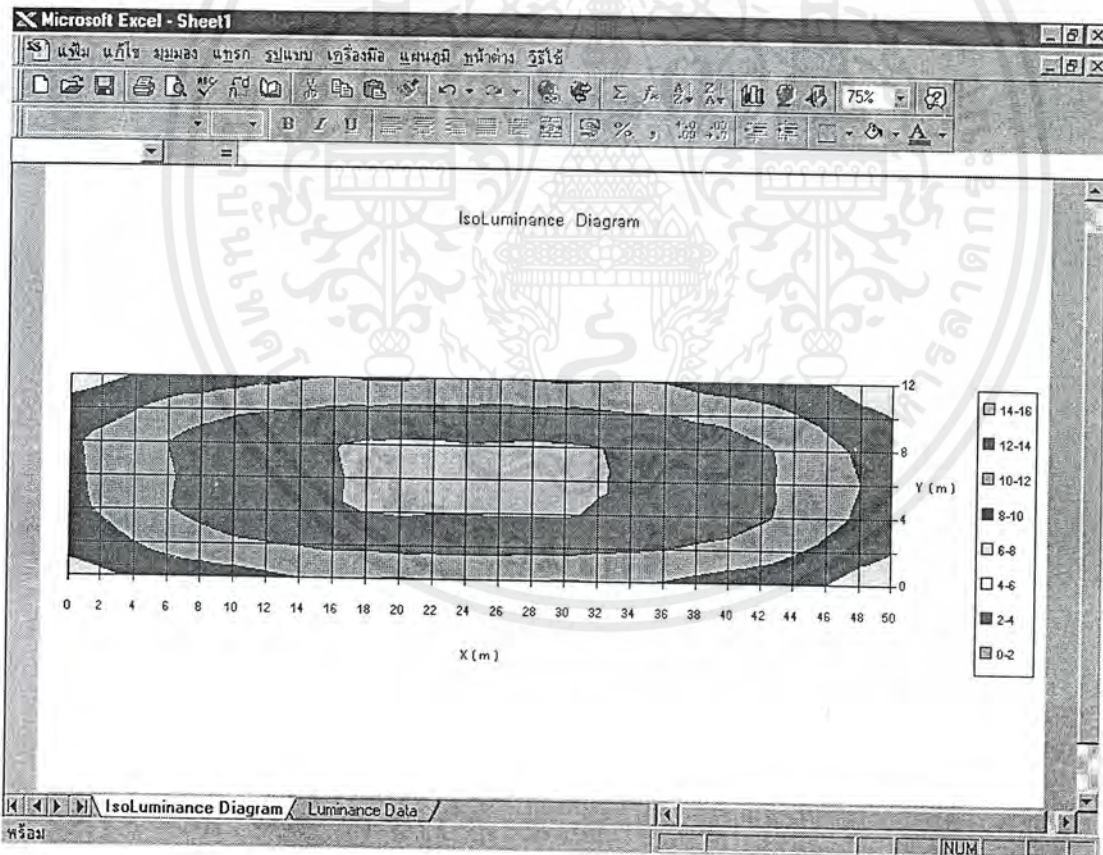
| โคออร์ดิเนต X/Y (m.) | 32.00 | 34.00 | 36.00 | 38.00 | 40.00 | 42.00 | 44.00 | 46.00 |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.00 | 4.91 | 10.01 | 9.87 | 9.31 | 8.86 | 8.73 | 8.47 | 7.97 |
| 2.00 | 12.36 | 12.21 | 12.08 | 11.71 | 11.41 | 10.88 | 10.24 | 9.56 |
| 4.00 | 14.04 | 14.13 | 13.9 | 13.4 | 13.14 | 12.4 | 11.93 | 10.99 |
| 6.00 | 14.47 | 14.12 | 13.85 | 13.89 | 13.44 | 12.76 | 11.83 | 10.89 |
| 8.00 | 14.2 | 14.17 | 13.93 | 13.47 | 13.12 | 12.48 | 11.89 | 10.96 |
| 10.00 | 12.32 | 12.15 | 12.04 | 11.7 | 11.41 | 10.85 | 10.21 | 9.55 |
| 12.00 | 9.83 | 9.93 | 9.83 | 9.27 | 8.84 | 8.74 | 8.46 | 7.96 |

| โคออร์ดิเนต X/Y (m.) | 48.00 | 50.00 |
|-------------------------|-------|-------|
| 0.00 | 7.13 | 6.59 |
| 2.00 | 8.65 | 8.07 |
| 4.00 | 9.83 | 9.08 |
| 6.00 | 10.25 | 9.34 |
| 8.00 | 9.85 | 9.08 |
| 10.00 | 8.65 | 8.07 |
| 12.00 | 7.14 | 6.6 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.8 แสดงผลการออกแบบของค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ยและค่าความสม่ำเสมอของค่าความส่องสว่าง

| | |
|--|-------------------------|
| ค่าสูงสุดของความส่องสว่าง (Maximum Luminance) | 14.88 Cd/m ² |
| ค่าต่ำสุดของความส่องสว่าง (Minimum Luminance) | 6.59 Cd/m ² |
| ค่าเฉลี่ยของความส่องสว่าง (Average Luminance) | 11.37 Cd/m ² |
| ค่าความสม่ำเสมอทั้งหมด (Overall uniformity) | 0.58 |
| ค่าความสม่ำเสมอในแนวยาวของถนน(Longitudinal uniformity) | 0.443 |
| ค่าความส่องสว่างบดบัง (Veiling Luminance) | 0.61 Cd/m ² |
| ค่าการเพิ่มขีดเริ่มเห็น (Threshold Increment) | 5.63% |



รูปที่ 5.5 แสดงไอโซลูมิแนนท์ไคอะแกรมของดวงโคมไฟฟ้า

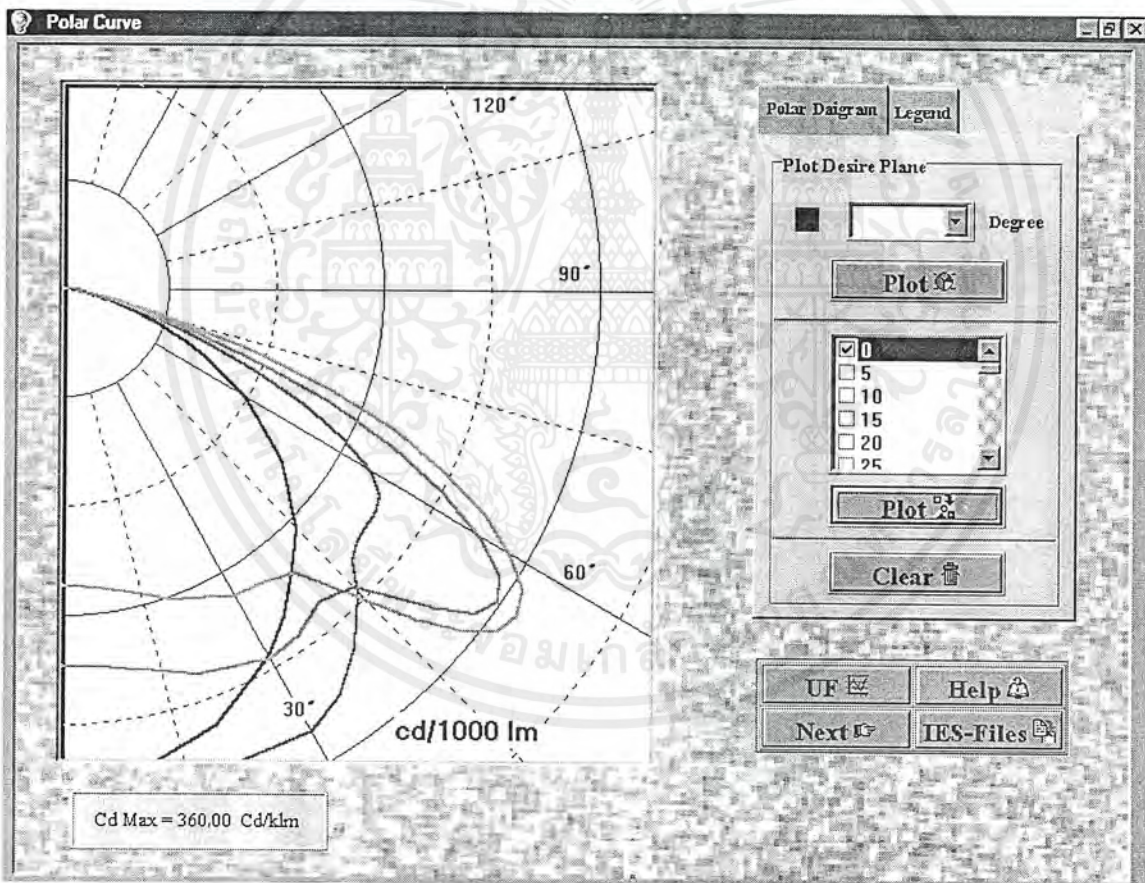
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การเปรียบเทียบโปรแกรม

จุดเด่นที่ได้มีการพัฒนาตัวโปรแกรมนี้กับโปรแกรมตัวเก่า^[5] ก็เพื่อให้เกิดความสะดวกและความถูกต้องในการใช้โปรแกรมออกแบบ ซึ่งข้อดีของโปรแกรมตัวใหม่นี้ที่ได้พัฒนาจากโปรแกรมตัวเก่า มีดังต่อไปนี้

5.2.1 ส่วนแสดงผลการกระจายความเข้มส่องสว่างของดวงโคม

ในตัวโปรแกรมใหม่นี้สามารถพล็อตค่าของโพลาร์เคิร์ฟได้หลายเฟลนพร้อมๆกัน ซึ่งทำให้สามารถเปรียบเทียบค่าการกระจายความเข้มส่องสว่างในแต่ละเฟลนได้อย่างชัดเจนเนื่องจากโปรแกรมตัวเก่าสามารถพล็อตค่าของโพลาร์เคิร์ฟได้แค่เพียงทีละหนึ่งเฟลน



รูปที่ 5.6 แสดงหน้าจอของโพลาร์เคิร์ฟของโปรแกรมตัวใหม่

5.2.2 ส่วนการนำเข้าของข้อมูลการติดตั้งของดวงโคมไฟฟ้า

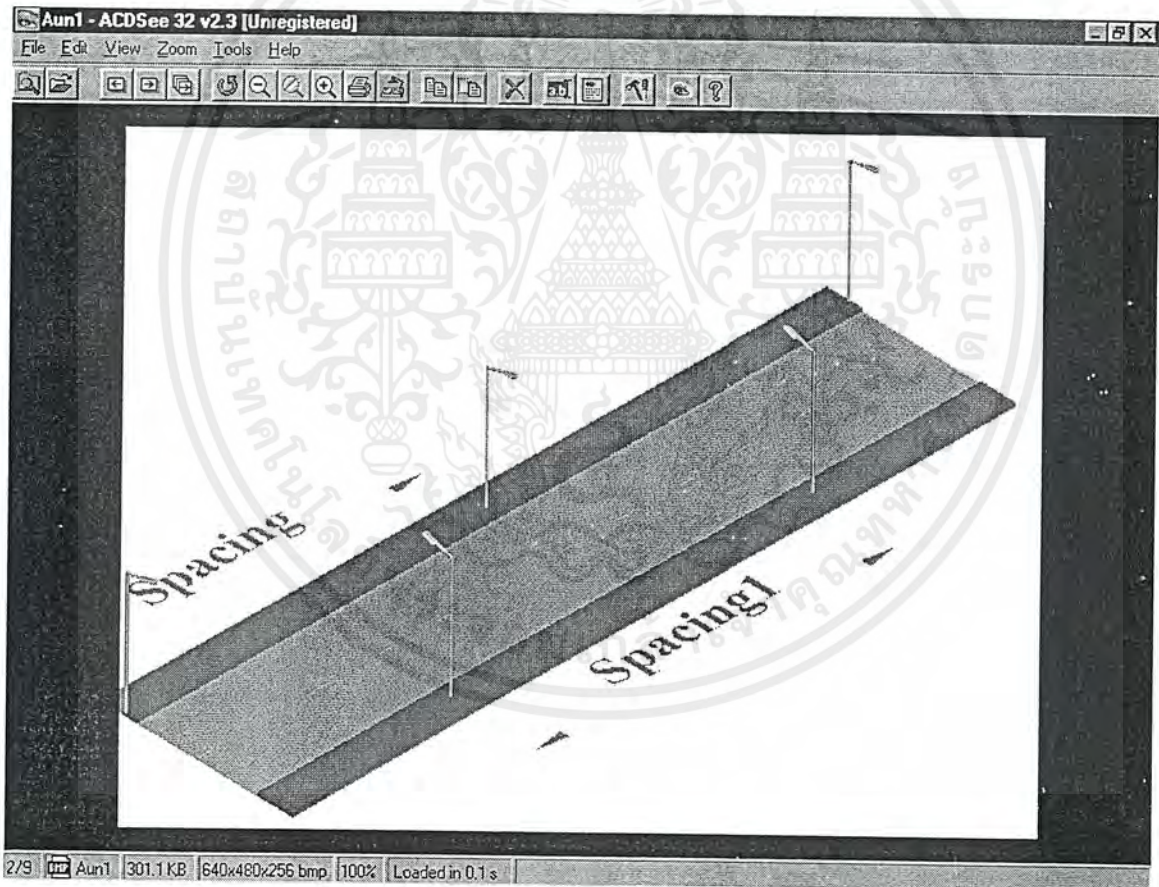
โปรแกรมตัวนี้จะสามารถทำการคำนวณค่าความเข้มแสงและค่าความส่องสว่างได้อย่างละเอียดและหลายรูปแบบมากกว่าโปรแกรมตัวเก่า ซึ่งจะมีรายละเอียดดังนี้
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในหน่วยงานที่ออกให้เท่านั้น ผู้อื่นที่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.1 ค่าของความยาวถนน

ค่าของความยาวถนนโปรแกรมตัวนี้จะสามารถป้อนค่าตามต้องการได้ แต่ส่วนของโปรแกรมตัวเก่าค่าของความยาวถนนจะไม่สามารถกำหนดค่าตามที่ต้องการได้

5.2.2.2 ระยะห่างระหว่างเสา

ส่วนของระยะห่างระหว่างเสาในกรณีติดตั้งเสาแบบทแยงทั้งด้านซ้ายและด้านขวา โปรแกรมตัวนี้สามารถที่จะกำหนดระยะห่างระหว่างเสาทั้งด้านซ้ายและด้านขวาไม่เท่ากันได้ ซึ่งทำให้ผู้ใช้สามารถกำหนดการติดตั้งเสาได้หลายรูปแบบ เมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรมตัวเก่าผู้ใช้จะไม่สามารถกำหนดระยะห่างระหว่างเสาทั้งสองด้านให้แตกต่างกันได้



รูปที่ 5.7 แสดงภาพของการติดตั้งเสาแบบทแยงทั้งด้านซ้ายและด้านขวา

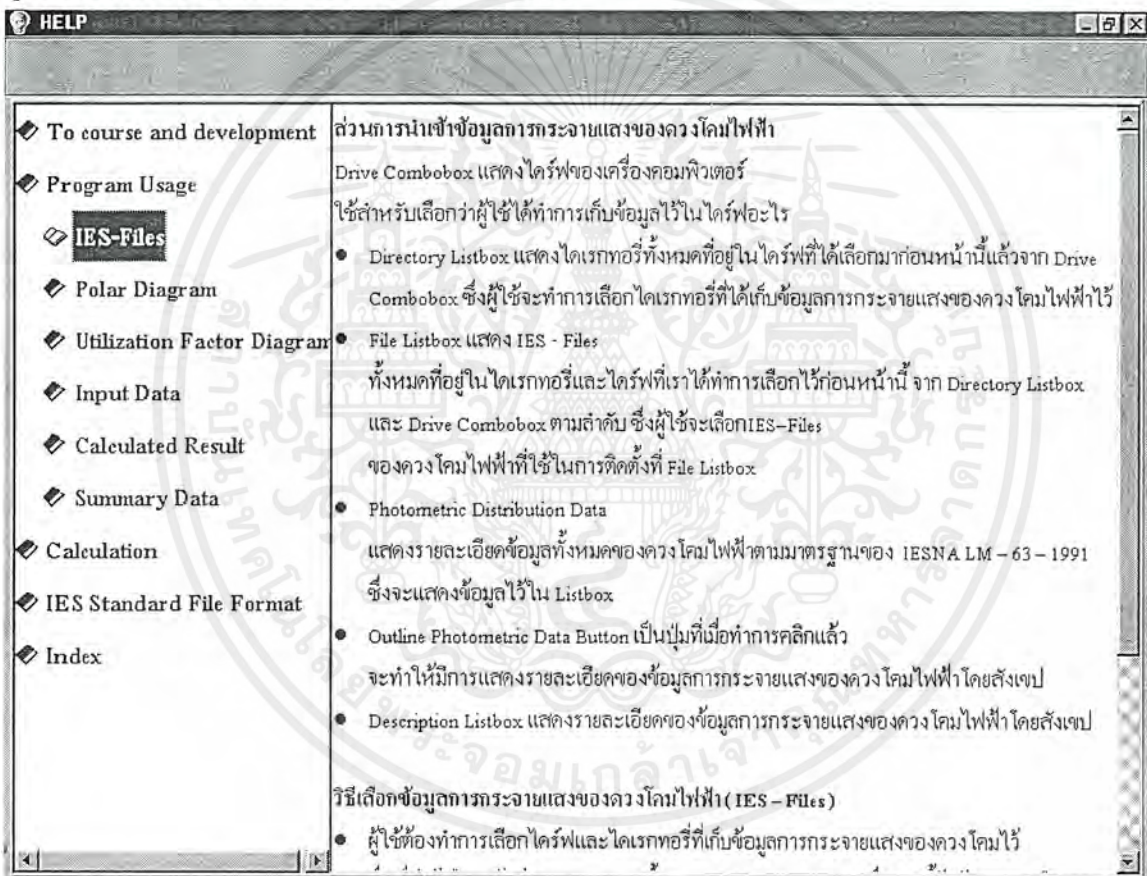
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.3 ค่าของกริด

โปรแกรมนี้สามารถเปลี่ยนแปลงค่าของกริดได้ตามต้องการแต่ต้องเป็นตัวเลขจำนวนเต็มเท่านั้น ประโยชน์เพื่อที่จะกำหนดความละเอียดของพื้นที่ที่ตกกระทบของแสงลงบนพื้นถนนได้ ส่วนของโปรแกรมตัวเก่าจะตั้งค่าของกริด ไว้ที่ 2 เมตร * 2 เมตร

5.2.2.4 ส่วนแสดงหน้าจอช่วยเหลือ

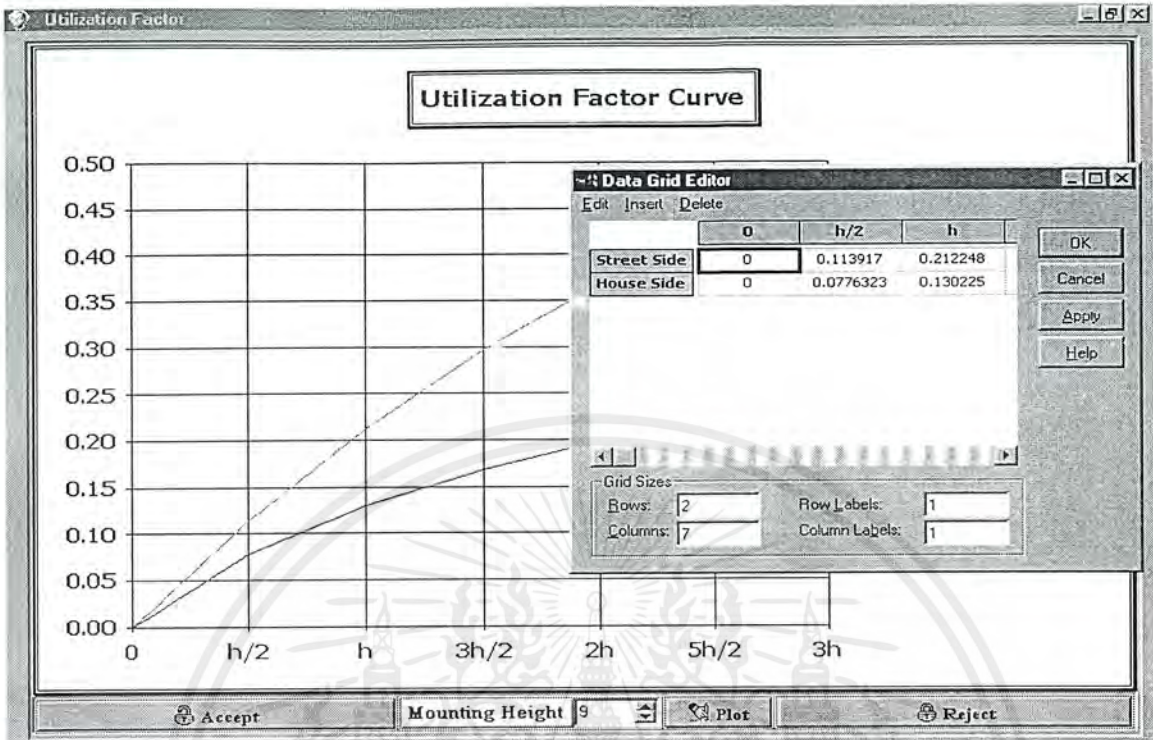
โปรแกรมนี้จะมีหน้าจอช่วยเหลือในกรณีที่ใช้ไม่ค่อยมีความรู้ในการออกแบบมากนัก ทำให้ผู้ใช้สามารถใช้โปรแกรมได้อย่างสะดวกมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 5.8 แสดงหน้าจอส่วนแสดงการช่วยเหลือ

5.2.2.5 ส่วนแสดงหน้าจอของกราฟยูทิลิตีไลเซชันแฟคเตอร์

ในส่วนนี้จะสามารถดูค่าของยูทิลิตีไลเซชันแฟคเตอร์ได้อย่างละเอียดยิ่งขึ้นนอกเหนือจากการจากกราฟ



รูปที่ 5.8 แสดงส่วนการคําค่ายูทิลิเซชันแฟคเตอร์อย่างละเอียด

5.2.2.6 ส่วนแสดงผลของค่าความเข้มแสงและค่าความส่องสว่าง

ส่วนนี้โปรแกรมตัวใหม่จะแสดงผลค่าความเข้มแสงและค่าความส่องสว่างโดยไม่ต้องเรียกโปรแกรมเอ็กเซลออกมา โดยแสดงในหน้าจอของวินโดว์ แต่ส่วนของโปรแกรมเก่าจะต้องเรียกโปรแกรมเอ็กเซลออกมาเพื่อใช้ในการแสดงค่าความเข้มแสงและค่าความส่องสว่าง ซึ่งจะเสียเวลาและถ้าในเครื่องคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้ไม่มีโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล ผู้ใช้ก็จะไม่สามารถดูผลของการออกแบบได้

5.2.2.7 ตารางสรุปผลการคำนวณและออกแบบค่าความเข้มแสงและค่าความส่องสว่าง

ส่วนนี้โปรแกรมจะทำการสรุปค่าที่ได้คำนวณและออกแบบค่าความเข้มแสงและค่าความส่องสว่าง ทำให้ผู้ใช้โปรแกรมสามารถตรวจสอบผลการออกแบบการคำนวณได้ว่าเป็นไปตามมาตรฐานที่ต้องการหรือไม่

| Installation Data | | Illuminance Data | | Candela Data | |
|-------------------------------------|--------|------------------------|-----------|----------------|--------------|
| IES-Files Name | | Maximum Illuminance | 138.7 Lux | Cd Maximum | 360.0 Cd/klm |
| E:\My_Project\Data\pp1a.ies | | Minimum Illuminance | 20.6 Lux | PlaneMax Angle | 160 |
| Mounting Arrangement | | Average Illuminance | 80.5 Lux | GammaMax Angle | 55 |
| Twin-tree bracket | | | | | |
| CIE Road Classification | R3 | | | | |
| Lane Width | 4 m. | | | | |
| Number Of Lane | 3 | | | | |
| Mounting Height | 9 m. | | | | |
| Spacing | 10 m. | | | | |
| Spacing1 | 10 m. | | | | |
| Over Hang | 1 m. | | | | |
| Center Width | 1 m. | | | | |
| SetBack | 0.5 m. | | | | |
| Lumiance Data | | | | | |
| Maximum Lumiance | | 9.93 Cd/m ² | | | |
| Minimum Lumiance | | 0.95 Cd/m ² | | | |
| Average Lumiance | | 4.94 Cd/m ² | | | |
| Overall Uniformity (Lmin/Lav) | | 0.1928 | | | |
| Longitudinal Uniformity (Lmin/Lmax) | | 0.0960 | | | |
| Veiling Lumiance | | 0.61 Cd/m ² | | | |
| Threshold Increment | | 10.96 % | | | |

รูปที่ 5.9 แสดงหน้าจอส่วนสรุปผลการคำนวณและการออกแบบทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากโครงการที่ได้ดำเนินงานผ่านมา สรุปได้ว่าโครงการนี้มีการแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ นั่นคือ

1.) ส่วนของการศึกษาการเก็บข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมตามมาตรฐาน IES

ขั้นตอนนี้จะทำการศึกษารูปแบบมาตรฐานและรายละเอียดของข้อมูลใน IES-Files ว่าแต่ละบรรทัดมีความหมายอย่างไรบ้าง เพื่อนำค่าในแต่ละบรรทัดไปเก็บค่าเป็นตัวแปรนำไปทำการคำนวณต่อไปในภายหลัง

2.) ส่วนของการศึกษาคำนวณการออกแบบติดตั้งดวงโคมไฟฟ้า

ขั้นตอนนี้จะศึกษาถึงวิธีการคำนวณระบบแสงสว่างภายนอก-ไฟถนน ซึ่งโครงการนี้จะใช้วิธีการคำนวณแบบจุดต่อจุด (point by point method) ซึ่งจะถือว่าเป็นลักษณะแหล่งกำเนิดแสงเส้นตรง (Linear Source) โดยโปรแกรมจะประมวลผลค่าความเข้มแสงและค่าความส่องสว่างเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

3.) ส่วนของการแสดงผลและการวิเคราะห์

จากข้อมูลการคำนวณจะแสดงผลออกมาในรูปของตารางและกราฟการกระจายแสงในลักษณะต่างๆของดวงโคมไฟฟ้า นั่นคือ

3.1 โพลาร์ไดอะแกรม (Polar Diagram)

3.2 ยูทิลิเซชันแฟคเตอร์ไดอะแกรม (Utilization Factor Curve)

3.3 ตารางค่าความเข้มส่องสว่าง ความเข้มแสงและความส่องสว่าง (Luminous - Intensity Data , Illuminance Data And Luminance Data)

3.4 กราฟแสดงไดอะแกรมของความเข้มส่องสว่าง ความเข้มแสงและความส่องสว่าง (Isocandela Diagram , IsoLux Diagram And Isoluminance Diagram)

6.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากโครงการนี้สามารถทำการคำนวณและการออกแบบการติดตั้งดวงโคมไฟฟ้าของระบบแสงสว่างภายนอก-ไฟถนนได้ก็จริง แต่โครงการนี้จะคำนวณและออกแบบเฉพาะถนนที่เป็นเส้นตรงเท่านั้น ยังมีอีกส่วนหนึ่งที่พบว่าโครงการนี้ไม่ได้กล่าวถึงคือการคำนวณและการออกแบบถนนที่เป็นทางโค้ง ถนนที่เป็นทางชันขึ้นหรือถนนที่ลาดลง ซึ่งค่อนข้างจำเป็นเพื่อใช้ในการออกแบบระบบการส่องสว่างของไฟถนนบนถนนทั่วไปเพื่อความปลอดภัยของผู้ขับขี่รถยนต์บนถนนด้วย

นอกจากนั้น โปรแกรมยังไม่ได้มีระบบการช่วยเหลือผู้ใช้สำหรับการออกแบบมากนัก เช่น ระบบการปรับค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อให้ค่าความเข้มแสงและค่าความส่องสว่างมีค่าอยู่ในช่วงมาตรฐานจึงเสนอแนะไว้ในที่นี้เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้สนใจที่จะทำการศึกษาและออกแบบทางด้านนี้ต่อไป



กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดีของอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ได้แก่ รองศาสตราจารย์ สุทธิ บรรจงจิตร และ อาจารย์ ชาย ชมภูอิน ไหว ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆเกี่ยวกับโครงการด้วยดีตลอดมาและได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำในการทำโครงการจนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี จึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทั้งสองท่านเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ผู้เขียนใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดาผู้ให้กำเนิดและให้การเลี้ยงดูอุปการะและครูอาจารย์ที่ให้การอบรมสั่งสอนให้ความรู้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ศุภี บรรจงจิตร “วิศวกรรมการส่องสว่าง” บริษัท ซีอีดียูเคชั่น จำกัด, 2531
2. The Illuminating Engineering Society of North America . IES Standard File Format for Electronics Transfer of Photometric Data and Related Information, NewYork, 1991,
3. John E. Kaufman, “IES Lighting handbook (reference volume)”,
The Illuminating Engineering Society of North America, NewYork, 1981.
4. <http://www.Ledalite.com//>
5. โชคชัย จิตไพศาลพัฒนา , วัลลภ พิมพ์จันทร์. “โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบแสงสว่างไฟถนนตามมาตรฐานของกรมทางหลวง ” ปรินญาตรีนิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2541.

ผู้จัดทำ

นายอนุรักษ์ ตีระถักนานนท์

466 ซอย สวนมะลิ 3 ถนนบำรุงเมือง

เขตป้อมปราบ กรุงเทพฯ 10100

โทร-(02)223-7744



นายอุดมศักดิ์ อันประเสริฐพร

17/106 หมู่บ้าน วินด์มิลล์พาร์ค ถนนบางนา-

ตราด กม.10.5 เขตบางพลี แขวงบางพลีใหญ่

สมุทรปราการ 10540

โทร-(01)849-3310



นายเอกรัฐ เดชานุรักษ์นุกูล

36/261 หมู่บ้าน ไทยธานีวิลล่า ถนนโชคชัย 4

เขตลาดพร้าว กรุงเทพฯ 10230

โทร-(02)942-0573

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้