การคำนวณค่าความสว่างไฟถนนบริเวณทางแยกหลายระดับ

นางสาว วรรณรัตน์ วิวัฒนะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547
ISBN 974-17-7067-7
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ILLUMINANCE CALCULATION OF ROADWAY LIGHTING ON GRADE-SEPARATED JUNCTION

Miss.Wannarat Wiwattana

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-7067-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การคำนวณค่าความสว่างไฟถนนบริเวณทางแยกหลายระดับ
โดย	นางสาววรรณรัตน์ วิวัฒนะ
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ไชยะ แซ่มซ้อย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ไชยะ แซ่มซ้อย)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วรรณรัตน์ วิวัฒนะ : การคำนวณค่าความสว่างไฟถนนบริเวณทางแยกหลายระดับ (ILLUMINANCE CALCULATION OF ROADWAY LIGHTING ON GRADE-SEPARATED JUNCTION) อ.ที่ปรึกษา : อาจารย์ ไชยะ แซ่มซ้อย, จำนวนหน้า 149 หน้า. ISBN 974-17-7067-7

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการคำนวณค่าความสว่างไฟถนนบริเวณทางแยกหลายระดับตามมาตรฐาน CIE โดยใช้วิธีคิดทีละจุด รวมทั้งคำนวณหาลักษณะเงาของวัตถุที่กระทำกับผิวถนน โดยพัฒนาโปรแกรมเพื่อช่วยคำนวณค่าความสว่างบนพื้นถนน ค่าความสว่างเฉลี่ยบนถนน ค่าความสม่ำเสมอของความสว่าง สำหรับถนนตรง ถนนลาดขึ้น – ลง และถนนเอียงซ้าย – ขวา โดยการให้แสงด้วยระบบเสาธรรมดาและระบบเสาสูง แสดงผลลัพธ์ในรูปของตารางตัวเลข และภาพกราฟฟิกในรูปแบบต่าง ๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2547 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4470513621 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORD : ILLUMINANCE / GRADE–SEPARATED JUNCTION / HIGH MAST SYSTEM

WANNARAT WIWATTANA: ILLUMINANCE CALCULATION OF ROADWAY LIGHTING ON GRADE–SEPARATED JUNCTION. THESIS ADVISOR :CHAIYA CHAMCHOY. 149 pp. ISBN 974-17-7067-7

This thesis presents road surface illuminance calculation on grade–separated junction conforming to CIE Standards by using point by point calculation method taking into account the shadow on road surface. A software has been developed to calculate illuminance and uniformity on straight, incline, ramp up and ramp down road with conventional and high mast systems. The results are presented in the form of data tables, Iso – lux diagram, color shade diagram and rendering diagram.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Electrical Engineering Student's signature

Field of study Electrical Engineering Advisor's signature

Academic year 2004 Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณา และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อาจารย์ ไชยะ แช่มช้อย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อวิทยานิพนธ์ ตลอดจนชี้ให้เห็นข้อบกพร่องและแนวทางแก้ไขต่าง ๆ นับตั้งแต่เริ่มต้นทำวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบ และแก้ไขเนื้อหาจนสำเร็จเรียบร้อย

นอกจากนั้น ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ (ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์) และรองศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ (กรรมการสอบวิทยานิพนธ์) ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำ ในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา - มารดา และขอบใจน้องชายและน้องสาว ที่ได้ให้กำลังใจเสมอมา ตลอดจนเพื่อน ๆ พี่ น้อง ทุก ๆ คนที่อยู่เบื้องหลังในความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

วรรณรัตน์ วิวัฒนะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ ..... ฏ

บทที่

1. บทนำ 1
1.1 ประวัติความเป็นมาและแนวเหตุผล 1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์..... 1
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์..... 2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน..... 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ 3
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับไฟแสงสว่างบนพื้นถนน 4
2.1 นิยามที่เกี่ยวข้อง..... 4
2.1.1 ความเข้มส่องสว่าง (Luminous Intensity , I)..... 4
2.1.2 ความสว่าง (Illuminance, E)..... 4
2.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มส่องสว่าง (I) และความสว่าง (E) 4
2.1.4 ความสม่ำเสมอของความสว่าง (Uniformity, U)..... 6
2.1.5 Grade–Separated Junction 6
2.1.6 High Mast Lighting 7
2.2 โคมไฟถนน..... 9
2.2.1 การกำหนดระนาบทางแสงของโคมไฟถนน 9
2.2.2 การนำเสนอข้อมูลการกระจายแสงของโคมไฟถนน..... 9
2.2.3 การจัดประเภทของดวงโคมตามมาตรฐาน CIE 17

หน้า

2.2.4 การนำเสนอข้อมูลการกระจายแสงของโคมไฟส่อง 21
2.3 การติดตั้งไฟถนน 25
2.3.1 รูปแบบการติดตั้งเสาไฟ 26
2.4 ประเภทของถนนและมาตรฐานทางแสงสว่างของประเทศไทย 27
2.4.1 มาตรฐานทางแสงสว่างของไฟถนนตามมาตรฐาน CIE 27
2.4.2 มาตรฐานทางแสงสว่างของไฟถนนของประเทศไทย 32
3. การคำนวณความสว่างบนพื้นถนน 34
3.1 การคำนวณเวกเตอร์ปกติ (Normal Vector) 34
3.2 การคำนวณความสว่างของระบบเสาธรรมดา (Conventional System) 36
3.2.1 ระบบเสาธรรมดา (กรณีถนนทางตรง – พื้นราบ) 36
3.2.2 ระบบเสาธรรมดา (กรณีถนนทางตรง – ลาดขึ้นหรือลาดลง) 40
3.2.3 ระบบเสาธรรมดา (กรณีถนนทางตรง – เอียงข้าง) 42
3.2.4 ระบบเสาธรรมดา (กรณีถนนทางตรง – ลาดและเอียง) 45
3.2.5 ระบบเสาธรรมดา (กรณีถนนทางโค้ง) 48
3.3 การคำนวณความสว่างของระบบเสาสูง (High Mast System) 50
3.3.1 ระบบเสาสูง (กรณีมุมหันเป็นศูนย์) 51
3.3.2 ระบบเสาสูง (กรณีมุมหันไม่เป็นศูนย์) 52
3.4 การนำเสนอค่าความสว่างในรูปกราฟฟิก 2 มิติ 54
3.5 การคำนวณเงาที่เกิดจากวัตถุ (Shadow) 54
3.5.1 การคำนวณลักษณะเงาของวัตถุที่กระทำกับพื้น 55
3.5.2 การตรวจสอบตำแหน่งของจุดที่อยู่ภายในบริเวณที่เกิดเงา 57
4. โปรแกรมการคำนวณความสว่างบริเวณทางแยกหลายระดับ 60
4.1 โครงสร้างโปรแกรม 60
4.2 ส่วนรับข้อมูล 63
4.2.1 ข้อมูลของถนน 63
4.2.2 ข้อมูลของวัตถุที่อยู่บนถนน 66
4.2.3 ข้อมูลของโคมไฟ 67
4.3 ส่วนประมวลผล 73
4.3.1 ส่วนจัดเก็บข้อมูลการกระจายแสงของโคม 73

หน้า

4.3.2 ส่วนคำนวณผลลัพธ์ 75
4.4 ส่วนแสดงผล 82
4.4.1 ความสว่างบนถนนบริเวณพื้นที่พิจารณาเมื่อไม่มีเงาที่เกิดจากวัตถุ .. 82
4.4.2 ความสว่างบนถนนบริเวณพื้นที่พิจารณาเมื่อคำนึงถึง
ผลของเงาที่เกิดจากวัตถุ..... 85
5. การวิเคราะห์ความสว่าง 88
5.1 กรณีที่ 1 ตัวอย่างการให้แสงสว่างถนนตรง 88
5.2 กรณีที่ 2 ตัวอย่างการให้แสงสว่างถนนตรงเมื่อมีวัตถุอยู่บนถนน..... 95
5.3 กรณีที่ 3 ตัวอย่างการให้แสงสว่างถนนตรง 2 เส้น วางขวางกัน..... 97
5.4 กรณีที่ 4 ตัวอย่างการให้แสงสว่างบริเวณถนนตรง 2 เส้น วางขวางกัน
โดยการติดตั้งโคมไฟส่อง..... 103
5.5 กรณีที่ 5 ตัวอย่างการให้แสงสว่างบริเวณถนนตรง 3 เส้น วางพาดกัน..... 107
6. สรุปและข้อเสนอแนะ 119
6.1 สรุปผลการดำเนินงาน..... 119
6.2 ข้อเสนอแนะ..... 120
รายการอ้างอิง 121
ภาคผนวก..... 122
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 149

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ขนาดพิกัดที่ใช้จัดประเภทของโคมไฟถนน	21
2.2	การจัดประเภทความกว้างของลำแสงตามระบบ IES / NEMA	24
2.3	การแบ่งประเภทของถนนสำหรับ Motor Traffic	28
2.4	การแบ่งระดับความส่องสว่างสำหรับ Motor Traffic	29
2.5	การแบ่งประเภทของถนนสำหรับ Conflict Area	30
2.6	การแบ่งระดับความสว่างสำหรับ Conflict Area	30
2.7	การแบ่งประเภทของถนนสำหรับ Pedestrian Traffic	31
2.8	การแบ่งระดับความสว่างสำหรับ Pedestrian Traffic	32
2.9	ความสว่างเฉลี่ยต่ำสุดตามประเภทของถนน	33
3.1	รูปภาพแสดงการประยุกต์ใช้งานกับวัตถุที่มีรูปร่างต่างๆ	59
5.1	ความสว่างของถนนตรงบริเวณพื้นที่ L5 – L7	90
5.2	ผลลัพธ์กรณีที่ 1.1 ถนนตรงบริเวณพื้นที่ L5 – L7	90
5.3	ความสว่างของถนนตรงบริเวณพื้นที่ L5 – L7	92
5.4	ผลลัพธ์กรณีที่ 1.2 ถนนตรงบริเวณพื้นที่ L5 – L7	92
5.5	ความสว่างของถนนตรงบริเวณพื้นที่ L5 – L7	94
5.6	ผลลัพธ์กรณีที่ 1.3 ถนนตรงบริเวณพื้นที่ L5 – L7	94
5.7	ความสว่างของถนนตรงบริเวณพื้นที่ L5 – L7	96
5.8	ผลลัพธ์กรณีที่ 2 ถนนตรงบริเวณพื้นที่ L5 – L7	96
5.9	ความสว่างของถนนตรงบริเวณพื้นที่ L3 – L5	99
5.10	ผลลัพธ์กรณีที่ 3.1 ถนนตรงบริเวณพื้นที่ L3 – L5	99
5.11	ความสว่างของถนนตรงบริเวณพื้นที่ L3 – L5	101
5.12	ผลลัพธ์กรณีที่ 3.2 ถนนตรงบริเวณพื้นที่ L3 – L5	102
5.13	ข้อมูลของการติดตั้งโคมไฟส่อง	104
5.14	ความสว่างของถนนตรงบริเวณพื้นที่ L3 – L5	105
5.15	ผลลัพธ์กรณีที่ 4 ถนนตรงบริเวณพื้นที่ L3 – L5	105
5.16	ความสว่างของถนนตรงบริเวณพื้นที่ L1 – L3	109
5.17	ความสว่างของถนนตรงบริเวณพื้นที่ L3 – L5	109

ตารางที่ หน้า

5.18 ผลลัพธ์กรณีที่ 5.1 110
5.19 ความสว่างของถนนตรงบริเวณพื้นที่ L1 – L3 112
5.20 ความสว่างของถนนตรงบริเวณพื้นที่ L3 – L5 112
5.21 ผลลัพธ์กรณีที่ 5.2 113
5.22 ความสว่างของถนนตรงบริเวณพื้นที่ L1 – L3 115
5.23 ความสว่างของถนนตรงบริเวณพื้นที่ L3 – L5 115
5.24 ผลลัพธ์กรณีที่ 5.3 116
5.25 ผลลัพธ์การวิเคราะห์กรณีที่ 5..... 118

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	ลักษณะการใช้กฎโคไซน์	5
2.2	ตัวอย่างถนนบริเวณ Grade – Separated Junction	7
2.3	ตัวอย่างการติดตั้งระบบไฟเสาสูงบริเวณ Grade – Separated Junction	7
2.4	ลักษณะการกระจายแสงของดวงโคมแต่ละแบบ	8
2.5	เส้นโค้งความสว่างเท่าที่ได้จากการรวมการกระจายแสงของดวงโคม	8
2.6	การกระจายแสงในระบบ C - γ ตามข้อกำหนดของ CIE	9
2.7	ระนาบดิ่งหลักที่ใช้แสดงเส้นโค้งโพลาร์ของโคมไฟถนน	11
2.8	การแปลงการกระจายแสงบนผิวกรวยหลักลงบนระนาบธรรมดา	12
2.9	ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งโพลาร์ของโคมไฟถนน	13
2.10	เส้นโค้งความเข้มแสงเท่าของโคมไฟถนน (Circular Web)	14
2.11	เส้นโค้งความเข้มแสงเท่าของโคมไฟถนน (Sinusoidal Web)	15
2.12	เส้นโค้งความเข้มแสงเท่าของโคมไฟถนน (Linear Rectangular Web)	15
2.13	เส้นโค้งความเข้มแสงเท่าของโคมไฟถนน (Nonlinear Rectangular Web)	16
2.14	เส้นโค้งความเข้มแสงเท่าของโคมไฟถนนที่เขียนลงบนผิวถนน	17
2.15	นิยามของ Throw และ Spread	18
2.16	การคำนวณหาขนาดมุม γ_T จากกราฟเส้นโค้งโพลาร์	18
2.17	การคำนวณหาขนาดมุม γ_T และ γ_s จากกราฟเส้นโค้งความเข้มแสงเท่า	19
2.18	การคำนวณหาค่ามุม γ_s เพื่อระบุ Spread	20
2.19	การจัดประเภทโคมไฟถนนด้วยตัวแปร Throw และ Spread	21
2.20	ตัวอย่างข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่างของโคมไฟส่องใช้หลอดทังสเตนฮาโลเจนขนาด 500 วัตต์ (เทียบกับฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดไฟ 1,000 ลูเมน)	22
2.21	ตัวอย่างข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่างของโคมไฟส่อง บนระนาบหลัก 4 ระนาบ	23
2.22	เส้นโค้งความเข้มแสงเท่าของโคมไฟส่อง	24
2.23	ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการติดตั้งโคมไฟถนน	25
2.24	รูปแบบการติดตั้งไฟถนน	26
3.1	ตำแหน่งและมุมต่างๆ	34

รูปที่		หน้า
3.2	เวกเตอร์ตั้งฉากบนระนาบ	35
3.3	ตำแหน่งของโคม จุดที่พิจารณาบนผิวถนนและมุมต่างๆ	36
3.4	การคำนวณมุม C,θ และ $\overrightarrow{N}$	37
3.5	ตำแหน่งของโคม มุมต่างๆและจุดที่พิจารณาบนผิวถนน	38
3.6	การคำนวณมุม C,θ และ $\overrightarrow{N}$	39
3.7	ตำแหน่งของดวงโคม จุดเล็ง มุมต่างๆ จุดที่พิจารณาบนผิวถนนและ ตำแหน่งของจุดที่พิจารณาฉายลงบนระบบแกน XYZ กรณีมุมเงยเป็นศูนย์	40
3.8	การคำนวณมุม C,θ และ $\overrightarrow{N}$	41
3.9	ตำแหน่งของดวงโคม จุดเล็ง มุมต่างๆ จุดที่พิจารณาบนผิวถนนและ ตำแหน่งของจุดที่พิจารณาฉายลงบนระบบแกน XYZ กรณีมุมเงยไม่เป็นศูนย์	41
3.10	การคำนวณมุม C,θ และ $\overrightarrow{N}$	42
3.11	ตำแหน่งของดวงโคม จุดเล็ง จุดที่พิจารณา เวกเตอร์ตั้งฉากในระบบ แกน UVW และตำแหน่งของจุดที่พิจารณาฉายลงบนระบบแกน XYZ กรณีมุมเงยเป็นศูนย์	42
3.12	การคำนวณมุม C,θ และ $\overrightarrow{N}$	43
3.13	ตำแหน่งของดวงโคม จุดเล็ง มุมต่างๆ จุดที่พิจารณาและตำแหน่งของจุดที่ พิจารณาฉายลงบนระบบแกน XYZ กรณีมุมเงยไม่เป็นศูนย์	44
3.14	การคำนวณมุม C,θ และ $\overrightarrow{N}$	44
3.15	ตำแหน่งของดวงโคม จุดเล็ง มุมต่างๆ จุดที่พิจารณาและตำแหน่งของจุดที่ พิจารณาฉายลงบนระบบแกน XYZ กรณีมุมเงยเป็นศูนย์	45
3.16	การคำนวณมุม C,θ และ $\overrightarrow{N}$	46
3.17	ตำแหน่งของดวงโคม จุดเล็ง มุมต่างๆ จุดที่พิจารณาและตำแหน่งของจุดที่ พิจารณาฉายลงบนระบบแกน XYZ กรณีมุมเงยไม่เป็นศูนย์	46
3.18	การคำนวณมุม C,θ และ $\overrightarrow{N}$	47
3.19	จุดที่ต้องคำนวณภายในพื้นที่ที่ต้องการ	47
3.20	การกำหนดค่ามุมในแนวมอง	48
3.21	จุดที่ต้องคำนวณภายในพื้นที่ที่ต้องการ	48
3.22	ความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ระบบ	49
3.23	การกำหนดระยะ R และระยะ S	49

รูปที่ หน้า

3.24 การคำนวณมุม B และมุม β กรณีมุมหันเป็นศูนย์ 51
3.25 การคำนวณมุม B และมุม β กรณีมุมหันไม่เป็นศูนย์ 53
3.26 การฉายจุดลงบนระนาบ $X_R Y_R Z_R$ 54
3.27 การเกิดเงาของวัตถุรูปสี่เหลี่ยมใดๆ..... 55
3.28 การคำนวณหาจุดบนพื้น โดยพิจารณาวัตถุที่จุดๆเดียว 55
3.29 มุมมองด้านบน (Top View) ของรูปที่ 3.28..... 56
3.30 การตรวจสอบตำแหน่งของจุดที่อยู่ภายในบริเวณที่เกิดเงาเป็นรูปสี่เหลี่ยม..... 57
3.31 การตรวจสอบตำแหน่งของจุดที่อยู่ภายในบริเวณที่เกิดเงาเป็นรูปสามเหลี่ยม. 58
4.1 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมคำนวณค่าความสว่างไฟถนน
บริเวณทางแยกหลายระดับ..... 61
4.2 ตัวอย่างถนนที่ต้องการคำนวณค่าความสว่าง 64
4.3 ตัวอย่างถนนที่ต้องการคำนวณค่าความสว่าง 65
4.4 ส่วนรับข้อมูลรายละเอียดของถนน..... 65
4.5 ส่วนประกอบต่างๆที่ใช้ในการป้อนข้อมูลของวัตถุ..... 66
4.6 ส่วนรับข้อมูลลักษณะของวัตถุรูปสี่เหลี่ยม 67
4.7 ส่วนประกอบต่างๆที่ใช้ในการป้อนข้อมูลโคมไฟระบบเสาธรรมดา..... 69
4.8 ส่วนรับข้อมูลรายละเอียดของโคมไฟระบบเสาธรรมดา 69
4.9 ส่วนประกอบต่างๆที่ใช้ในการป้อนข้อมูลโคมไฟระบบเสาสูง..... 70
4.10 ส่วนรับข้อมูลรายละเอียดของโคมไฟระบบเสาสูง 71
4.11 ส่วนรับข้อมูลของพื้นที่ที่ต้องการคำนวณค่าความสว่าง..... 72
4.12 ตัวอย่างพื้นที่ที่ต้องการคำนวณค่าความสว่าง..... 72
4.13 หน้าจอรับข้อมูลของดวงโคมระบบเสาธรรมดา 73
4.14 หน้าจอรับข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมระบบเสาธรรมดา..... 74
4.15 หน้าจอรับข้อมูลของดวงโคมสำหรับเสาสูง 74
4.16 หน้าจอรับข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมระบบเสาสูง..... 75
4.17 แผนภาพแสดงการคำนวณผลลัพธ์ของระบบเสาธรรมดา..... 76
4.18 แผนภาพแสดงการคำนวณผลลัพธ์ของระบบเสาสูง..... 79
4.19 หน้าจอแสดงผลของความสว่างบนพื้นที่พิจารณาในรูปของตารางตัวเลข..... 83

รูปที่		หน้า
4.20	หน้าจอแสดงผลของความสว่างบนพื้นที่พิจารณาในรูปของภาพลายเส้นความสว่างเท่า	83
4.21	หน้าจอแสดงผลของความสว่างบนพื้นที่พิจารณาในรูปของภาพระบายสี	84
4.22	หน้าจอแสดงผลของความสว่างบนพื้นที่พิจารณาในรูปของภาพแรเงา	84
4.23	หน้าจอแสดงผลของความสว่างบริเวณพื้นที่ซึ่งคำนึงถึงผลของเงาที่เกิดจากวัตถุ โดยแสดงในรูปของตารางตัวเลข	85
4.24	หน้าจอแสดงผลของความสว่างบริเวณพื้นที่พิจารณาซึ่งคำนึงถึงผลของเงาที่เกิดจากวัตถุ โดยแสดงในรูปของภาพลายเส้นความสว่างเท่า	86
4.25	หน้าจอแสดงผลของความสว่างบริเวณพื้นที่พิจารณาซึ่งคำนึงถึงผลของเงาที่เกิดจากวัตถุ โดยแสดงในรูปของภาพระบายสี	86
4.26	หน้าจอแสดงผลของความสว่างบริเวณพื้นที่พิจารณาซึ่งคำนึงถึงผลของเงาที่เกิดจากวัตถุ โดยแสดงในรูปของภาพแรเงา	87
5.1	ลักษณะพื้นที่ทดสอบกรณีถนนตรง	88
5.2	ข้อมูลเส้นโค้งโพลาร์ของดวงโคมรหัส GELU100.cie	89
5.3	กราฟแสดงการจัดประเภท Throw และ Spread ของดวงโคมรหัส GELU100.cie	89
5.4	ภาพลายเส้นของความสว่างบริเวณพื้นที่ L5 - L7	90
5.5	ภาพระบายสีของความสว่างบริเวณพื้นที่ L5 - L7	91
5.6	ภาพแรเงาของความสว่างบริเวณพื้นที่ L5 - L7	91
5.7	ภาพลายเส้นของความสว่างบริเวณพื้นที่ L5 – L7 กรณีมุมเงยเท่ากับศูนย์	92
5.8	ข้อมูลเส้นโค้งโพลาร์ของดวงโคมรหัส ltl9828.cie	93
5.9	กราฟแสดงการจัดประเภท Throw และ Spread ของดวงโคมรหัส ltl9828.cie	93
5.10	ภาพระบายสีของความสว่างบริเวณพื้นที่ L5 - L7	94
5.11	ภาพแรเงาของความสว่างบริเวณพื้นที่ L5 - L7	95
5.12	ลักษณะพื้นที่ทดสอบกรณีถนนตรง	95
5.13	ภาพลายเส้นของความสว่างบริเวณพื้นที่ L5 - L7	96
5.14	ภาพระบายสีของความสว่างบริเวณพื้นที่ L5 - L7	97
5.15	ภาพแรเงาของความสว่างบริเวณพื้นที่ L5 - L7	97

รูปที่		หน้า
5.16	ลักษณะพื้นที่ทดสอบกรณีถนนตรง 2 เส้น วางขวางกัน	98
5.17	ภาพลายเส้นของความสว่างบริเวณพื้นที่ L3 - L5	99
5.18	ภาพระบายสีของความสว่างบริเวณพื้นที่ L3 - L5	100
5.19	ภาพแรเงาของความสว่างบริเวณพื้นที่ L3 - L5	100
5.20	ลักษณะพื้นที่ทดสอบกรณีการให้แสงบริเวณถนนตรง 2 เส้น วางขวางกัน โดยการติดตั้งโคมไฟส่อง	101
5.21	ภาพลายเส้นของความสว่างบริเวณพื้นที่ L3 - L5	102
5.22	ภาพระบายสีของความสว่างบริเวณพื้นที่ L3 - L5	102
5.23	เปรียบเทียบภาพแรเงาของความสว่างบริเวณพื้นที่ L3 – L5 ก่อนติดโคมไฟส่องและหลังติดโคมไฟส่อง	103
5.24	ลักษณะพื้นที่ทดสอบกรณีการให้แสงบริเวณถนนตรง 2 เส้น วางขวางกัน โดยการติดตั้งโคมไฟส่อง	104
5.25	ภาพลายเส้นของความสว่างบริเวณพื้นที่ L3 - L5	105
5.26	ภาพระบายสีของความสว่างบริเวณพื้นที่ L3 - L5	106
5.27	เปรียบเทียบภาพแรเงาของความสว่างบริเวณพื้นที่ L3 – L5 ก่อนติดโคมไฟส่องและหลังติดโคมไฟส่อง	106
5.28	ลักษณะพื้นที่ทดสอบกรณีการให้แสงบริเวณถนนตรง 3 เส้น วางพาดกัน	108
5.29	ลักษณะพื้นที่ทดสอบกรณีที่ 5.1	108
5.30	ภาพลายเส้นของความสว่างบริเวณพื้นที่ L1 - L3	110
5.31	ภาพลายเส้นของความสว่างบริเวณพื้นที่ L3 - L5	111
5.32	ลักษณะพื้นที่ทดสอบกรณีที่ 5.2	111
5.33	ภาพลายเส้นของความสว่างบริเวณพื้นที่ L1 - L3	113
5.34	ภาพลายเส้นของความสว่างบริเวณพื้นที่ L3 - L5	114
5.35	ลักษณะพื้นที่ทดสอบกรณีที่ 5.3	114
5.36	ภาพลายเส้นของความสว่างบริเวณพื้นที่ L1 – L3	116
5.37	ภาพลายเส้นของความสว่างบริเวณพื้นที่ L3 – L5	117
5.38	เปรียบเทียบภาพแรเงาของความสว่างกรณี 5.1 ถึงกรณี 5.3 บริเวณพื้นที่ L1 - L3 และ L3 - L5 ตามลำดับ	118

รูปที่ หน้า

ก.1 Diagram of the three luminaire axis and illustration of positive and negative tilt..... 132
ก.2 Illustates luminaire orientation for C/gramma photometry..... 132
ก.3 Illustates luminaire orientation for B/beta photometry 133
ก.4 Illustates luminaire orientation for A/alpha photometry 133
ข.1 Plan view of lamp to luminaire geometry..... 141
ข.2 Conventions for vertical and horizontal angles used in standard IES format: (a) Plan view of luminaire showing length and width in relation to horizontal angles; and (b) Schematic showing vertical and horizontal angles..... 143

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ประวัติความเป็นมาและแนวเหตุผล

การเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจที่มีแนวโน้มดีขึ้น ได้ส่งผลให้การคมนาคมขนส่งมีจำนวนมากขึ้น จากเดิมลักษณะถนนที่เห็นโดยทั่วไปมักเป็นเพียงถนนตรง ถนนโค้งหรือถนนที่มีลักษณะเอียงขึ้น (Ramp Up) และเอียงลง (Ramp Down) เท่านั้น แต่ในปัจจุบันลักษณะถนนที่พบเห็นมีการพาดกันไปมา โดยลักษณะของถนนอาจจะมีการโค้งและเอียงด้วยพร้อมกันโดยมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น การให้แสงสว่างบนถนนจึงมีความสำคัญมาก เพราะช่วยเพิ่มความสะดวกปลอดภัยแก่ผู้ขับขี่ยานพาหนะบนถนน เพิ่มความคล่องตัวของการจราจรรวมทั้งช่วยลดอาชญากรรมที่อาจเกิดขึ้นบนท้องถนนได้ สิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ผู้ออกแบบระบบไฟถนนจำเป็นต้องคำนึงถึง

การคำนวณค่าความสว่างและความส่องสว่างจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการออกแบบ แต่ในงานวิจัยนี้ไม่สามารถคำนวณค่าความส่องสว่างได้ เนื่องจากบริเวณที่พิจารณาเป็นถนนบริเวณที่มีทางแยกหลายระดับ ซึ่งบริเวณดังกล่าวนั้นลักษณะถนนจะมีการเปลี่ยนระนาบอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมาตรฐาน CIE ได้กำหนดให้ระยะจากผู้มองถึงจุดที่พิจารณาจะอยู่ระหว่าง 60 เมตร ถึง 160 เมตร ดังนั้นจึงไม่สามารถกำหนดได้ว่าคิดผลของดวงโคมใดบ้าง อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้ได้คำนึงถึงผลของเงาที่เกิดจากวัตถุและการบดบังของถนนชั้นบนที่มีผลต่อความสว่างบนถนนชั้นล่างด้วย ดังนั้นการคำนวณค่าดังกล่าวให้ได้คำตอบที่ถูกต้องแม่นยำจึงเป็นสิ่งสำคัญ ถ้าใช้การคำนวณด้วยมือคงไม่เป็นการสะดวกรวดเร็ว และอาจทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาหลักการและวิธีการคำนวณค่าความสว่างบนผิวถนนบริเวณทางแยกหลายระดับรวมทั้งคำนวณหาลักษณะเงาของวัตถุที่กระทำกับผิวถนนแล้วพัฒนาเป็นโปรแกรมคำนวณค่าดังกล่าวโดยใช้วิธีคิดทีละจุด เพื่อให้ได้คำตอบที่ถูกต้องแม่นยำและรวดเร็ว โดยผลการคำนวณที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ประกอบการออกแบบระบบแสงสว่างไฟถนนได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1) เพื่อศึกษาหลักการและวิธีการคำนวณค่าความสว่าง(Illuminance) ของไฟถนนบริเวณทางแยกหลายระดับรวมถึงการคำนวณเงาที่เกิดจากวัตถุและการบดบังแสงของถนนชั้นบนที่มีผลต่อความสว่างบนถนนชั้นล่าง

2) เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถคำนวณค่าความสว่างบนผิวถนนบริเวณทางแยกหลายระดับ โดยคำนึงถึงผลของเงาที่เกิดจากวัตถุและการบดบังแสงของถนนชั้นบนด้วย

1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณค่าความสว่างบนผิวถนนบริเวณทางแยกหลายระดับ โดยคำนึงถึงผลของเงาที่เกิดจากวัตถุที่อยู่บนผิวถนนและการบดบังแสงของถนนชั้นบน โดยพิจารณาวัตถุเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ซึ่งโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้ใช้ได้กับข้อมูลทางแสงที่อยู่ในรูปแบบของระบบ CIE และระบบ IES ซึ่งมีข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่างของโคมไฟถนนเป็นระบบ $C-\gamma$ สำหรับระบบเสาธรรมดา และระบบ $B-\beta$ สำหรับระบบเสาสูง โดยการคำนวณค่าดังกล่าวนั้น ผู้ใช้สามารถเลือกดูผลลัพธ์เฉพาะบริเวณที่ผู้ใช้ต้องการทราบได้ โดยแสดงผลในรูปตารางตัวเลขและกราฟฟิกรูปแบบต่างๆ

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1) ศึกษาหลักการและวิธีการคำนวณค่าความสว่าง (Illuminance) และคำนวณเงาที่เกิดจากวัตถุบนถนนบริเวณทางแยกต่างระดับ ตามมาตรฐาน CIE
2) ศึกษาโปรแกรมภาษาเดลไฟ เพื่อใช้ในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์
3) ออกแบบโครงสร้างของโปรแกรมคอมพิวเตอร์
4) พัฒนาโปรแกรมในส่วนรับข้อมูล ส่วนของการคำนวณหาค่าความสว่าง เงาที่เกิดวัตถุและการบดบังแสงของถนนชั้นบน และส่วนประมวลผล รวมทั้งส่วนแสดงผลการคำนวณในรูปตารางข้อมูลตัวเลขและกราฟฟิกรูปแบบต่างๆ
5) ทดสอบและปรับปรุงโปรแกรม
6) สรุปผลการวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) สามารถนำข้อมูลทางแสงที่อยู่ในรูปแบบของระบบ CIE และ ระบบ IES ซึ่งมีข้อมูลการกระจายแสงของโคมไฟถนนเป็นระบบ $C-\gamma$ สำหรับระบบเสาธรรมดาและ

ระบบ B−β สำหรับระบบเสาสูงมาใช้กับโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อช่วยในการคำนวณค่าความสว่างได้อย่างสะดวกและไม่เป็นการจำกัดความสามารถของโปรแกรม

2) สามารถพัฒนาโปรแกรม เพื่อช่วยในการคำนวณค่าความสว่าง ความสม่ำเสมอของความสว่าง และลักษณะเงาที่เกิดจากวัตถุกระทำบนผิวถนนบริเวณทางแยกหลายระดับ ให้ประหยัดเวลา โดยค่าที่คำนวณได้มีความถูกต้องแม่นยำ
3) ผู้ออกแบบสามารถนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นใช้ประกอบการออกแบบระบบแสงสว่างของไฟถนนบริเวณทางแยกหลายระดับ โดยสามารถคำนึงถึงผลของเงาที่เกิดจากวัตถุบนผิวถนนและการบดบังแสงของถนนชั้นบนได้
4) เป็นการเปิดโอกาสให้คนไทยใช้โปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยคนไทยเพิ่มขึ้นโดยไม่ต้องพึ่งพาโปรแกรมจากต่างประเทศซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายราคาแพง

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์แต่ละบทมีดังนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับไฟแสงสว่างถนน

บทที่ 3 กล่าวถึงการคำนวณไฟแสงสว่างถนน โดยใช้วิธีจุดต่อจุด (Point-by-Point Method) ทั้งระบบเสาธรรมดาและระบบเสาสูง บริเวณทางแยกหลายระดับทั้งถนนตรงและถนนโค้งรวมถึงการคำนวณหาลักษณะเงาของวัตถุที่กระทำบนผิวถนน

บทที่ 4 กล่าวถึงการพัฒนาโปรแกรมการคำนวณค่าความสว่างบริเวณทางแยกหลายระดับ

บทที่ 5 กล่าวถึงตัวอย่างการวิเคราะห์ความสว่างไฟถนน

บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับไฟแสงสว่างบนพื้นถนน

2.1 นิยามที่เกี่ยวข้อง [8,9]

2.1.1 ความเข้มส่องสว่าง (Luminous Intensity, I)

ความเข้มส่องสว่าง คือความหนาแน่นของฟลักซ์ส่องสว่างในทิศทางหนึ่ง (ปริมาณแสงต่อหน่วยมุมตัน) มีหน่วยเป็น candela (cd) แสดงได้ดังสมการ

$$I = \frac{d\phi}{d\omega} \tag{2.1}$$

2.1.2 ความสว่าง (Illuminance, E)

ความสว่าง คือ ความหนาแน่นของฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกกระทบลงบนพื้นที่ใด ๆ มีค่าเท่ากับปริมาณฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกกระทบลงบนพื้นที่หารด้วยขนาดของพื้นที่นั้น มีหน่วยเป็น lux แสดงได้ดังสมการ

$$E = \frac{d\phi}{dA} \tag{2.2}$$

2.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มส่องสว่าง (I) และความสว่าง (E)

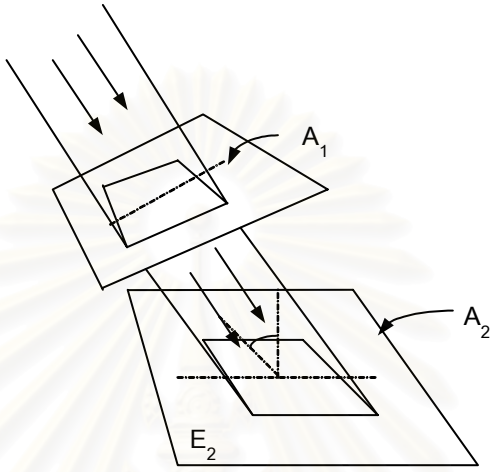
กฎกำลังสองผกผัน (Inverse Square Law)

ค่าความสว่างของจุดบนพื้นที่ที่ตั้งฉากกับแสงตกกระทบมีค่าเท่ากับความเข้มส่องสว่างในทิศทางที่ไปยังจุดนั้นหารด้วยกำลังสองของระยะทางระหว่างจุดนั้นกับแหล่งกำเนิดแสง ดังสมการ

$$E = \frac{I}{D^2} \tag{2.3}$$

กฎโคไซน์ (Cosine Law)

กฎโคไซน์กล่าวว่า ความสว่างบนพื้นผิวใด ๆ จะแปรโดยตรงกับค่าโคไซน์ของมุมของแสงตกกระทบ โดยมุมของแสงตกกระทบ (θ) คือมุมระหว่างเส้นตั้งฉากกับพื้นผิวและทิศทางของแสงตกกระทบ



รูปที่ 2.1 ลักษณะการใช้กฎโคไซน์

จากรูปที่ 2.1 ให้ฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกกระทบพื้นผิว A_1 อย่างตั้งฉากมีค่า ϕ จะได้ความสว่างบนพื้นผิว A_1 เท่ากับ E_1

$$E_1 = \frac{\phi}{A_1}$$

ให้ A_2 เป็นพื้นผิวที่แสงตกกระทบทำมุม (θ) จากรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าฟลักซ์ส่องสว่าง ϕ จะตกลงบนพื้นผิว A_2 ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าพื้นผิว A_1 ได้ความสว่าง E_2

$$E_2 = \frac{\phi}{A_2}$$

แต่ $A_2 = \frac{A_1}{\cos\theta}$ ดังนั้น

$$E_2 = \frac{\phi \cos\theta}{A_1}$$

$$E_2 = E_1 \cos\theta \qquad (2.4)$$

เราสามารถรวมกฎกำลังสองผกผันและกฎโคไซน์เข้าด้วยกันได้ ดังนี้

เนื่องจาก E_1 เกิดจากฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกกระทบพื้นผิวอย่างตั้งฉาก จากสมการที่ (2.3) จะได้

$$E_1 = \frac{I}{D^2}$$

แทนค่าลงในสมการที่ (2.4) จะได้

$$E = \frac{I}{D^2}\cos\theta \qquad (2.5)$$

2.1.4 **ความสม่ำเสมอของความสว่าง** (Uniformity, U)

$$U_1 = \frac{E\min}{Eav} \qquad (2.6)$$

$$U_2 = \frac{E\min}{E\max} \qquad (2.7)$$

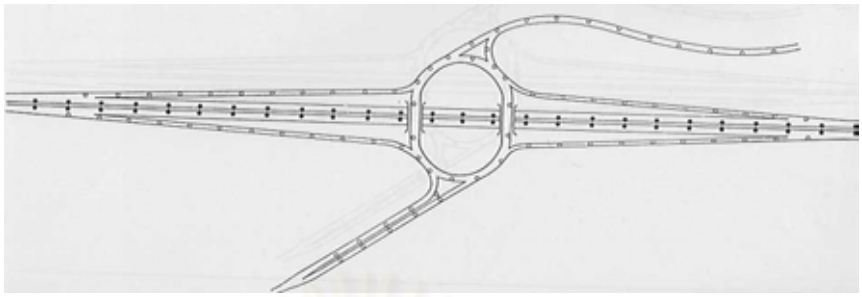
โดย Emin คือ ค่าความสว่างต่ำสุด
Eav คือ ค่าความสว่างเฉลี่ย
Emax คือ ค่าความสว่างสูงสุด

2.1.5 Grade–Separated Junction

Grade-Separated Junction คือ ทางแยกที่มีถนนอย่างน้อยสายหนึ่งอยู่เหนือถนนอีกสายหนึ่ง ตัวอย่างดังรูปที่ 2.2 ซึ่งมีลักษณะที่สำคัญ 3 อย่าง ได้แก่

1. บริเวณของถนนที่วิ่งเข้ามาต้องมีการติดตั้งไฟส่องสว่าง
2. บริเวณที่เป็นทางที่โค้งเป็นพิเศษ
3. บริเวณทางเชื่อมที่ซับซ้อนที่ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยและการมองเห็นในเวลากลางคืนสูง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างถนนบริเวณ Grade-Separated Junction

2.1.6 High Mast Lighting

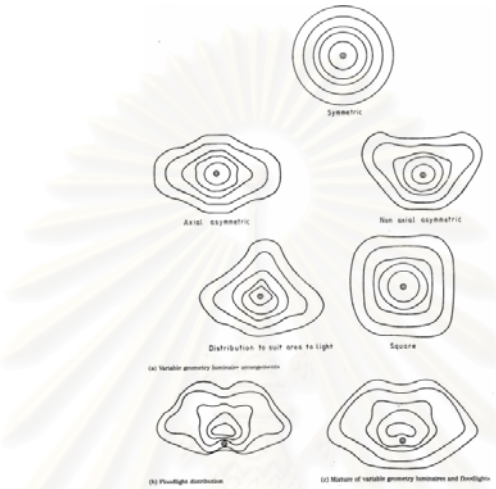
High Mast Lighting คือ ระบบที่ให้แสงสว่างแก่พื้นที่บริเวณกว้างโดยใช้เสาสูงตั้งแต่ 18 เมตรขึ้นไป ติดตั้งโคมไฟที่ให้แสงสว่างมากหลายๆโคม ซึ่งมีเทคนิคในการนำระบบเสาสูงไปใช้ดังนี้

2.1.6.1 การใช้งานของระบบเสาสูงมักใช้ตามทางแยกมากกว่าตามถนนธรรมดาเพราะทางแยกที่มีถนนตัดกันจะมีความซับซ้อน มีหลายระดับ ดังนั้นระบบเสาสูงจะให้ความสม่ำเสมอของแสงได้ดีและช่วยให้ลักษณะโดยรวมของทางแยกดูดีขึ้นด้วยดังรูปที่ 2.3

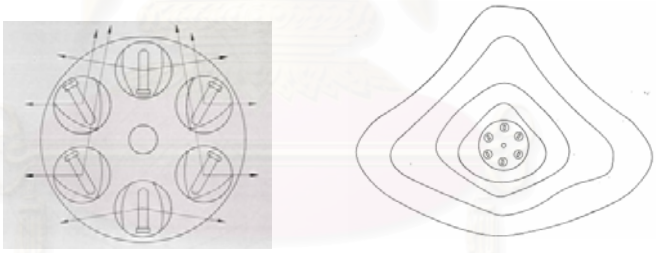
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการติดตั้งระบบไฟเสาสูงบริเวณ Grade-Separated Junction

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.6.2 โคมที่ใช้กับระบบเสาสูงแต่ละดวงโคมอาจให้การกระจายแสงที่สมมาตรหรือไม่สมมาตรก็ได้ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะการกระจายแสงของโคม ดังรูปที่ 2.4 และรูปที่ 2.5 ด้วยคุณสมบัติของดวงโคมในจุดนี้จึงสามารถจัดโคมให้อยู่ด้วยกันเพื่อปรับปรุงการกระจายแสงให้เหมาะสมกับพื้นที่



รูปที่ 2.4 ลักษณะการกระจายแสงของดวงโคมแต่ละแบบ



รูปที่ 2.5 เส้นโค้งความสว่างเท่าที่ได้จากการรวมการกระจายแสงของดวงโคม

2.1.6.3 เนื่องจากดวงโคมที่ติดตั้งบนระบบเสาสูงจะให้แสงสว่างได้พื้นที่กว้างจึงควรติดตั้งโคมมากกว่า 1 โคม สำหรับเสาแต่ละต้น และควรคำนวณให้มีการกระจายแสงทั่วถึงโดยไม่มีพื้นที่มืดในกรณีที่มีโคมไฟดวงใดดวงหนึ่งเสีย ด้วยหลักการนี้จำนวนหลอดไฟหรือค่าความสว่างจะเป็นเท่าไรก็ได้ขึ้นอยู่กับความจำเป็นและความต้องการ

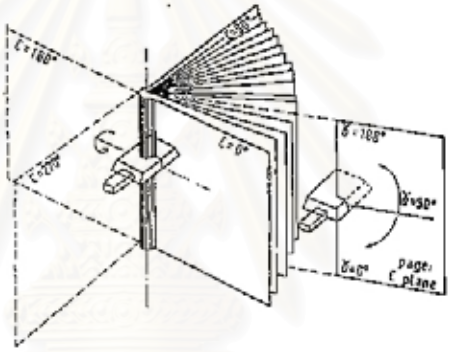
การติดตั้งเสาไฟบริเวณ Grade-Separated Junction จึงมีการติดตั้งเสาไฟทั้ง 2 ระบบ ได้แก่ ระบบเสาธรรมดาและระบบเสาสูง แต่ในการติดตั้งนั้นต้องพิจารณาปัจจัยหลายอย่างประกอบกัน เช่น พิจารณาว่ามีถนนกี่สายที่เกี่ยวข้องและลักษณะที่เกี่ยวข้องกันเป็นแบบไหน ซึ่ง

จะบอกได้ถึงความจำเป็นว่าเหมาะสมจะติดตั้งไฟสำหรับถนนแต่ละสายในบริเวณดังกล่าวอย่างไร เพื่อให้แสงสว่างนั้นเพียงพอแก่ผู้ขับขี่ยวดยาน

จากลักษณะการติดตั้งเสาไฟที่กล่าวมานั้น ในการคำนวณค่าความสว่างจึงจำเป็นต้องพิจารณาด้วยว่า ตำแหน่งที่กำลังพิจารณาอยู่นั้นมีผลของความเข้มส่องสว่างจากโคมดวงใดบ้าง ซึ่งถ้ามาจากระบบเสาธรรมดากับระบบเสาสูงจะมีวิธีคำนวณมุมที่ต้องนำไปใช้ต่างกันไป

2.2 โคมไฟถนน[8]

2.2.1 การกำหนดระนาบทางแสงของโคมไฟถนน



รูปที่ 2.6 การกระจายแสงในระบบ $C-\gamma$ ตามข้อกำหนดของ CIE

จุดศูนย์กลางแสงของดวงโคม (Light Center) คือ จุดศูนย์กลางของระบบโคออดิเนตแนวดิ่งจากจุดศูนย์-กลางแสงของดวงโคมถึงพื้นถนนคือแกนอ้างอิงของระบบ ระบบ $C-\gamma$ เป็นการแบ่งระนาบดิ่งออกเป็นระนาบย่อยๆ รอบแนวดิ่งตามมุมต่างๆ จาก C_0 ถึง C_{360} โดยกำหนดระนาบที่ขนานกับแนวถนนและอยู่ด้านขวาของดวงโคมเป็นระนาบที่มีมุม $C=0°$ และแต่ละระนาบ C จะมีลักษณะการกระจายของแสงในมุม γ จาก 0 องศา ถึง 180 องศา (ดังแสดงในรูปที่ 2.6)

2.2.2 การนำเสนอข้อมูลการกระจายแสงของโคมไฟถนน

1) **ตารางข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่าง** (Luminous Intensity Table)

การนำเสนอข้อมูลในลักษณะนี้ จะแสดงค่าความเข้มส่องสว่างออกมาเป็นตัวเลข เหมาะกับการนำข้อมูลไปใช้คำนวณค่าต่างๆ โดยคอมพิวเตอร์ เพราะเป็นข้อมูลตัวเลขจำนวนมาก ระยะห่างของมุม γ และระนาบ C ในตารางข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่างจะขึ้นอยู่กับรูปร่างของการกระจายความเข้มส่องสว่างของดวงโคม และวิธีการประมาณในช่วง (Interporation) ที่ใช้ในการคำนวณ ถ้าการคำนวณสมรรถนะของระบบไฟถนนเป็นไปตามวิธีการที่กำหนดโดย CIE (International Commission on Illumination) ขนาดของมุม γ และระนาบ C จะเป็นไปดังนี้

มุม γ	0°	ถึง	30°	เปลี่ยนทีละ	10	องศา	(4 มุม)
	35°	ถึง	45°	เปลี่ยนทีละ	5	องศา	(3 มุม)
	47.5°	ถึง	105°	เปลี่ยนทีละ	2.5	องศา	(24 มุม)
	120°	ถึง	180°	เปลี่ยนทีละ	15	องศา	(5 มุม)
						รวมทั้งหมด	36 มุม
มุม C	0°	ถึง	50°	เปลี่ยนทีละ	5	องศา	(11 ระนาบ)
	60°	ถึง	120°	เปลี่ยนทีละ	15	องศา	(5 ระนาบ)
	130°	ถึง	230°	เปลี่ยนทีละ	5	องศา	(21ระนาบ)
	240°	ถึง	300°	เปลี่ยนทีละ	15	องศา	(5 ระนาบ)
	310°	ถึง	355°	เปลี่ยนทีละ	5	องศา	(10 ระนาบ)
						รวมทั้งหมด	52 ระนาบ

จากการแบ่งมุม γ และระนาบ C ตามที่กำหนดนี้จะทำให้มีข้อมูลที่จะแสดงในตารางทั้งหมดจำนวน 1872 ค่า ซึ่งเกิดบนระนาบ 52 ระนาบ ในแต่ละระนาบจะวัดที่มุม γ จำนวน 36 มุม

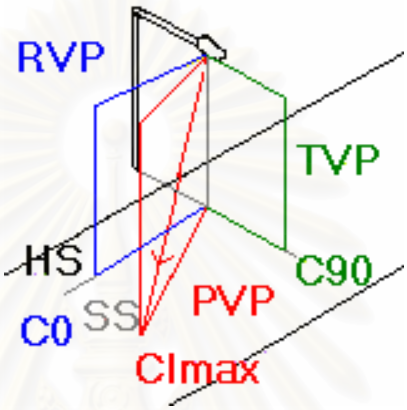
ถ้าความเข้มส่องสว่างของโคมไฟถนนมีลักษณะสมมาตรระหว่างระนาบ C_{270} ถึง C_{90} และระนาบ C_{90} ถึง C_{270} การนำเสนอข้อมูลจะแสดงเพียงครึ่งซีกเท่านั้น โดยแสดงข้อมูลจากระนาบ C_{270} ถึงระนาบ C_{90} รวมทั้งหมด 27 ระนาบ ระนาบละ 36 ค่า รวมเป็น 972 ค่า และค่าความเข้มส่องสว่างมีหน่วยวัดเป็นแคนเดลาต่อ 1000 ลูเมนของหลอดไฟ

2) **เส้นโค้งโพลาร์** (Polar Curve)

การนำเสนอข้อมูลในลักษณะนี้เป็นรูปกราฟ โดยแสดงการกระจายความเข้มส่องสว่างของโคมไฟถนน บนระนาบหลัก ซึ่งไม่สะดวกต่อการนำไปใช้คำนวณรายละเอียด โดยเฉพาะช่วงมุมที่มี

การแปรเปลี่ยนของค่าความเข้มส่องสว่างสูง แต่จะทำให้มองเห็นการกระจายความเข้มส่องสว่างของโคมไฟถนนได้ชัดเจน ระนาบหลักของโคมไฟถนนจะประกอบไปด้วย

ก) ระนาบดิ่งหลัก (Principal Vertical Plane) เป็นระนาบข้อมูลที่มีค่าความเข้มส่องสว่างสูงที่สุด โดยต้องระบุมุม C ที่ใช้กำกับระนาบนี้ด้วย (ดังรูปที่ 2.7)

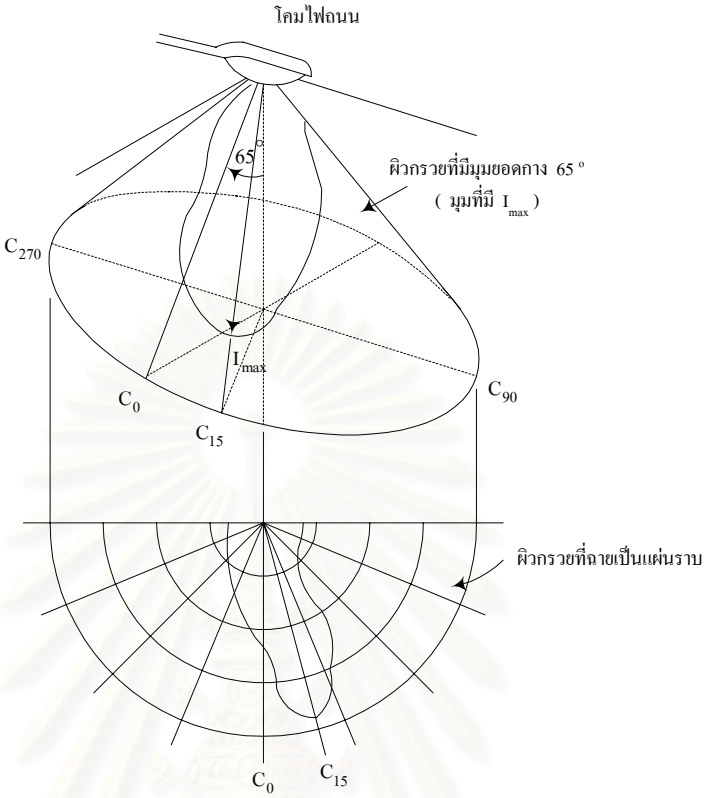


รูปที่ 2.7 ระนาบดิ่งหลักที่ใช้แสดงเส้นโค้งโพลาร์ของโคมไฟถนน

ข) ระนาบดิ่งที่ขนานแนวถนน (Roadway Vertical Plane; $C = 0°$) ถ้าระนาบดิ่งหลักไม่ใช้ระนาบที่ $C = 0°$ จะต้องแสดงการกระจายความเข้มส่องสว่างบนระนาบดิ่งที่ขนานกับถนน เนื่องจากการกระจายความเข้มส่องสว่างในระนาบนี้ จะมีผลต่อ Discomfort Glare

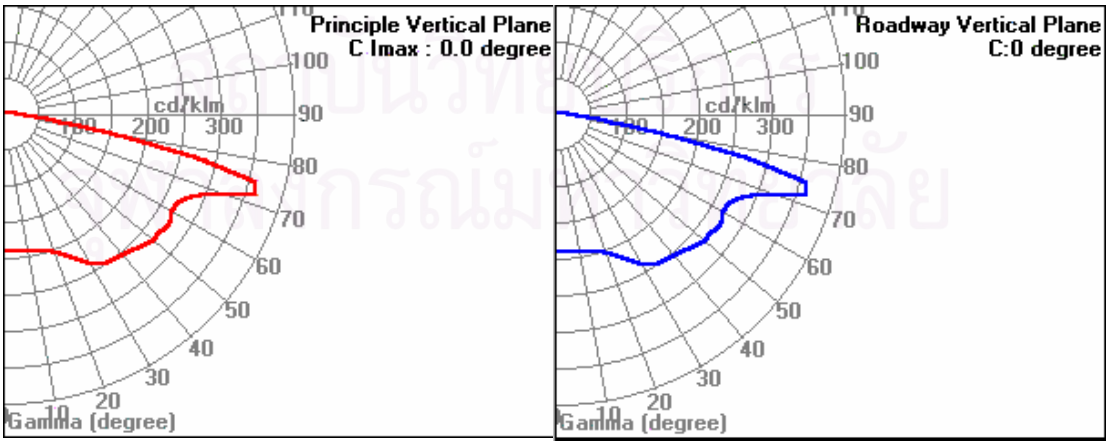
ค) ระนาบดิ่งที่ตั้งฉากกับแนวถนน (Transverse Vertical Plane) คือระนาบ $C = 90°$ ทั้งนี้เพื่อดูการกระจายแสงที่ลึกเข้าไปในแนวขวางถนน จากโคมไฟถนน

ง) เส้นโค้งโพลาร์ของการกระจายความเข้มส่องสว่างที่วัดบนผิวของกรวยหลัก (Principal Conical Surface) ไม่ใช่เป็นการแสดงการกระจายความเข้มส่องสว่างบนระนาบใดระนาบหนึ่ง แต่เป็นการแสดงการกระจายความเข้มส่องสว่างสูงสุดผ่านมุม γ ที่คงที่บนผิวกรวย เพื่อให้เห็นภาพการกระจายความเข้มส่องสว่างอย่างสมบูรณ์



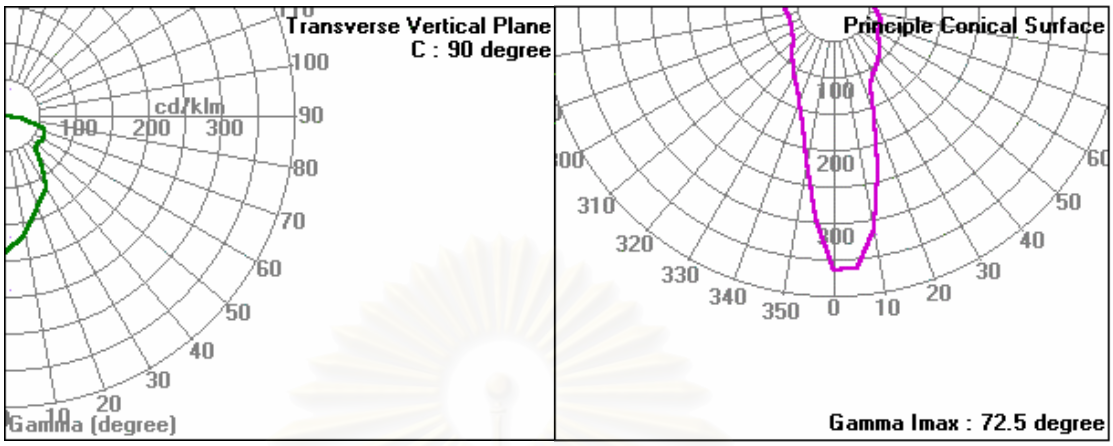
รูปที่ 2.8 การแปลงการกระจายแสงบนผิวกรวยหลักลงบนระนาบธรรมดา

เส้นโค้งโพลาร์บนระนาบดิ่ง 3 ระนาบและบนผิวกรวย 1 อันของโคมไฟถนนตัวอย่าง หนึ่งแสดงในรูปที่ 2.9 ถึงแม้ว่าเส้นโค้งโพลาร์จะทำให้มองเห็นการกระจายความเข้มส่องสว่างของโคมไฟถนนได้ชัดเจนแต่ก็ไม่สะดวกต่อการนำไปใช้ในการคำนวณในรายละเอียด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงมุมที่มีการแปรเปลี่ยนของค่าความเข้มส่องสว่างสูง



(ก) ระนาบดิ่งหลัก (Principal Vertical Plane)

(ข) ระนาบดิ่งที่ขนานกับแนวถนน (Roadway Vertical Plane)



(ค) ระนาบดิ่งที่ตั้งฉากกับแนวถนน (Transverse Vertical Plane)

(ง) พื้นผิวของกรวยหลัก (Principle Conical Surface)

รูปที่ 2.9 ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งโพลาร์ของโคมไฟถนน

3) **เส้นโค้งความเข้มแสงเท่า** (Isocandela Diagram)

การนำเสนอข้อมูลวิธีนี้จะแสดงการกระจายแสงของโคมไฟถนนในลักษณะของกราฟให้เห็นลักษณะการกระจายแสงได้อย่างกระจ่างชัด จะแสดงในรูปของเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าเช่นเดียวกับแผนที่แสดงชั้นความสูงของผิวโลก โดยมีรูปแบบการนำเสนอข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมแบบเส้นโค้งความเข้มแสงเท่า 5 แบบ ดังนี้

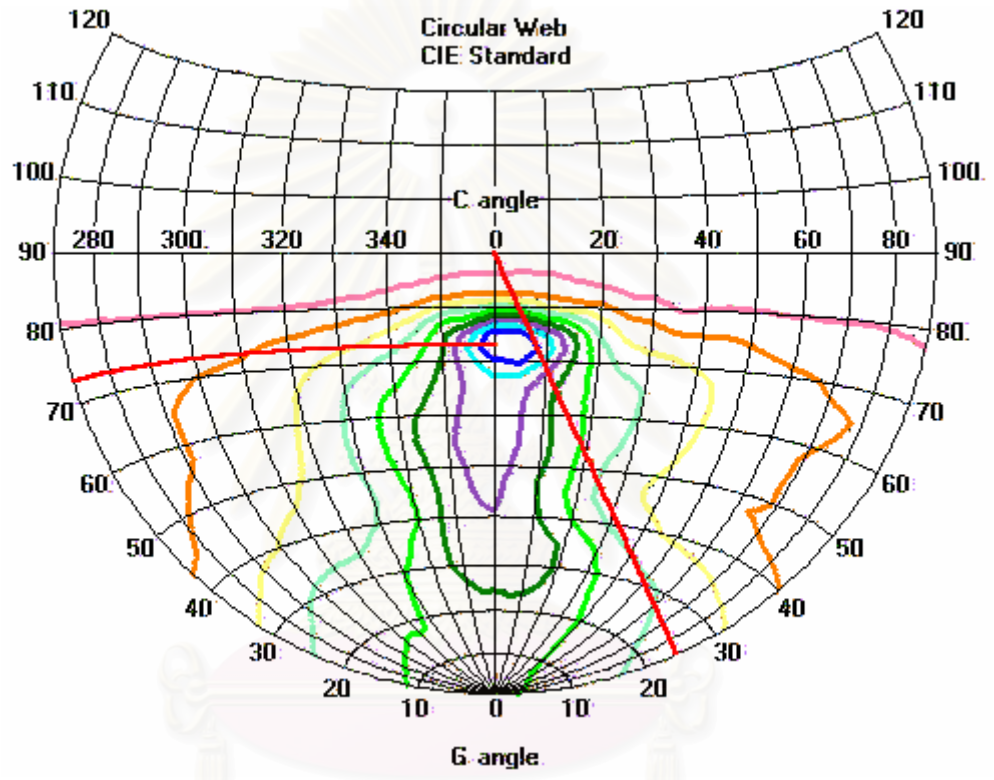
ก) Circular Web เป็นการแสดงเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าบนทรงกลม ถ้าโคมไฟถนนที่มีการกระจายแสงแบบสมมาตร จะแสดงเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าบนครึ่งทรงกลมซีกเดียว โดยมีจุดศูนย์กลางของแผนภูมิ($\gamma = 90°,\ C = 0°$ หรือ $C = 180°$) แทนแนวถนนดังแสดงในรูปที่ 2.10

ข) Sinusoidal Web ดังแสดงในรูปที่ 2.11

ค) Linear Rectangular Web เป็นการแสดงเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าบนรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ แต่ละช่องมีระยะห่างเท่ากัน โดยแกน x (แนวนอน) เป็นค่ามุม C และแกน y (แนวตั้ง) เป็นค่ามุม $\gamma = 0°$ ถึง $\gamma = 90°$ ดังแสดงในรูปที่ 2.12

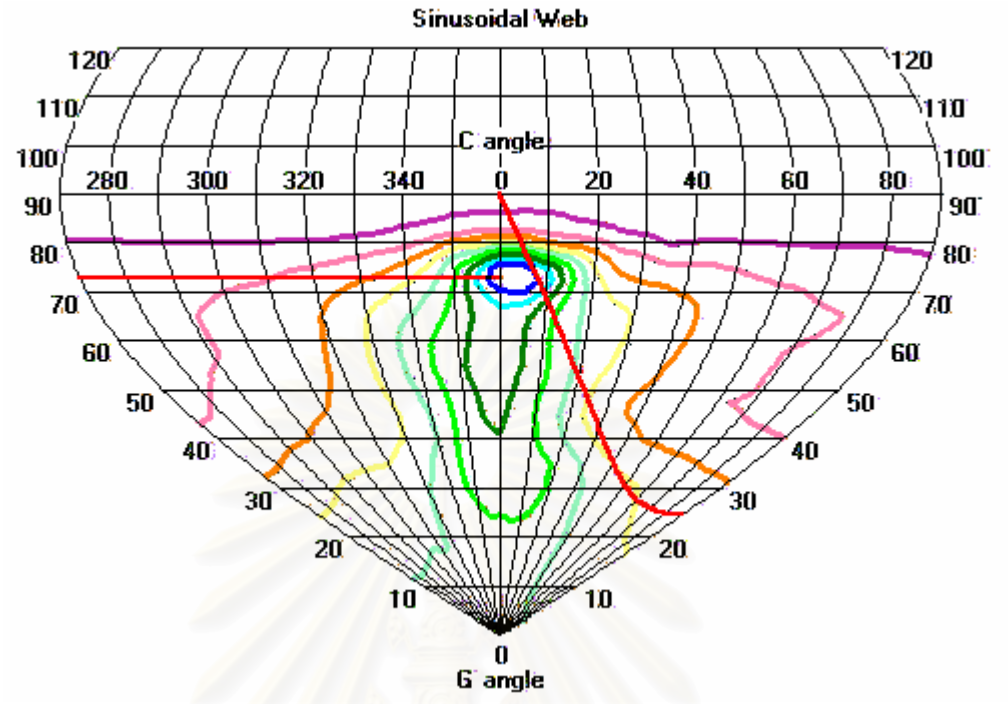
ง) Non Linear Rectangular Web เป็นการแสดงเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าบนรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่แต่ละช่องตามแนวแกน y มีระยะห่างไม่เท่ากัน โดยใช้เงื่อนไขให้พื้นที่

ช่องเล็กๆแทนมุมตัน(Solid angle) โดยแกน x (แนวนอน) เป็นค่ามุม C และแกน y (แนวตั้ง) เป็นค่ามุม $\gamma = 0°$ ถึง $\gamma = 90°$ ดังแสดงในรูปที่ 2.13

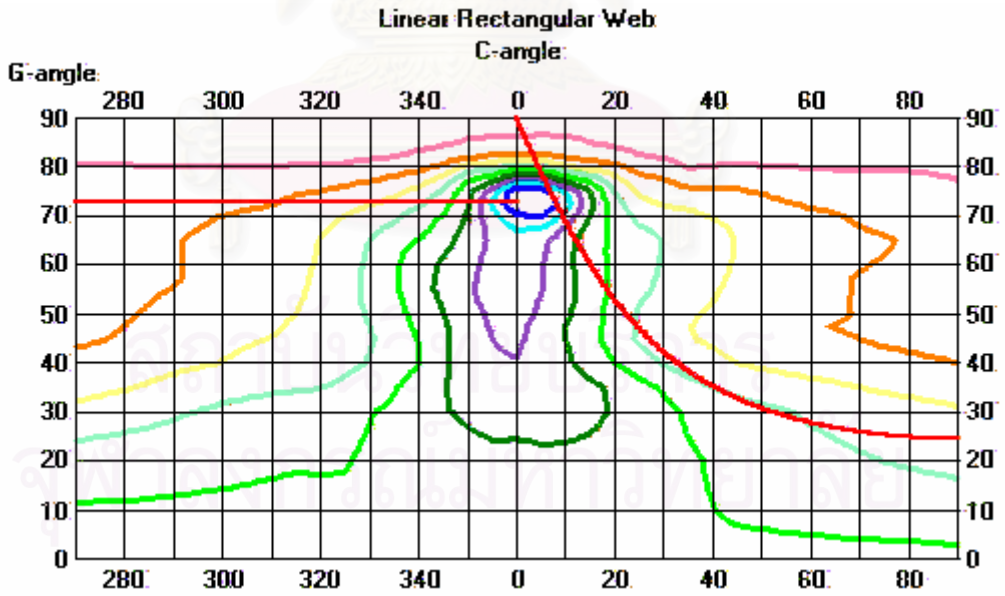


รูปที่ 2.10 เส้นโค้งความเข้มแสงเท่าของโคมไฟถนน (Circular Web)

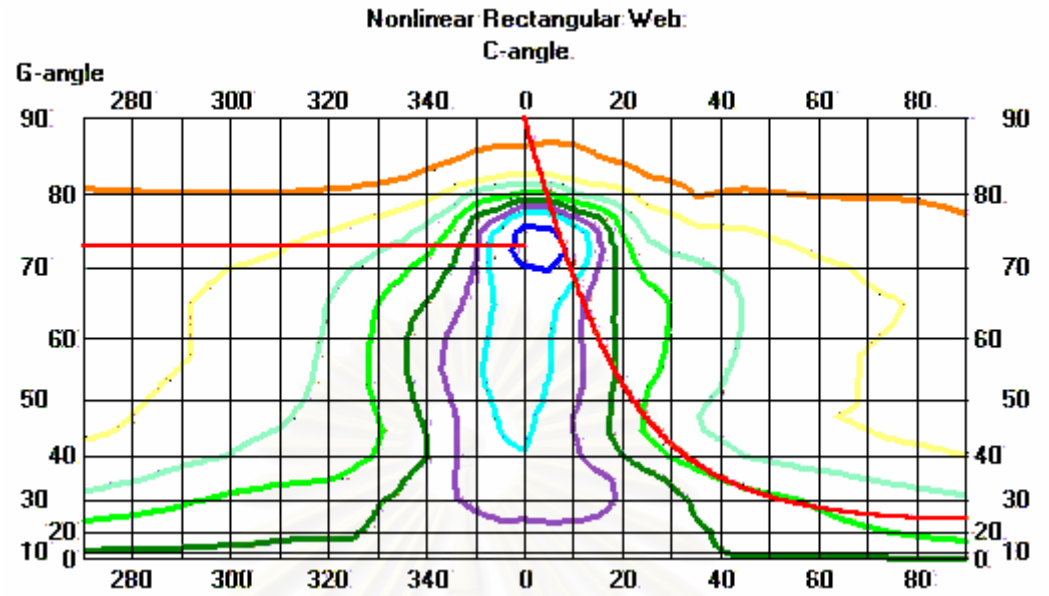
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.11 เส้นโค้งความเข้มแสงเท่าของโคมไฟถนน (Sinusoidal Web)



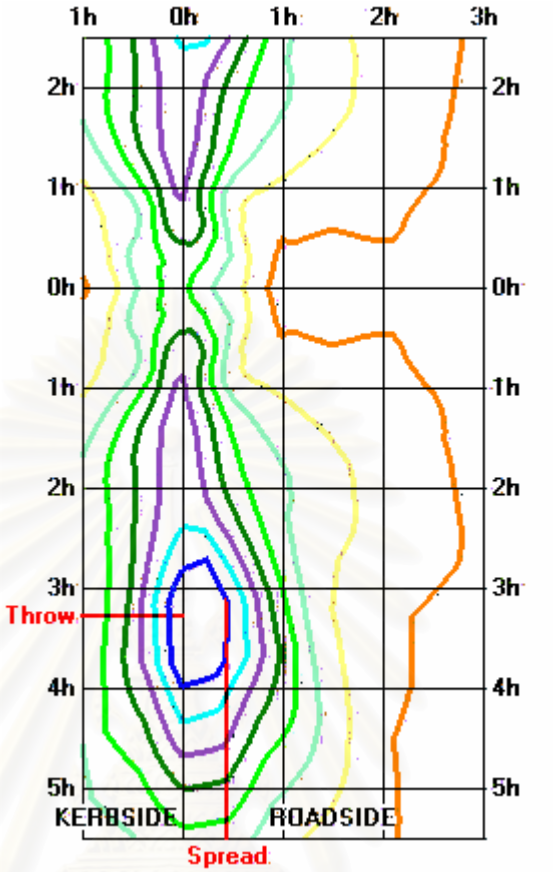
รูปที่ 2.12 เส้นโค้งความเข้มแสงเท่าของโคมไฟถนน (Linear Rectangular Web)



รูปที่ 2.13 เส้นโค้งความเข้มแสงเท่าของโคมไฟถนน (Nonlinear Rectangular Web)

จ) Road Surface (Top View) เป็นการแสดงเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าลงบนพื้นถนน เพื่อแสดงภาพการกระจายความเข้มส่องสว่างของโคมไฟถนนบนพื้นถนนได้อย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 2.14 โดยกำหนดให้คู่ลำดับ (0,0) หมายถึง ตำแหน่งจุดตกของโคมไฟถนนและระยะที่ใช้บนแผนภูมินี้จะแสดงในเทอมของความสูงของโคมไฟถนนเหนือระนาบพื้นถนน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

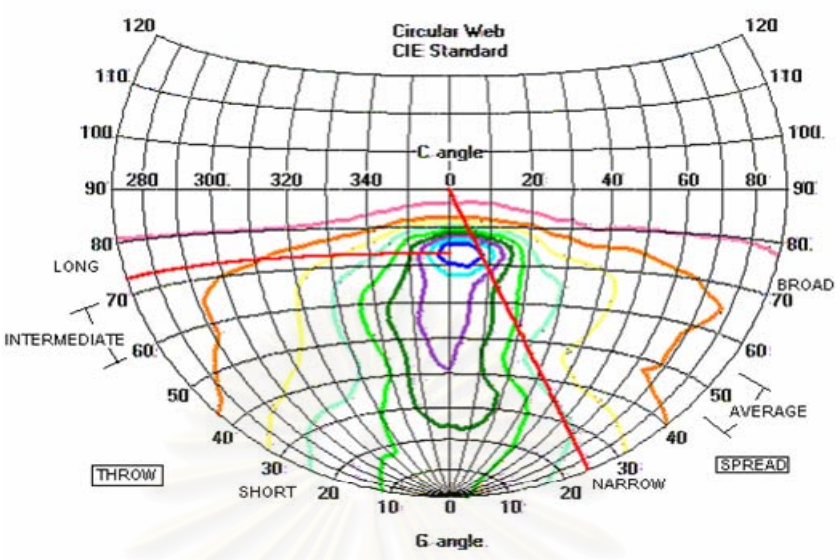


รูปที่ 2.14 เส้นโค้งความเข้มแสงเท่าของโคมไฟถนนที่เขียนลงบนผิวถนน

2.2.3 การจัดประเภทของดวงโคมตามมาตรฐาน CIE [8]

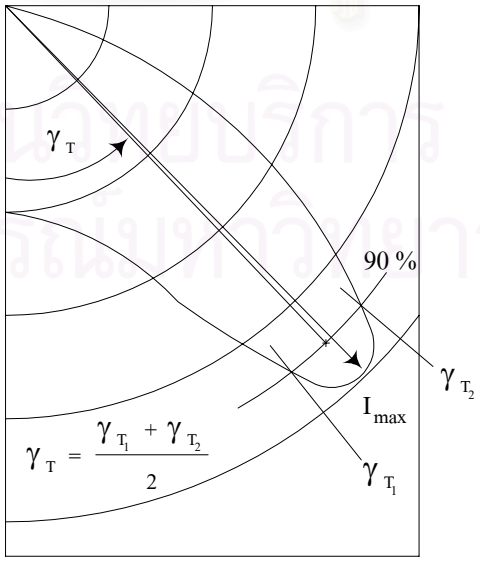
มาตรฐาน CIE ได้แบ่งประเภทของโคมไฟถนนโดยใช้นิยาม Throw, Spread และ Control เป็นตัวบอกรายละเอียดของดวงโคม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

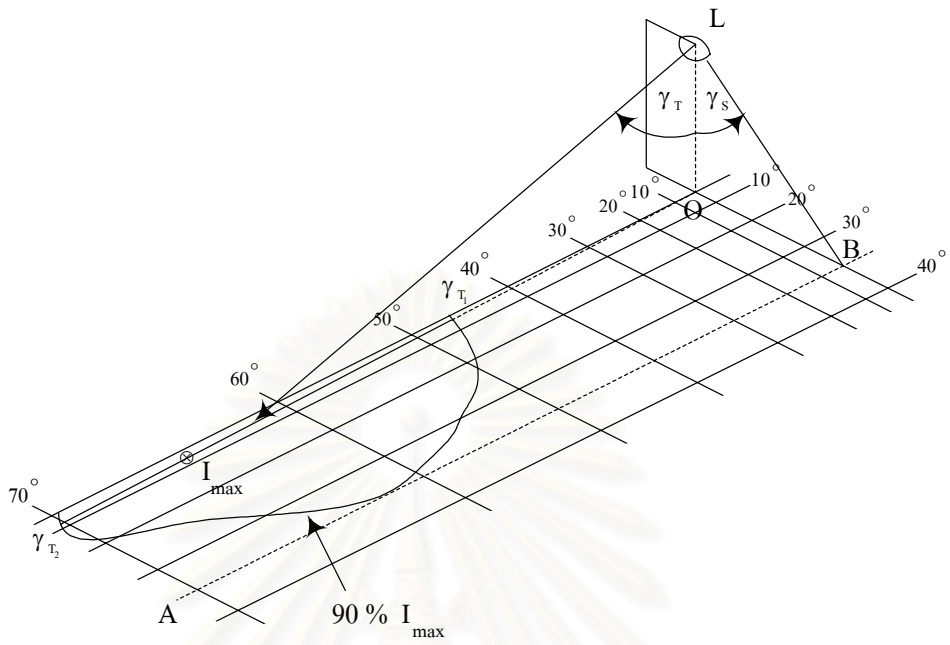


รูปที่ 2.15 นิยามของ Throw และ Spread

Throw ถูกกำหนดด้วยขนาดของมุมศูนย์กลางของลำแสงที่วัดจากแนวดิ่งลง โดยมุมศูนย์กลางของลำแสง (γ_T) อาจหาได้จากเส้นโค้งโพลาร์บนระนาบดิ่งหลัก โดยใช้ค่าเฉลี่ยของมุม γ ที่ค่าความเข้มส่องสว่างร้อยละ 90 ของค่าความเข้มส่องสว่างสูงสุด ดังรูปที่ 2.16 หรือหาได้จากเส้นโค้งความเข้มแสงเท่า โดยใช้ค่าเฉลี่ยของมุม ของเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าขนาดร้อยละ 90 ของค่าความเข้มส่องสว่างสูงสุดในระนาบดิ่งหลักที่ผ่านค่าความเข้มส่องสว่างสูงสุด ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.16 การคำนวณหาขนาดมุม γ_T จากกราฟเส้นโค้งโพลาร์

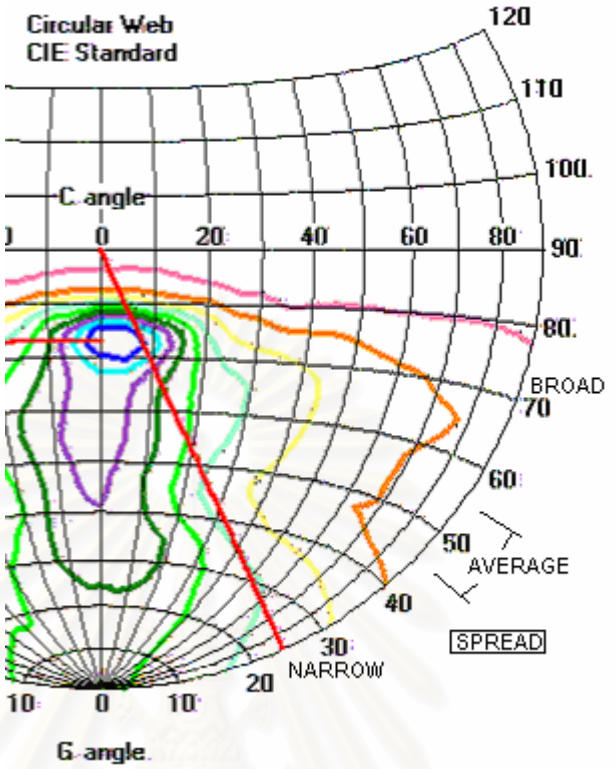


รูปที่ 2.17 การคำนวณหาขนาดมุม γ_T และ γ_s จากกราฟเส้นโค้งความเข้มแสงเท่า

Spread ถูกกำหนดด้วยระยะห่างที่ไกลที่สุดของเส้นแนวถนน (เส้น A-B ในรูปที่ 2.17) ที่สัมผัสกับเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าขนาดร้อยละ 90 ของค่าความเข้มส่องสว่างสูงสุดที่เขียนลงบนผิวถนนดังรูปที่ 2.14 การกำหนดระยะห่างนี้กำหนดด้วยมุม γ_s ซึ่งหาได้จากเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าดังในรูปที่ 2.18 โดยการลากเส้นตรงจากจุด-ศูนย์กลาง ($C = 0°, \gamma = 90°$) สัมผัสขอบเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าขนาดร้อยละ 90 ของค่าความเข้มส่องสว่างสูงสุดทางซีกที่ออกไปทางด้านถนนจนตัดกับขอบของแผนภูมิจะได้ค่า γ_s หรือหาค่า γ_s จากรูปที่ 2.17 ดังสมการที่ (2.8)

$$\gamma_s = \tan^{-1}\left(\frac{OB}{LO}\right) \qquad (2.8)$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.18 การหาค่ามุม γ_S เพื่อระบุ Spread

Control ถูกกำหนดด้วยค่า Specific Lantern Index; SLI โดยที่

$$SLI = 13.84 - 3.31 \log I_{80} + 1.3 \log(I_{80} / I_{88})^{0.5} - 0.08 \log(I_{80} / I_{88}) + 1.29 \log F + C \quad (2.9)$$

เมื่อ I_{80} และ I_{88} คือ ค่าความเข้มส่องสว่างในระนาบ C = 0° ที่มุม γ เท่ากับ 80° และ 88° ตามลำดับ

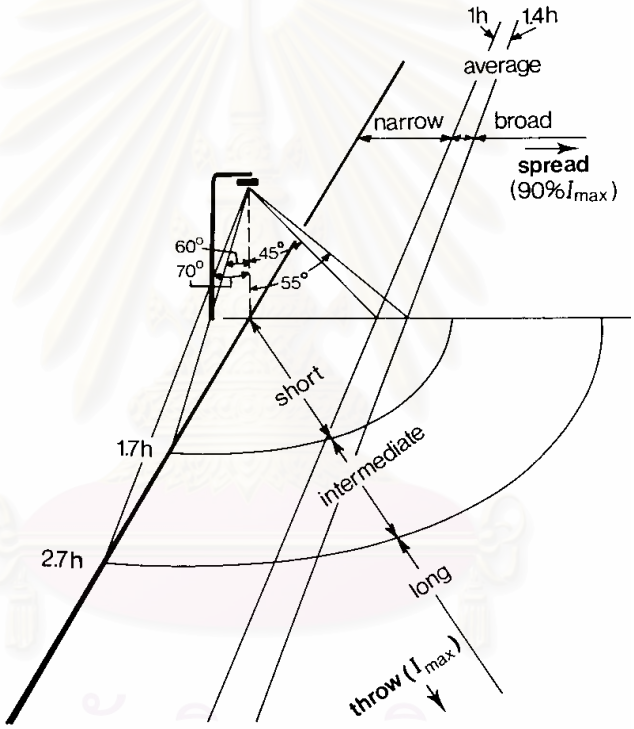
F คือ พื้นที่เปล่งแสงของโคมไฟ (Flashed Area) เมื่อมองที่มุม γ = 76° ในแนวระนาบ C = 0°

C คือ แฟคเตอร์ของแสงจากหลอดไฟ ซึ่งขึ้นกับชนิดของหลอดไฟ โดย C มีค่าเท่ากับ 0.4 สำหรับหลอดโซเดียมความดันต่ำ และ C มีค่าเท่ากับ 0.0 สำหรับหลอดชนิดอื่น ๆ

การจัดประเภทของโคมไฟถนนด้วยตัวแปร Throw, Spread และ Control ตามระบบของ CIE จะกำหนดไว้ ดังแสดงในรูปที่ 2.19 และตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ขนาดพิกัดที่ใช้จัดประเภทของโคมไฟถนน

γ_T Throw	$< 60°$ Short	$60° - 70°$ Intermediate	$> 70°$ Long
γ_s Spread	$< 45°$ Narrow	$45° - 55°$ Average	$> 55°$ Broad
SLI Control	< 2 Limited	$2 - 4$ Moderate	> 4 Tight



รูปที่ 2.19 การจัดประเภทโคมไฟถนนด้วยตัวแปร Throw และ Spread

2.2.4 **การนำเสนอข้อมูลการกระจายแสงของโคมไฟส่อง** (Floodlight)[8]

โคมไฟส่องเป็นดวงโคมที่ถูกออกแบบไว้สำหรับใช้งานภายนอกอาคาร เพื่อส่องสว่างพื้นที่ต่างๆเช่น สนามกีฬา พื้นที่โล่งกลางแจ้ง ไฟถนนสำหรับระบบเสาสูง เป็นต้น ซึ่งการนำเสนอข้อมูลทางแสงของโคมไฟส่องจะประกอบไปด้วยข้อมูลต่างๆ ดังนี้

1) ตารางข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่างของโคมไฟส่อง

การนำเสนอข้อมูลในลักษณะนี้ดูตัวอย่างได้ในรูปที่ 2.20 แสดงความเข้มส่องสว่างที่จุดกึ่งกลางของโซนย่อยขนาด ΔB =8 องศา และ $\Delta\beta$ =10 องศา การแสดงข้อมูลในลักษณะนี้ให้รายละเอียดสูงเหมาะกับการคำนวณที่ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์ช่วย

Classification: B-Beta System
Imaximum = 484 Candela At 44 Degree B , 5 Degree Beta
Field of 10 % of Imax = 48 Candela (102 Degree B , 140 Degree Beta)
Field of 50 % of Imax = 242 Candela (27 Degree B , 96 Degree Beta)

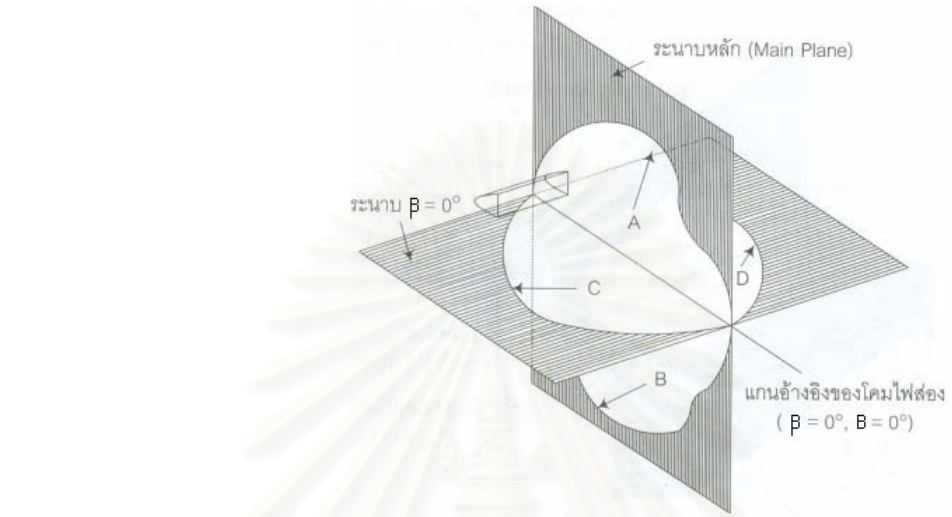
B angle degrees	LUMINOUS INTENSITY (I), cd/1000 lm. Beta angle, degrees									
	0.0	5.0	15.0	25.0	35.0	45.0	55.0	65.0	75.0	85.0
76.0	1	1	2	2	1	2	2	1	1	1
68.0	41	61	98	83	41	35	31	15	3	1
60.0	145	147	143	123	82	61	55	27	4	1
52.0	370	371	391	354	247	194	110	60	11	1
44.0	481	484	466	425	318	268	180	76	23	1
36.0	451	450	425	400	291	194	122	58	23	1
28.0	203	202	192	176	144	112	78	30	23	1
20.0	211	211	207	200	159	141	109	35	23	1
12.0	246	246	237	212	171	155	102	42	20	1
4.0	223	223	218	198	155	129	81	28	16	1
0.0	169	168	164	155	122	109	75	20	15	1
-4.0	156	156	150	134	107	103	68	18	15	1
-12.0	106	106	108	110	96	85	53	14	14	1
-20.0	101	100	97	91	82	68	40	11	15	1
-28.0	88	88	84	79	71	58	31	10	16	1
-36.0	6	6	6	6	5	5	5	7	8	1
-44.0	4	4	4	4	4	4	3	3	3	1
-52.0	3	3	3	3	3	3	3	2	2	1
-60.0	4	4	3	3	3	3	2	2	1	1
-68.0	4	4	3	2	2	2	2	1	1	1
-76.0	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1

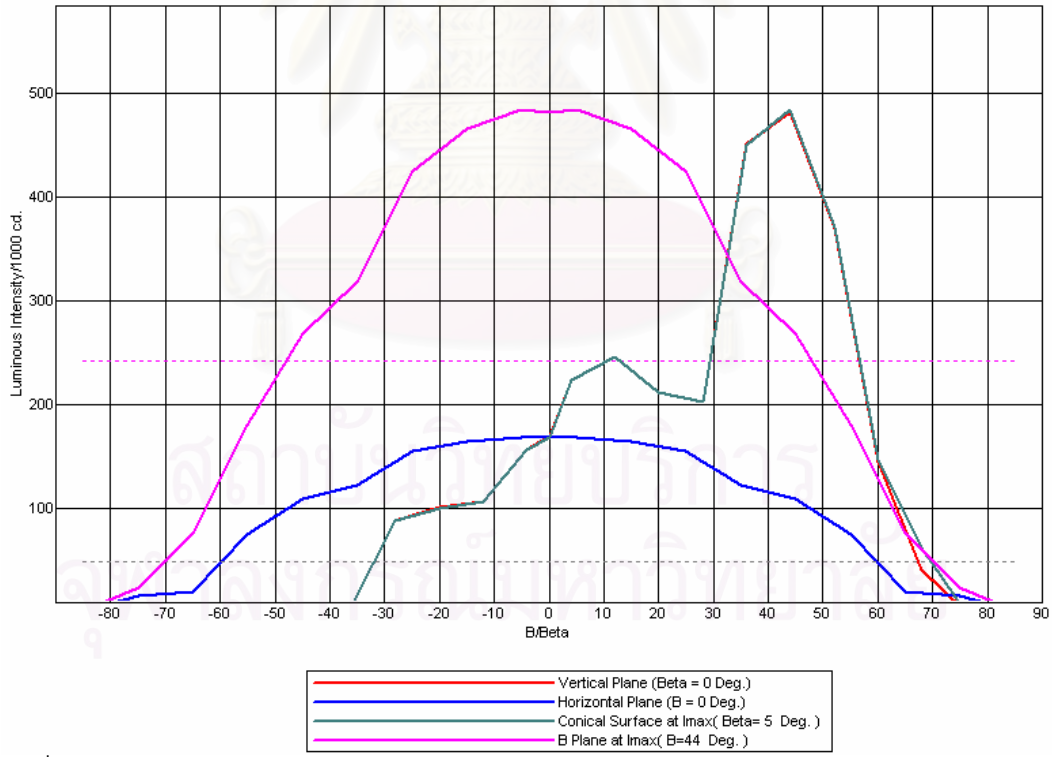
รูปที่ 2.20 ตัวอย่างข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่างของโคมไฟส่องใช้หลอดทังสเตนฮาโลเจน ขนาด 500 วัตต์ (เทียบกับฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดไฟ 1,000 ลูเมน)

2) เส้นโค้งบนแกน I – B และ I - β โคออดิเนต

การนำเสนอข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่างของโคมไฟส่องในลักษณะนี้เป็นการแสดงการกระจายความเข้มส่องสว่างของโคมไฟส่องในระนาบหลัก 2 ระนาบ คือ ระนาบดิ่งและระนาบนอน ซึ่งจะแสดงเส้นโค้งการกระจายความเข้มส่องสว่างของโคมไฟส่องจำนวน 4 เส้น ดูรูปที่ 2.21 ดวงโคมนี้มีความเข้มส่องสว่างสูงสุดในลำแสง (Imax) เกิดอยู่ในระนาบนอนที่มุม=44

องศา และ ระนาบดิ่ง ที่มุม β=5 องศา การนำเสนอข้อมูลแบบนี้มีข้อดีคือสามารถขยายมาตราส่วนของมุม B และมุม β ได้ ถ้าโคมไฟส่องมีความกว้างของลำแสงแบบแคบๆ

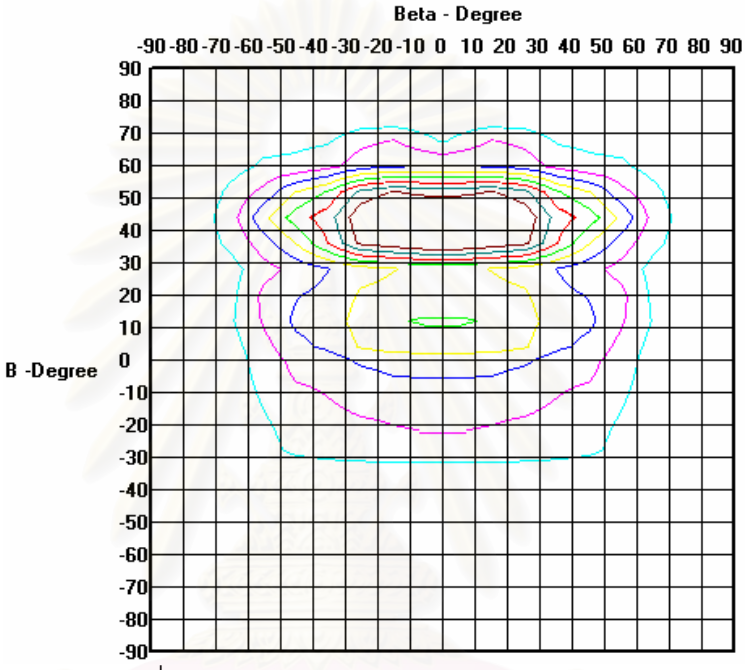




รูปที่ 2.21 ตัวอย่างข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่างของโคมไฟส่องบนระนาบหลัก 4 ระนาบ

3) เส้นโค้งความเข้มแสงเท่า

การนำเสนอข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่างของโคมไฟส่องมักจะแสดงในรูปของเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าเพราะเห็นลักษณะการกระจายความเข้มส่องสว่างของโคมไฟได้อย่างชัดเจน เส้นโค้งความเข้มแสงเท่าแสดงเป็นร้อยละของค่าความเข้มส่องสว่างสูงสุด ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 เส้นโค้งความเข้มแสงเท่าของโคมไฟส่อง

การจัดประเภทความกว้างของลำแสงตามระบบ IES / NEMAของสหรัฐอเมริกาได้แบ่งความกว้างของลำแสงออกเป็น 7 ขนาดด้วยกันดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การจัดประเภทความกว้างของลำแสงตามระบบ IES / NEMA

IES / NEMA	ความกว้างของลำแสง (องศา)
1	10 - 18
2	18 - 29
3	29 - 46
4	46 - 70
5	70 - 100
6	100 - 130
7	130 ขึ้นไป

2.3 การติดตั้งไฟถนน

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งไฟถนนมีดังนี้

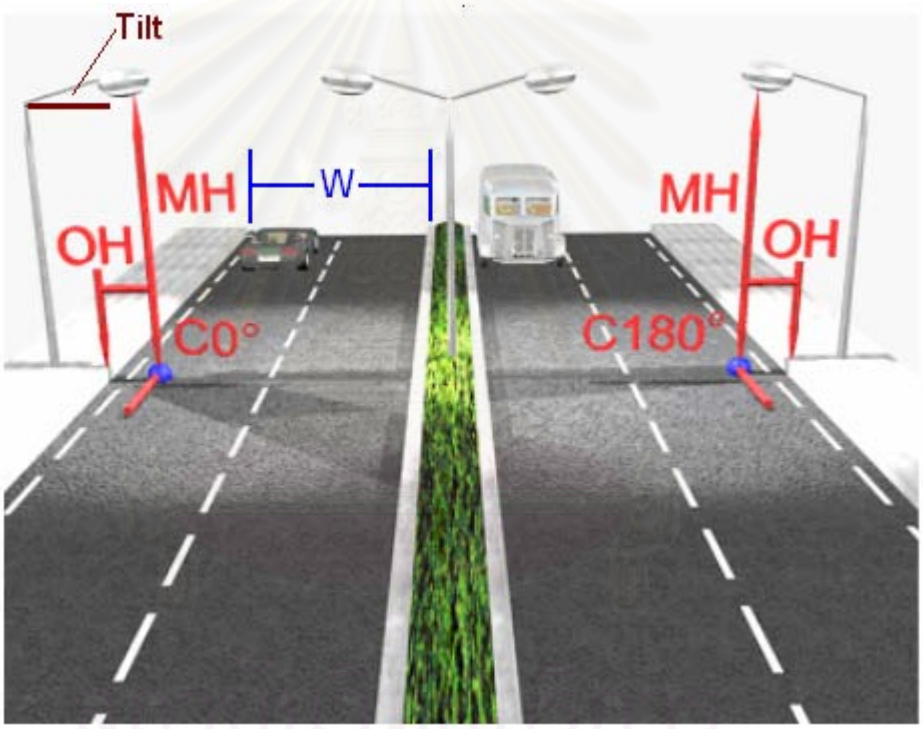
MH คือ ความสูงของการติดตั้งดวงโคม (Mounting Height)

S คือ ระยะห่างระหว่างเสาไฟในแนวเดียวกัน (Spacing)

W คือ ความกว้างของถนน (Road Width)

OH คือ ระยะช่วงยื่น (Overhang)

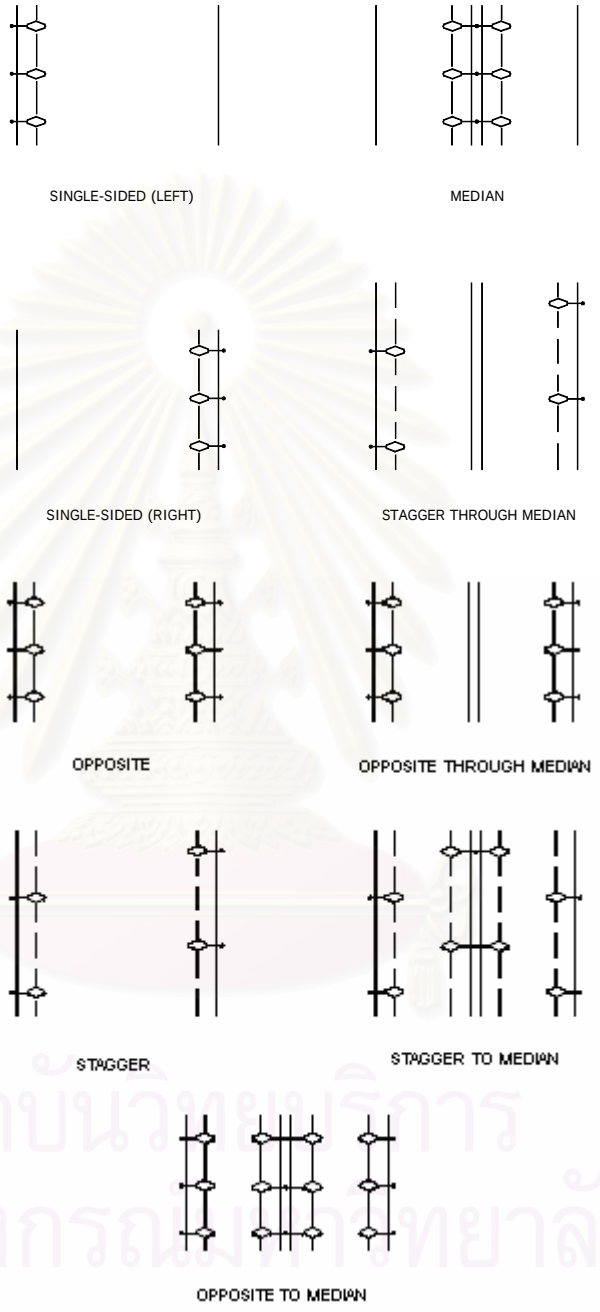
δ คือ มุมเงยของดวงโคม (Tilt Angle)



รูปที่ 2.23 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการติดตั้งโคมไฟถนน

ในกรณีที่จำกัดความสูงของเสาไฟ อาจทำให้ริมถนนด้านตรงข้ามโคมไฟมีแสงไปตกไม่เพียงพอ จึงมีการปรับค่ามุมเงยเพื่อช่วยเพิ่มปริมาณแสงที่จะไปตกให้มากขึ้น แต่การปรับมุมเงยมากเกินไปจะทำให้เกิดแสงจ้าแยงตามากขึ้น ดังนั้นจึงไม่ควรปรับค่ามุมเงยมากจนเกินไป

2.3.1 รูปแบบการติดตั้งเสาไฟ (Arrangement)



รูปที่ 2.24 รูปแบบการติดตั้งไฟถนน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 ประเภทของถนนและมาตรฐานทางแสงสว่างของประเทศไทย

2.4.1 มาตรฐานทางแสงสว่างของไฟถนนตามมาตรฐาน CIE[5]

การให้แสงสว่างบนถนนมีจุดประสงค์เพื่อต้องการให้ยานพาหนะเคลื่อนที่ด้วยความปลอดภัย ให้ผู้เดินถนนเห็นอันตรายที่จะเกิดขึ้น กำหนดทิศทางเดินของตนเองและระบุคนเดินถนนอื่นๆได้ โดยคำนึงถึงความปลอดภัยของตนเองเป็นหลัก รวมทั้งเพิ่มทัศนียภาพของถนนในยามค่ำคืน ดังนั้น มาตรฐาน CIE 115 ปี 1995 จึงแบ่งประเภทของพื้นที่ไว้ 3 แบบ

1) Motor Traffic (M)

พื้นที่บริเวณการจราจรแบ่งตามการทำงานของถนน ความหนาแน่นของการจราจร ความซับซ้อนของการจราจร การแบ่งการจราจรและระบบการควบคุมการจราจรที่ใช้งาน ได้ 4 ประเภท ดังตารางที่ 2.3 ซึ่งถนนดังกล่าวนั้นมีการจัดความส่องสว่างไว้ 5 ระดับ คือ M1 ถึง M5 ดังตารางที่ 2.4 ซึ่งใช้ระดับความส่องสว่างเป็นค่าที่ใช้ในการจัดระดับดังกล่าว โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

- ความส่องสว่าง (L) ซึ่งขึ้นกับ การกระจายแสงของดวงโคม ฟลักซ์ส่องสว่างของดวงโคม การติดตั้งดวงโคม ค่าการสะท้อนแสงของผิวถนน โดยใช้ Lumen Method หรือ Point by Point Method ในการคำนวณ
- ความสม่ำเสมอรวม (U_0) คือ อัตราส่วนของความส่องสว่างต่ำสุดหารด้วยความส่องสว่างเฉลี่ย ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงการมองเห็นได้ต่ำสุดบนถนน
- ความสม่ำเสมอตามแนวยาวถนน (U_1) คือ อัตราส่วนของความส่องสว่างต่ำสุดหารด้วยความส่องสว่างสูงสุด ตามแนวขนานกับถนน
- ในการคำนวณ Disability Glare โดยทั่วไปจะพิจารณาในเทอมของค่า Veiling Luminance (Lv) และค่า Threshold Increment (TI) ซึ่งมีหน่วยเป็นเปอร์เซนต์
- อัตราส่วนโดยรอบ (Surround Ratio, SR) เป็นการคำนึงถึงวัตถุที่เกี่ยวข้องซึ่งอยู่โดยรอบ โดยคำนวณจากอัตราส่วนความสว่างโดยรอบหารด้วยความสว่างบริเวณพื้นที่พิจารณาในทางวิ่งเดียวกัน

ตารางที่ 2.3 การแบ่งประเภทของถนนสำหรับ Motor Traffic

Description of Road	Lighting Class
High speed road with separate carriageways, free of crossings at grade and with complete access control;	
Traffic density and complexity of road layout :	
High	M1
Medium	M2
Low	M3
High speed roads, dual carriageway roads.	
Traffic control and separation of different types of road users.:	
Poor	M1
Good	M2
Important urban traffic routes, radial roads, district distributor roads.	
Traffic control and separation of different types of road user.	
Poor	M2
Good	M3
Connecting less important roads, local distributor roads, residential major access roads. Roads which provide direct access to property and lead to connecting roads.	
Traffic control and separation of different types of road user.	
Poor	M4
Good	M5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 การแบ่งระดับความส่องสว่างสำหรับ Motor Traffic

LIGHTING CLASS	EXTENT OF APPLICATION				
	All Roads	All Roads	All Roads	Roads with few or no Intersections	Roads with Footways not lit to Classes P1 to P4
	$\bar{L}$ (cd/m^2) Minimum Maintained	U_o Minimum	TI (%) Maximum Initial	U_1 Minimum	SR Minimum
M1	2.0	0.4	10	0.7	0.5
M2	1.5	0.4	10	0.7	0.5
M3	1.0	0.4	10	0.5	0.5
M4	0.75	0.4	15	NR	NR
M5	0.5	0.4	15	NR	NR

2) Conflict Area (C)

พื้นที่บริเวณทางแยก ทางร่วม ทางรถยนต์ที่มีการใช้งานร่วมกับจักรยานยนต์หรือผู้ใช้ถนนอื่นๆ ทางลดขนาด เช่น ลดจำนวนช่องวิ่งหรือลดขนาดของช่องวิ่ง และทางที่มีสิ่งกีดขวางทางข้างถนน เช่น ต้นไม้ใหญ่ จึงแบ่งพื้นที่ของถนนได้ 5 ประเภท ดังตารางที่ 2.5 โดยพื้นที่ดังกล่าวมีการจัดระดับความสว่างไว้ 6 ระดับ คือ C0 ถึง C5 ดังตารางที่ 2.6 ซึ่งใช้ระดับความสว่างและความสม่ำเสมอรวมของความสว่างเป็นค่าที่ใช้ในการกำหนด เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะถนนแบบทันทีทันใด จึงไม่สามารถกำหนดด้วยระดับความส่องสว่างได้ ในทางปฏิบัติจะวิเคราะห์ค่า TI ได้ยาก เนื่องจากลักษณะการวางตำแหน่งดวงโคม หรือการเปลี่ยนจุดมองของคนขับรถ เพื่อลดผลของ Disability Glare จึงควบคุมคุณภาพทางอ้อม โดยกำหนดค่าความเข้มส่องสว่างของดวงโคมไม่เกิน 30 cd/klm ที่มุม 80° และไม่เกิน 10 cd/klm ที่มุม 90° จากแนวระดับ

ตารางที่ 2.5 การแบ่งประเภทของถนนสำหรับ Conflict Area

CONFLICT AREA	ILLUMINANCE LIGHTING CLASS
Underpasses	C(N)=M(N)
Junctions, gores, ramps,weaving sections, areas with restricted lane width	C(N)=M(N-1)
Railroad crossing: simple complex	 C(N)=M(N) C(N)=M(N-1)
Roundabouts with no signals: Complex or large Medium complexity Simple or small	 C1 C2 C3
Queuing areas: Complex or large Medium complexity Small or simple	 C1 C3 C5

ตารางที่ 2.6 การแบ่งระดับความสว่างสำหรับ Conflict Area

LIGHTING CLASS	$\overline{E}$ (lx) over whole of used surface Minimum Maintained	U_0 Uniformity of Illuminance Minimum
C0	50	0.4
C1	30	0.4
C2	20	0.4
C3	15	0.4
C4	10	0.4
C5	7.5	0.4

3) Pedestrian Traffic (P)

พื้นที่บริเวณคนเดินแบ่งออกเป็น 7 ประเภท ดังตารางที่ 2.7 ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวมีการจัดระดับความสว่างไว้ 7 ระดับ คือ P1 ถึง P7 ดังตารางที่ 2.8 ซึ่งใช้ค่าความสว่างตามแนวนอนบนผิวถนนหรือผิวฟุตบาทและค่าความสว่างตามแนวตั้งบนหน้าคน โดยคิดที่ระดับความสูง 1.5 เมตร เป็นตัวกำหนดระดับความสว่างของถนนแต่ละประเภท

ตารางที่ 2.7 การแบ่งประเภทของถนนสำหรับ Pedestrian Traffic

DESCRIPTION OF ROAD	LIGHTING CLASS
High prestige roads	P1
Heavy night-time use by prdestrians or pedal cyclists	P2
Moderate night-tme use by pedal cyclists or pedestrians	P3
Minor night-time use by pedal cyclists or pedestrians solely associated with adjacent properties.	P4
Minor night-time use by pedal cyclists or pedestrians solely associated with adjacent properties. Important to preserve village or architectural character of environment	P5
Very minir night-time use by pedal cyclists or pedestrians solely associated with adjacent properties. Important to preserve village or architectural character of environment	P6
Roads where only visual guidance provided by the direct light from the luminaires is required	P7

ตารางที่ 2.8 การแบ่งระดับความสว่างสำหรับ Pedestrian Traffic

LIGHTING CLASS	HORIZONTAL ILLUMINANCE (lx) on whole of used surface maintained	
	AVERAGE	MINIMUM
P1	20	7.5
P2	10	3
P3	7.5	1.5
P4	5	1
P5	3	0.6
P6	1.5	0.2
P7	Not applicable	Not applicable

2.4.2 มาตรฐานทางแสงสว่างของไฟถนนของประเทศไทย

การทางพิเศษแห่งประเทศไทย

ความสว่างเฉลี่ย

- บนทางยกระดับ 21.5 Lux
- บนทางขึ้น / ลง 15 Lux
- บริเวณด่านเก็บค่าผ่านทาง 40 Lux

ความสม่ำเสมอของความสว่าง

- Emin / Eav $\geq$ 1 / 2.5 ($\geq$ 0.40)
- Emin / Emax $\geq$ 1 / 6 ($\geq$ 0.17)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรมทางหลวง

ตารางที่ 2.9 ความสว่างเฉลี่ยต่ำสุดตามประเภทของถนน

ประเภทถนน	ความสว่างเฉลี่ยในแนวนอนต่ำสุด (lx)		
	พื้นที่กลางเมือง Central–Urban Areas	พื้นที่ในเมือง Sub– Urban Area	พื้นที่ชนบท Rural Areas
มอเตอร์เวย์	21.5	15.0	10.75
ทางแยก	21.5	21.5	15.0
ทางสายหลัก	21.5	13.0	9.7
ทางสายรอง	13.0	9.7	6.5
ทางสายท้องถิ่น	9.7	6.5	2.1

ความสม่ำเสมอของความสว่าง

- Emin / Eav $\geq$ 1 / 2.5 ($\geq$ 0.40)
- Emin / Emax $\geq$ 1 / 6 ($\geq$ 0.17)

การไฟฟ้านครหลวง

ความสว่างเฉลี่ยแนวราบ

- ไฟถนน /ไฟเชิงลาด / ไฟถนนยกระดับ 21.5 Lux

ความสม่ำเสมอของความสว่าง

- Emin / Eav $\geq$ 1 / 3 ($\geq$ 0.33)

ค่าตัวประกอบการบำรุงรักษา 0.8

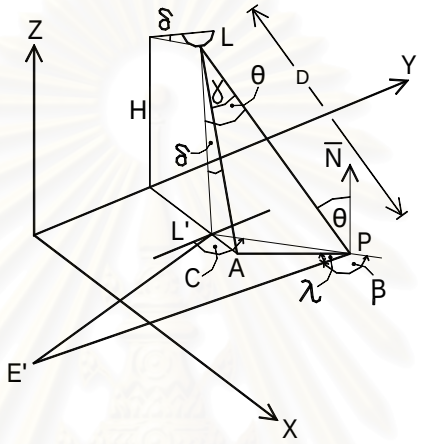
ค่าความสว่างเฉลี่ยในแนวราบเริ่มต้น 26.8 Lux

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การคำนวณความสว่างบนพื้นถนน

การคำนวณค่าความสว่างที่จุดใดๆบนพื้นถนนที่กล่าวถึงในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้ วิธีจุดต่อจุด (Point By Point)



รูปที่ 3.1 ตำแหน่งและมุมต่างๆ

$$E_P = \frac{I(C,\gamma)\cos(\theta)}{LP^2} \times \frac{\phi_L}{\phi_B} \quad \text{Lux} \qquad (3.1)$$

การคำนวณค่าความสว่างของระบบเสาธรรมดาและระบบเสาสูงนั้น ไม่ว่าลักษณะถนนจะเป็นอย่างไร สิ่งที่ต้องหาให้ได้คือ Unit Normal Vector $\left(\overline{N}\right)$ ซึ่งเกิดจาก $\overline{U}\times\overline{V}$ ณ จุดที่กำลังพิจารณาใดๆ (จุด P) เพื่อคำนวณมุมต่างๆ แล้วกลับไปแทนในสมการ (3.1)

3.1 การคำนวณเวกเตอร์ปกติ (Normal Vector)[11]

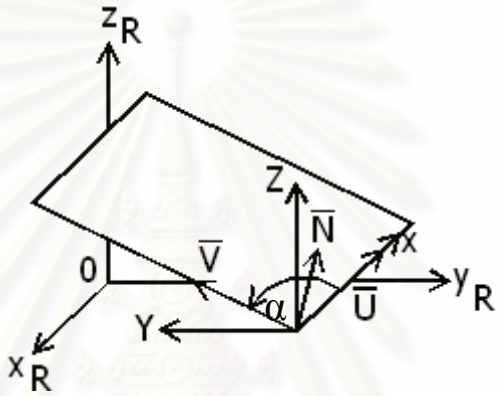
การคูณของเวกเตอร์กับเวกเตอร์นั้นแยกได้ 2 กรณี ผลคูณสเกลาร์ (dot product) และผลคูณเวกเตอร์(cross product) ในกรณีที่เป็นเวกเตอร์ในสองมิติและสามมิติ ให้ $\overline{U}$ และ $\overline{V}$ เป็น เวกเตอร์สองเวกเตอร์ที่ไม่ใช่เวกเตอร์ศูนย์และเวกเตอร์นี้มีจุดเริ่มต้นอยู่ที่จุดเดียวกัน

มุมระหว่าง $\overline{U}$ และ $\overline{V}$ ที่สอดคล้องตาม $0 \le \alpha \le \pi$ เมื่อทำการ cross product ระหว่างเวกเตอร์ทั้งสองจะได้ เวกเตอร์ตั้งฉากเกิดขึ้น ดูรูปที่ 3.2 ประกอบ

นิยาม ถ้า $\vec{U}=(u_1,u_2,u_3)$ และ $\vec{V}=(v_1,v_2,v_3)$ เป็นเวกเตอร์สองเวกเตอร์ใน 3 มิติ แล้ว ผลคูณไขว้ (cross product) จะได้เวกเตอร์ตั้งฉาก ซึ่งเป็นเวกเตอร์ที่กำหนดได้โดย

$$\vec{U}\times\vec{V}=\left(\begin{vmatrix}u_2 & u_3\\ v_2 & v_3\end{vmatrix},-\begin{vmatrix}u_1 & u_3\\ v_1 & v_3\end{vmatrix},\begin{vmatrix}u_1 & u_2\\ v_1 & v_2\end{vmatrix}\right)=\vec{N}$$

$$\text{Unit Normal Vector}=\frac{\vec{N}}{\left|\vec{N}\right|} \qquad (3.2)$$



รูปที่ 3.2 เวกเตอร์ตั้งฉากบนระนาบ

คุณสมบัติต่อไปนี้เป็นความสัมพันธ์ระหว่างผลคูณสเกลาร์และผลคูณเวกเตอร์ และเป็นเครื่องหมายแสดงด้วยว่า $\vec{N}=\vec{U}\times\vec{V}$ ซึ่งตั้งฉากกับเวกเตอร์ $\vec{U}$ และ $\vec{V}$

ทฤษฎีบท ให้ $\vec{U}$ และ $\vec{V}$ เป็นเวกเตอร์ ใน 3 มิติ แล้ว ข้อต่อไปนี้เป็นจริงเสมอ

(a) $\vec{U}\bullet(\vec{U}\times\vec{V})=0$ แสดงว่า $\vec{U}\times\vec{V}$ ตั้งได้ฉากกับ $\vec{U}$

(b) $\vec{V}\bullet(\vec{U}\times\vec{V})=0$ แสดงว่า $\vec{U}\times\vec{V}$ ตั้งได้ฉากกับ $\vec{V}$

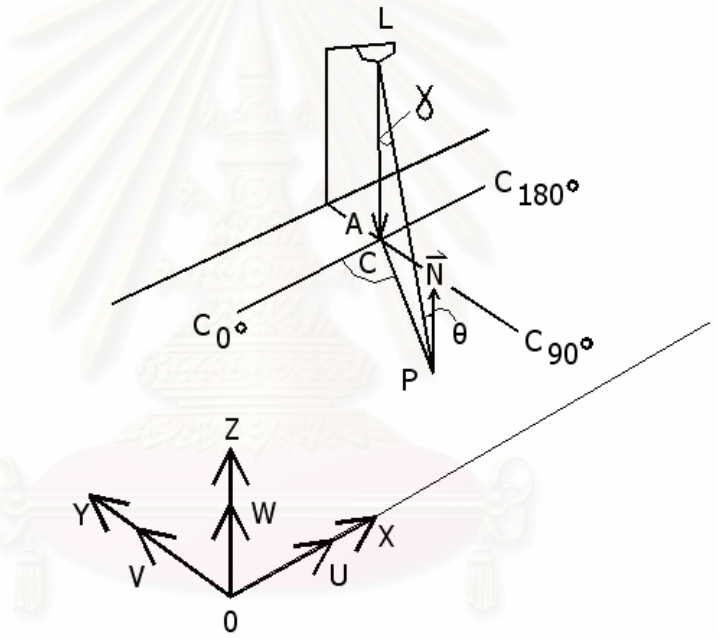
การคำนวณความสว่างบนผิวถนนแบ่งตามระบบเสาไฟที่ใช้ติดตั้งได้ 2 ประเภท ได้แก่ ระบบเสาธรรมดาและระบบเสาสูง โดยติดตั้งทั้งบนถนนทางตรงและถนนทางโค้งที่มีลักษณะต่างกัน ได้แก่ ลักษณะถนนที่เป็นพื้นราบ ลักษณะถนนลาดขึ้นหรือลาดลง ลักษณะถนนเอียงข้างและ สุดท้ายคือลักษณะถนนที่ลาดขึ้นหรือลาดลงและเอียงข้างไปด้วย ซึ่งการคำนวณค่าความสว่างบนลักษณะถนนที่ต่างกันนั้นจะใช้หลักการเดียวกัน โดยตำแหน่งจุดที่พิจารณาอยู่บนผิวถนนใช้ระบบแกน UVW ซึ่งแกนทั้ง 3 ไม่จำเป็นต้องตั้งฉากกัน ดังนั้นจำเป็นต้องแปลงจุดที่พิจารณาบนระบบแกน UVW มาอยู่บนระบบแกน XYZ ซึ่งแกนทั้ง 3 ตั้งฉากกัน เพื่อให้หาระยะขจัดจริง เช่นระยะ LP (ระยะห่างระหว่างดวงโคมกับจุดที่กำลังพิจารณาหาค่า E)

ผลการคำนวณค่าความสว่างถูกนำเสนอในรูปกราฟฟิก 2 มิติ จึงต้องฉายจุดที่พิจารณา (PPx, PPy) ให้อยู่บนระบบแกนอ้างอิงหลัก $X_R Y_R Z_R$ ซึ่งเป็นระบบแกนหลักของถนนทุกลักษณะ เพื่อให้อยู่บนระบบแกนอ้างอิงเดียวกัน

ในที่นี้แสดงวิธีคำนวณความสว่างกรณีถนนทางตรงจากลักษณะถนนที่ต่างกัน 4 ลักษณะ ดังกล่าวข้างต้น ส่วนกรณีถนนโค้งนั้นใช้หลักการเช่นเดียวกับถนนตรง

3.2 การคำนวณความสว่างของระบบเสาธรรมดา (Conventional System)

3.2.1 ระบบเสาธรรมดา (กรณีถนนทางตรง - พื้นราบ)



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งของโคม จุดที่พิจารณาบนผิวถนนและมุมต่างๆ

I(C, γ) = Luminous Intensity ของดวงโคมที่มุม γ บนระนาบ C

θ = มุมแสงตกกระทบที่จุด P

C = มุมของระนาบแสดงการกระจายความเข้มส่องสว่างของดวงโคมผ่าน ณ จุดที่พิจารณา

D = ระยะห่างระหว่างจุด P กับตำแหน่งดวงโคม LP

เนื่องจากกรณีถนนทางตรงพื้นราบ ระบบแกน UVW คือระบบแกนเดียวกับ XYZ จากข้อมูลที่ให้มาคือ ตำแหน่งของ L และ P บนระนาบ UVW Lu, Lv, Lw, Pu และ Pv จะได้ตำแหน่งเล็งของดวงโคม $Au = Lu$ และ $Av = Lv$ แปลงเป็นระบบ XYZ จะได้

$(Lx, Ly, Lz) = (Lu, Lv, Lw) =$ ตำแหน่งของดวงโคมตามแกน X, Y และ Z

$(Ax, Ay, Az) = (Au, Av, Aw) = (Lu, Lv, 0) =$ ตำแหน่งจุดเล็งของโคมไฟตามแกน XYZ

$(Px, Py, Pz) = (Pu, Pv, 0) =$ ตำแหน่งของจุดที่พิจารณาบนพื้นถนนตามแกน X และแกน Y

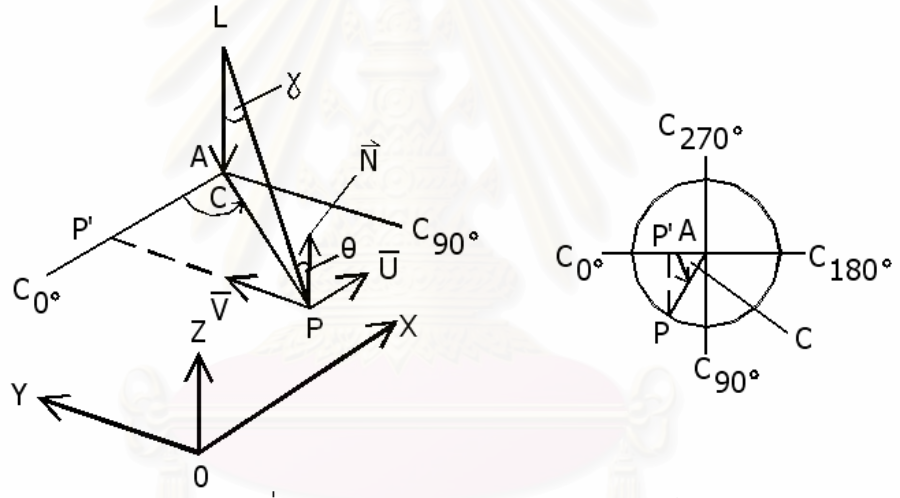
$(PPx, PPy) = (Pu, Pv) =$ ตำแหน่งของจุดที่พิจารณาฉายลงบนแกน X และแกน Y

$$\gamma = \cos^{-1}\left(\frac{LA^2 + LP^2 - AP^2}{2 \cdot LA \cdot LP}\right) \tag{3.3}$$

$$LP = \sqrt{(Px - Lx)^2 + (Py - Ly)^2 + (Pz - Lz)^2} \tag{3.4}$$

$$LA = \sqrt{(Ax - Lx)^2 + (Ay - Ly)^2 + (Lz)^2} \tag{3.5}$$

$$AP = \sqrt{(Px - Ax)^2 + (Py - Ay)^2 + (Pz - Az)^2} \tag{3.6}$$



รูปที่ 3.4 การคำนวณมุม C, θ และ $\overline{N}$

$$C = \cos^{-1}\left(\frac{P'A}{PA}\right)$$

$$C = \cos^{-1}\left(\frac{Ax - Px}{LP \cdot \sin\gamma}\right) \tag{3.7}$$

กำหนดให้ $\overline{U}$ และ $\overline{V}$ มีขนาด 1 หน่วย จะได้ $\overline{U} = [1,0,0]$, $\overline{V} = [0,1,0]$

$\overline{N} = \overline{U} \times \overline{V} = \left[\overline{N}x, \overline{N}y, \overline{N}z\right] =$ ตำแหน่งเวกเตอร์ตั้งฉากขนาด 1 หน่วย ที่จุด P บนระนาบ UVW

$$\overline{N} = [0,0,1]$$

หาตำแหน่งของ N บนระนาบ XYZ ได้จาก

$$(Nx, Ny, Nz) = \left(Px + \overline{N}x, Py + \overline{N}y, \overline{N}z\right) = (Pu, Pv, 1)$$

$$\left(\overline{PN}\right)^2 = \overline{N} = 1$$

$$\left(\overline{LN}\right)^2 = \left(L_x - N_x\right)^2 + \left(L_y - N_y\right)^2 + \left(L_z - N_z\right)^2 \qquad (3.8)$$

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{LP^2 + 1 - LN^2}{2 \cdot LP}\right) \qquad (3.9)$$

โดยทั่วไปการติดตั้งดวงโคมจะมีค่ามุมเงย(Tilt Angle)เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย การคำนวณค่าความสว่างที่จุด P บนผิวถนนจึงเป็นดังสมการ (3.10-3.16) (พิจารณารูปที่ 3.5 และ 3.6)

ข้อมูลที่ให้มาคือ Lu, Lv, Lw, Pu, Pv และมุมเงย(δ) จะได้

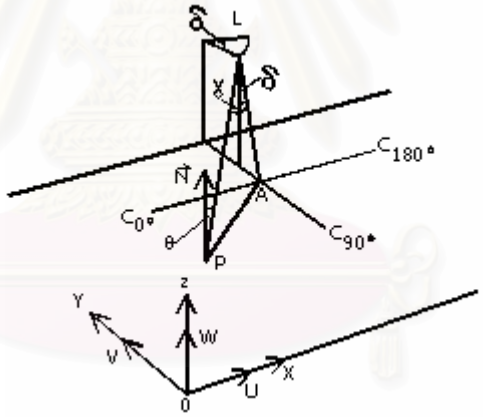
$\left(Au, Av\right) = \left(Lu, Lv - Lw\tan\delta\right)$ แปลงไปบนระบบแกน XYZ จะได้

$$\left(Lx, Ly, Lz\right) = \left(Lu, Lv, Lw\right)$$

$$\left(Ax, Ay, Az\right) = \left(Au, Av, 0\right) = \left(Lu, Lv - Lw\tan\delta, 0\right)$$

$$\left(Px, Py, Pz\right) = \left(Pu, Pv, 0\right)$$

$$\left(PPx, PPy\right) = \left(Pu, Pv\right)$$



รูปที่ 3.5 ตำแหน่งของโคม มุมต่างๆและจุดที่พิจารณาบนผิวถนน

$$\gamma = \cos^{-1}\left(\frac{LA^2 + LP^2 - AP^2}{2 \cdot LA \cdot LP}\right) \qquad (3.10)$$

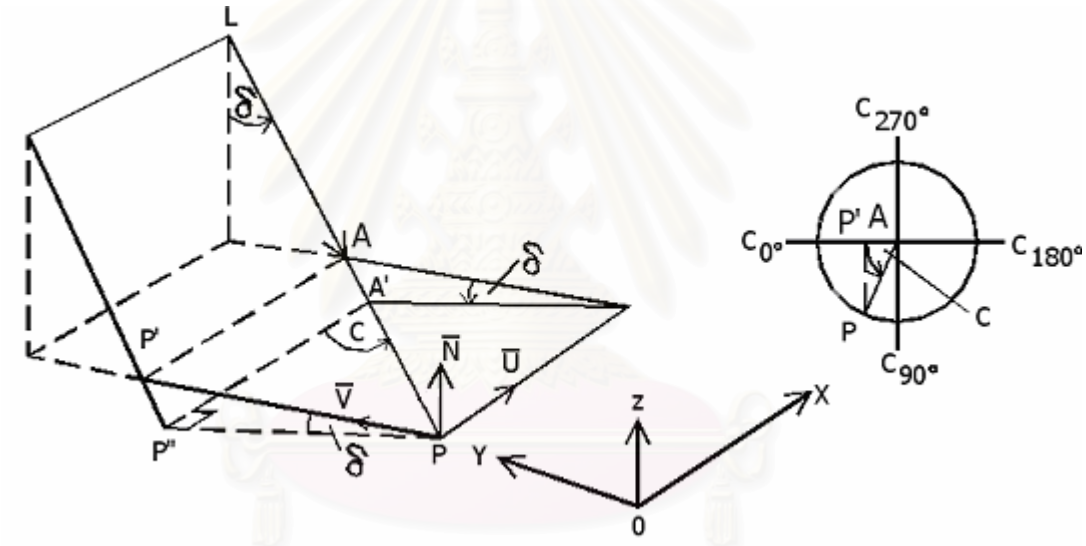
$$\mathrm{LP} = \sqrt{(\mathrm{Px} - \mathrm{Lx})^2 + (\mathrm{Py} - \mathrm{Ly})^2 + (\mathrm{Pz} - \mathrm{Lz})^2} \qquad (3.11)$$

$$LA = \sqrt{(Ax - Lx)^2 + (Ay - Ly)^2 + (Az - Lz)^2} \qquad (3.12)$$

$$AP = \sqrt{(Px - Ax)^2 + (Ay - Py)^2 + (Az - Pz)^2} \qquad (3.13)$$

การคำนวณค่ามุม C เนื่องจากมีมุมเล็งเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ระนาบมุม C ที่จุดเล็งและจุดคำนวณไม่ตั้งฉากกับพื้นถนน ดังนั้นจะต้องลากเส้นต่อจากเส้น LA จนกระทั่งตั้งฉากกับเส้นตรงที่ลากจากจุด P ที่จุด A' ซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางดังรูปที่ 3.6

$$
\begin{aligned}
C &= \cos^{-1}\left(\frac{P''A'}{PA'}\right) \\
&= \cos^{-1}\left(\frac{P'A}{LP\cdot\sin\gamma}\right) \\
&= \cos^{-1}\left(\frac{Ax - Px}{LP\cdot\sin\gamma}\right)
\end{aligned}
\qquad (3.14)
$$



รูปที่ 3.6 การคำนวณมุม C, θ และ $\overline{N}$

$$\overline{N} = \overline{U}\times\overline{V} = [0,0,1]$$

$$(Nx, Ny, Nz) = (Px + \overline{N}x, Py + \overline{N}y, \overline{N}z) = (Pu, Pv, 1)$$

$$
\begin{aligned}
PN^2 &= \overline{N} = 1 \\
LN^2 &= (Lx - Nx)^2 + (Ly - Ny)^2 + (Lz - Nz)^2 \\
&= (Lu - Pu)^2 + (Lv - Pv)^2 + (Lw - 1)^2
\end{aligned}
\qquad (3.15)
$$

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{LP^2 + 1 - LN^2}{2\cdot LP}\right) \qquad (3.16)$$

จากค่า C และมุม γ นำไปคำนวณหาค่า Luminous Intensity จากตาราง I ของดวงโคมแล้วแทนค่าลงสมการ (3.1) เพื่อ หาค่าความสว่าง

3.2.2 ระบบเสาธรรมดา (กรณีถนนตรง - ลาดขึ้นหรือลาดลง)

พิจารณารูปที่ 3.7 และ รูปที่ 3.8 ข้อมูลที่ให้มา Lu, Lv, Lw, Pu, Pv และมุม α จะได้ $(Au, Av) = (Lu, Lv)$ แปลงตำแหน่งของจุดต่างๆบนระนาบ UVW เป็นระบบแกน XYZ จะได้

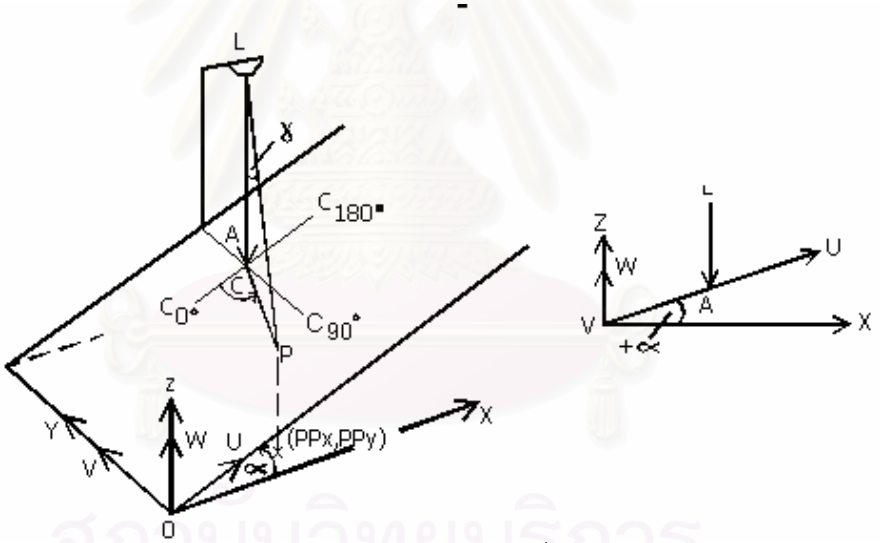
$$(Lx, Ly, Lz) = (Lu\cos\alpha, Lv, Lw + Lu\sin\alpha) \tag{3.17}$$

$$(Ax, Ay, Az) = (Lu\cos\alpha, Lv, Lu\sin\alpha) \tag{3.18}$$

$$(Px, Py, Pz) = (Pu\cos\alpha, Pv, Pu\sin\alpha) \tag{3.19}$$

$$(PPx, PPy) = (Pu\cos\alpha, Pv) \tag{3.20}$$

คำนวณมุม γ จากสมการ(3.10) โดยแทนค่าสมการ(3.17)-(3.18) จะได้



รูปที่ 3.7 ตำแหน่งของดวงโคม จุดเล็ง มุมต่างๆ จุดที่พิจารณาบนผิวถนนและตำแหน่งของจุดที่พิจารณาฉายลงบนระบบแกน XYZ กรณีมุมเงยเป็นศูนย์

$$\gamma = \cos^{-1}\left(\frac{Lw + (Lu - Pu)\sin\alpha}{LP}\right) \tag{3.21}$$

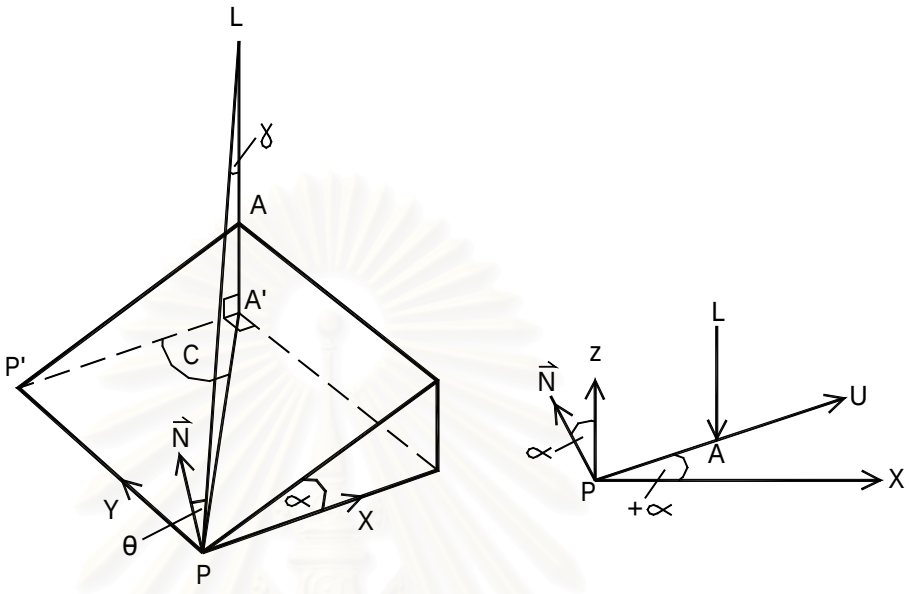
คำนวณมุม C จากสมการ (3.14) โดยแทนค่าสมการ (3.17)-(3.18) จะได้

$$C = \cos^{-1}\left(\frac{(Lu - Pu)\cos\alpha}{LP\sin\gamma}\right) \tag{3.22}$$

$$\overline{U} = [\cos\alpha, 0, \sin\alpha], \quad \overline{V} = [0,1,0]$$

$$\overline{N} = \overline{U} \times \overline{V} = [-\sin\alpha, 0, \cos\alpha] \tag{3.23}$$

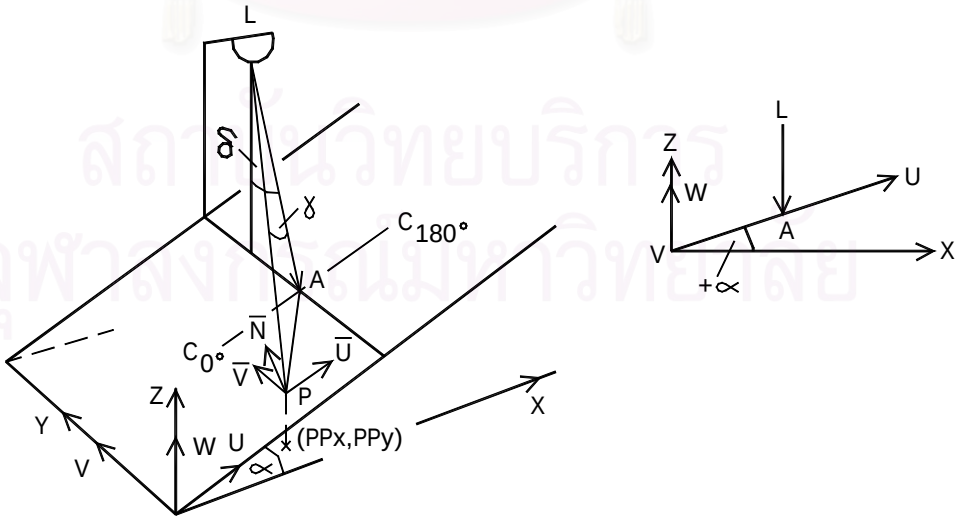
$$(Nx, Ny, Nz) = (Px - \sin\alpha, Py, Pz + \cos\alpha)$$
$$= (Pu\cos\alpha - \sin\alpha, Pv, Pu\sin\alpha + \cos\alpha) \quad (3.24)$$



รูปที่ 3.8 การคำนวณมุม C, θ และ $\overline{N}$

คำนวณมุม θ จากสมการ(3.16) โดยการแทนค่าสมการ(3.24)

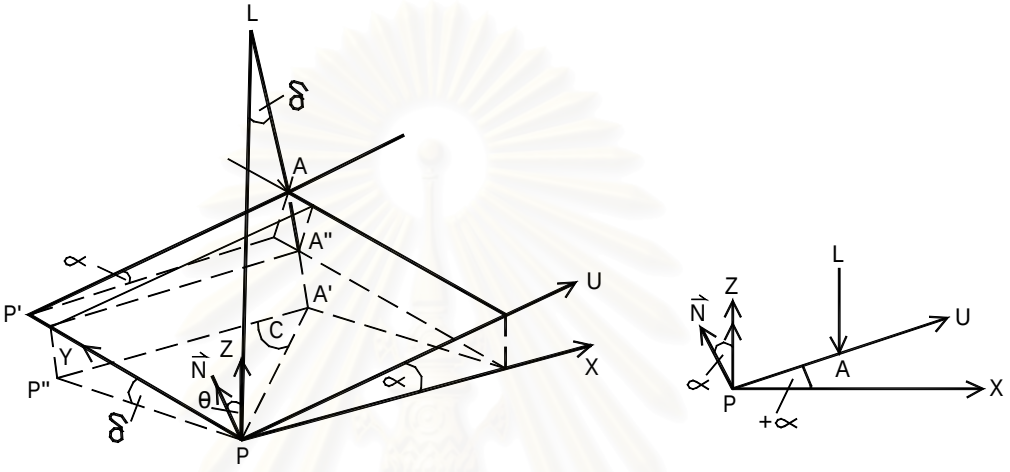
ถ้าการติดตั้งดวงโคมมีมุมเงย $(\delta \neq 0^\circ)$ ดังรูปที่ 3.9 ตำแหน่งของจุดเล็งจะเปลี่ยนไปดังสมการ (3.25) ส่วนตำแหน่งของดวงโคม จุดที่พิจารณา และตำแหน่งจุดที่พิจารณาถูกฉายลงบนแกน X และแกน Y จะมีค่าเท่ากับสมการ (3.17), (3.19), (3.20) กรณีที่มุมเงยเป็นศูนย์ $(\delta = 0^\circ)$



รูปที่ 3.9 ตำแหน่งของดวงโคม จุดเล็ง มุมต่างๆ จุดที่พิจารณาบนผิวถนนและตำแหน่งของจุดที่พิจารณาฉายลงบนระบบแกน XYZ กรณีมุมไม่เป็นศูนย์

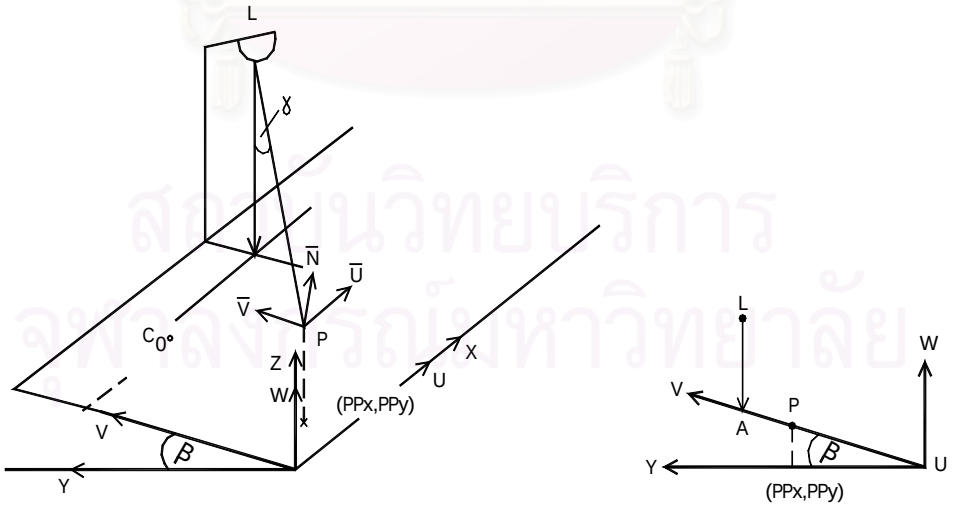
$$(Ax\,,Ay\,,Az\,) = (Au\,\cos\,\alpha, Av\,, Au\,\sin\alpha)$$
$$= (Lu\,\cos\,\alpha, Lv\, - Lw\,\tan\,\delta, Lu\,\sin\alpha) \qquad (3.25)$$

คำนวณมุม γ ,มุม C และมุม θ จากสมการ(3.10) , (3.14) และ (3.16) ตามลำดับโดยแทนค่าสมการ(3.17), (3.19), (3.24) และ (3.25) โดยพิจารณารูปที่ 3.10 ประกอบการคำนวณ



รูปที่ 3.10 การคำนวณมุม C, θ และ $\overline{N}$

3.2.3 ระบบเสาธรรมดา (กรณีถนนตรง - เอียงข้าง)



รูปที่ 3.11 ตำแหน่งของดวงโคม จุดเล็ง จุดที่พิจารณา เวกเตอร์ตั้งฉากในระบบแกน UVW และตำแหน่งของจุดที่พิจารณาฉายลงบนระบบแกน XYZ กรณีมุมเงยเป็นศูนย์

พิจารณารูปที่ 3.11 ข้อมูลที่ให้มา Lu, Lv, Lw, Pu, Pv และมุม β จะได้ $(Au, Av) = (Lu, Lv)$ แปลงไปอยู่บนระบบแกน XYZ ได้ดังนี้

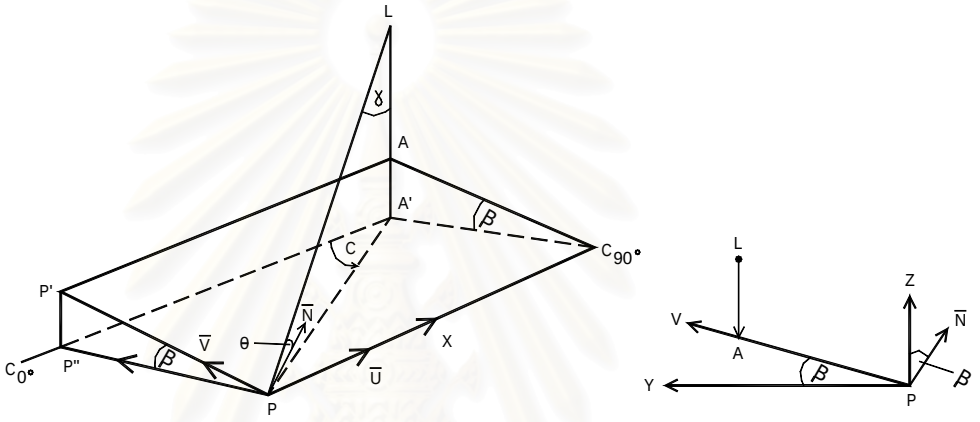
$$(Lx, Ly, Lz) = (Lu, Lv \cos\beta, Lw + Lv \sin\beta) \quad (3.26)$$

$$(Ax, Ay, Az) = (Lu, Lv \cos\beta, Lv \sin\beta) \quad (3.27)$$

$$(Px, Py, Pz) = (Pu, Pv \cos\beta, Pv \sin\beta) \quad (3.28)$$

$$(PPx, PPy) = (Pu, Pv \cos\beta) \quad (3.29)$$

คำนวณมุม γ จากสมการ (3.10) โดยแทนค่าสมการ (3.26)-(3.28)



รูปที่ 3.12 การคำนวณมุม C, θ และ $\overline{N}$

พิจารณารูปที่ 3.12 คำนวณมุม C ตามสมการ (3.14) โดยแทนค่าสมการ (3.26)-(3.28) จะได้

$$C = \cos^{-1}\left(\frac{Au - Pu}{LP \sin\gamma}\right) \quad (3.30)$$

$$\overline{U} = [1,0,0]$$

$$\overline{V} = [0, \cos\beta, \sin\beta]$$

$$\overline{N} = \overline{U} \times \overline{V} = [0, -\sin\beta, \cos\beta] \quad (3.31)$$

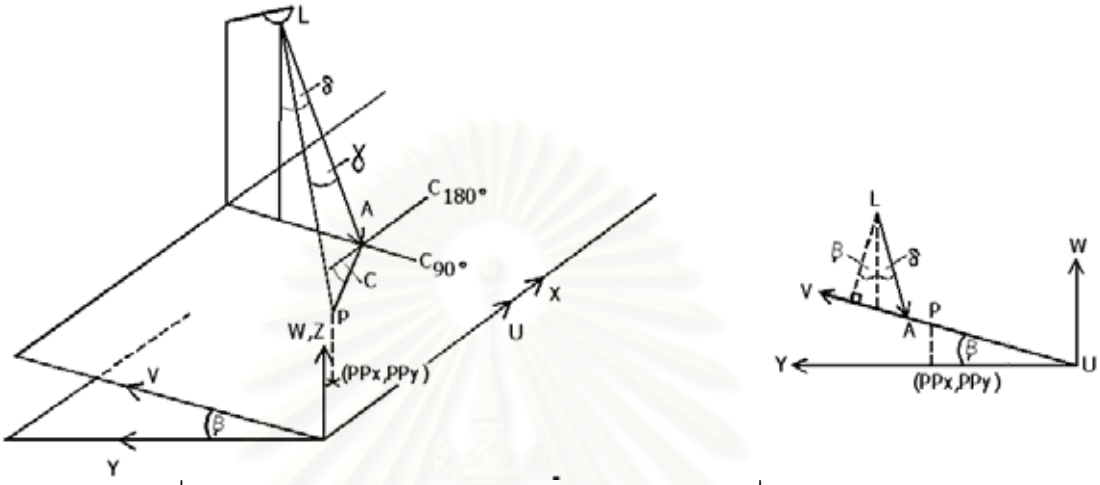
$$(Nx, Ny, Nz) = (Px, Py - \sin\beta, Pz + \cos\beta)$$

$$= (Pu, Pv \cos\beta - \sin\beta, Pv \sin\beta + \cos\beta) \quad (3.32)$$

คำนวณมุม θ จากสมการ (3.16) โดยการแทนค่าสมการ (3.32)

กรณีการติดตั้งดวงโคมมีมุมเงยให้พิจารณารูปที่ 3.13- 3.14 ตำแหน่งของจุดเล็งจะเปลี่ยนไปดังสมการ (3.33) ส่วนตำแหน่งของดวงโคม จุดที่พิจารณา และตำแหน่งจุดที่พิจารณา

ถูกฉายลงบนแกน X และแกน Y จะมีค่าเท่ากับสมการ (3.26), (3.28), (3.29) กรณีที่มุมเงยเป็นศูนย์

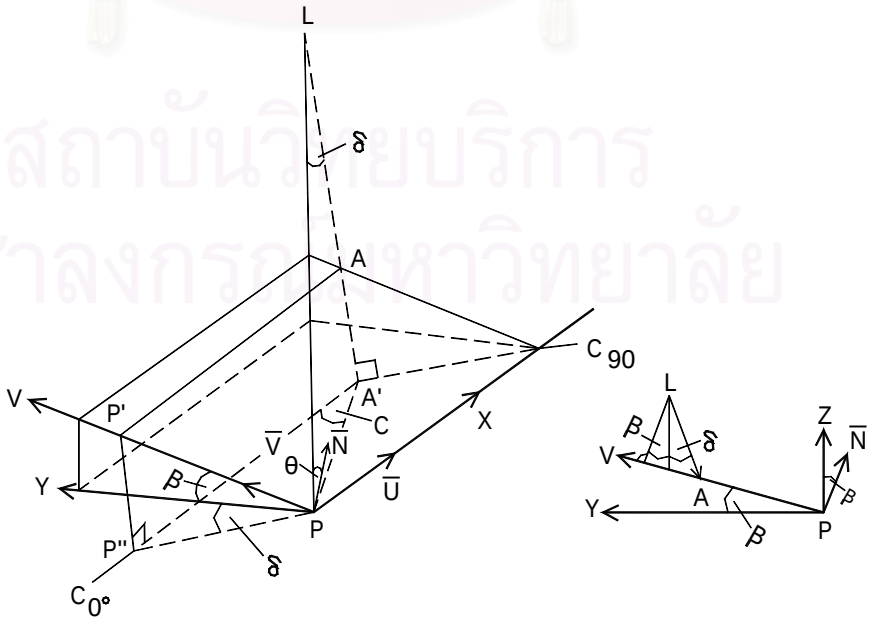


รูปที่ 3.13 ตำแหน่งของดวงโคม จุดเล็ง มุมต่างๆ จุดที่พิจารณาและตำแหน่งของจุดที่พิจารณาฉายลงบนระบบแกน XYZ กรณีมุมเงยไม่เป็นศูนย์

$$(Au\,,\,Av\,) = (Lu\,,Lv\,\,-Lw\,(\cos\,\beta\tan(\beta+\delta)-\sin\,\beta)) \tag{3.33}$$

$$(Ax\,,\,Ay\,,\,Az\,) = (Au\,,\,Av\,\cos\,\beta,\,Av\,\sin\,\beta) \tag{3.34}$$

คำนวณมุม γ จากสมการ (3.10) โดยแทนค่าสมการ (3.26), (3.28), (3.29) , (3.33) และ (3.34)

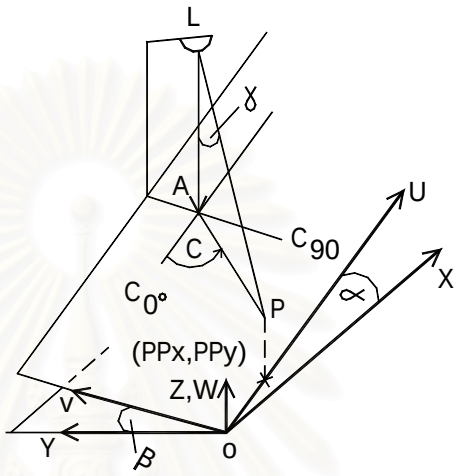


รูปที่ 3.14 การคำนวณมุม C,θ และ $\bar{N}$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำนวณมุม C และมุม θ จากสมการ (3.14) และ (3.16) ตามลำดับโดยแทนค่าสมการ (3.26), (3.28), (3.29) , (3.32)-(3.34) โดยพิจารณารูปที่ 3.14 ประกอบการคำนวณ

3.2.4 ระบบเสาธรรมดา (กรณีถนนตรง - ลาดและเอียง)



รูปที่ 3.15 ตำแหน่งของดวงโคม จุดเล็ง มุมต่างๆ จุดที่พิจารณาและตำแหน่งของจุดที่พิจารณาฉายลงบนระบบแกน XYZ กรณีมุมเงยเป็นศูนย์

พิจารณารูปที่ 3.15 ข้อมูลที่ให้มา Lu, Lv, Lw, Pu, Pv และมุม β, α จะได้ $(Au, Av) = (Lu, Lv)$ แปลงไปอยู่บนระบบแกน XYZ ได้ดังนี้

$$(Lx, Ly, Lz) = (Lu\cos\alpha, Lv\cos\beta, Lw + Lu\sin\alpha + Lv\sin\beta) \quad (3.35)$$

$$(Ax, Ay, Az) = (Au\cos\alpha, Av\cos\beta, Au\sin\alpha + Av\sin\beta) \quad (3.36)$$

$$(Px, Py, Pz) = (Pu\cos\alpha, Pv\cos\beta, Pv\sin\beta + Pu\sin\alpha) \quad (3.37)$$

$$(PPx, PPy) = (Pu\cos\alpha, Pv\cos\beta) \quad (3.38)$$

คำนวณมุม γ จากสมการ (3.10) โดยแทนค่าสมการ (3.35) - (3.37)

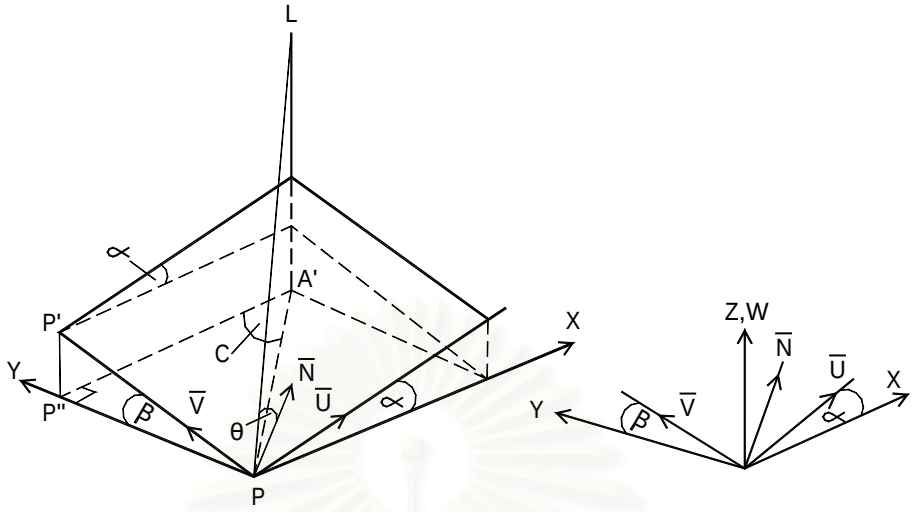
พิจารณารูปที่ 3.16 คำนวณมุม C ตามสมการ (3.14) โดยแทนค่าสมการ (3.35)-(3.37) จะได้

$$C = \cos^{-1}\left(\frac{(Au - Pu)\cos\alpha}{LP\sin\gamma}\right) \quad (3.39)$$

$$\overline{U} = [\cos\alpha, 0, \sin\alpha]$$

$$\overline{V} = [0, \cos\beta, \sin\beta]$$

$$\overline{N} = [-\cos\beta\sin\alpha, -\cos\alpha\sin\beta, \cos\alpha\cos\beta] \quad (3.40)$$

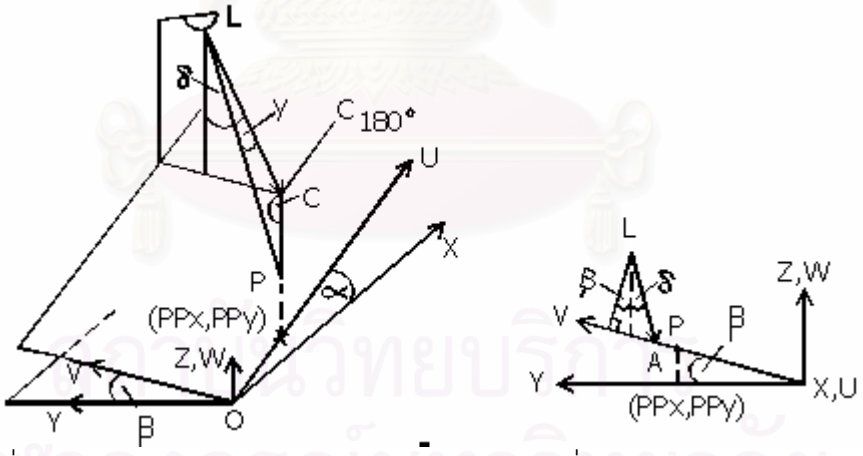


รูปที่ 3.16 การคำนวณมุม C,θ และ $\overline{N}$

$$\left(Nx\ ,Ny\ ,Nz\ \right)=\left(Px\ -\cos\ \beta\sin\alpha,Py\ -\cos\ \alpha\sin\ \beta,Pz\ +\cos\ \alpha\cos\ \beta\right) \qquad (3.41)$$

คำนวณมุม θ จากสมการ (3.16) โดยการแทนค่าสมการ (3.41)

ถ้าการติดตั้งดวงโคมมีมุมเงยไม่เท่ากับศูนย์ พิจารณารูปที่ 3.17 ประกอบ

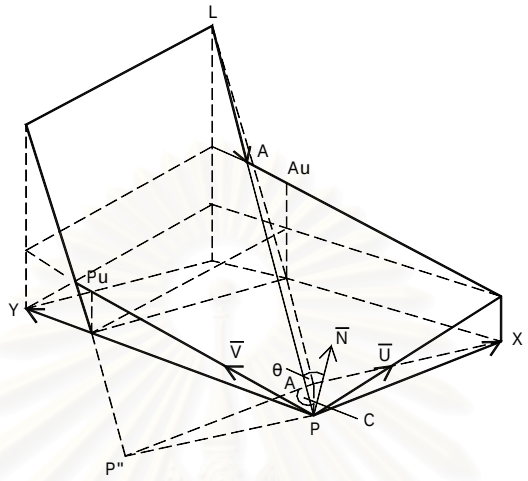


รูปที่ 3.17 ตำแหน่งของดวงโคม จุดเล็ง มุมต่างๆ จุดที่พิจารณาบนผิวถนนและ ตำแหน่งของจุดที่พิจารณาฉายลงบนระบบแกน XYZ กรณีมุมเงยไม่เป็นศูนย์

ตำแหน่งของจุดเล็งจะเปลี่ยนไปดังสมการ (3.42) ส่วนตำแหน่งของดวงโคม จุดที่พิจารณา และตำแหน่งจุดที่พิจารณาถูกฉายลงบนแกน X และแกน Y จะมีค่าเท่ากับสมการ(3.35), (3.37), (3.38) และการคำนวณมุม γ,C และ θ เหมือนกรณีถนนตรงลาดและเอียง เมื่อมุมเงยเท่ากับศูนย์โดยพิจารณารูปที่ 3.18 ประกอบ

$$(Au\,,\,Av\,) = (Lu\,,\,Lv\,-Lw\,(\cos\,\beta\tan(\,\beta+\delta) - \sin\,\beta)) \qquad (3.42)$$

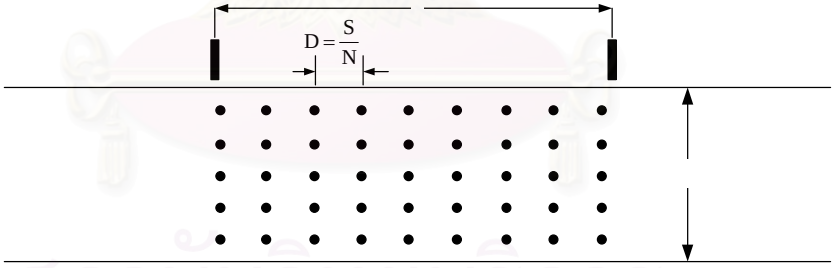
$$(Ax\,,\,Ay\,,\,Az\,) = (Au\,\cos\,\alpha, Av\,\cos\,\beta, Au\,\sin\alpha + Av\,\sin\,\beta) \qquad (3.43)$$



รูปที่ 3.18 การคำนวณมุม C,θ และ $\overline{N}$

การคำนวณความสว่างบนถนนที่มีลักษณะต่างกันนั้น สมการที่ใช้ได้กับทุกลักษณะคือสมการของกรณีถนนตรง-ลาดและเอียง

การพิจารณาพื้นที่ที่ต้องคำนวณ



รูปที่ 3.19 จุดที่ต้องคำนวณภายในพื้นที่ที่ต้องการ

โดยที่ N คือ จำนวนจุดที่ต้องคำนวณ

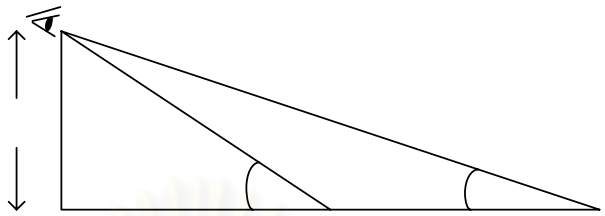
D คือ ระยะห่างระหว่างจุดที่ต้องการคำนวณ

S คือ ระยะห่างระหว่างโคมในแนวเดียวกัน

ถ้า $S \leq$ 50 เมตร : N=10 แต่ถ้า $S >$ 50 เมตร : $D \leq$ 5 เมตร

โดย S มีค่าไม่เกิน 100 เมตร เนื่องจากตำแหน่งจุดสังเกตอยู่สูงจากพื้นถนน 1.5 เมตร ถ้าจุดแรก

ตามแนวยาวที่จะคำนวณอยู่ที่ 60 เมตร โดยมีจุดสังเกตอยู่ที่ 0 เมตร เนื่องจากระยะ S ไม่เกิน 100 เมตร ดังนั้นจุดสุดท้ายตามแนวยาวที่จะคำนวณอยู่ที่ 160 เมตร จากจุดสังเกต



รูปที่ 3.20 การกำหนดค่ามุมในแนวมอง

จากรูปที่ 3.20 พบว่า

$$\tan\alpha_2 = \frac{1.5}{160}$$

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

$$\tan\alpha_1 = \frac{1.5}{60}$$

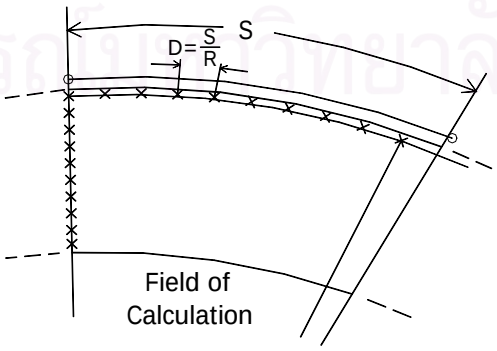
$$\alpha_1 = \tan^{-1}(\frac{1.5}{60}) = 1.43^\circ$$

1.5

ตามมาตรฐาน CIE กำหนดให้มุม α อยู่ระหว่าง $0.5^\circ - 1.5^\circ$ ดังนั้นระยะของช่วงถนนที่ใช้ในการคำนวณจึงไม่เกิน 100 เมตร

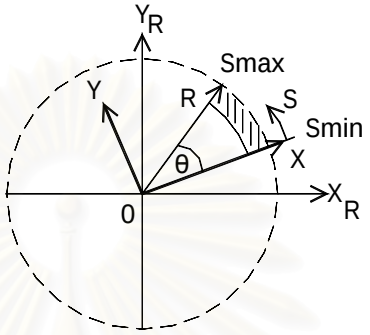
ส่วนตามขวางถนนจะคำนวณ 5 จุด ต่อ 1 ช่องวิ่ง (lane) โดยจุดแรกอยู่ห่างจากขอบถนนเท่ากับ $\frac{1}{10}$ เท่าของความกว้างช่องวิ่ง และแต่ละจุดห่างกัน $\frac{2}{10}$ เท่าของความกว้างช่องวิ่ง

3.2.5 ระบบเสาธรรมดา (กรณีถนนทางโค้ง)



รูปที่ 3.21 จุดที่ต้องคำนวณภายในพื้นที่ที่ต้องการ

เฉพาะเงื่อนไขในการกำหนดจุดที่จะคำนวณสำหรับทางโค้งทุกกรณี จะคิดเช่นเดียวกับที่ใช้ในกรณีของทางตรง ในกรณีทางตรงจะพิจารณาในระบบ Rectangular Coordinate แต่ในกรณีทางโค้งจะแปลงข้อมูลจากระบบ R-S axis เป็นระบบ Rectangular Coordinate ดังรูปที่ 3.22



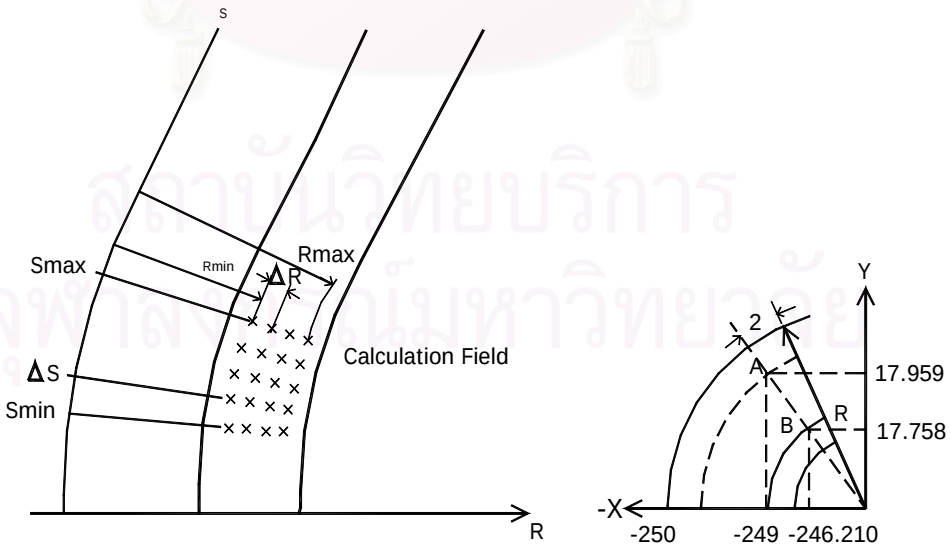
รูปที่ 3.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ระบบ

พิจารณาถนนโค้งที่มีค่า S เท่ากับ 60-80 เมตร และมีรัศมีความโค้ง 250 เมตร ถนนมี 3

$$D = \Delta S = \frac{20}{10} = 2 \qquad m.$$

ช่องวิ่ง กว้าง 10.5 เมตร ดังรูปที่ 3.23 จะได้ระยะ Smin = 60 m. และ Smax = 80 m.

เนื่องจาก S<50 m. : N = 10



รูปที่ 3.23 การกำหนดระยะ R และระยะ S

ถนน 1 ช่อง วิ่งกว้าง $W = \frac{10.5}{3} = 3.5 \quad m.$

ระยะตามขวางช่องวิ่งที่จุด A เท่ากับ $\frac{1}{10} \times 3.5 = 0.35 \quad m.$

ที่จุด A $\theta \approx \frac{18}{250} rad$

$$S' = 18$$

$$R = 250 - 0.35 = 249.65$$

แปลงเป็นระบบ X-Y Coordinate ได้ดังนี้

$$X = R \cos\theta = 249.65 \cos\left(\frac{18}{250}\right) = 249$$

$$Y = R \sin\theta = 249.65 \sin\left(\frac{18}{250}\right) = 17.959$$

ที่จุด B $R = 250 - 3.15 = 246.85$

แปลงเป็นระบบ X-Y Coordinate ได้ดังนี้

$$X = R \cos\theta = 246.85 \cos\left(\frac{18}{250}\right) = 246.210$$

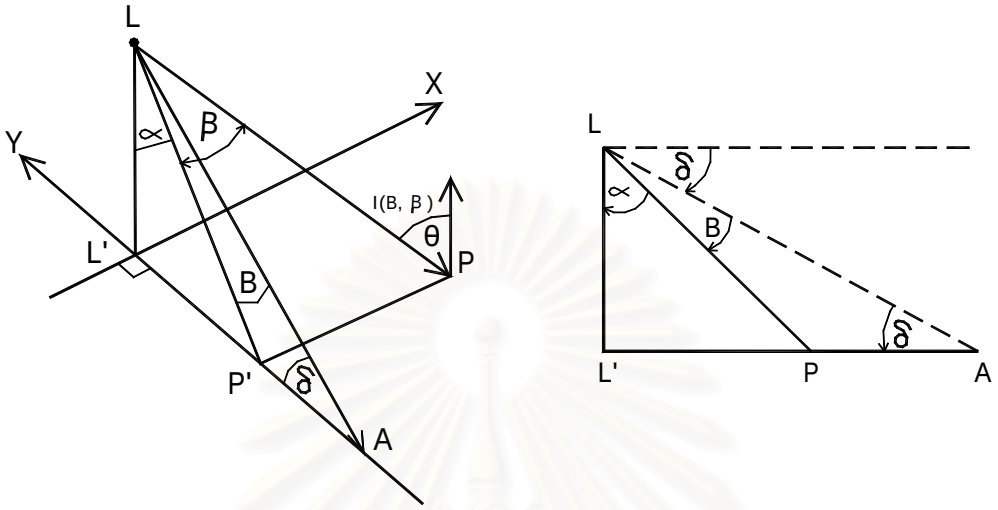
$$Y = R \sin\theta = 246.85 \sin\left(\frac{18}{250}\right) = 17.158$$

เมื่อหาตำแหน่งของจุดที่ต้องการในระบบ $X-Y$ Coordinate แล้ว จึงทำการคำนวณค่าต่างๆเหมือนกับกรณีทางตรง

3.3 การคำนวณความสว่างของระบบเสาสูง (High Mast System)

การติดตั้งโคมด้วยระบบเสาสูงในแต่ละเสาจะมีจำนวนโคม มากกว่า 1 โคม เล็งไปยังจุดต่างๆกัน ตามลักษณะของถนนเพื่อให้ได้ค่าความสว่างที่ต้องการ แต่การที่จะให้ได้จุดเล็งตามที่กำหนดนั้นค่อนข้างยุ่งยาก ดังนั้นการติดตั้งโคมจึงอาจใช้กล้องติดตั้งที่ตัวโคมแล้วเล็งโคมไปยังจุดที่ต้องการโดยอาศัยกล้องที่ติดตั้งนั้น ซึ่งการติดตั้งจะกระทำบนเสาโดยตรง หรือจะใช้วิธีปรับโคมก่อนนำไปติดตั้งบนเสา โดยอาศัยมุมเล็ง (δ) และมุมหัน (τ) เป็นตัวกำหนดเพื่อให้ได้จุดเล็งที่ต้องการ โดยดวงโคมที่ติดตั้งมีการวัดข้อมูลการกระจายความส่องสว่างด้วยระบบ $B-\beta$

3.3.1 ระบบเสาสูง (กรณีมุมหันเป็นศูนย์)



(ก) (ข)

รูปที่ 3.24 การคำนวณมุม B และมุม β กรณีมุมหันเป็นศูนย์

กำหนดให้

θ คือ มุมที่จุด P กระทำกันระหว่างเส้นที่ลากจาก L ถึง P กับเส้นที่ลากตั้งฉากกับระนาบ (องศา)

τ คือ มุมหันของโคมฉาย (องศา)

δ คือ มุมเล็งของโคมฉายที่กระทำกับแนวระดับ (องศา)

P คือ จุดที่ต้องการหาค่าความสว่าง

L คือ จุดที่ติดตั้งโคมฉายบนเสา

A คือ จุดเล็งของโคมฉาย

h คือ ความสูงของโคมฉาย (เมตร)

L' คือ จุดติดตั้งโคมที่พื้นระนาบ

พิจารณารูปที่ 3.24 ก. คำนวณมุม B ได้ดังสมการ (3.44)

$$\beta = \sin^{-1}\left(\frac{PP'}{LP}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{\left|Px - Lx\right|}{\sqrt{\left(Px - Lx\right)^2 + \left(Py - Ly\right)^2 + \left(Pz - Lz\right)^2}}\right) \qquad (3.44)$$

พิจารณารูปที่ 3.24 (ข) จะได้ว่า มุม δ จะมีค่าติดลบ เนื่องจากจุดเล็งต่ำกว่าแนวระดับ

และมุม B มีค่าติดลบ เพราะจุด P' อยู่ต่ำกว่าแนวเล็ง ดังนั้นคำนวณมุม B ได้ดังสมการ (3.45) ได้ดังสมการ (3.45)

$$\delta + (-B) + (-\delta) = 90$$

$$\delta = B + (90 + \delta)$$

$$B = \alpha - (90 + \delta)$$

$$B = \tan^{-1}\left(\frac{Py - Ly}{Lz - Pz}\right) - (90 + \delta) \tag{3.45}$$

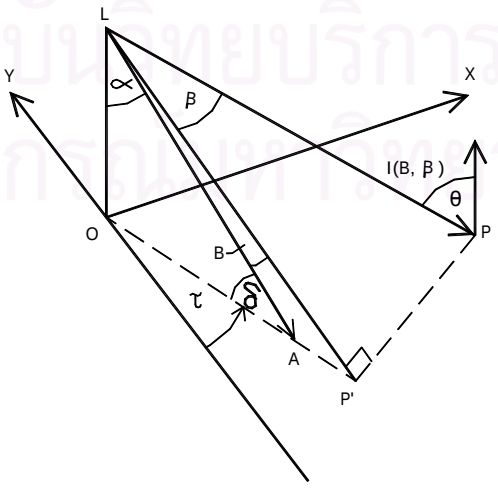
$$\delta = \sin^{-1}\left(\frac{LL'}{LA}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{Az - Lz}{\sqrt{(Ay - Ly)^2 + (Az - Lz)^2}}\right) \tag{3.46}$$

3.3.2 ระบบเสาสูง (กรณีมุมหันไม่เป็นศูนย์)

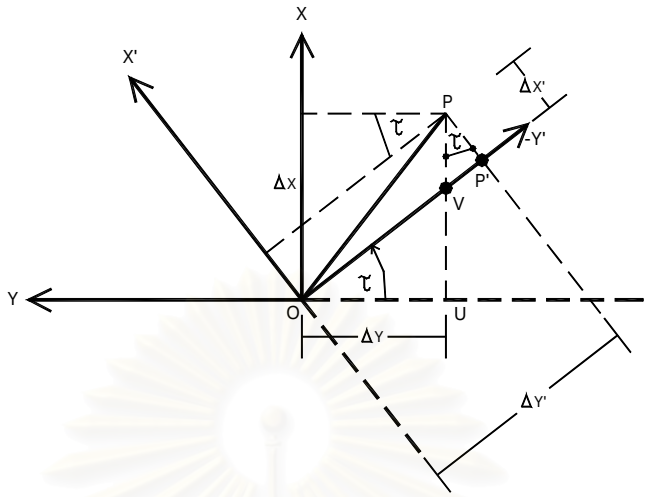
จากรูปที่ 3.24 เมื่อโคมฉายไปเป็นมุม τ องศา จากแนวตั้งฉากกับแกน X จะทำให้แนวที่กำหนดมุม $B = 0°$ หันไปเป็นมุม τ องศาด้วย การคำนวณค่ามุม β และมุม B จึงทำได้โดยการหมุนระนาบ XY ไปเป็นมุม τ องศา กลายเป็นระนาบ X'Y' ดังแสดงในรูปที่ 3.25 แล้วคำนวณมุม β และมุม B ในเทอม $\Delta X'$ และ $\Delta Y'$ ดังนี้

$$\beta = \sin^{-1}\left(\frac{\Delta X'}{\sqrt{(\Delta X')^2 + (\Delta Y')^2 + (\Delta Z')^2}}\right) \tag{3.47}$$

$$B = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta Y'}{\Delta Z'}\right) - (90 + \delta) \tag{3.48}$$



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.25 การคำนวณมุม B และ β ในกรณีมุมหันไม่เท่ากับศูนย์

ทำการเปลี่ยน $\Delta X'$, $\Delta Y'$ และ $\Delta Z'$ ให้อยู่ในเทอมของ ΔX, ΔY และ ΔZ ดังนี้

$\Delta Z' = \Delta Z$ พิจารณา ΔOUV และ $\Delta PP'V$ จะได้

$$\begin{aligned}\Delta Y' &= OP' = OV - VP' \\ &= \frac{\Delta Y}{\cos\tau} - (\Delta X - \Delta Y \tan\tau)\sin\tau \\ \Delta Y' &= \Delta Y \cos\tau + \Delta X \sin\tau \end{aligned} \tag{3.49}$$

พิจารณา $\Delta PP'V$ จะได้

$$\begin{aligned}\Delta X' &= PV\cos\tau \\ &= (\Delta X - \Delta Y \tan\tau)\cos\tau \\ \Delta X' &= \Delta X \cos\tau - \Delta Y \sin\tau \end{aligned} \tag{3.50}$$

แทนค่าสมการ(3.49)-(3.50) ในสมการ(3.47)-(3.48) จะได้มุม B และ β ดังนี้

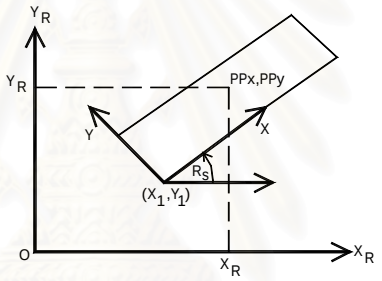
$$\beta = \sin^{-1}\left(\frac{\Delta X\cos\tau - \Delta Y\sin\tau}{\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}}\right) \tag{3.51}$$

$$B = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta Y\cos\tau + \Delta X\sin\tau}{\Delta Z}\right) - (90 + \delta) \tag{3.52}$$

เมื่อคำนวณมุม B, β ได้แล้ว สามารถคำนวณ $I(B, \beta)$ ได้ คำนวณมุม θ เหมือนกรณีถนนตรง แล้วแทนค่าลงสมการ (3.1) เพื่อคำนวณค่าความสว่าง การพิจารณาจุดที่ต้องคำนวณจะใช้หลักการเดียวกับกรณีถนนตรงและถนนโค้ง การคำนวณค่าความสว่างสำหรับระบบเสาสูงจะคำนวณกรณีพื้นราบเท่านั้น

3.4 การนำเสนอการคำนวณความสว่างในรูปกราฟฟิก 2 มิติ

เนื่องจากลักษณะถนนมีหลายแบบ การอ้างถึงจุดที่คำนวณค่าความสว่างจึงจำเป็นต้องอ้างบนระบบแกนอ้างอิงเดียวกัน(ระบบแกน $X_R Y_R Z_R$) ดังนั้นจึงต้องฉายจุด (PPx, PPy) ลงบนระบบแกนดังกล่าว เพื่อความถูกต้องในการนำเสนอผลการคำนวณ ดังสมการ (3.53)-(3.54)



รูปที่ 3.26 การฉายจุดลงบนระนาบ $X_R Y_R Z_R$

$$X_R = (PPx \cos Rs - PPy \sin Rs) + X_1 \quad (3.53)$$

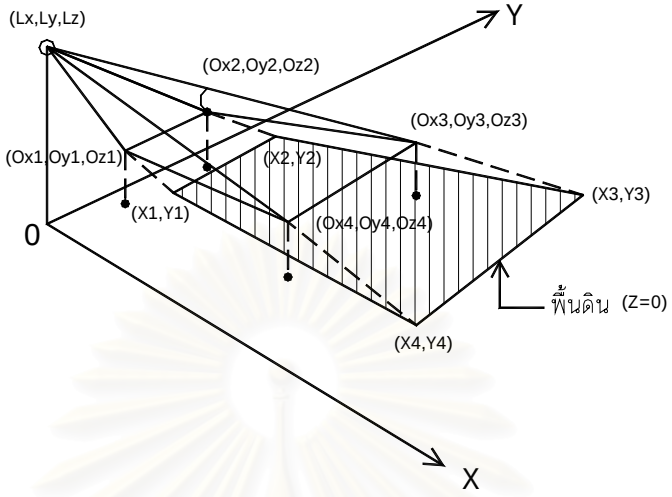
$$Y_R = (PPx \sin Rs + PPy \cos Rs) + Y_1 \quad (3.54)$$

สมการ ใช้กับกรณีถนนทางตรงซึ่งลักษณะถนนแบบอื่นใช้หลักการคำนวณแบบเดียวกัน

3.5 การคำนวณเงาที่เกิดจากวัตถุ (Shadow)[12]

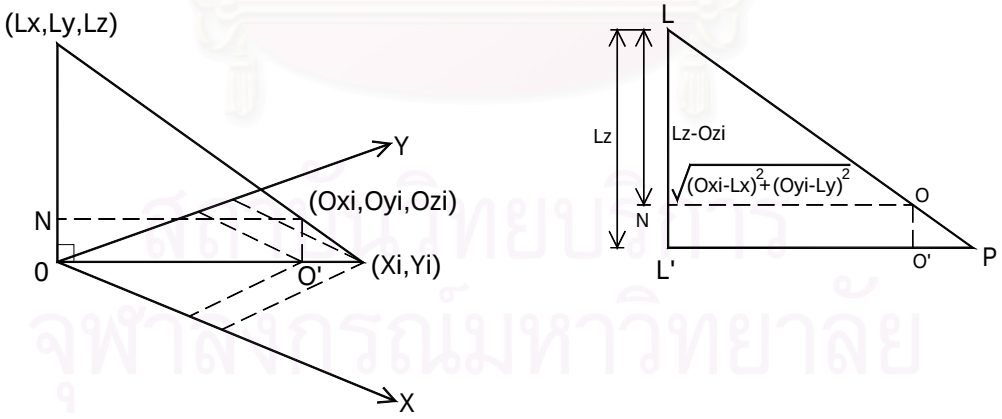
โดยธรรมชาติของเงาแล้วเงาเกิดขึ้นจากการที่มีวัตถุมาบดบังแนวของลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งอาจจะมีลักษณะผิดเพี้ยนจากรูปทรงของวัตถุไปบ้าง ขึ้นอยู่กับระยะห่างของแหล่งกำเนิดแสงกับตำแหน่งของวัตถุ โดยการคำนวณหาตำแหน่งที่เกิดเงานั้นจะมีประโยชน์มากในการออกแบบติดตั้งดวงโคมในสถานที่ต่าง ๆ

3.5.1 การคำนวณลักษณะเงาของวัตถุที่กระทำกับพื้น



รูปที่ 3.27 การเกิดเงาของวัตถุรูปสี่เหลี่ยมใด ๆ

พิจารณารูปที่ 3.27 เป็นการจำลองวัตถุขึ้นมารูปหนึ่ง มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า แล้วทำการคำนวณหาเงาของวัตถุที่กระทำกับพื้น โดยมีวิธีคำนวณดังนี้ ในรูปที่ 3.28 นี้จะพิจารณาวัตถุที่จุด ๆ เดียวก่อน

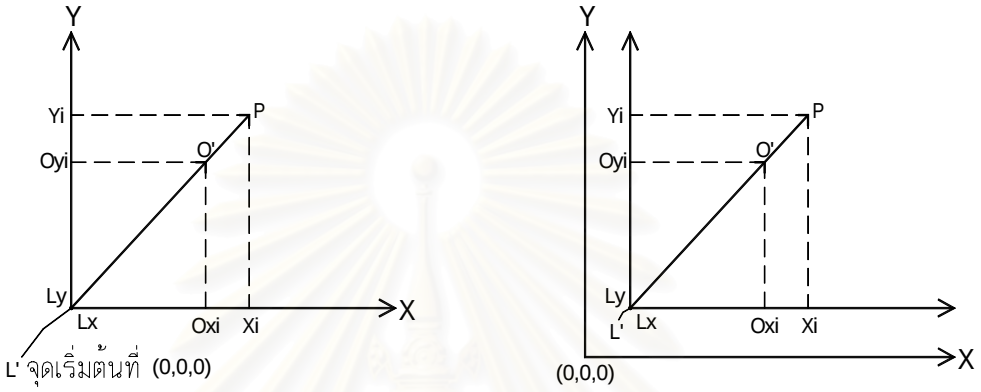


รูปที่ 3.28 การคำนวณหาจุดบนพื้นโดยพิจารณาวัตถุที่จุดๆ เดียว

พิจารณา ΔLNO และ $\Delta LL'P$ จะสามารถหาระยะ $L'P$ ได้จากกฎของสามเหลี่ยมคล้าย

$$\frac{L'P}{LL'} = \sqrt{\frac{(Oxi - Lx)^2 + (Oyi - Ly)^2}{Lz - Ozi}} \tag{3.55}$$

$$\therefore L'P = \left(\sqrt{\frac{(Oxi - Lx)^2 + (Oyi - Ly)^2}{Lz - Ozi}} \right) \times Lz \tag{3.56}$$



(ก) (ข)

รูปที่ 3.29 มุมมองด้านบน (Top view) ของรูปที่ 3.28

จากรูปที่ 3.29 (ก) ให้กฎของสามเหลี่ยมคล้ายคำนวณหาระยะ Xi และ Yi ของจุด P ได้ดังนี้

$$\frac{Xi}{L'P} = \frac{Oxi}{L'O'} = \frac{Oxi}{\sqrt{(Oxi - Lx)^2 + (Oyi - Ly)^2}} \tag{3.57}$$

แทนค่าสมการที่ (3.56) ลงในสมการที่ (3.57)

$$\therefore Xi = \frac{Oxi \times L'P}{\sqrt{(Oxi - Lx)^2 + (Oyi - Ly)^2}} = \frac{Oxi \times Lz}{Lz - Ozi} \tag{3.58}$$

$$\frac{Yi}{L'P} = \frac{Oyi}{L'O'} = \frac{Oyi}{\sqrt{(Oxi - Lx)^2 + (Oyi - Ly)^2}} \tag{3.59}$$

แทนค่าสมการที่ (3.56) ลงในสมการที่ (3.59)

$$\therefore Yi = \frac{Oyi \times L'P}{\sqrt{(Oxi - Lx)^2 + (Oyi - Ly)^2}} = \frac{Oyi \times Lz}{Lz - Ozi} \tag{3.60}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

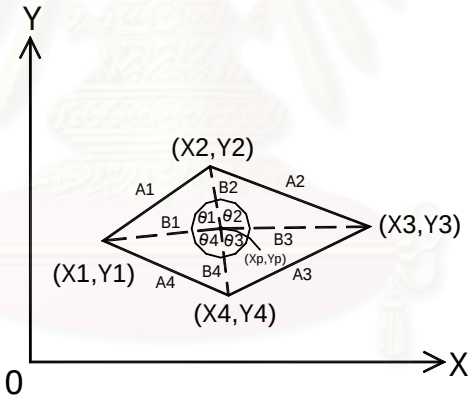
ถ้ามีการเลื่อนตำแหน่งของดวงโคมดังรูปที่ 3.29 (ข) จะได้สมการดังนี้

$$Xi = Lx + \frac{(Oxi - Lx) \times Lz}{Lz - Ozi} \tag{3.61}$$

$$Yi = Ly + \frac{(Oyi - Ly) \times Lz}{Lz - Ozi} \tag{3.62}$$

3.5.2 การตรวจสอบตำแหน่งของจุดที่อยู่ภายในบริเวณที่เกิดเงา

การคำนวณความสว่างของพื้นที่หนึ่ง ๆ นั้น บางครั้งเมื่อมีเงาตกลงบนพื้นผิวที่ต้องการคำนวณ ความสว่างในบริเวณที่เกิดจากดวงโคมที่กำลังพิจารณานั้นจะมีค่าน้อยมาก ซึ่งอาจประมาณให้เป็นศูนย์ได้ การคำนวณหาจุดที่อยู่ในบริเวณเงาจะพิจารณาได้จากรูปที่ 3.30 พื้นที่สี่เหลี่ยมในรูปนี้เป็นรูปร่างของเงาที่ตกลงบนพื้นและสมมุติจุด P ใด ๆ ให้อยู่ในพื้นที่นี้



รูปที่ 3.30 การตรวจสอบตำแหน่งของจุดที่อยู่ภายในบริเวณที่เกิดเงาเป็นรูปสี่เหลี่ยม

โดยพิจารณาว่าถ้ามุม θ ทั้ง 4 มุมในรูปรวมกันแล้วมีค่าประมาณ 360 องศา ก็แสดงว่าจุดนั้นอยู่ในบริเวณที่เกิดเงา ซึ่งมีขั้นตอนในการคำนวณ ดังนี้

- คำนวณหาขนาดของด้าน $A_1, A_2, A_3, A_4, B_1, B_2, B_3, B_4$

$$A_1^2 = (X1 - X2)^2 + (Y1 - Y2)^2$$
$$A_2^2 = (X2 - X3)^2 + (Y2 - Y3)^2$$
$$A_3^2 = (X3 - X4)^2 + (Y3 - Y4)^2$$
$$A_4^2 = (X4 - X1)^2 + (Y4 - Y1)^2$$

$$B_1^2 = (X1 - Xp)^2 + (Y1 - Yp)^2$$
$$B_2^2 = (X2 - Xp)^2 + (Y2 - Yp)^2$$
$$B_3^2 = (X3 - Xp)^2 + (Y3 - Yp)^2$$
$$B_4^2 = (X4 - Xp)^2 + (Y4 - Yp)^2$$

- คำนวณมุม $\theta 1, \theta 2, \theta 3, \theta 4$

$$\theta 1 = \cos^{-1}\left[\frac{(B_1^2 + B_2^2 - A_1^2)}{2 \times B_1 \times B_2}\right]$$

$$\theta 2 = \cos^{-1}\left[\frac{(B_2^2 + B_3^2 - A_2^2)}{2 \times B_2 \times B_3}\right]$$

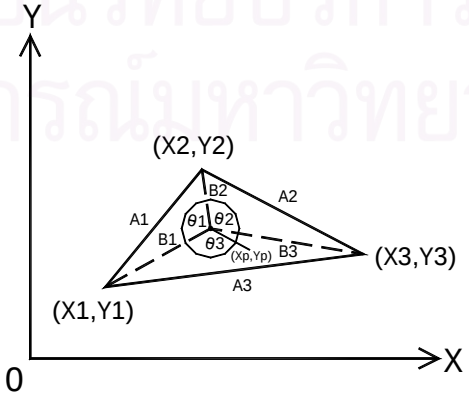
$$\theta 3 = \cos^{-1}\left[\frac{(B_3^2 + B_4^2 - A_3^2)}{2 \times B_3 \times B_4}\right]$$

$$\theta 4 = \cos^{-1}\left[\frac{(B_4^2 + B_1^2 - A_4^2)}{2 \times B_4 \times B_1}\right]$$

- รวมมุม θ ทั้ง 4 แล้วพิจารณาว่ามีค่าประมาณ 360 องศา หรือไม่

$$\theta_{Total} = \theta 1 + \theta 2 + \theta 3 + \theta 4$$
$$359.5^\circ \le \theta_{Total} \le 360.5^\circ$$

ถ้าจุด P อยู่ในพื้นที่ที่เกิดเงาจากโคมดวงนั้นๆ ก็ไม่ต้องคำนวณความสว่างที่จุด P ที่เกิดจากโคมดวงนั้น



รูปที่ 3.31 การตรวจสอบตำแหน่งของจุดที่อยู่ภายในบริเวณที่เกิดเงาเป็นรูปสามเหลี่ยม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

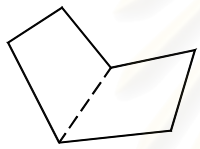
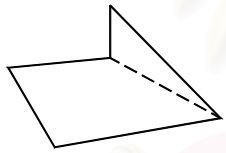
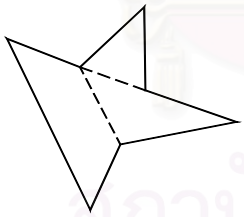
ในกรณีที่เงาของวัตถุมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยม ก็จะตรวจสอบเหมือนกับรูปสี่เหลี่ยม โดยใช้เงื่อนไข

$$\theta_{Total} = \theta 1 + \theta 2 + \theta 3$$

$$359.5^{\circ} \le \theta_{Total} \le 360.5^{\circ}$$

เหตุผลที่ใช้เงื่อนไขในการตรวจสอบจุดใดๆ ที่อยู่ในพื้นที่ที่เกิดเงาเป็นรูปสามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยมนั้น เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้งานกับวัตถุที่จะไปบังแสงทำให้เกิดเงารูปร่างอย่างใดก็ได้ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รูปภาพแสดงการประยุกต์ใช้งานกับวัตถุที่มีรูปร่างต่างๆ

รูปภาพของวัตถุ	**วิธีการพิจารณา**
	จะแบ่งออกเป็นสี่เหลี่ยม 2 ชิ้น
	จะแบ่งออกเป็นสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยม อย่างละ 1 ชิ้น
	จะแบ่งออกเป็นสี่เหลี่ยม 1 ชิ้น และสามเหลี่ยม 2 ชิ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

โปรแกรมการคำนวณความสว่างบริเวณทางแยกหลายระดับ

ระบบแสงสว่างไฟถนนบริเวณทางแยกหลายระดับ ที่กล่าวถึงในวิทยานิพนธ์นี้ จะใช้วิธีคำนวณค่าความสว่างแบบจุดต่อจุด (Point By Point Method) ณ จุดต่าง ๆ บนพื้นผิวถนนนั้น ๆ ในช่วงพื้นที่ที่กำลังพิจารณา การนำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการคำนวณจะช่วยประหยัดเวลาและมีความถูกต้องแม่นยำ โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้เขียนด้วยภาษาเดลไฟล์ (Delphi) เวอร์ชัน 5.0 นอกจากจะสามารถคำนวณค่าความสว่างของถนนลักษณะต่าง ๆ ได้แล้ว ยังสามารถคำนวณเงาที่เกิดบนพื้นถนนจากวัตถุ เช่น รถยนต์บนถนนนั้น ๆ ได้ด้วย มีการแสดงผลการคำนวณเป็นตารางข้อมูลตัวเลข (Data Table) ภาพลายเส้น (Illuminance Contour Diagram) ภาพระบายสี (Illuminance Color Shade Diagram) และภาพแรเงา (Illuminance Rendering Diagram) บนพื้นที่ที่พิจารณา

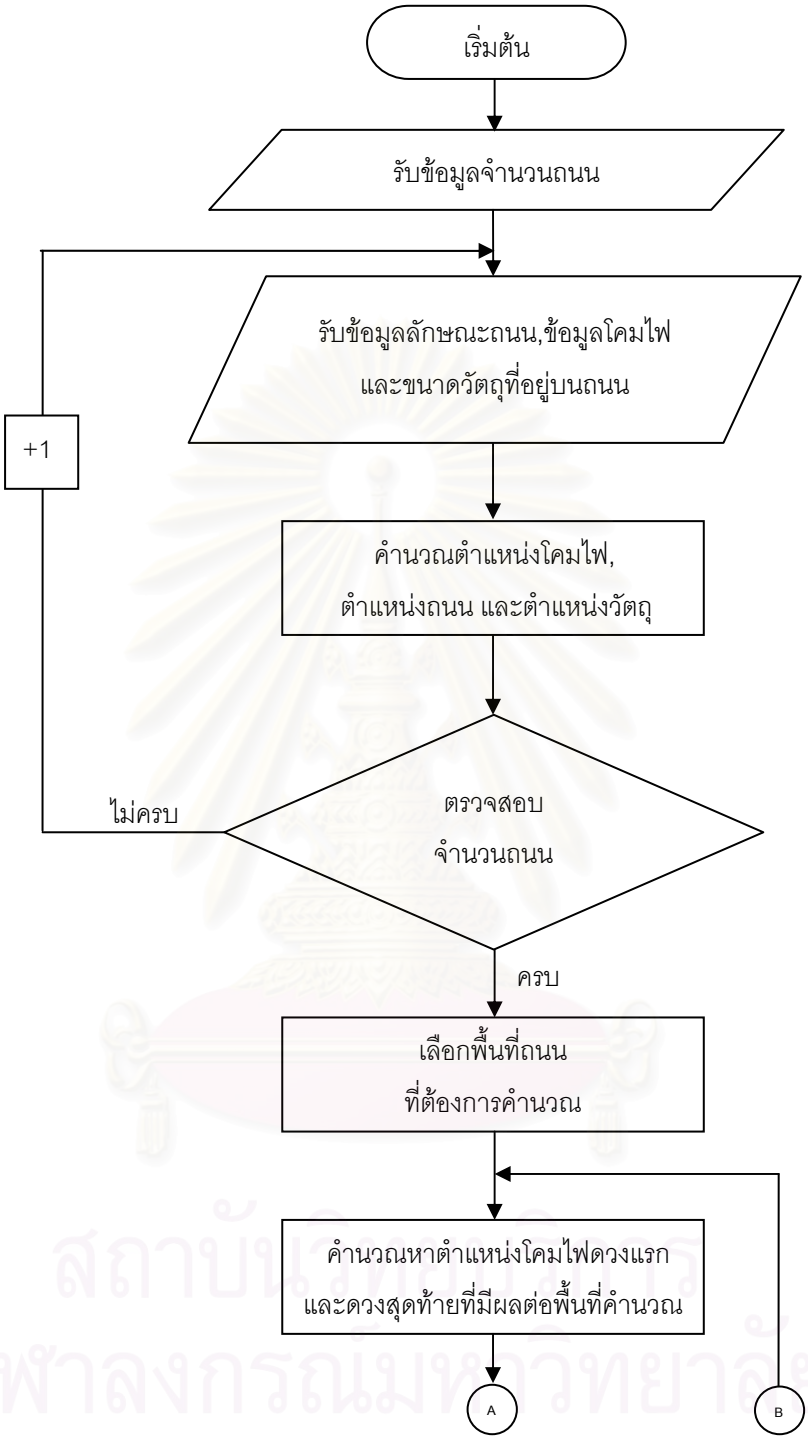
4.1 โครงสร้างของโปรแกรม

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ

1. ส่วนรับข้อมูล
2. ส่วนประมวลผล
3. ส่วนแสดงผล

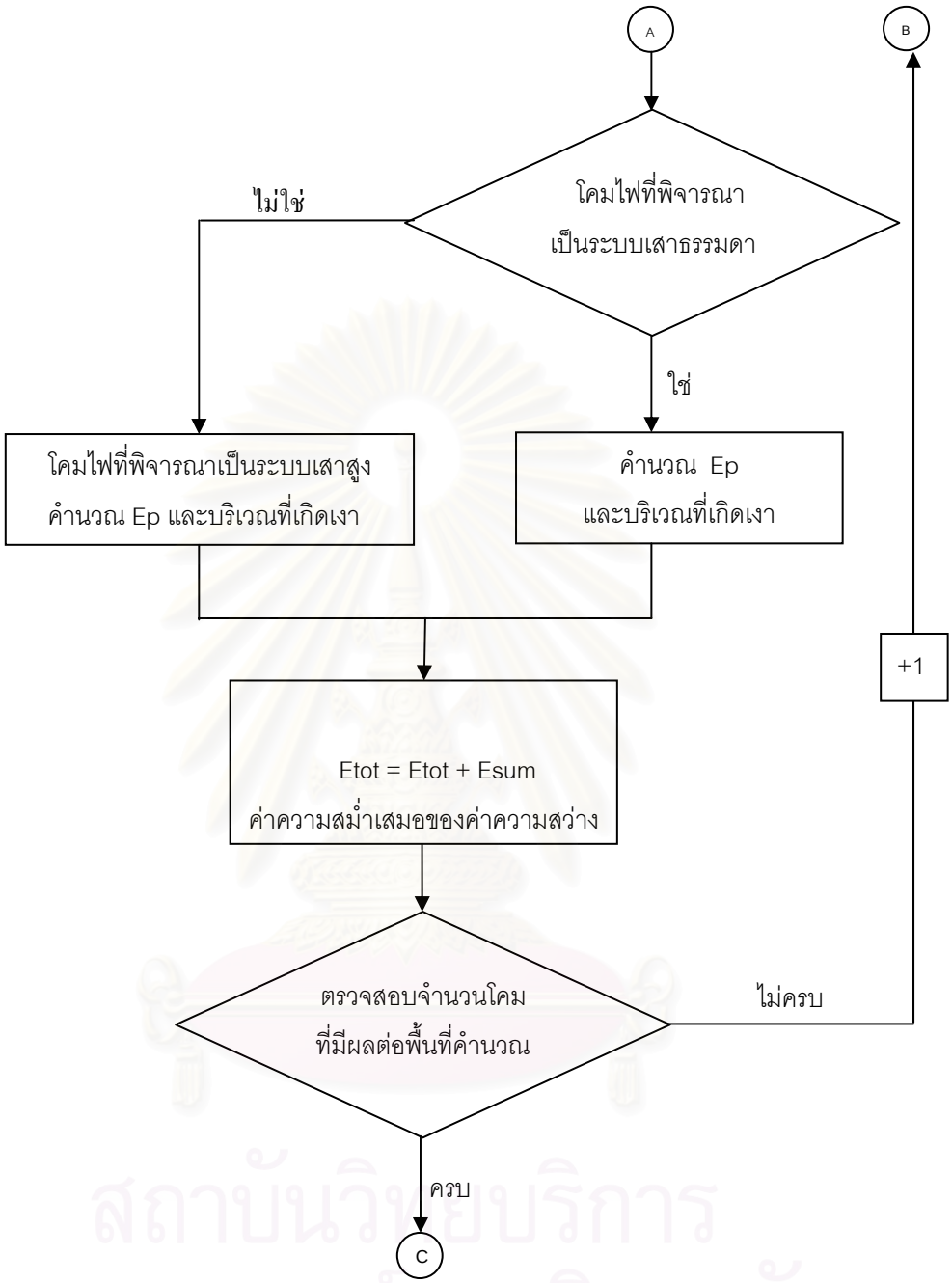
ขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 4.1 ซึ่งอธิบายขั้นตอนหลัก ทั้งนี้ในการคำนวณผลลัพธ์ประกอบด้วย ระบบเสาธรรมดาและระบบเสาสูง ซึ่งขั้นตอนการคำนวณของทั้ง 2 ระบบ แสดงรายละเอียดในส่วนประมวลผล ดังรูปที่ 4.17 และ รูปที่ 4.18 ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



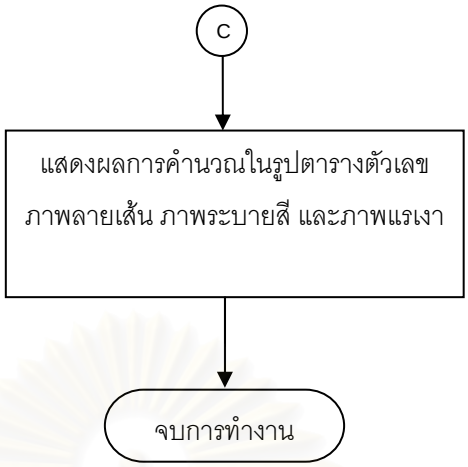
รูปที่ 4.1 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมคำนวณค่าความสว่างไฟถนน
บริเวณทางแยกหลายระดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมคำนวณค่าความสว่างไฟถนน บริเวณทางแยกหลายระดับ(ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมคำนวณค่าความสว่างไฟถนน บริเวณทางแยกหลายระดับ(ต่อ)

4.2 **ส่วนรับข้อมูล**

เป็นการป้อนข้อมูลเข้ามาเพื่อให้โปรแกรมนำข้อมูลเหล่านั้นมาใช้ในการคำนวณ โดยข้อมูลที่ต้องการ คือ

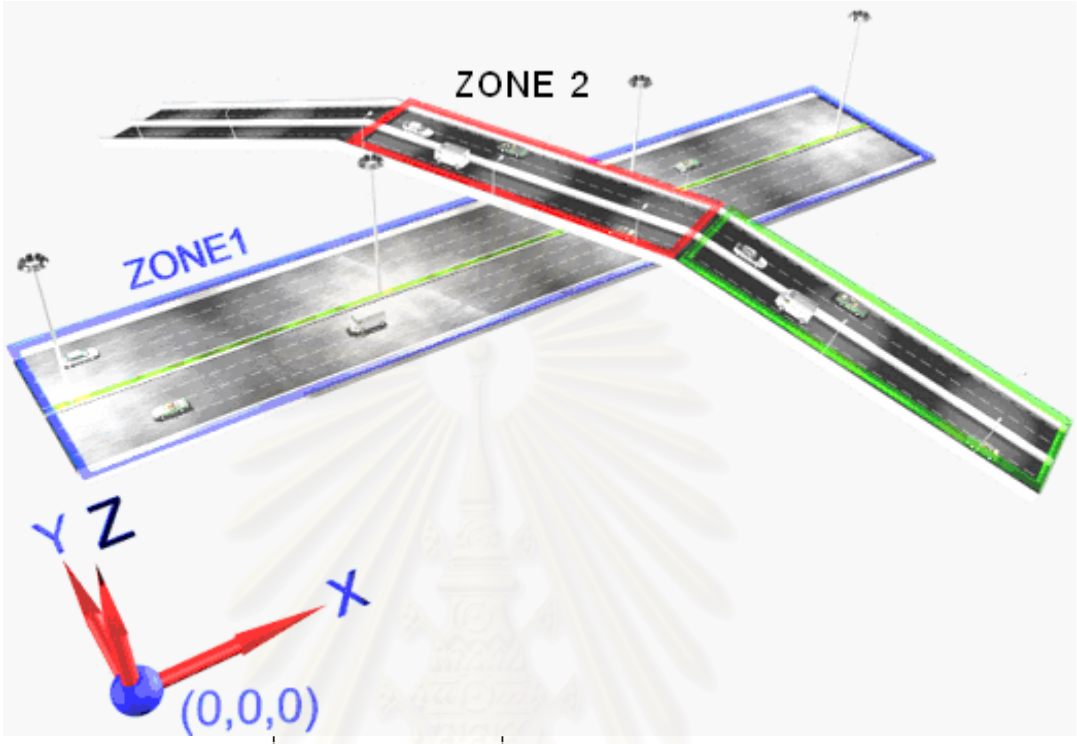
4.2.1 **ข้อมูลของถนน**

ข้อมูลของถนนจะบอกถึงลักษณะถนน ประกอบด้วยข้อมูลดังนี้

1. ใส่จำนวน ZONE ของถนน
2. คลิกปุ่ม Add เพื่อเลือกประเภทของถนนว่าเป็นถนนแบบรถวิ่งทางเดียวหรือรถวิ่งสวนกัน
3. ระบุชื่อ ZONE
4. ระบุความสูงของ KERB ถนน (ถ้ามี)
5. พิกัดจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของถนน
6. ขนาดความกว้างของถนน
7. ระบุจำนวนช่องวิ่งในแต่ละทิศทาง
8. ค่ามุมเอียงขวาหรือค่ามุมเอียงซ้ายของถนน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

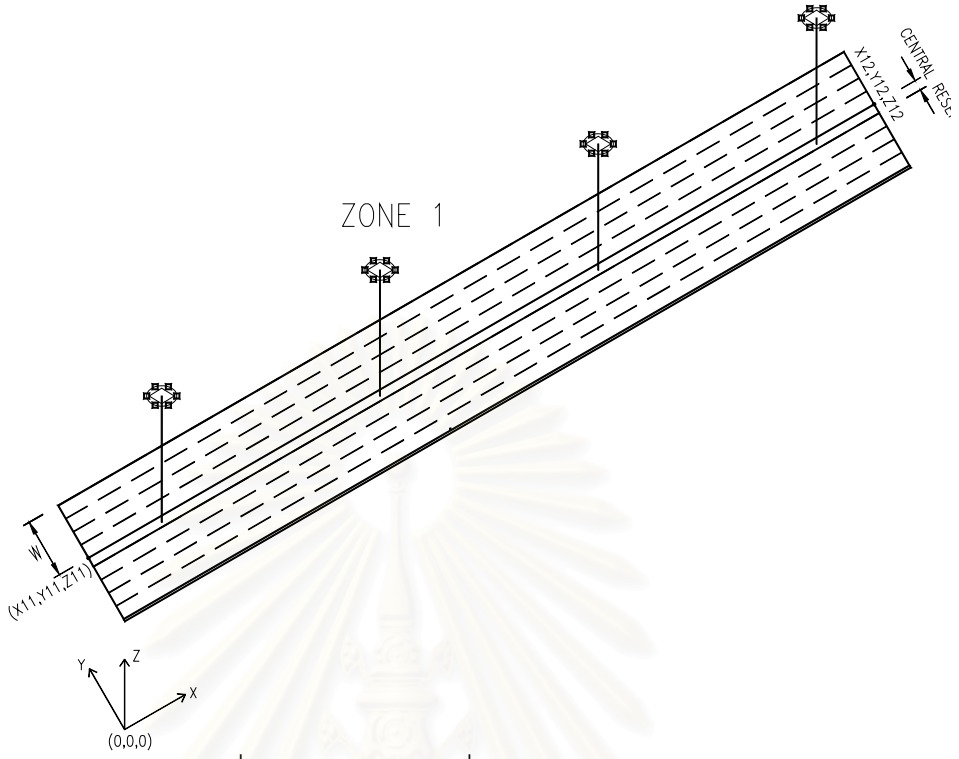
ตัวอย่างการป้อนข้อมูลถนน เช่นมีถนน 2 เส้น วางตัวอยู่คนละระดับความสูง ดังรูปที่ 4.2



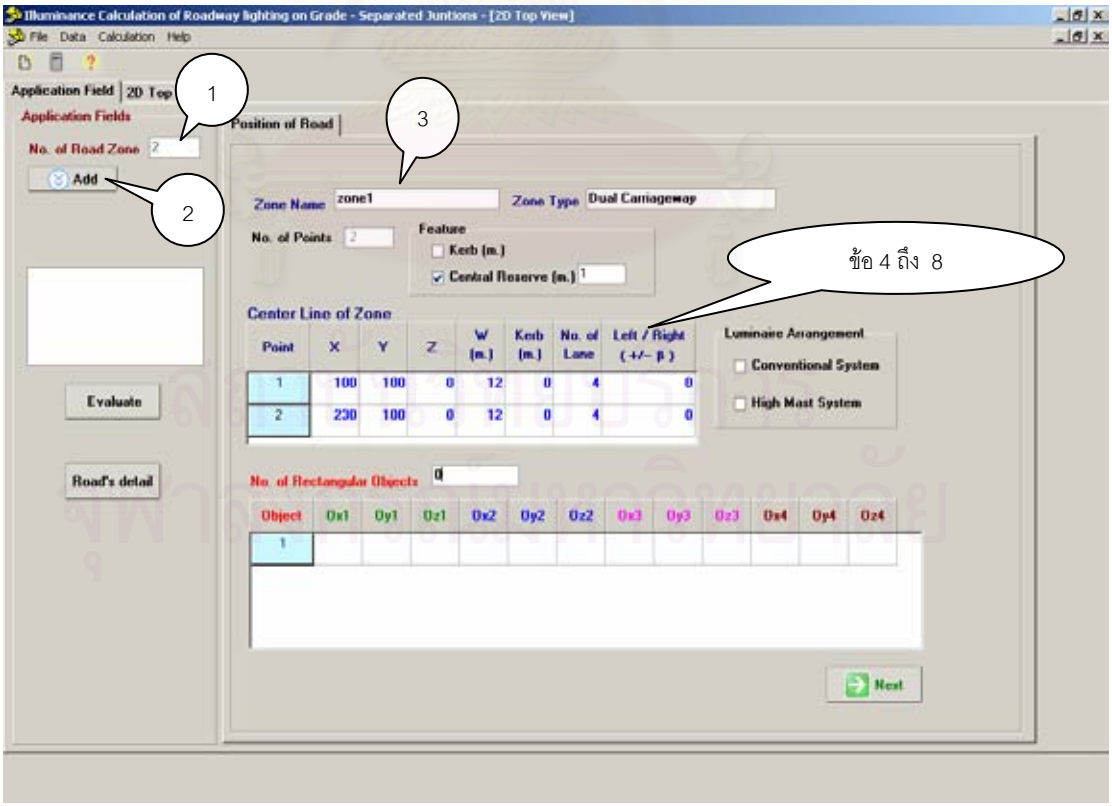
รูปที่ 4.2 ตัวอย่างถนนที่ต้องการคำนวณค่าความสว่าง

หากต้องการคำนวณค่าความสว่างบริเวณ ZONE 1 พิจารณารูปที่ 4.3 สามารถป้อนข้อมูลได้ดังรูปที่ 4.4 และในทำนองเดียวกันสำหรับ ถนน ZONE อื่นนั้นให้ใส่ข้อมูลเช่นนี้เหมือนกัน โดยใส่ข้อมูลถนนทุก ZONE ที่ต้องการพิจารณาให้ครบ และผู้ใช้สามารถกดปุ่ม Road Detail ดูรูปแสดงความหมายของค่าต่างๆที่ใช้ในการป้อนค่าซึ่งเกี่ยวกับถนนได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างถนนที่ต้องการคำนวณค่าความสว่าง



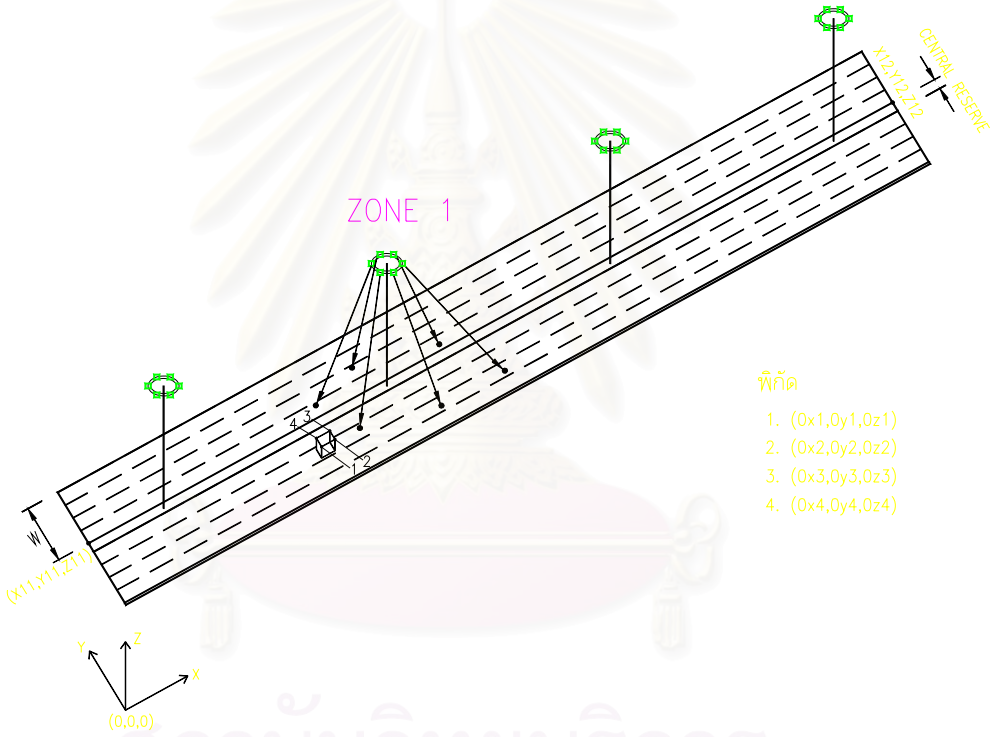
รูปที่ 4.4 ส่วนรับข้อมูลรายละเอียดของถนน

4.2.2 ข้อมูลของวัตถุที่อยู่บนถนน

เป็นข้อมูลที่ใช้เพื่อคำนวณเงาของวัตถุที่มีผลต่อค่าความสว่างที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่พิจารณา โดยข้อมูลที่ต้องการ คือ

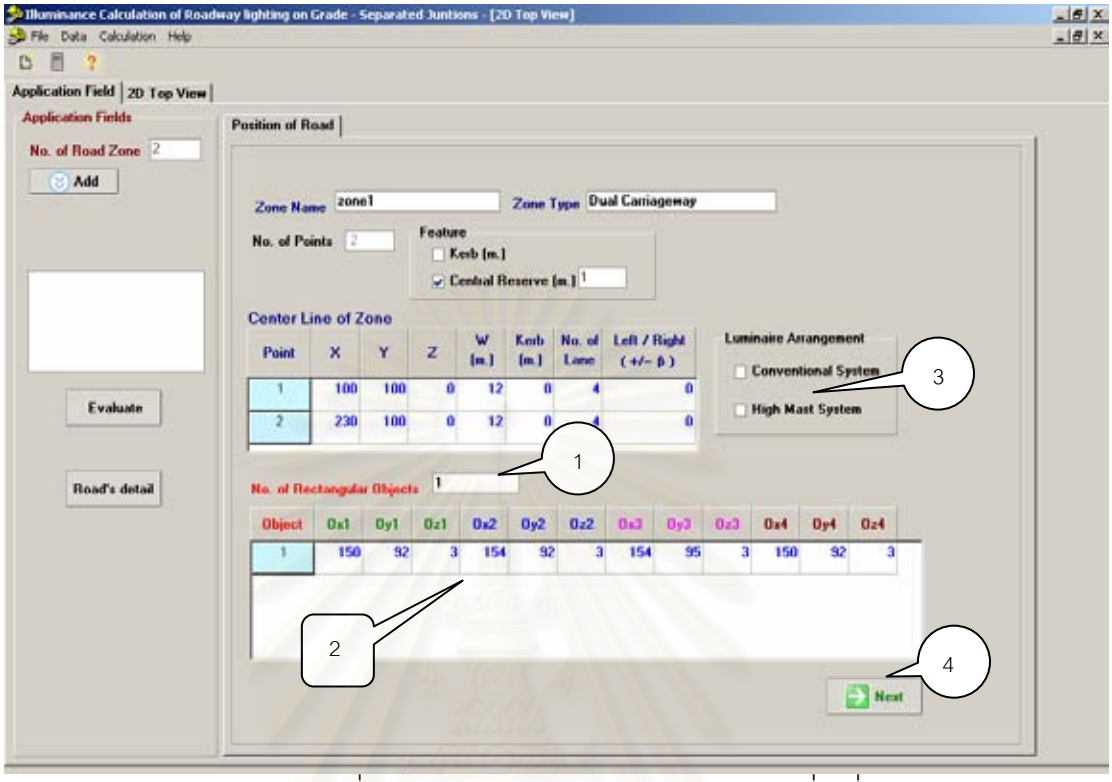
1. จำนวนวัตถุที่อยู่บนถนน
2. ตำแหน่งของวัตถุโดยบอกพิกัด (Ox1,Oy1,Oz1) , (Ox2,Oy2,Oz2), (Ox3,Oy3,Oz3) และ (Ox4,Oy4,Oz4) ซึ่งเป็นจุดมุมของวัตถุด้านบน จำนวน 4 จุด

พิจารณารูปที่ 4.5 และ รูปที่ 4.6 ประกอบความเข้าใจ



รูปที่ 4.5 ส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ใช้ในการป้อนข้อมูลของวัตถุ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 ส่วนรับข้อมูลลักษณะของวัตถุรูปสี่เหลี่ยม

เมื่อป้อนข้อมูลถนนและวัตถุเรียบร้อยแล้ว ผู้ใช้ต้องคลิกเลือกว่าถนน ZONE ที่กำลังป้อนข้อมูลนั้น มีการติดตั้งเสาระบบใดบ้าง (ดูหมายเลข 3) โดยคลิกเลือกที่ ช่อง Conventional หรือ High Mast หลังจากนั้น ให้กดปุ่ม Next เพื่อป้อนข้อมูลเกี่ยวกับการติดตั้งโคมไฟต่อไป

4.2.3 ข้อมูลของโคมไฟ

เป็นข้อมูลที่จำเป็นต่อการคำนวณค่าความสว่าง โดยแบ่งได้ 2 ระบบ ดังนี้

1) **ระบบเสาธรรมดา** (Conventional System)

ผู้ใช้จำเป็นต้องป้อนข้อมูลดังต่อไปนี้ โดยพิจารณารูปที่ 4.7 ถึง รูปที่ 4.8

1. ประเภทการติดตั้งเสาธรรมดา ผู้ใช้สามารถดูรายละเอียดของประเภทการติดตั้งเสา โดยคลิกปุ่ม Show Detail ได้

2. ระยะห่างระหว่างเสาโดยระบุเป็น S1 หมายถึง ระยะห่างของเสาต้นแรกนับจากพิกัดเริ่มต้นของถนน และ Sn หมายถึงระยะห่างระหว่างเสาถัดๆ ไป

3. ความสูงเสา (Mounting Height)

4. ระยะยื่นของดวงโคม (Overhang)

5. ค่าฟลักซ์ส่องสว่างของดวงโคม

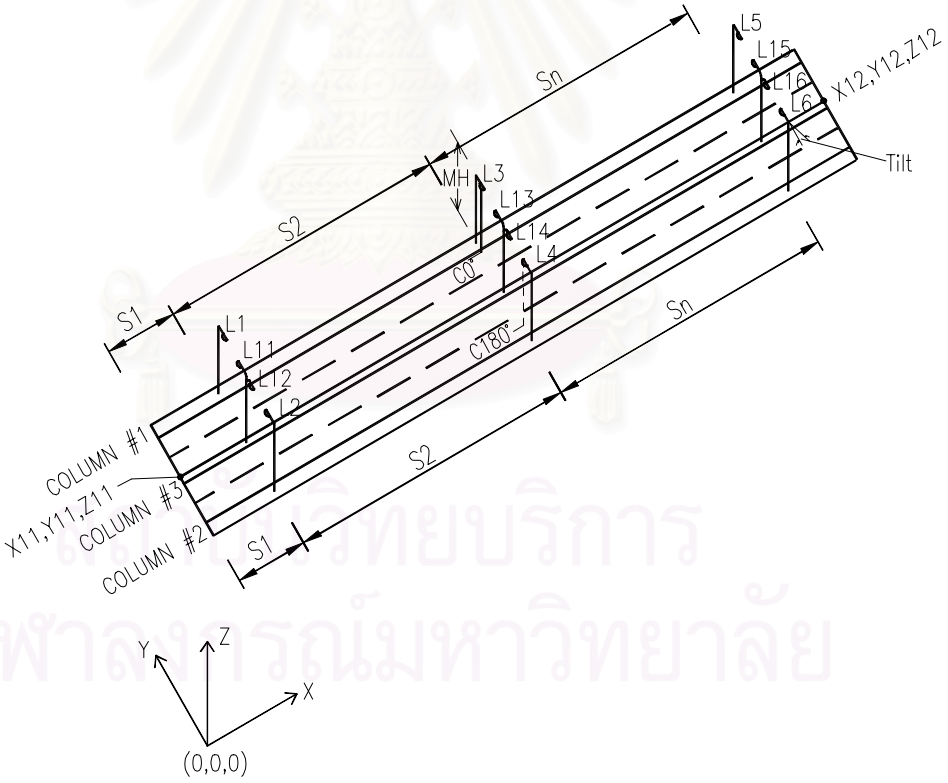
6. ข้อมูลความเข้มส่องสว่างของดวงโคม (ดึงจากแฟ้มข้อมูล)

7. จำนวนโคมในแต่ละ Column เมื่อผู้ใช้เลือกประเภทการติดตั้งแล้ว โปรแกรมจะแสดง Column ขึ้นมาเพื่อให้ผู้ใช้ใส่ข้อมูลได้

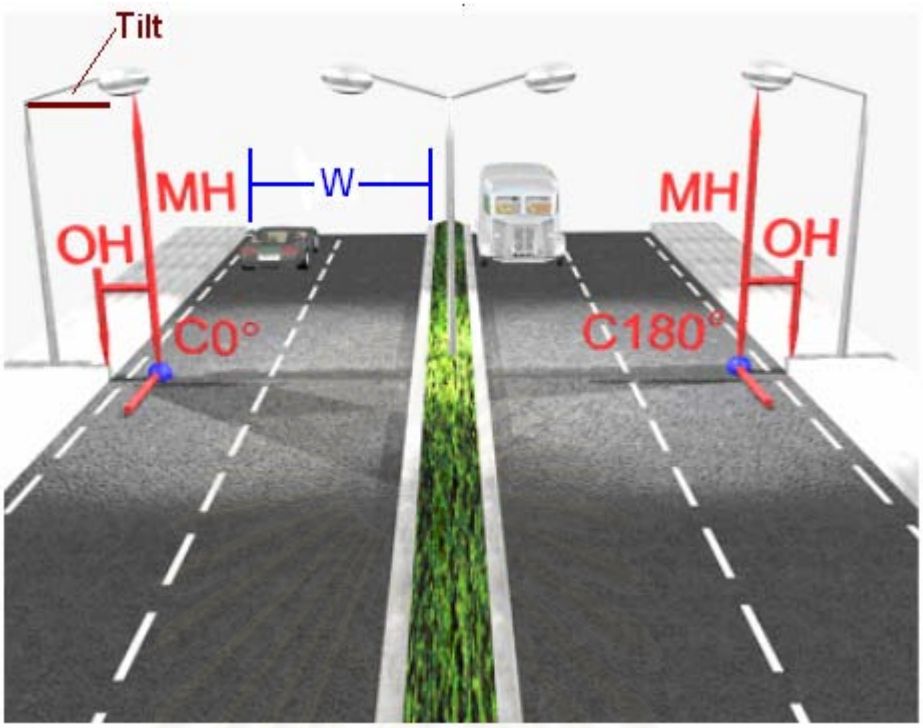
8. ขนาดมุมเงยของโคม

9. แนวระนาบ C ของโคม ตามมาตรฐาน CIE

10. เมื่อผู้ใช้ใส่ข้อมูลครบแล้ว ให้คลิกปุ่ม Next เพื่อใส่ข้อมูลลำดับต่อไป

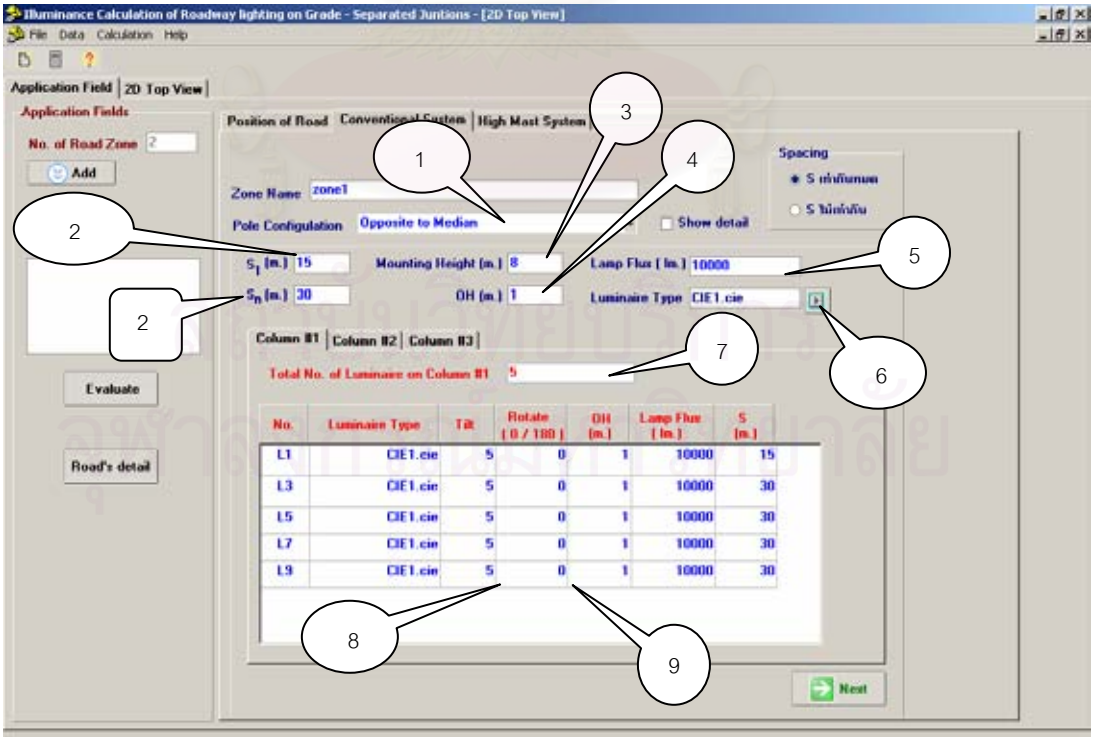


(ก)



(ข)

รูปที่ 4.7 ส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ใช้ในการป้อนข้อมูลโคมไฟระบบเสาธรรมดา

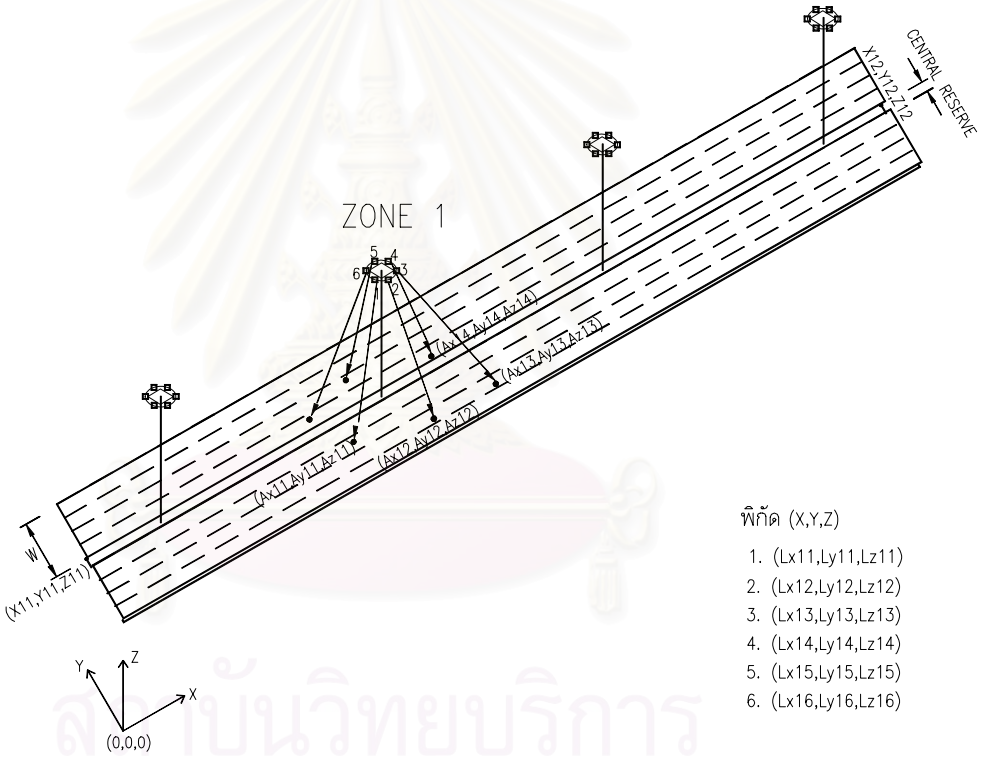


รูปที่ 4.8 ส่วนรับข้อมูลรายละเอียดของโคมไฟระบบเสาธรรมดา

2) **ระบบเสาสูง** (High Mast System)

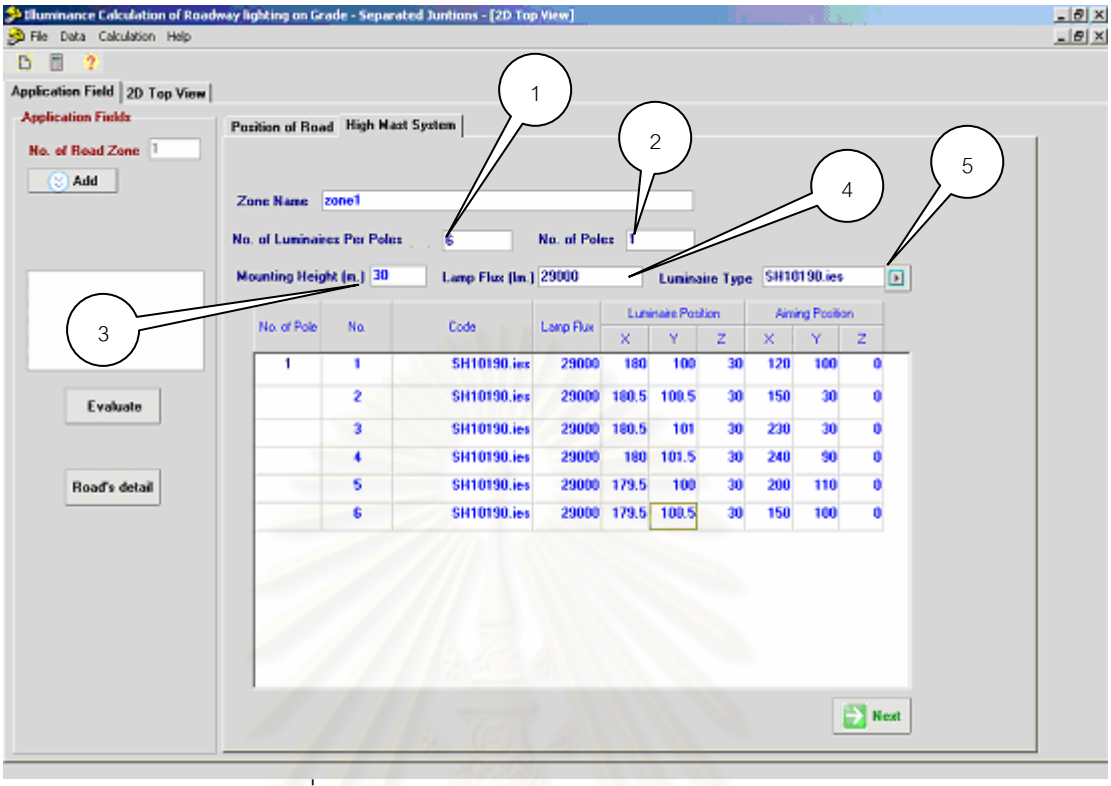
ผู้ใช้จำเป็นต้องป้อนข้อมูลดังต่อไปนี้ โดยพิจารณารูปที่ 4.9 ถึง รูปที่ 4.10

1. จำนวนดวงโคมต่อ 1 เสา
2. จำนวนเสาไฟ
3. ความสูงเสา
4. ค่าฟลักซ์ส่องสว่างของดวงโคม
5. ข้อมูลความเข้มส่องสว่างของดวงโคม (จากแฟ้มข้อมูล)



รูปที่ 4.9 ส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ใช้ในการป้อนข้อมูลโคมไฟระบบเสาสูง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

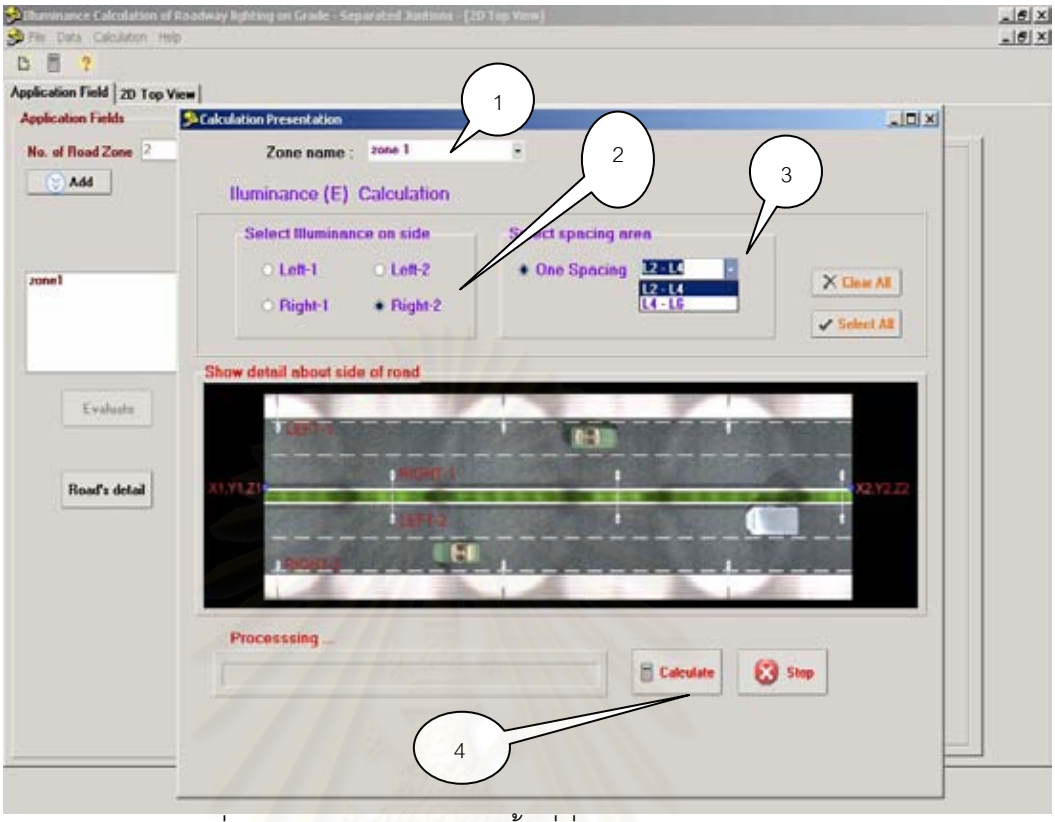


รูปที่ 4.10 ส่วนรับข้อมูลรายละเอียดของโคมไฟระบบเสาสูง

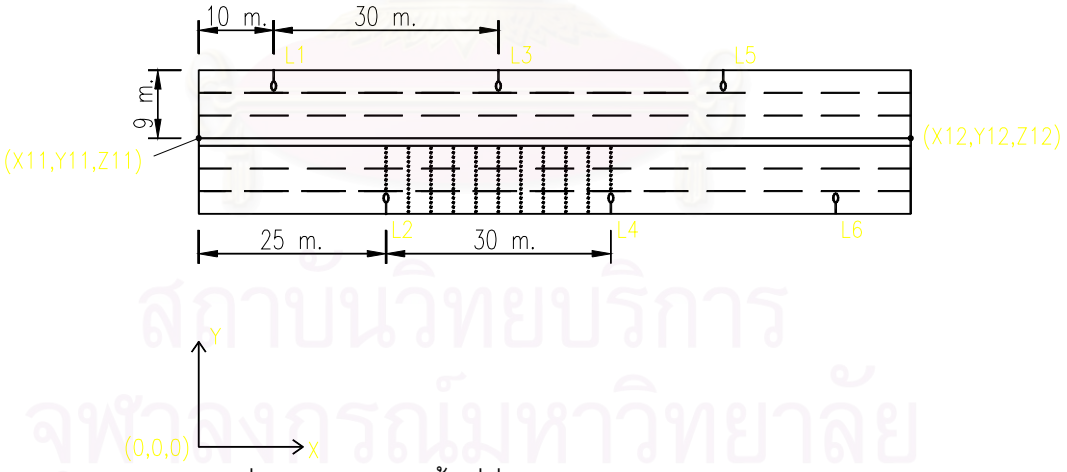
เมื่อผู้ใช้ใส่ข้อมูลครบทุกอย่างแล้วให้คลิกปุ่ม Evaluate แล้วจึงป้อนข้อมูลของถนน Zone ต่อไป โดยขั้นตอนการป้อนข้อมูลทำเหมือนที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

หลังจากนั้นผู้ใช้คลิกปุ่ม Calculation ใน Tool Bar ข้างบน โปรแกรมจะแสดงหน้าจอรับบริเวณพื้นที่คำนวณ ผู้ใช้เลือก ZONE ถนนที่จะคำนวณ(ดังหมายเลข 1) และเลือกด้านที่ต้องการคำนวณ โดยด้านจะอ้างอิงจากระยะห่างระหว่างโคมที่ต้องการคำนวณค่าความสว่างเป็นหลัก ตามรูปที่ 4.11

ผู้ใช้เลือกด้านที่ต้องการคำนวณโดยคลิกเลือกด้าน และเลือกช่วงเสาโดยคลิกเลือก ดังหมายเลข 2 และ 3 ตามลำดับ เช่น ติดตั้งโคมเสาธรรมดาแบบ Stagger Through Median จะได้พื้นที่คำนวณดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.11 ส่วนรับข้อมูลของพื้นที่ที่ต้องการคำนวณค่าความสว่าง



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างพื้นที่ที่ต้องการคำนวณค่าความสว่าง

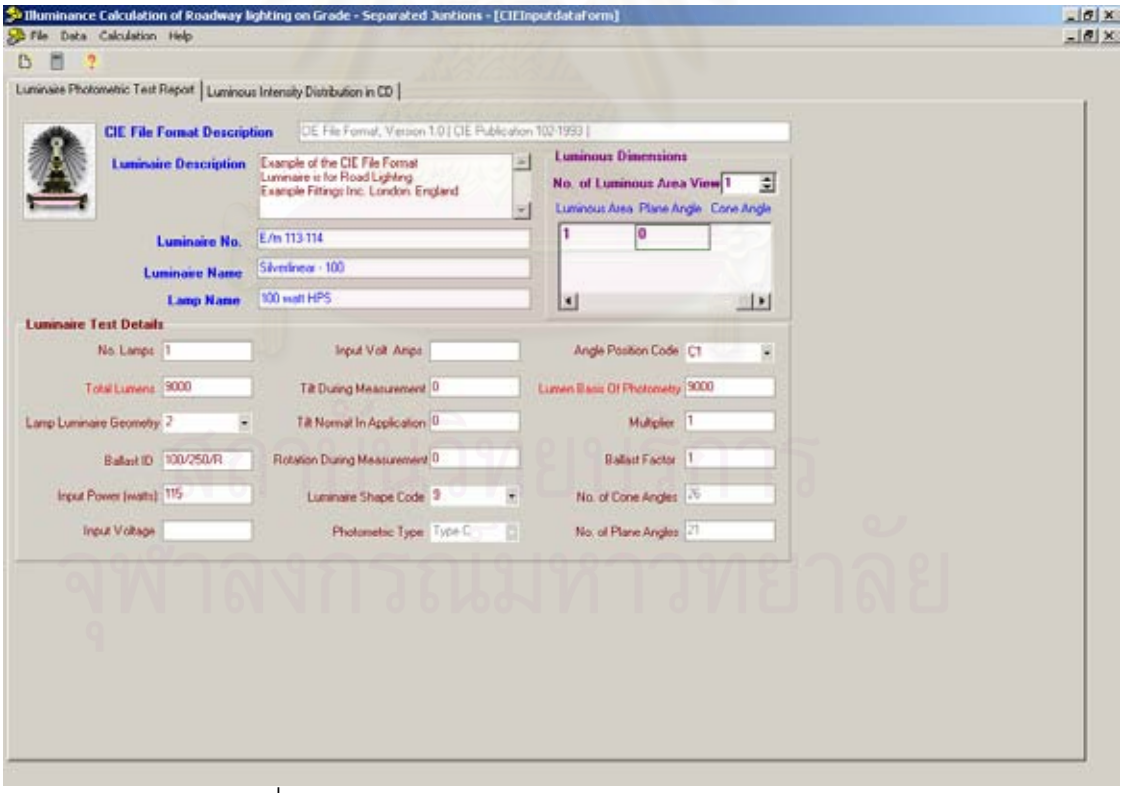
เมื่อใส่ข้อมูลครบแล้ว ผู้ใช้คลิกปุ่ม Calculate (หมายเลข 4 ดังรูปที่ 4.11) โปรแกรมทำการคำนวณค่าความสว่างบริเวณพื้นที่ที่เลือกไว้

4.3 ส่วนประมวลผล

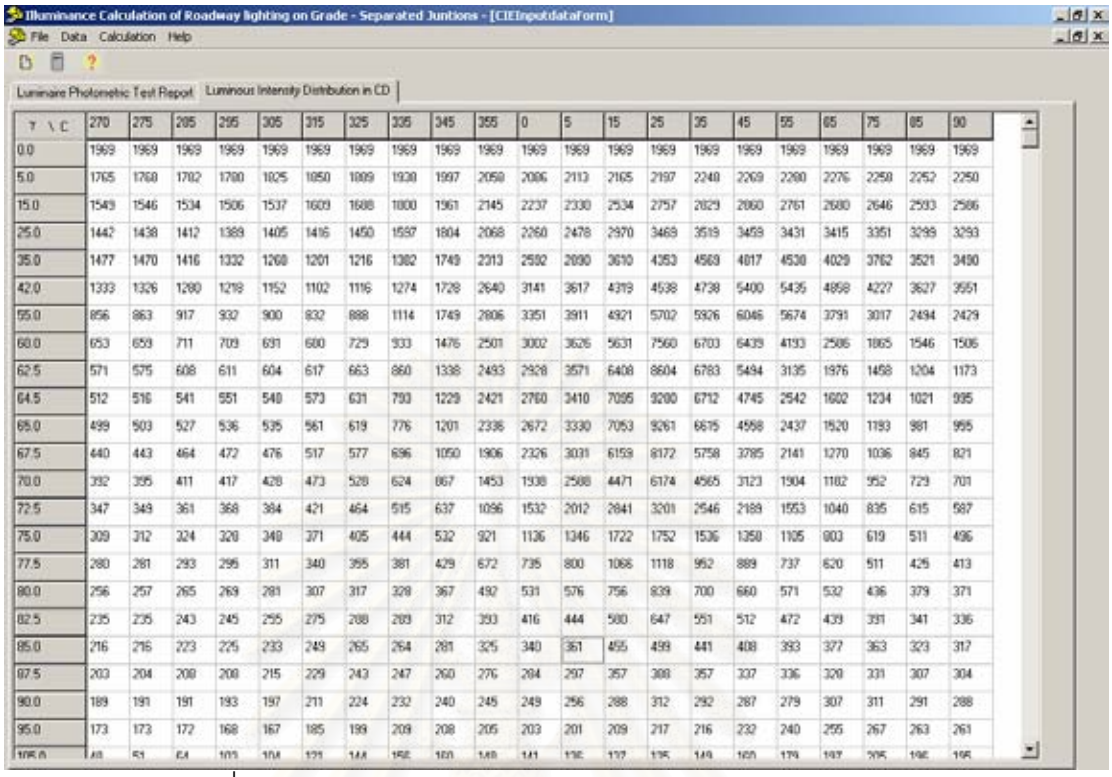
ส่วนประมวลผลของโปรแกรม แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนจัดเก็บข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมไฟและส่วนคำนวณผลลัพธ์ดังนี้

4.3.1 ส่วนจัดเก็บข้อมูลการกระจายแสงของโคม

ข้อมูลการกระจายแสงของโคมไฟถนนเป็นระบบ C-γ สำหรับระบบเสาธรรมดาและระบบ B-β สำหรับระบบเสาสูง ซึ่งอยู่ในรูปแบบระบบ CIE และ IES นั้นมีการจัดเก็บไว้เป็นฐานข้อมูล ซึ่งสามารถนำออกมาใช้โดยไม่ต้องป้อนข้อมูลใหม่ทุกครั้ง นอกจากนี้ยังสามารถแก้ไขและเพิ่มเติมข้อมูลของดวงโคม หรือจะ download ข้อมูลดวงโคม ตาม CIE File Format version 1.0 (ดูภาคผนวก ก) หรือ IES (ดูภาคผนวก ข) กับโปรแกรมก็ได้ โดยมีหน้าจอแสดงการรับข้อมูลดังรูปที่ 4.13 ถึงรูปที่ 4.16

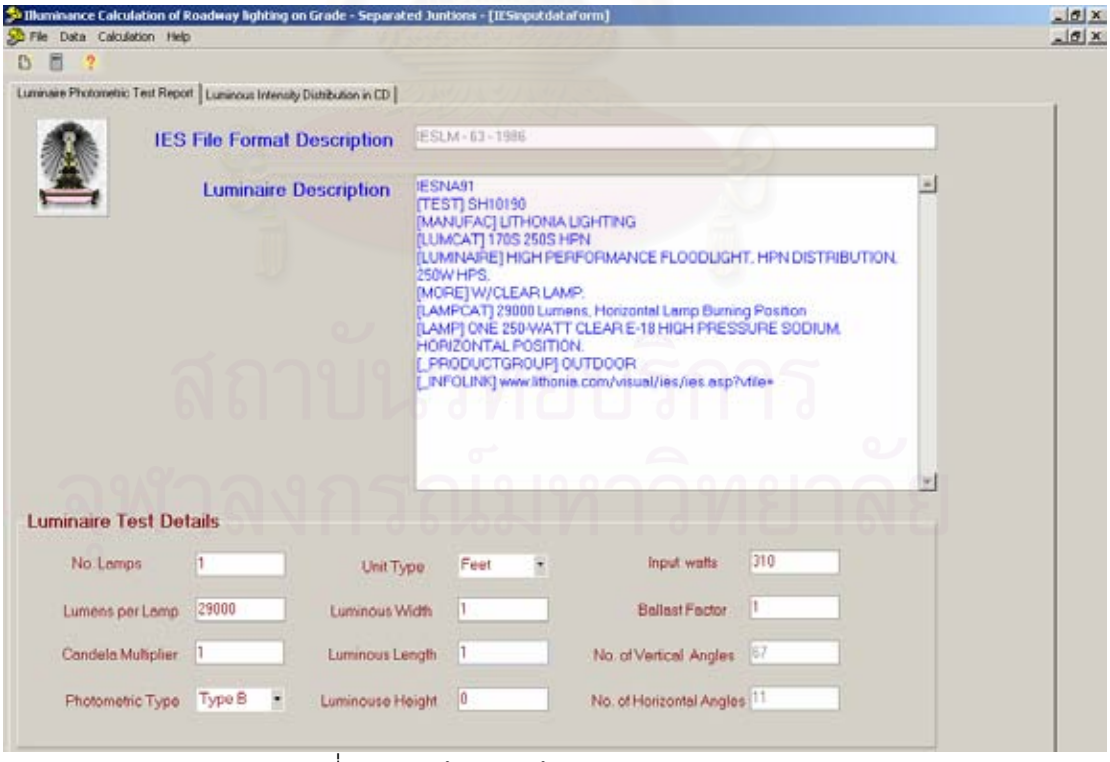


รูปที่ 4.13 หน้าจอรับข้อมูลของดวงโคมระบบเสาธรรมดา

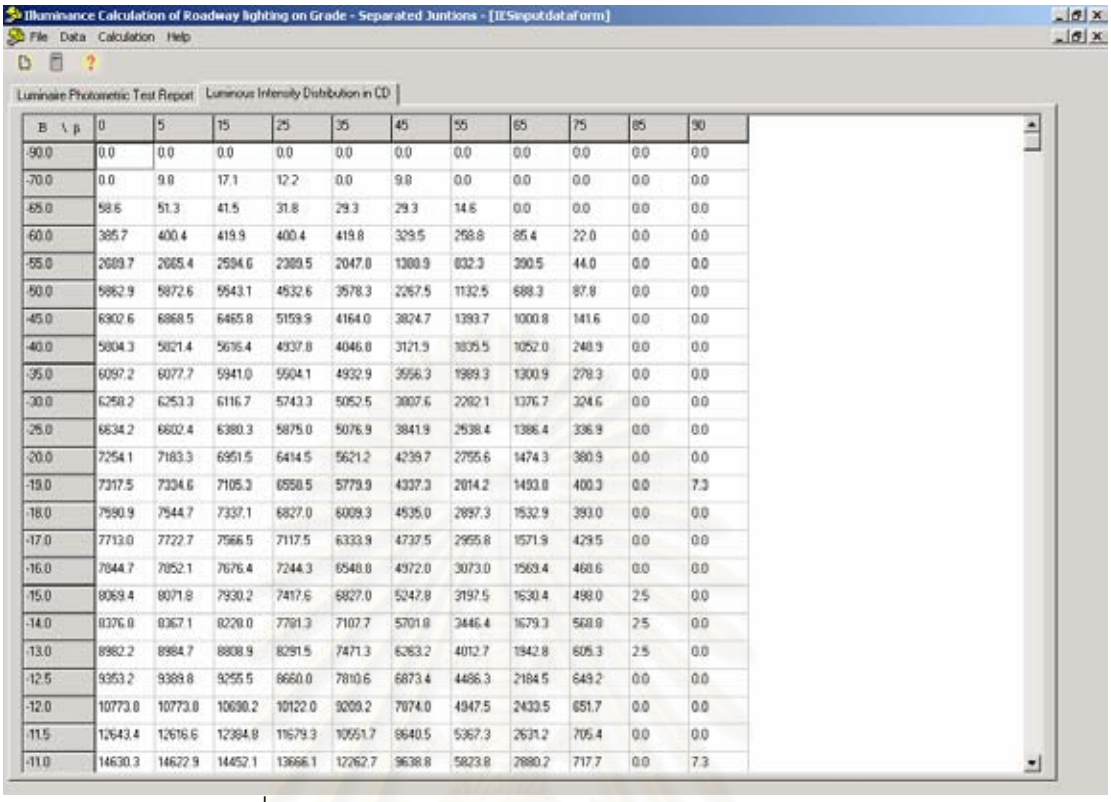


T \ C	270	275	285	295	305	315	325	335	345	355	0	5	15	25	35	45	55	65	75	85	90
0.0	1969	1969	1969	1969	1969	1969	1969	1969	1969	1969	1969	1969	1969	1969	1969	1969	1969	1969	1969	1969	1969
5.0	1765	1768	1782	1788	1825	1850	1889	1938	1997	2059	2086	2113	2165	2197	2248	2269	2280	2276	2258	2252	2250
15.0	1549	1546	1534	1506	1537	1609	1688	1800	1961	2145	2237	2330	2534	2757	2829	2860	2761	2680	2646	2593	2586
25.0	1442	1438	1412	1389	1405	1416	1450	1597	1804	2068	2260	2478	2970	3469	3519	3459	3431	3415	3351	3299	3293
35.0	1477	1470	1416	1332	1268	1201	1216	1382	1749	2313	2592	2890	3610	4353	4569	4817	4538	4029	3762	3521	3490
42.0	1393	1326	1280	1219	1152	1102	1116	1274	1728	2640	3141	3617	4319	4538	4738	5400	5436	4858	4227	3627	3551
55.0	856	863	917	932	900	832	888	1114	1749	2806	3351	3911	4921	5702	5926	6046	5674	3791	3017	2494	2429
60.0	653	659	711	709	691	680	729	933	1476	2501	3002	3626	5631	7560	6703	6439	4193	2586	1865	1546	1506
62.5	571	575	608	611	604	617	663	860	1338	2493	2928	3571	6408	8604	6783	5494	3135	1976	1458	1204	1173
64.5	512	516	541	551	548	573	631	793	1229	2421	2760	3410	7095	9200	6712	4745	2542	1602	1234	1021	995
65.0	499	503	527	536	535	561	619	776	1201	2336	2672	3330	7053	9261	6675	4558	2437	1520	1193	981	955
67.5	440	443	464	472	476	517	577	696	1050	1906	2326	3031	6159	8172	5758	3785	2141	1270	1036	845	821
70.0	392	395	411	417	428	473	528	624	867	1453	1938	2588	4471	6174	4565	3123	1904	1182	952	729	701
72.5	347	349	361	368	384	421	464	515	637	1096	1532	2012	2841	3201	2546	2189	1553	1040	835	615	587
75.0	309	312	324	328	348	371	405	444	532	921	1136	1346	1722	1752	1536	1358	1105	903	619	511	496
77.5	280	281	293	295	311	340	355	381	429	672	735	800	1068	1118	952	889	737	620	511	425	413
80.0	256	257	265	269	281	307	317	328	367	492	531	576	756	839	700	660	571	532	436	379	371
82.5	235	235	243	245	255	275	288	293	312	393	416	444	580	647	551	512	472	439	391	341	336
85.0	216	216	223	225	233	249	265	264	281	325	340	361	455	499	441	408	393	377	363	323	317
87.5	203	204	208	208	215	229	243	247	260	276	284	297	357	388	357	337	336	329	331	307	304
90.0	189	191	191	193	197	211	224	232	240	245	249	256	288	312	292	287	279	307	311	291	288
95.0	173	173	172	168	167	185	199	209	208	205	203	201	209	217	216	232	240	255	267	263	261
100.0	48	51	54	103	104	121	144	158	160	149	141	136	137	135	149	160	179	197	205	196	195

รูปที่ 4.14 หน้าจอรับข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมระบบเสาธรรมดา



รูปที่ 4.15 หน้าจอรับข้อมูลของดวงโคมสำหรับเสาสูง



B \ p	0	5	15	25	35	45	55	65	75	85	90
-90.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-70.0	0.0	9.8	17.1	12.2	0.0	9.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-65.0	58.6	51.3	41.5	31.8	29.3	29.3	14.6	0.0	0.0	0.0	0.0
-60.0	385.7	400.4	419.9	400.4	419.8	329.5	258.8	85.4	22.0	0.0	0.0
-55.0	2689.7	2665.4	2594.6	2389.5	2047.8	1388.9	832.3	390.5	44.0	0.0	0.0
-50.0	5862.9	5872.6	5543.1	4532.6	3578.3	2267.5	1132.5	688.3	87.8	0.0	0.0
-45.0	6302.6	6868.5	6465.8	5159.9	4164.0	3824.7	1393.7	1000.8	141.6	0.0	0.0
-40.0	5804.3	5821.4	5616.4	4937.8	4046.8	3121.9	1835.5	1052.0	248.9	0.0	0.0
-35.0	6097.2	6077.7	5941.0	5504.1	4932.9	3556.3	1989.3	1300.9	278.3	0.0	0.0
-30.0	6258.2	6253.3	6116.7	5743.3	5052.5	3807.6	2282.1	1376.7	324.6	0.0	0.0
-25.0	6634.2	6602.4	6380.3	5875.0	5076.9	3841.9	2538.4	1386.4	336.9	0.0	0.0
-20.0	7254.1	7183.3	6951.5	6414.5	5621.2	4239.7	2755.6	1474.3	380.9	0.0	0.0
-19.0	7317.5	7334.6	7105.3	6558.5	5779.9	4337.3	2814.2	1493.8	400.3	0.0	7.3
-18.0	7590.9	7544.7	7337.1	6827.0	6009.3	4535.0	2897.3	1532.9	393.0	0.0	0.0
-17.0	7713.0	7722.7	7566.5	7117.5	6333.9	4737.5	2955.8	1571.9	429.5	0.0	0.0
-16.0	7844.7	7852.1	7676.4	7244.3	6548.8	4972.0	3073.0	1569.4	468.6	0.0	0.0
-15.0	8069.4	8071.8	7930.2	7417.6	6827.0	5247.8	3197.5	1630.4	498.0	2.5	0.0
-14.0	8376.0	8367.1	8228.0	7791.3	7107.7	5701.8	3446.4	1679.3	568.8	2.5	0.0
-13.0	8982.2	8984.7	8808.9	8291.5	7471.3	6263.2	4012.7	1842.8	605.3	2.5	0.0
-12.5	9353.2	9389.8	9255.5	8660.0	7810.6	6873.4	4486.3	2184.5	649.2	0.0	0.0
-12.0	10773.0	10773.0	10690.2	10122.0	9209.2	7674.0	4947.5	2433.5	651.7	0.0	0.0
-11.5	12643.4	12616.6	12384.8	11679.3	10551.7	8640.5	5367.3	2631.2	705.4	0.0	0.0
-11.0	14630.3	14622.9	14452.1	13666.1	12262.7	9638.8	5823.8	2880.2	717.7	0.0	7.3

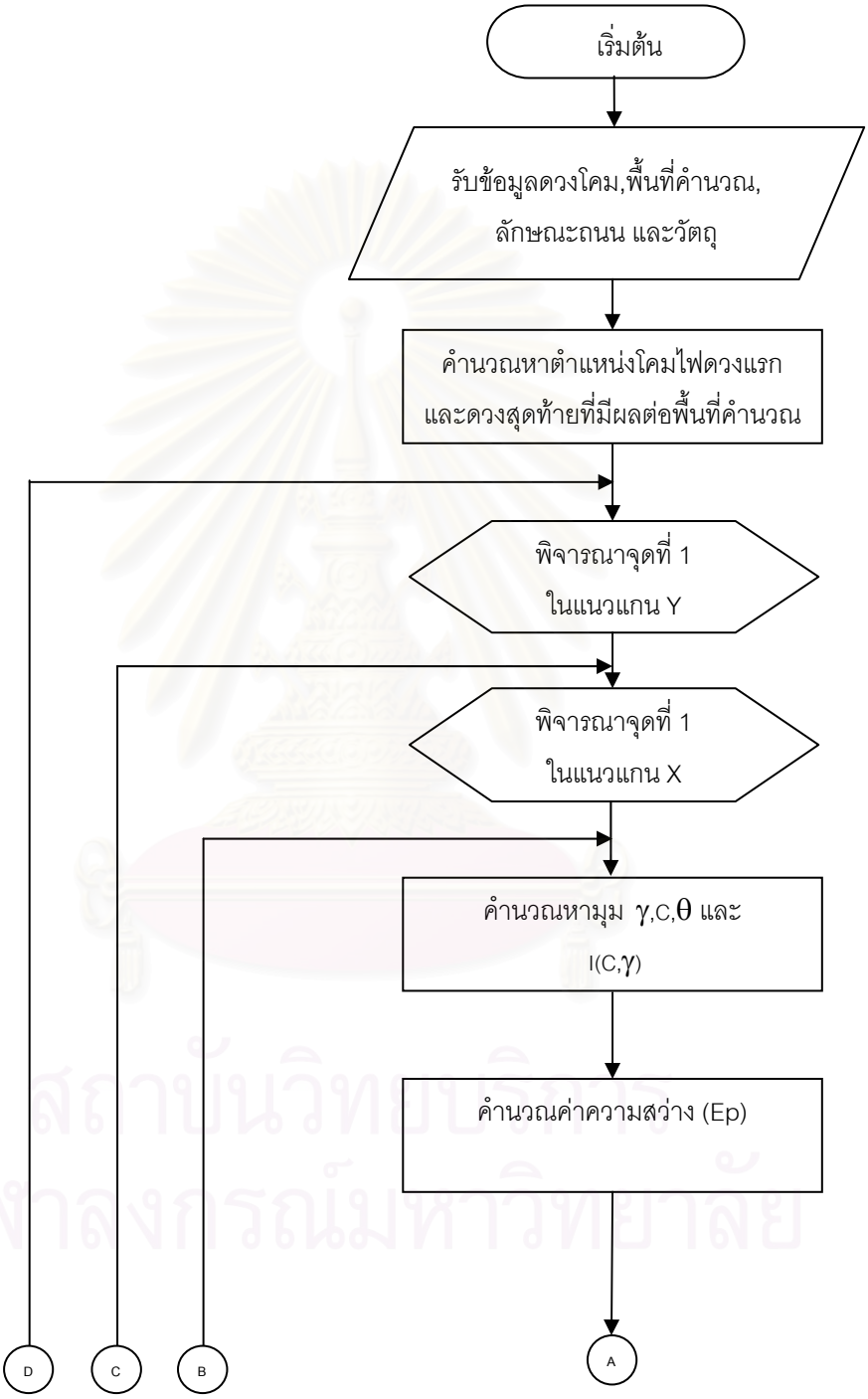
รูปที่ 4.16 หน้าจอรับข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมระบบเสาสูง

4.3.2 ส่วนคำนวณผลลัพธ์

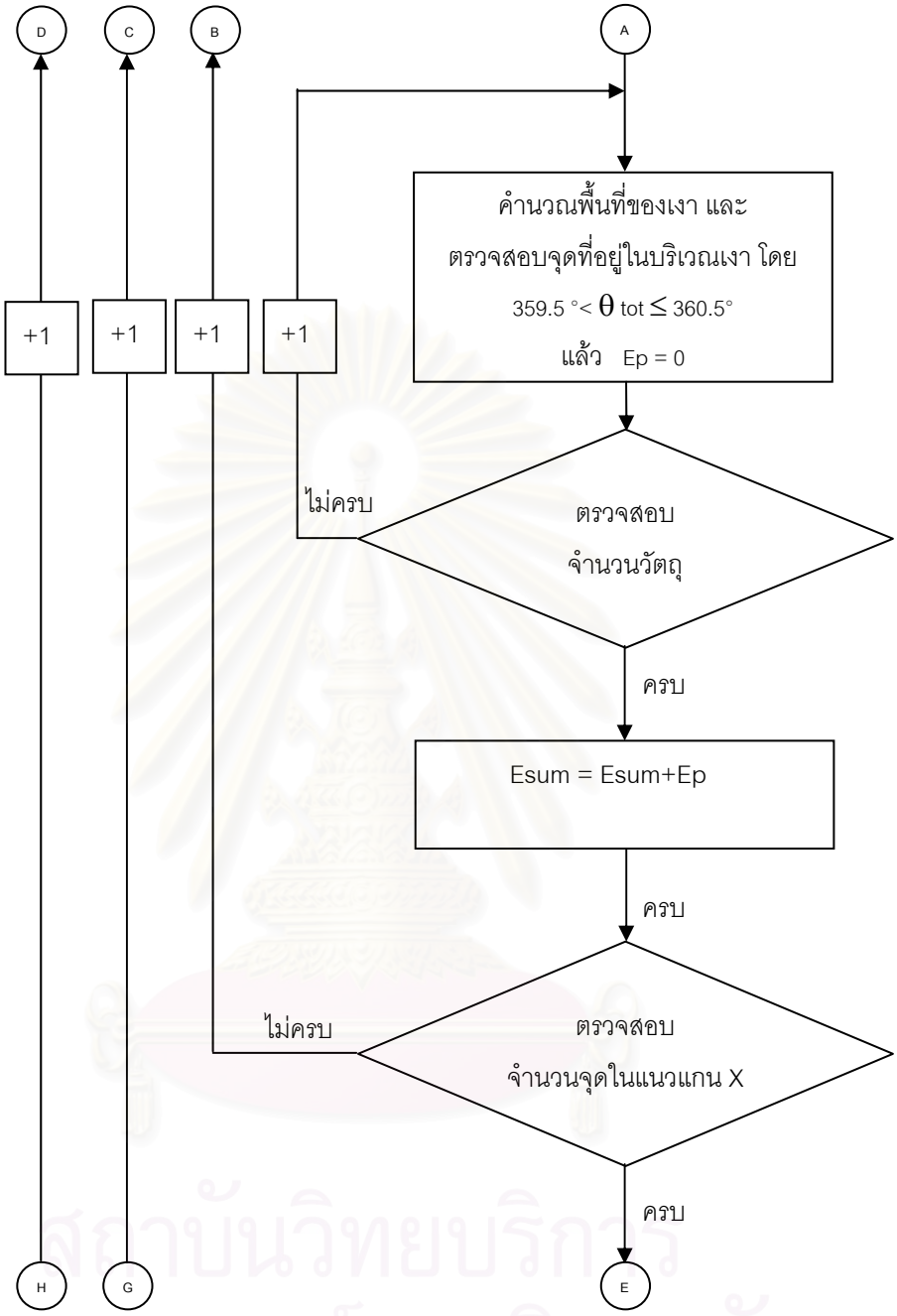
เนื้อหาในส่วนนี้จะแสดงถึงขั้นตอนการคำนวณค่าความสว่าง ความสม่ำเสมอของความสว่าง การเกิดเงา บนผิวถนนที่ต้องการพิจารณา โดยแสดงแผนภาพของการคำนวณเป็น 2 แผนภาพ ซึ่งแบ่งตามชนิดของโคมไฟได้ 2 ประเภท คือ ระบบเสาธรรมดา และระบบเสาสูง เพื่อให้เห็นขั้นตอนการคำนวณได้อย่างชัดเจน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

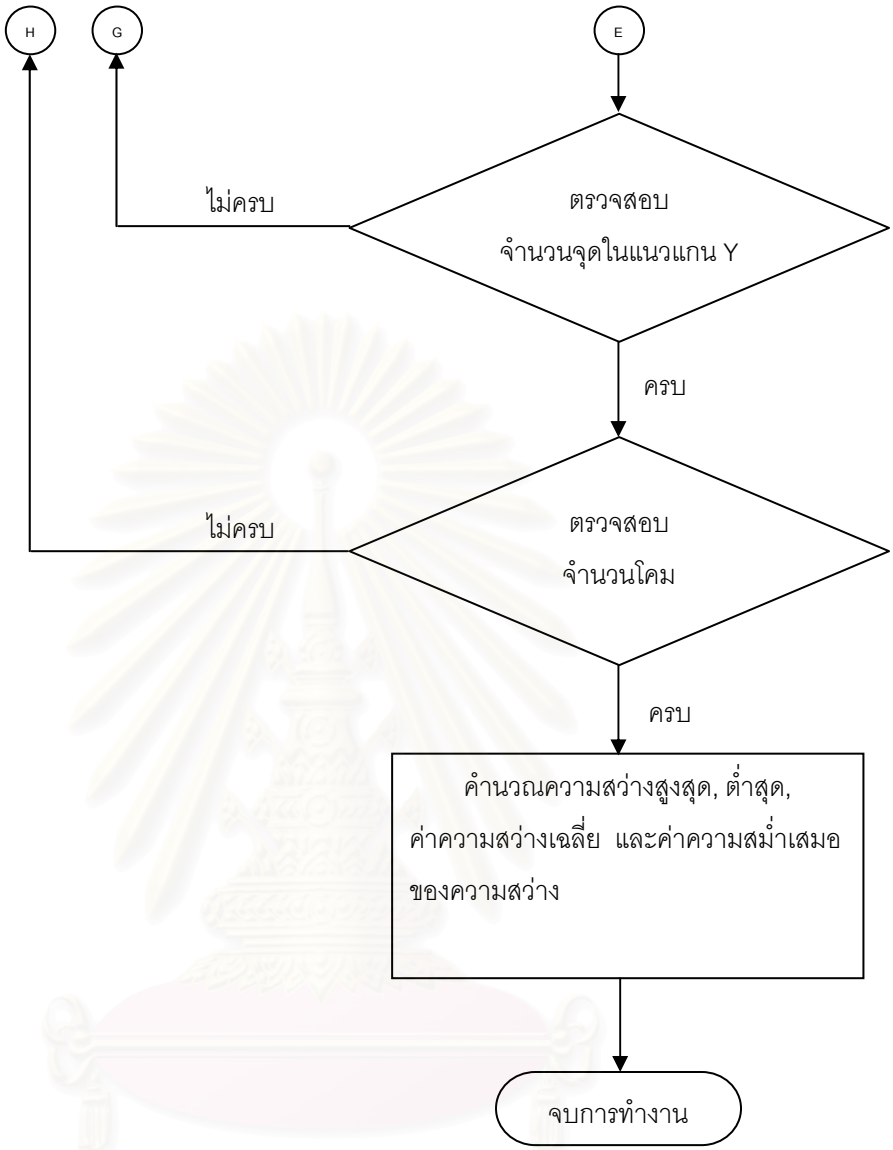
1) **ส่วนคำนวณผลลัพธ์ของระบบเสาธรรมดา**



รูปที่ 4.17 แผนภาพแสดงการคำนวณผลลัพธ์ของระบบเสาธรรมดา



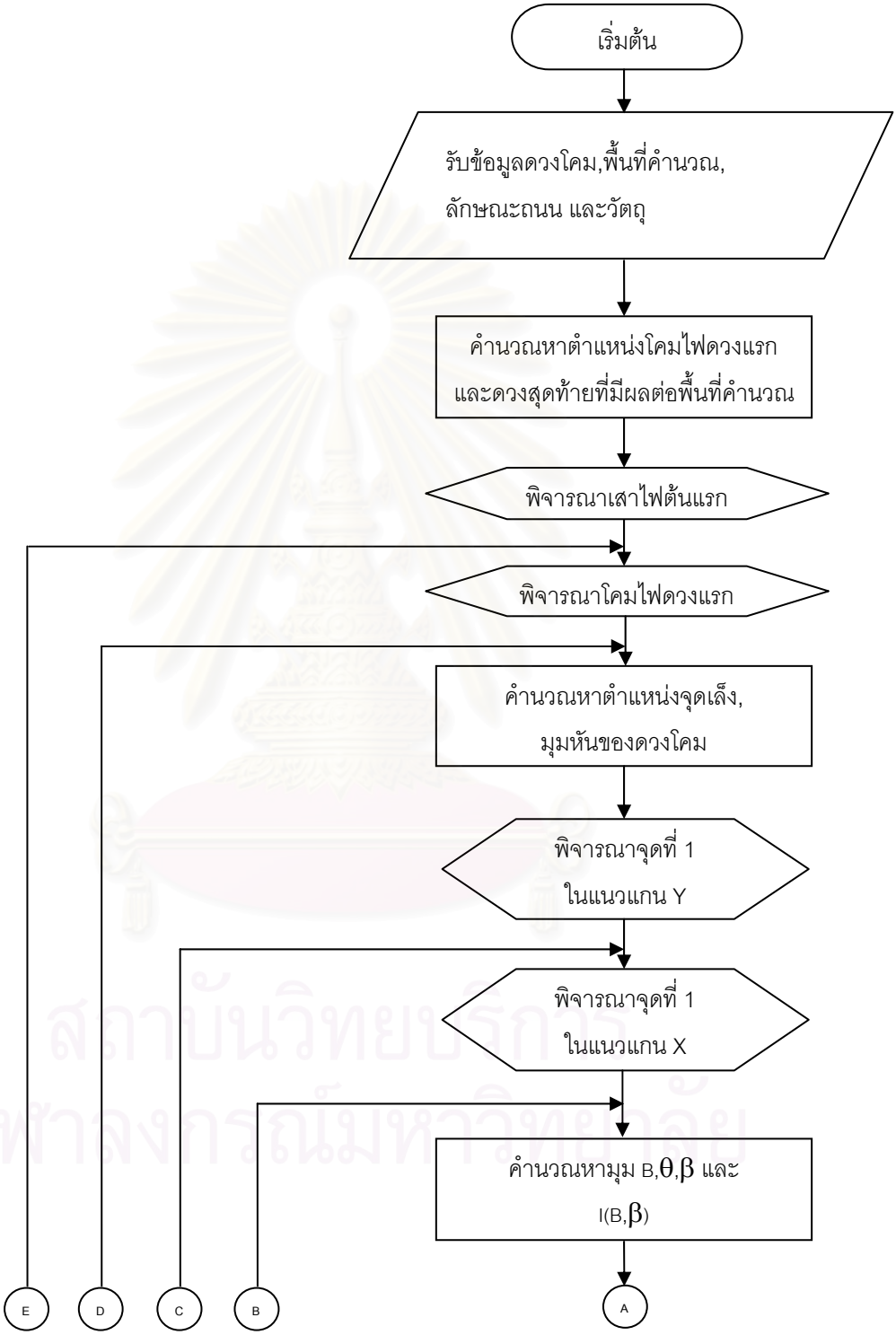
รูปที่ 4.17 แผนภาพแสดงการคำนวณผลลัพธ์ของระบบเสาธรรมดา(ต่อ)



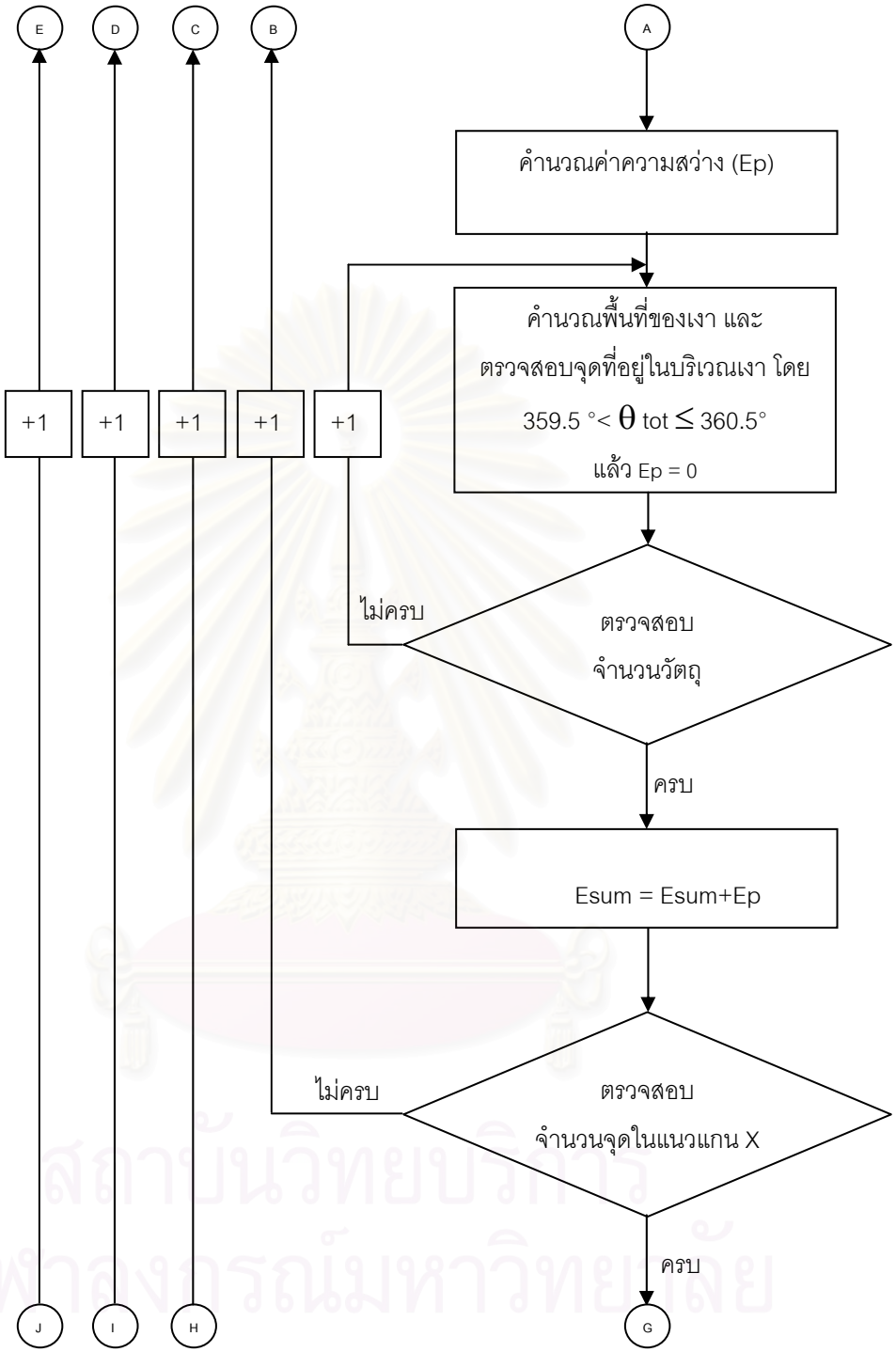
รูปที่ 4.17 แผนภาพแสดงการคำนวณผลลัพธ์ของระบบเสาธรรมดา(ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

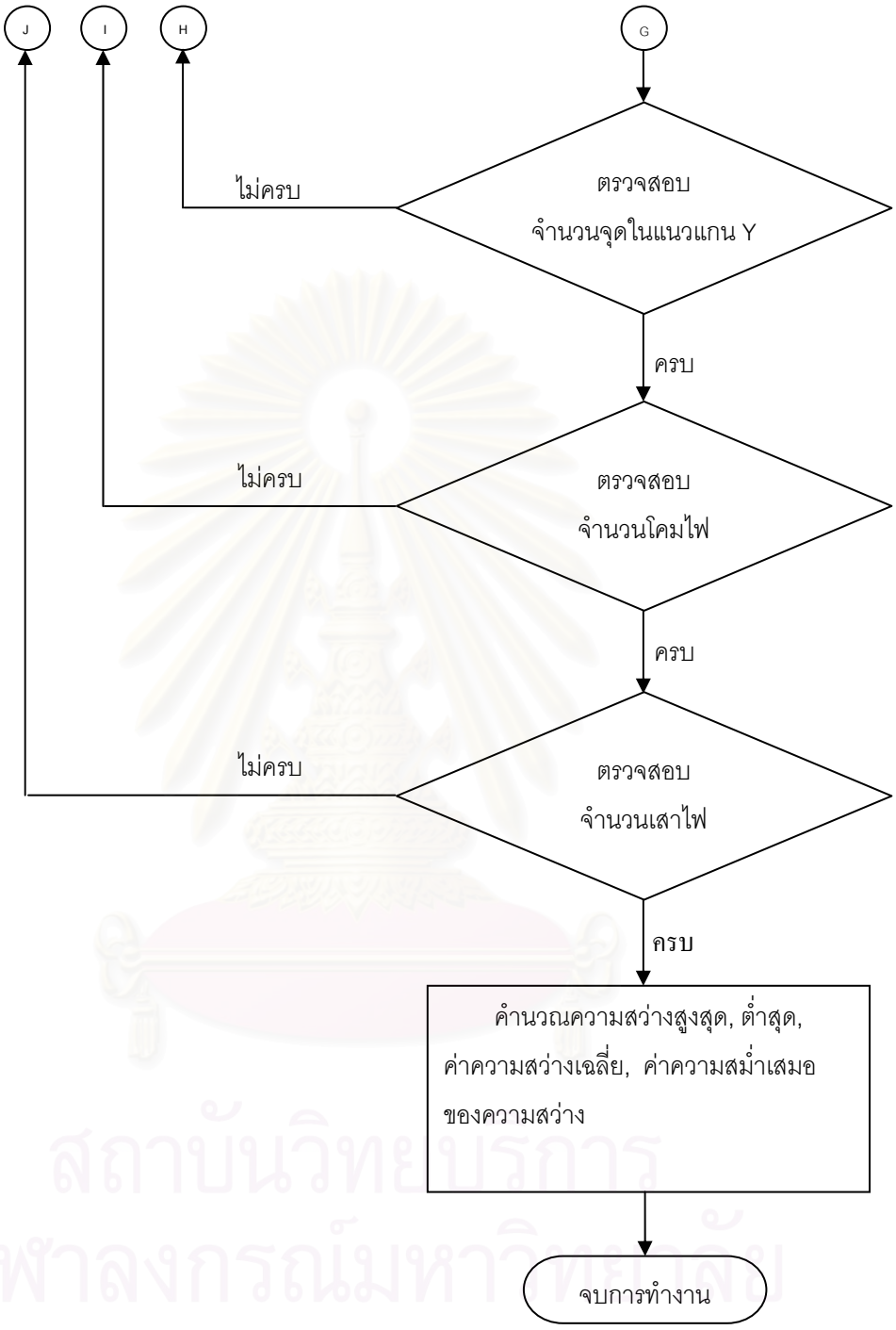
2) **ส่วนคำนวณผลลัพธ์ของระบบสูง**



รูปที่ 4.18 แผนภาพแสดงการคำนวณผลลัพธ์ของระบบเสาสูง



รูปที่ 4.18 แผนภาพแสดงการคำนวณผลลัพธ์ของระบบเสาสูง(ต่อ)



รูปที่ 4.18 แผนภาพแสดงการคำนวณผลลัพธ์ของระบบเสาสูง(ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 ส่วนแสดงผล

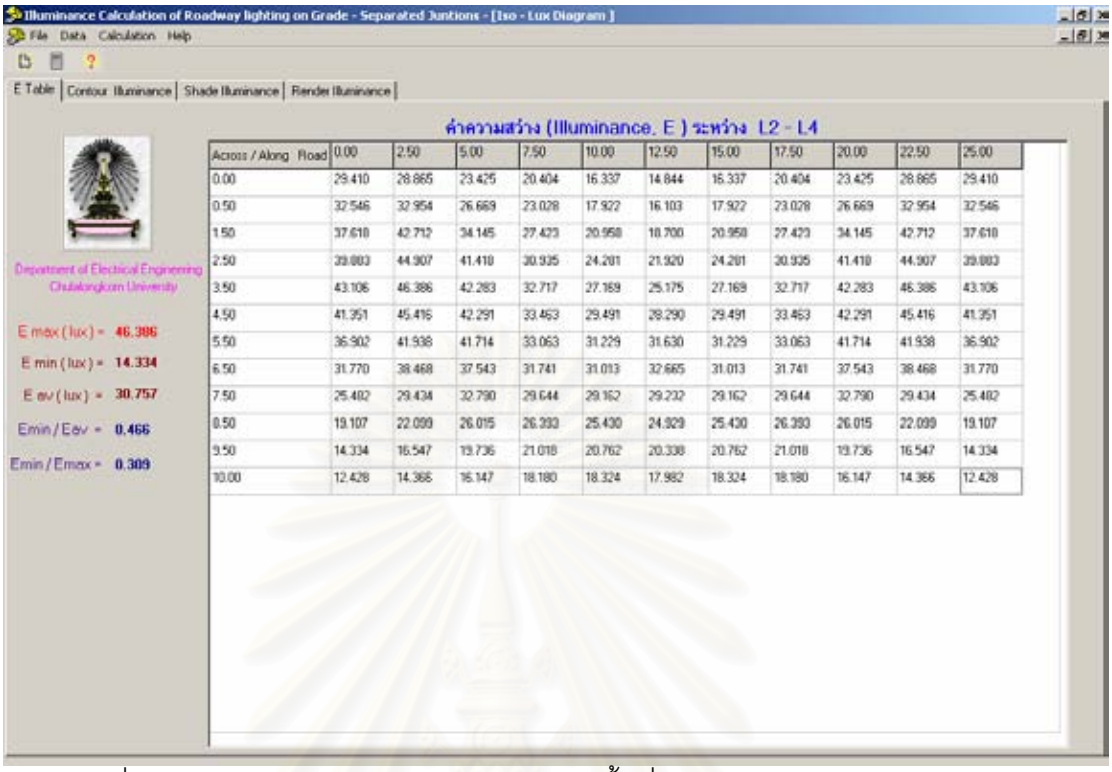
ส่วนแสดงผลการคำนวณแบ่งได้ 2 ส่วนหลัก คือ แสดงผลของความสว่างและการคำนึงถึงผลของเงา บนพื้นที่ที่พิจารณาโดยแสดงผลลัพธ์ต่าง ๆ ตามจุดที่กำหนดบนระนาบที่กำลังพิจารณา ซึ่งผลลัพธ์ทั้ง 2 ส่วนจะถูกแสดงออกมาในรูปแบบต่างๆดังนี้

- ตารางตัวเลขแสดงค่าความสว่างตลอดช่วงที่กำลังพิจารณา (Data Table)
- เส้นโค้งความสว่างเท่า (Iso-Lux Diagram) โดยจะแสดงเส้นทางเดินที่ค่าเปอร์เซนต์ต่างๆ ของค่าความสว่างสูงสุด เพื่อให้เห็นการกระจายความสว่างได้อย่างชัดเจน
- Illuminance Color Shade Diagram โดยจะแสดงช่วงความสว่างที่ 0-5%, 5-10%, 10-15%, 15-20% , 20-25%, 25-30%, 30-35%, 35-40%, 40-45%, 45-50%, 50-55%, 55-60%, 60-65%, 65-70%, 70-75%, 75-80%, 80-85%, 85-90%, 90-95% และ 95-100% ของค่าความสว่างสูงสุด เพื่อให้เห็นการกระจายความสว่างได้อย่างชัดเจน
- ภาพแรเงาของความสว่าง (Illuminance Rendering Diagram) เพื่อให้เห็นการกระจายความสว่างได้อย่างชัดเจน

ผลลัพธ์ที่แสดงต่างกันนี้จะช่วยในการพิจาณาค่าได้อย่างชัดเจนในมุมมองที่แตกต่างกัน รวมทั้งสรุปค่าความสว่าง ความสม่ำเสมอของความสว่าง โดยแบ่งการแสดงผลออกเป็น 2 ส่วนหลัก ดังนี้

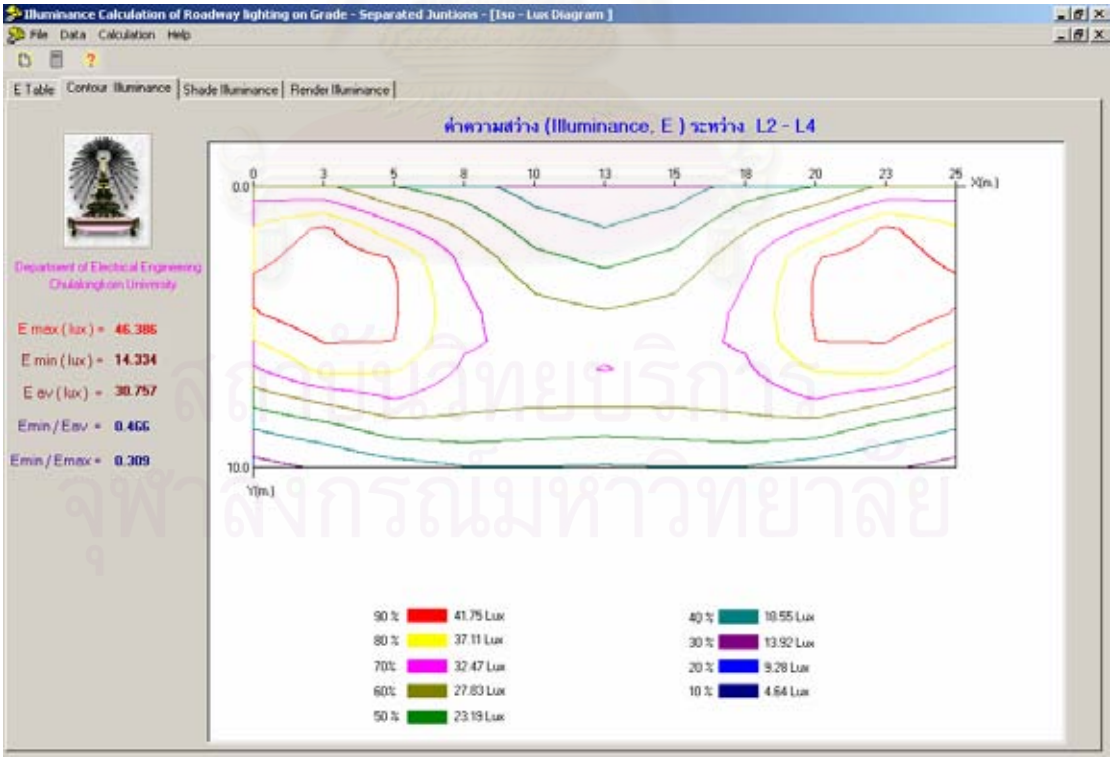
4.4.1 ความสว่างบนถนนบริเวณพื้นที่พิจารณาเมื่อไม่มีเงาที่เกิดจากวัตถุ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

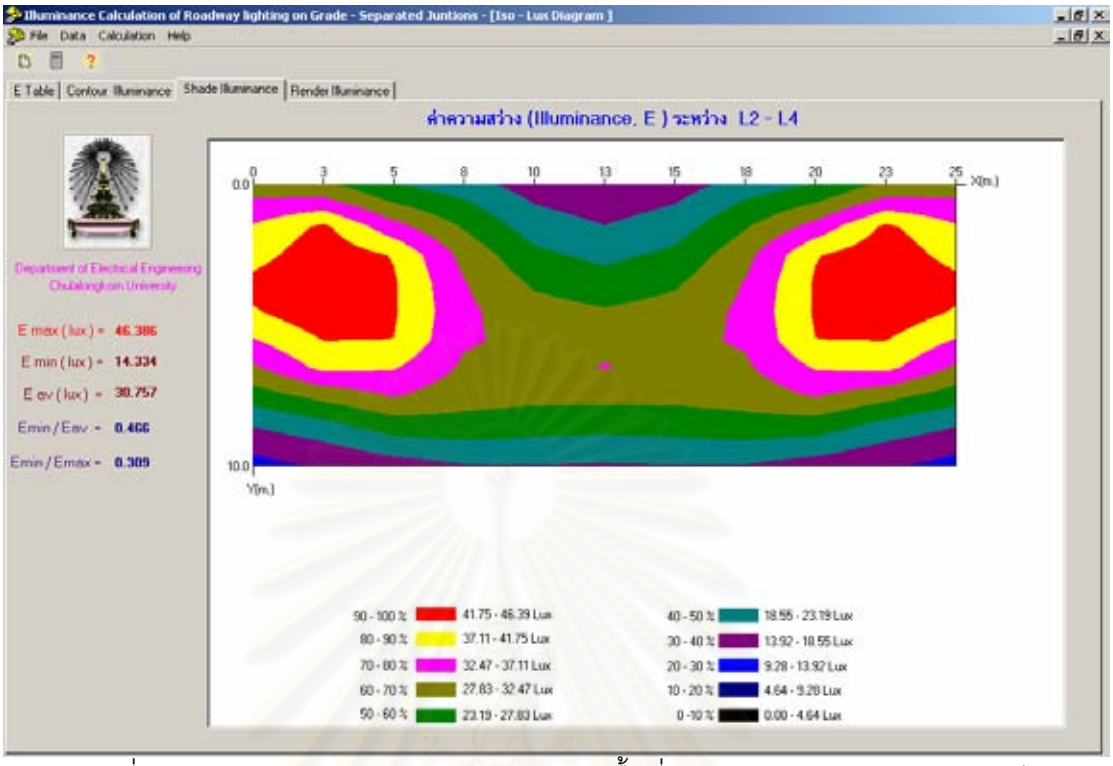


Across / Along Road	0.00	2.50	5.00	7.50	10.00	12.50	15.00	17.50	20.00	22.50	25.00
0.00	29.410	28.865	23.425	20.404	16.337	14.844	16.337	20.404	23.425	28.865	29.410
0.50	32.546	32.954	26.669	23.028	17.922	16.103	17.922	23.028	26.669	32.954	32.546
1.50	37.618	42.712	34.145	27.423	20.958	18.700	20.958	27.423	34.145	42.712	37.618
2.50	39.883	44.907	41.410	30.935	24.201	21.920	24.201	30.935	41.410	44.907	39.883
3.50	43.106	46.386	42.283	32.717	27.169	25.175	27.169	32.717	42.283	46.386	43.106
4.50	41.351	45.416	42.291	33.463	29.491	28.290	29.491	33.463	42.291	45.416	41.351
5.50	36.902	41.938	41.714	33.053	31.229	31.630	31.229	33.053	41.714	41.938	36.902
6.50	31.770	38.468	37.543	31.741	31.013	32.665	31.013	31.741	37.543	38.468	31.770
7.50	25.402	29.434	32.790	29.644	29.162	29.232	29.162	29.644	32.790	29.434	25.402
8.50	19.107	22.099	26.015	26.393	25.430	24.929	25.430	26.393	26.015	22.099	19.107
9.50	14.334	16.547	19.736	21.018	20.762	20.338	20.762	21.018	19.736	16.547	14.334
10.00	12.428	14.366	16.147	18.180	18.324	17.982	18.324	18.180	16.147	14.366	12.428

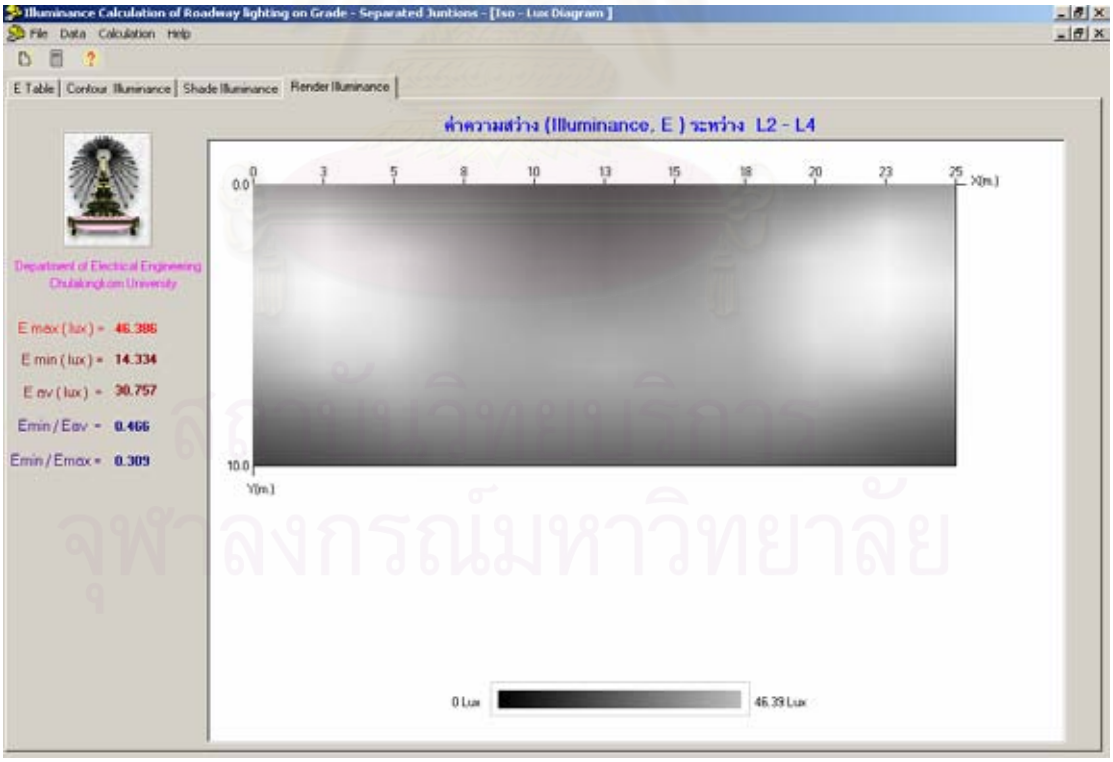
รูปที่ 4.19 หน้าจอแสดงผลของความสว่างบนพื้นที่พิจารณาในรูปของตารางตัวเลข



รูปที่ 4.20 หน้าจอแสดงผลของความสว่างบนพื้นที่พิจารณาในรูปของภาพลายเส้นความสว่างเท่า



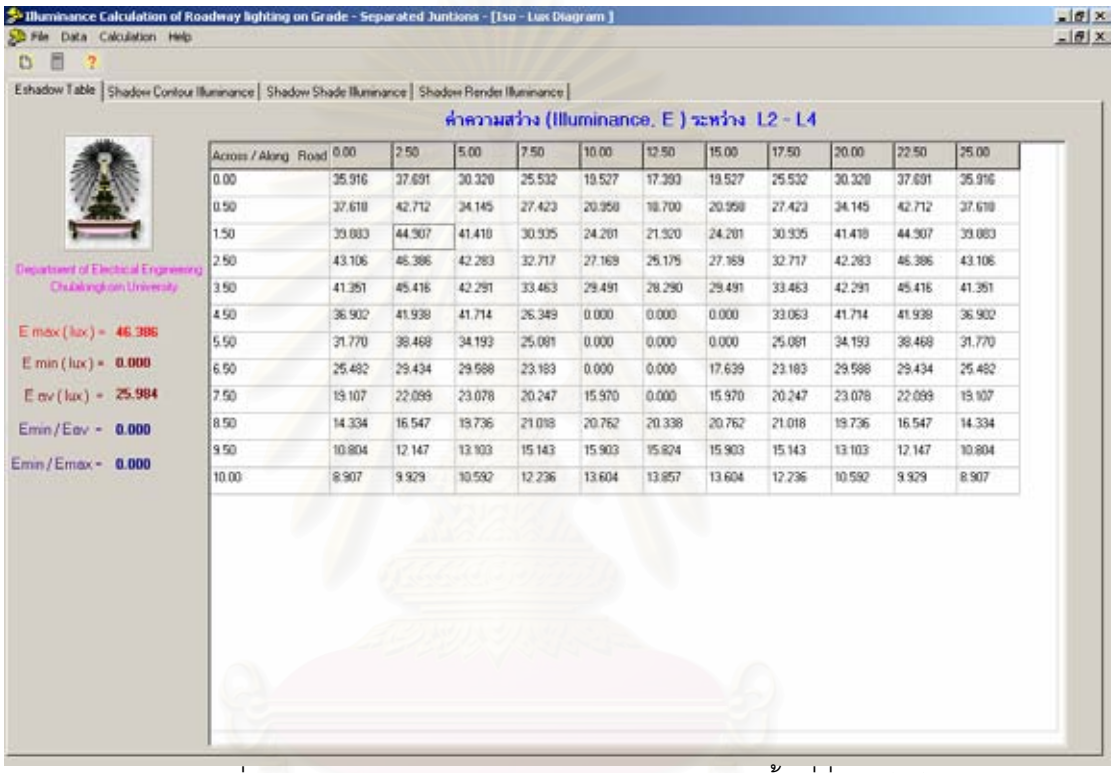
รูปที่ 4.21 หน้าจอแสดงผลของความสว่างบนพื้นที่พิจารณาในรูปของภาพระบายสี



รูปที่ 4.22 หน้าจอแสดงผลของความสว่างบนพื้นที่พิจารณาในรูปของภาพแรเงา

4.4.2 ความสว่างบนถนนบริเวณพื้นที่พิจารณาเมื่อคำนึงถึงผลของเงาที่เกิดจากวัตถุ

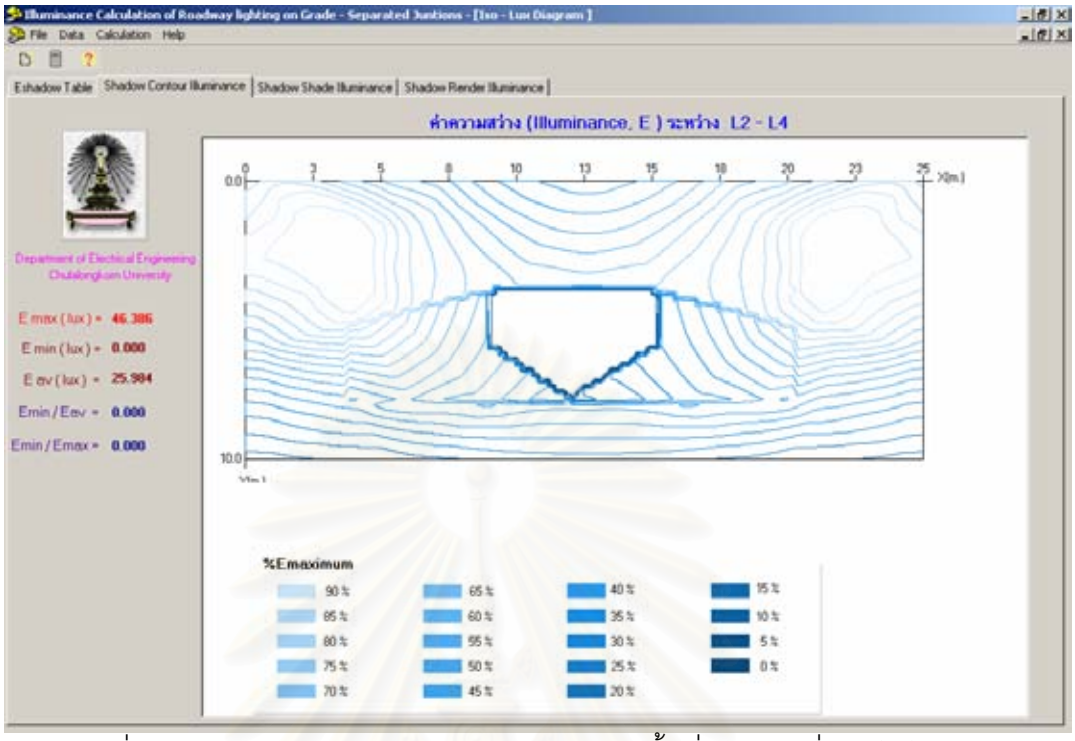
การแสดงผลในกรณีที่มีการเกิดเงาจากถนนชั้นบนหรือจากวัตถุบนพื้นที่คำนวณนี้ มีส่วนแสดงผลการคำนวณเป็นความสว่างบนถนนพื้นที่พิจารณา โดยแบ่งลักษณะการแสดงผลลัพธ์ออกเป็น 4 ลักษณะดังนี้



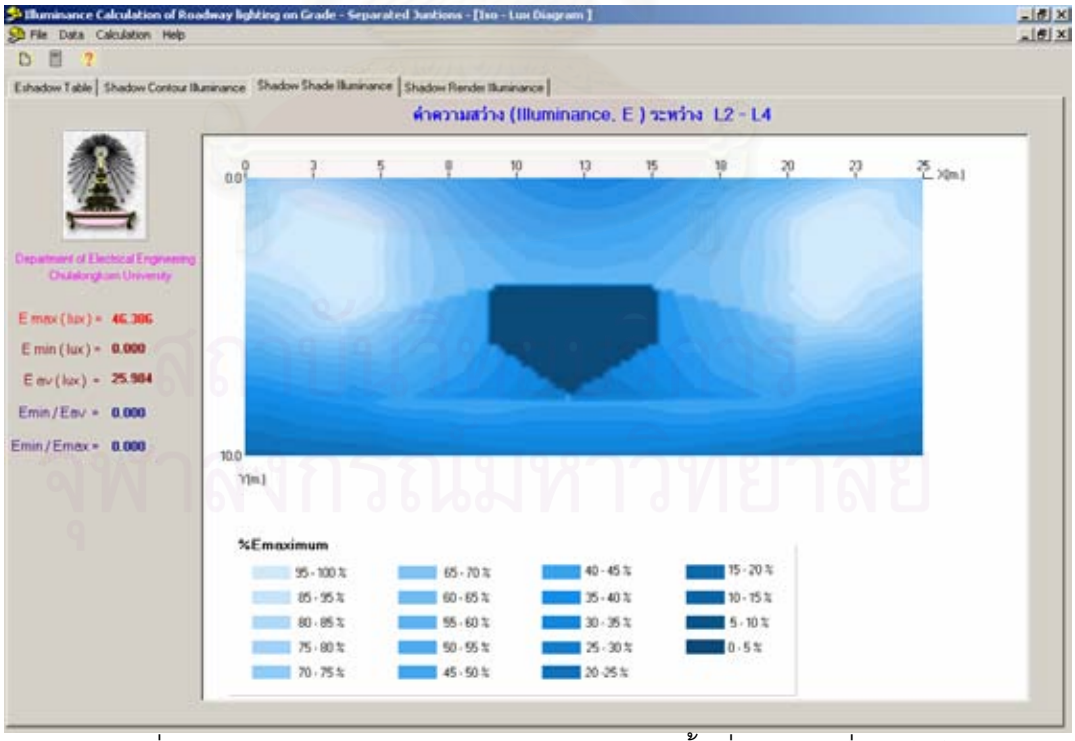
Across / Along Road	0.00	2.50	5.00	7.50	10.00	12.50	15.00	17.50	20.00	22.50	25.00
0.00	35.916	37.691	30.328	25.532	19.527	17.393	19.527	25.532	30.328	37.691	35.916
0.50	37.618	42.712	34.145	27.423	20.958	18.700	20.958	27.423	34.145	42.712	37.618
1.50	39.883	44.907	41.418	30.935	24.261	21.920	24.261	30.935	41.418	44.907	39.883
2.50	43.106	46.386	42.283	32.717	27.169	25.175	27.169	32.717	42.283	46.386	43.106
3.50	41.351	45.416	42.291	33.463	29.491	28.290	29.491	33.463	42.291	45.416	41.351
4.50	36.902	41.938	41.714	26.349	0.000	0.000	0.000	33.063	41.714	41.938	36.902
5.50	31.770	38.468	34.193	25.081	0.000	0.000	0.000	25.081	34.193	38.468	31.770
6.50	25.482	29.434	29.588	23.183	0.000	0.000	17.639	23.183	29.588	29.434	25.482
7.50	19.107	22.099	23.078	20.247	15.970	0.000	15.970	20.247	23.078	22.099	19.107
8.50	14.334	16.547	19.736	21.018	20.762	20.338	20.762	21.018	19.736	16.547	14.334
9.50	10.804	12.147	13.103	15.143	15.903	15.824	15.903	15.143	13.103	12.147	10.804
10.00	8.907	9.929	10.592	12.236	13.604	13.857	13.604	12.236	10.592	9.929	8.907

รูปที่ 4.23 หน้าจอแสดงผลของความสว่างบริเวณพื้นที่ซึ่งคำนึงถึงผลของเงาที่เกิดจากวัตถุ โดยแสดงในรูปของตารางตัวเลข

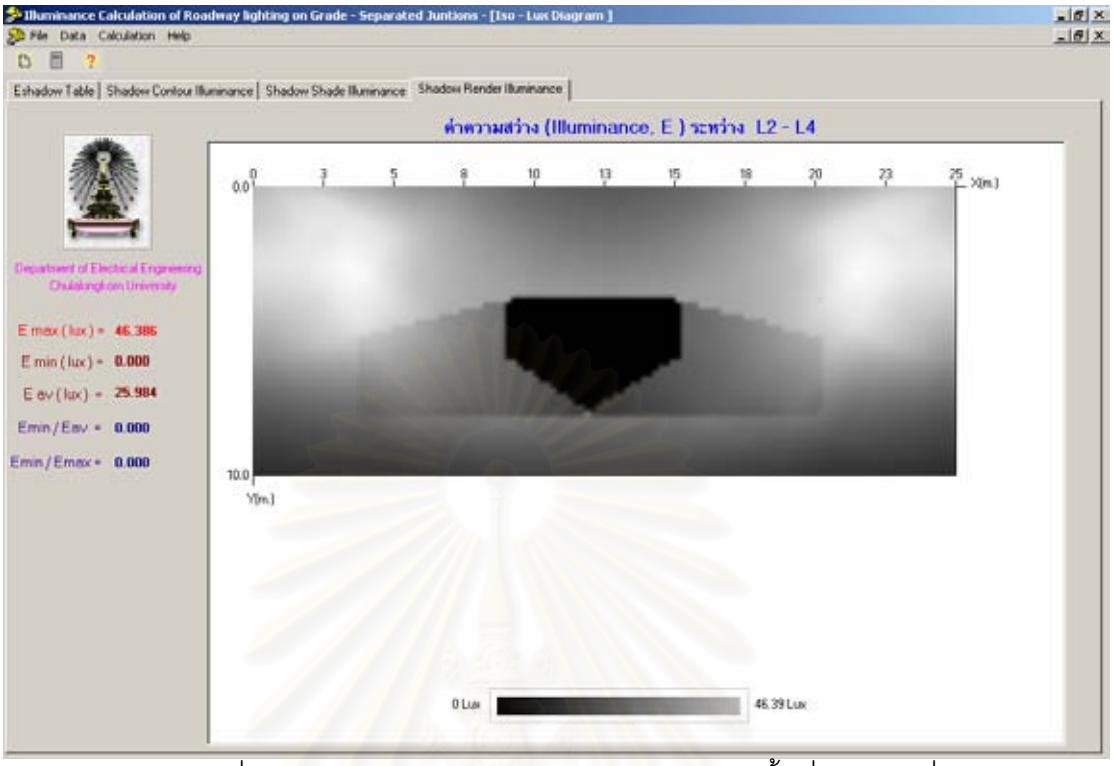
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.24 หน้าจอแสดงผลของความสว่างบริเวณพื้นที่พิจารณาซึ่งคำนึงถึงผลของเงาที่เกิดจากวัตถุ โดยแสดงในรูปของภาพลายเส้นความสว่างเท่า



รูปที่ 4.25 หน้าจอแสดงผลของความสว่างบริเวณพื้นที่พิจารณาซึ่งคำนึงถึงผลของเงาที่เกิดจากวัตถุ โดยแสดงในรูปของภาพระบายสี



รูปที่ 4.26 หน้าจอแสดงผลของความสว่างบริเวณพื้นที่พิจารณาซึ่งคำนึงถึงผลของเงาที่เกิด จากวัตถุ โดยแสดงในรูปของภาพแรเงา

<u>หมายเหตุ</u> ภาพกราฟฟิกที่แสดงผลของเงาได้จากการวิเคราะห์ค่าความสว่างที่ระดับความละเอียด 0.20 เมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

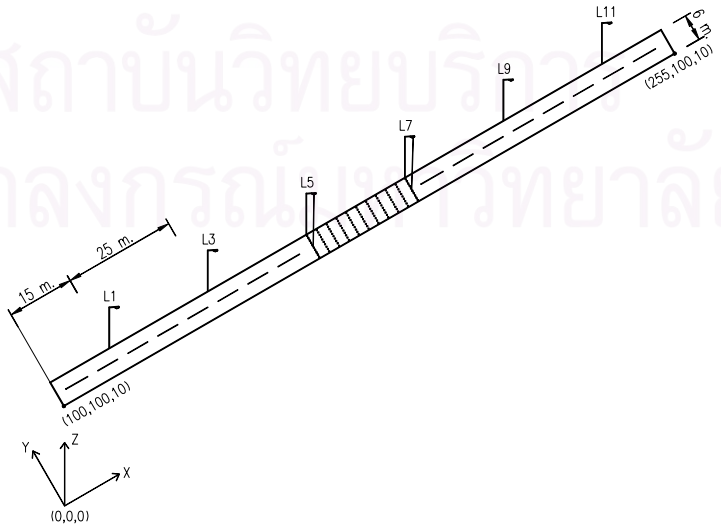
บทที่ 5

การวิเคราะห์ความสว่าง

การวิเคราะห์ความสว่างในบทนี้ เป็นการวิเคราะห์โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นมาที่สามารถคำนวณค่าความสว่างบนพื้นถนนเส้นเดียวหรือหลายเส้นซ้อนกัน ที่เกิดจากการให้แสงจากระบบเสาธรรมดา ระบบเสาสูง หรือทั้ง 2 ระบบร่วมกัน โดยพิจารณาถึงผลของเงาที่เกิดจากการบดบังของถนนชั้นบนที่มีผลต่อค่าความสว่างบนพื้นถนนชั้นล่าง หรือจากวัตถุ เช่น รถยนต์ ผลการวิเคราะห์ที่ได้อาจไม่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้งานจริง ทั้งนี้ผู้ออกแบบระบบแสงสว่างบริเวณทางแยกหลายระดับจะต้องคำนึงถึงเกณฑ์ต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบจริง เพื่อให้ได้ระบบที่เหมาะสมกับทางแยกหลายระดับแต่ละแห่ง โดยคำนึงถึงความเหมาะสมทั้งทางด้านวิศวกรรมและด้านเศรษฐศาสตร์

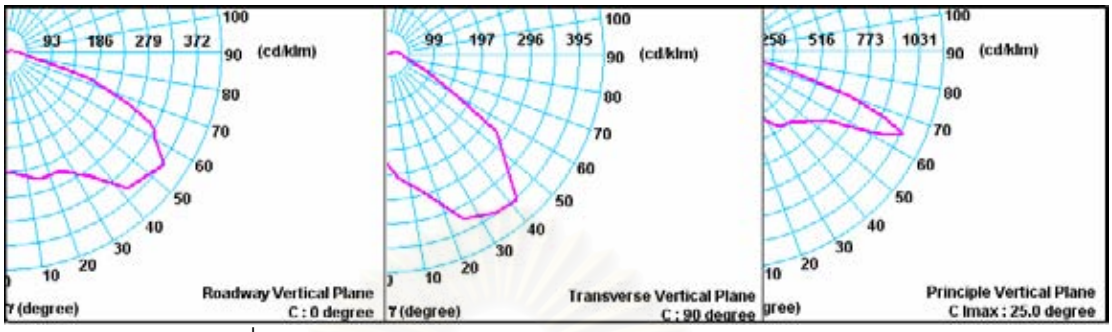
5.1 กรณีที่ 1 ตัวอย่างการให้แสงสว่างถนนตรง

พื้นที่ทดสอบ เป็นถนนทางยกระดับซึ่งเป็นถนนตรงขนาดกว้าง 6 เมตร 2 ช่องจราจร พิจารณาช่วงยาว 155 เมตร อยู่ที่ระดับความสูง 10 เมตร ติดตั้งโคมสูง 8 เมตร ระยะช่วงยื่น 1 เมตร มุมเงย 5 องศา (ϕ-lamp = 9,000 ลูเมน) ระยะห่างระหว่างเสา 25 เมตร ลักษณะการติดตั้งแบบ Single-Side Left (ข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมรหัส GELU100.cie แสดงไว้ในภาคผนวก ก) โดยต้องการพิจารณาพื้นที่บริเวณช่วง L5-L7 ดังรูปที่ 5.1



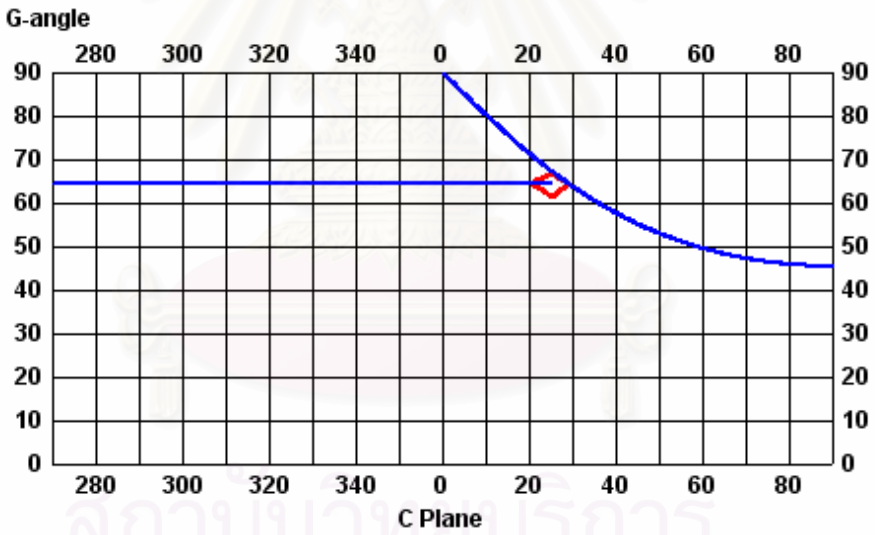
รูปที่ 5.1 ลักษณะพื้นที่ทดสอบกรณีถนนตรง

ลักษณะการกระจายแสงของดวงโคมรหัส GELU100.cie ในแนวระนาบที่ 0 , 90 , C Imax องศา เป็นดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 ข้อมูลเส้นโค้งโพลาร์ของดวงโคมรหัส GELU100.cie

ดวงโคมรหัส GELU100.cie มีมุม Throw 64.4 องศา จัดเป็นประเภท Intermediate Throw และมีมุม Spread 45.5 องศา จัดเป็นประเภท Average Spread แสดงดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงการจัดประเภท Throw และ Spread ของดวงโคมรหัส GELU100.cie

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

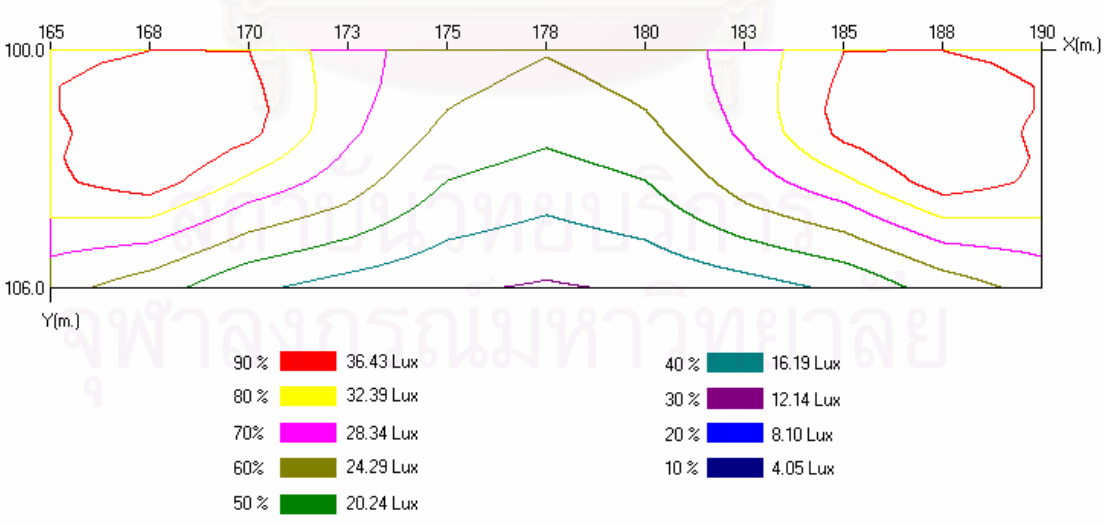
การคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 5.1 ความสว่างของถนนตรงบริเวณพื้นที่ L5 – L7 หน่วย : ลักซ์

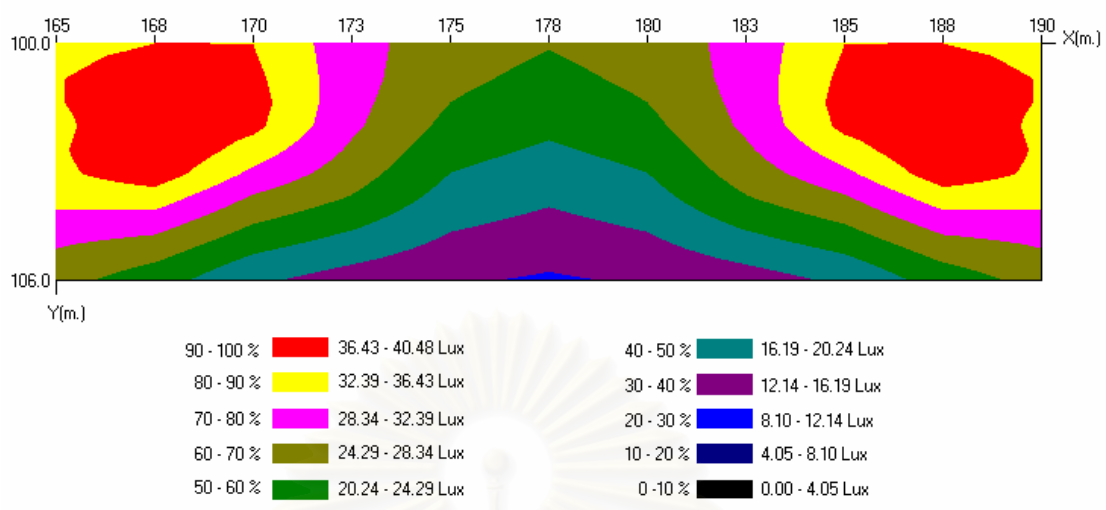
Y / X	165.00	167.50	170.00	172.50	175.00	177.50	180.00	182.50	185.00	187.50	190.00
100.00	34.143	36.454	36.419	29.808	25.871	24.492	25.871	29.808	36.419	36.454	34.143
100.30	35.397	37.380	36.705	29.887	25.672	24.121	25.672	29.887	36.705	37.380	35.397
100.90	36.241	38.448	37.431	29.880	25.050	23.322	25.050	29.880	37.431	38.448	36.241
101.50	36.233	38.798	38.097	29.540	24.286	22.257	24.286	29.540	38.097	38.798	36.233
102.10	35.491	39.960	37.457	29.078	23.084	21.046	23.084	29.078	37.457	39.960	35.491
102.70	35.844	40.483	34.590	27.684	21.615	19.680	21.615	27.684	34.590	40.483	35.844
103.30	35.573	38.871	31.414	26.125	20.184	18.187	20.184	26.125	31.414	38.871	35.573
103.90	33.884	34.536	27.861	24.054	18.643	16.800	18.643	24.054	27.861	34.536	33.884
104.50	31.109	30.466	24.658	21.348	16.964	15.332	16.964	21.348	24.658	30.466	31.109
105.10	28.632	29.762	21.511	18.508	15.278	13.880	15.278	18.508	21.511	26.762	28.632
105.70	26.773	23.470	18.221	15.729	13.569	12.366	13.569	15.729	18.221	23.470	26.773
106.00	25.711	21.984	16.946	14.302	12.661	11.593	12.661	14.302	16.946	21.984	25.711

ตารางที่ 5.2 ผลลัพธ์กรณีที่ 1.1 ถนนตรงบริเวณพื้นที่ L5 – L7

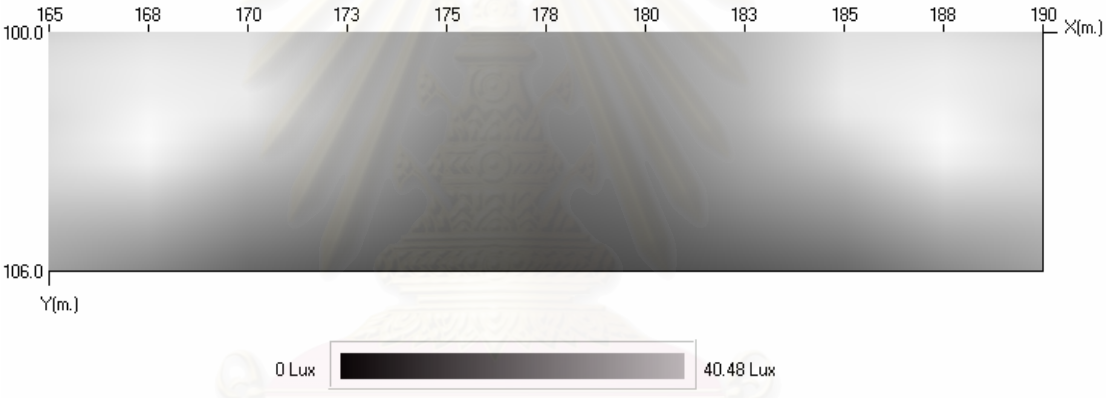
Emin (Lux)	Emax (Lux)	Eav (Lux)	Emin/Eav	Emin/Emax
12.366	40.483	27.488	0.450	0.305



รูปที่ 5.4 ภาพลายเส้นของความสว่างบริเวณพื้นที่ L5 - L7



รูปที่ 5.5 ภาพระบายสีของความสว่างบริเวณพื้นที่ L5 - L7



รูปที่ 5.6 ภาพแรเงาของความสว่างบริเวณพื้นที่ L5 – L7

ผลการวิเคราะห์เพื่อใช้ในการออกแบบแสดงในตารางที่ 5.2

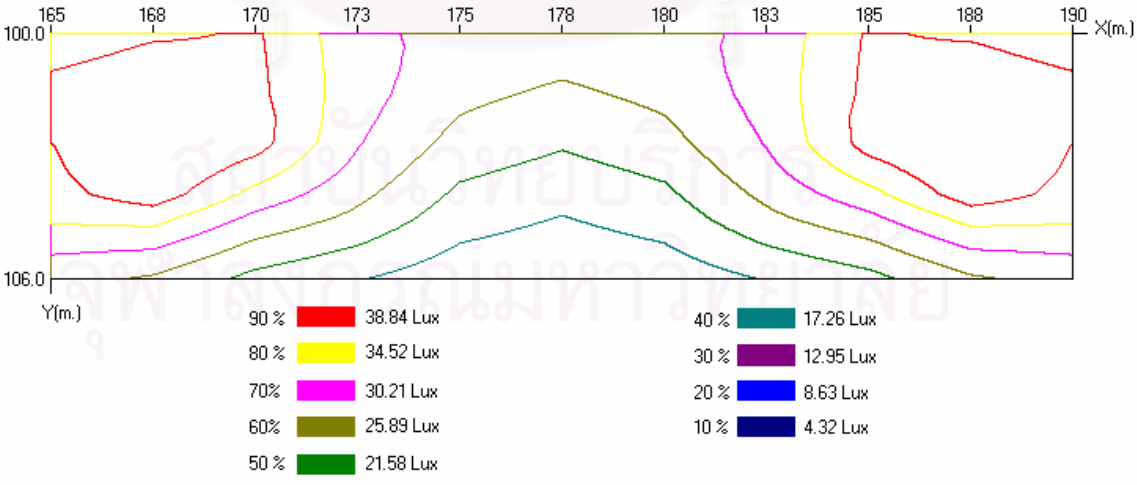
เมื่อพิจารณาภาพลายเส้นของความสว่างบริเวณพื้นที่ L5 – L7 พบว่าบริเวณขอบถนนด้านตรงข้างกับดวงโคมมีความสว่างมากจึงปรับโคมให้มุมเงยเท่ากับศูนย์ ผลการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 5.3 ความสว่างของถนนตรงบริเวณพื้นที่ L5 – L7 หน่วย : ลักซ์

Y / X	165.00	167.50	170.00	172.50	175.00	177.50	180.00	182.50	185.00	187.50	190.00
100.00	34.864	37.966	39.392	31.460	28.396	28.282	28.396	31.460	39.392	37.966	34.864
100.30	36.204	39.374	39.507	31.733	28.368	27.658	28.368	31.733	39.507	39.374	36.204
100.90	38.830	41.705	39.709	31.889	27.766	26.375	27.766	31.889	39.709	41.705	38.830
101.50	40.444	42.953	39.954	31.821	26.790	25.050	26.790	31.821	39.954	42.953	40.444
102.10	40.066	42.633	40.665	31.209	25.670	23.567	25.670	31.209	40.665	42.633	40.066
102.70	38.773	42.952	40.503	30.454	24.214	21.976	24.214	30.454	40.503	42.952	38.773
103.30	38.124	43.151	36.983	28.970	22.475	20.307	22.475	28.970	36.983	43.151	38.124
103.90	37.300	41.467	33.181	27.035	20.759	18.552	20.759	27.035	33.181	41.467	37.300
104.50	35.266	36.158	29.059	24.815	19.108	17.105	19.108	24.815	29.059	36.158	35.266
105.10	31.742	31.342	25.323	21.893	17.283	15.577	17.283	21.893	25.323	31.342	31.742
105.70	28.594	27.072	21.860	18.855	15.495	14.106	15.495	18.855	21.860	27.072	28.594
106.00	27.517	25.152	20.126	17.418	14.594	13.347	14.594	17.418	20.126	25.152	27.517

ตารางที่ 5.4 ผลลัพธ์กรณีที่ 1.2 ถนนตรงบริเวณพื้นที่ L5 – L7

มุมเงยของดวงโคม	Emin (Lux)	Emax (Lux)	Eav (Lux)	Emin/Eav	Emin/Emax
0 องศา	14.106	43.151	30.599	0.461	0.327
5 องศา	12.366	40.483	27.488	0.450	0.305

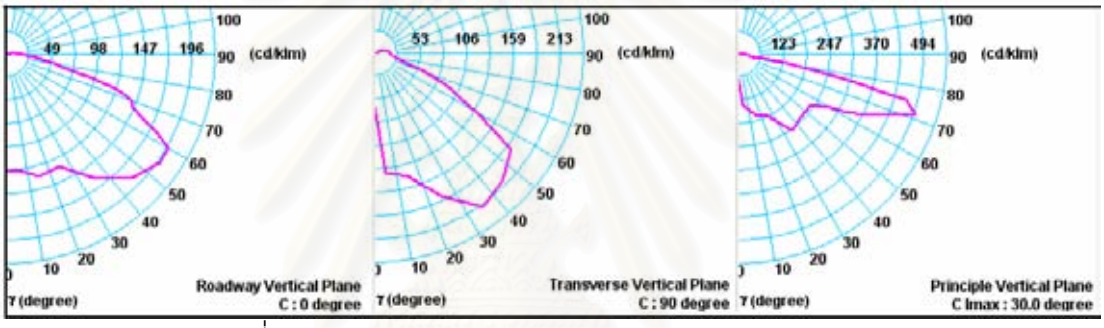


รูปที่ 5.7 ภาพลายเส้นของความสว่างบริเวณพื้นที่ L5 – L7 กรณีมุมเงยเท่ากับศูนย์

ผลการวิเคราะห์

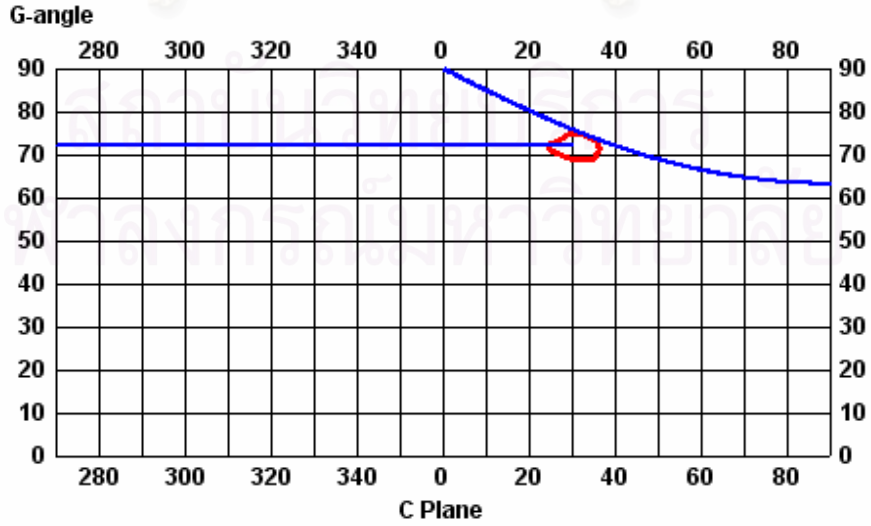
เนื่องจากการกระจายแสงของดวงโคมอยู่ภายในบริเวณถนน จึงทำให้ค่าความสว่างสูงสุด ความสว่างต่ำสุด, ความสว่างเฉลี่ย, ความสม่ำเสมอของความสว่าง มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปรับมุมเงยเท่ากับศูนย์ พิจารณารูปที่ 5.4 และ 5.7 ประกอบ

จากกรณีที่ 1 หากต้องการประหยัดค่าใช้จ่าย โดยการลดจำนวนเสาไฟ สามารถเปลี่ยนระยะห่างระหว่างเสาจาก 25 เมตร เป็น 30 เมตร มุมเงยเท่ากับศูนย์ แล้วเลือกโคมที่การกระจายแสงออกด้านข้างไปได้ไกล หรือขนาดมุม Throw มาก ดังนั้นจึงเปลี่ยนมาใช้ดวงโคมรหัส ltl9828.cie (ข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมรหัส ltl9828.cie แสดงไว้ในภาคผนวก ก) ค่าฟลักซ์ส่องสว่าง 16,000 ลูเมน ลักษณะการกระจายแสงของดวงโคมแสดงดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 ข้อมูลเส้นโค้งโพลาร์ของดวงโคมรหัส ltl9828.cie

ดวงโคมรหัส ltl9828.cie มีมุม Throw 72.1 องศา จัดเป็นประเภท Long Throw และมีมุม Spread 63.3 องศา จัดเป็นประเภท Broad Spread แสดงดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 กราฟแสดงการจัดประเภท Throw และ Spread ของดวงโคมรหัส ltl9828.cie

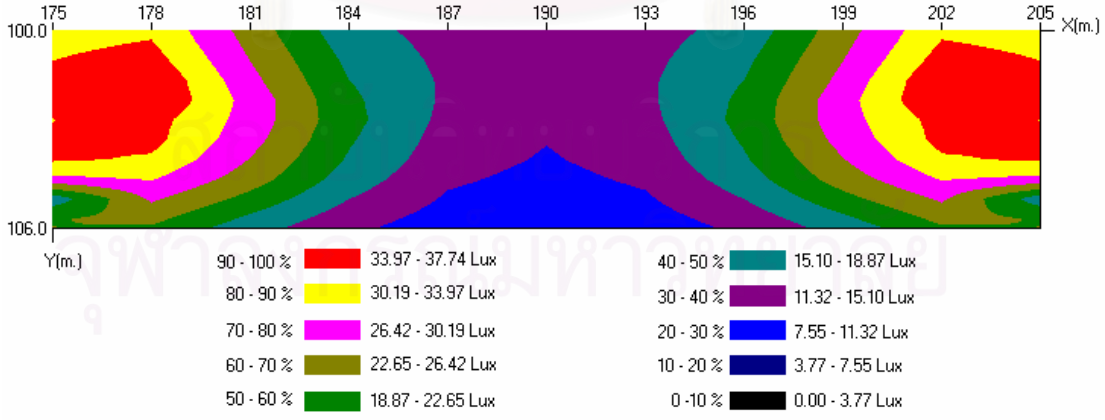
การคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 5.5 ความสว่างของถนนตรงบริเวณพื้นที่ L5 – L7 หน่วย : ลักซ์

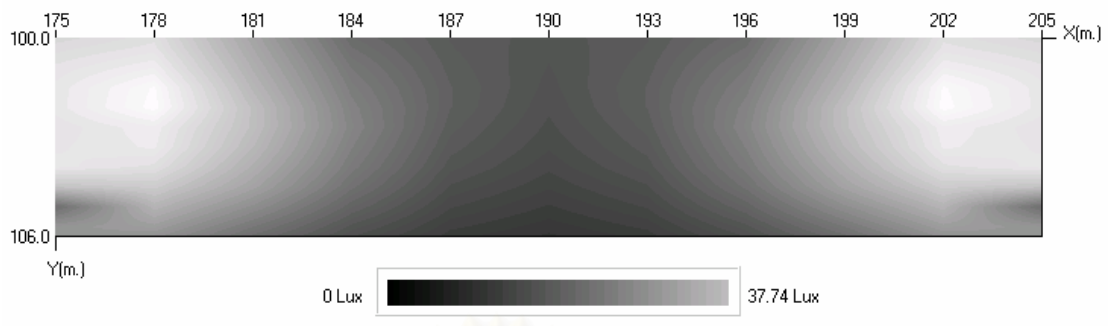
Y / X	175.00	178.00	181.00	184.00	187.00	190.00	193.00	196.00	199.00	202.00	205.00
100.00	32.212	33.539	24.785	16.315	13.781	12.855	13.781	16.315	24.785	33.539	32.212
100.30	32.888	34.035	25.311	16.904	13.870	12.757	13.870	16.904	25.311	34.035	32.888
100.90	33.956	35.600	26.359	18.040	14.163	12.566	14.163	18.040	26.359	35.600	33.956
101.50	34.560	37.495	27.471	18.905	14.481	12.378	14.481	18.905	27.471	37.495	34.560
102.10	34.598	37.744	28.692	19.644	14.461	12.140	14.461	19.644	28.692	37.744	34.598
102.70	33.920	35.463	28.637	20.024	14.039	11.841	14.039	20.024	28.637	35.463	33.920
103.30	34.226	35.088	27.756	19.318	13.513	11.480	13.513	19.318	27.756	35.088	34.226
103.90	34.592	33.528	26.281	18.454	12.848	10.982	12.848	18.454	26.281	33.528	34.592
104.50	29.273	30.473	24.474	17.085	11.909	10.281	11.909	17.085	24.474	30.473	29.273
105.10	16.701	27.067	21.421	15.142	10.884	9.514	10.884	15.142	21.421	27.067	16.701
105.70	22.406	23.714	18.136	13.010	9.797	8.670	9.797	13.010	18.136	23.714	22.406
106.00	22.708	22.054	16.559	12.075	9.240	8.236	9.240	12.075	16.559	22.054	22.708

ตารางที่ 5.6 ผลลัพธ์กรณีที่ 1.3 ถนนตรงบริเวณพื้นที่ L5 – L7

มุมเงยของดวงโคม	Emin (Lux)	Emax (Lux)	Eav (Lux)	Emin/Eav	Emin/Emax
0 องศา	8.670	37.744	22.022	0.394	0.230



รูปที่ 5.10 ภาพระบายสีของความสว่างบริเวณพื้นที่ L5 - L7

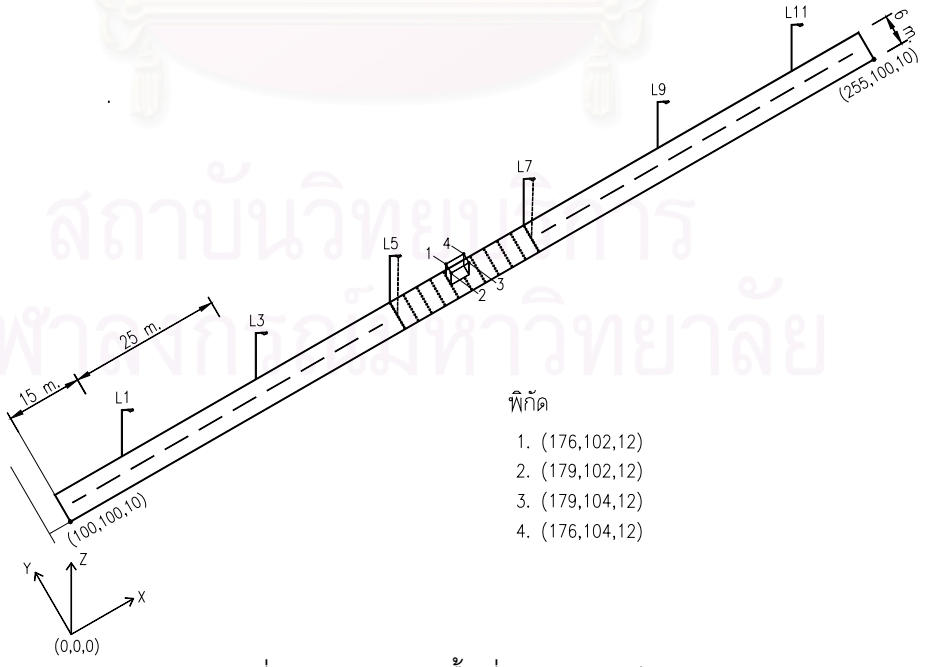


รูปที่ 5.11 ภาพแรเงาของความสว่างบริเวณพื้นที่ L5 - L7

ผลการวิเคราะห์เพื่อใช้ในการออกแบบแสดงในตารางที่ 5.6

5.2 กรณีที่ 2 ตัวอย่างการให้แสงสว่างถนนตรงเมื่อมีวัตถุอยู่บนถนน

พื้นที่ทดสอบ เป็นพื้นที่เดียวกับกรณีที่ 1 ซึ่งเป็นถนนตรงขนาดกว้าง 6 เมตร 2 ช่องจราจร พิจารณาช่วงยาว 155 เมตร อยู่ที่ระดับความสูง 10 เมตร ติดตั้งโคมสูง 8 เมตร ระยะช่วงยื่น 1 เมตร มุมเงย 5 องศา (ϕ-lamp = 9,000 ลูเมน) ระยะห่างระหว่างเสา 25 เมตร ลักษณะการติดตั้งแบบ Single-Side Left (ข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมแสดงไว้ในภาคผนวก ก) และมีวัตถุทรงสี่เหลี่ยมสูง 2 เมตร อยู่ที่พิกัด ดังนี้ (176,102,12),(179,102,12),(179,104,12) และ (176,104,12)



รูปที่ 5.12 ลักษณะพื้นที่ทดสอบกรณีถนนตรง

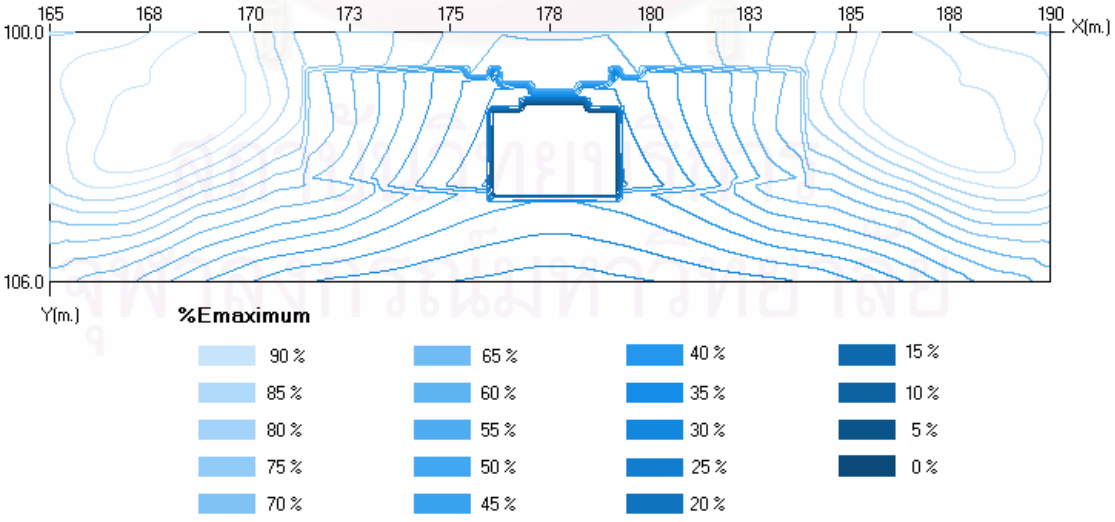
การคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 5.7 ความสว่างของถนนตรงบริเวณพื้นที่ L5 – L7 หน่วย : ลักซ์

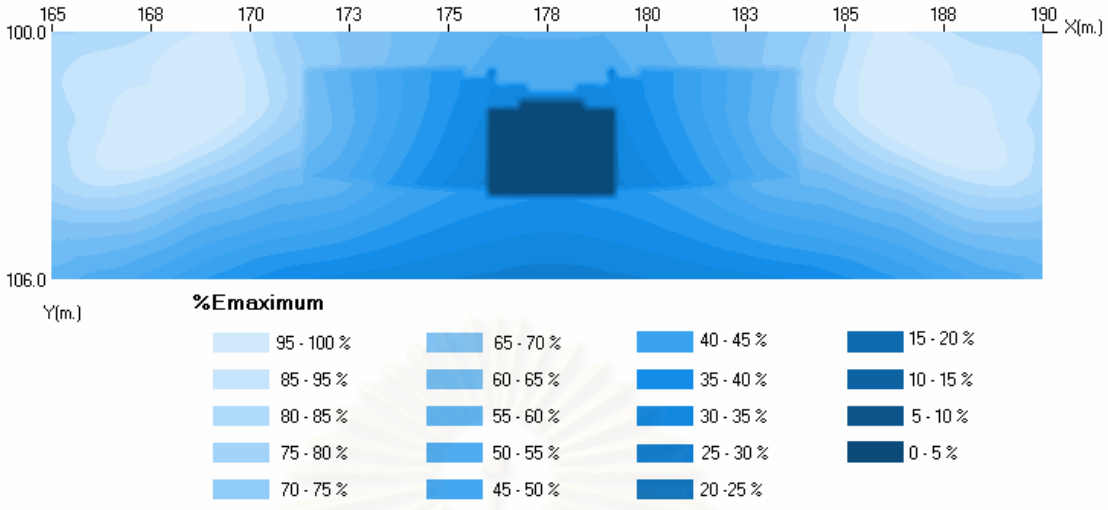
Y / X	165.00	167.50	170.00	172.50	175.00	177.50	180.00	182.50	185.00	187.50	190.00
100.00	34.143	36.454	36.419	29.808	25.871	24.492	25.871	29.808	36.419	36.454	34.143
100.30	35.397	37.380	36.705	29.887	25.672	24.121	25.672	29.887	36.705	37.380	35.397
100.90	36.241	38.448	37.431	29.880	25.050	23.322	25.050	29.880	37.431	38.448	36.241
101.50	36.194	38.750	38.047	24.296	16.662	22.257	16.662	24.296	38.047	38.750	36.194
102.10	35.452	39.913	37.399	24.525	16.089	0.000	16.089	24.525	37.399	39.913	35.452
102.70	35.805	40.436	34.533	23.877	15.405	0.000	15.405	23.877	34.533	40.436	35.805
103.30	35.535	38.825	31.359	22.634	14.580	0.000	14.580	22.634	31.359	38.825	35.535
103.90	33.884	34.536	27.852	23.985	13.467	0.000	13.467	23.985	27.852	34.536	33.884
104.50	31.109	30.466	24.658	21.348	16.964	15.332	16.964	21.348	24.658	30.466	31.109
105.10	28.632	26.762	21.511	18.508	15.278	13.880	15.278	18.508	21.511	26.762	28.632
105.70	26.773	23.470	18.221	15.729	13.569	12.366	13.569	15.729	18.221	23.470	26.773
106.00	25.711	21.984	16.946	14.302	12.661	11.593	12.661	14.302	16.946	21.984	25.711

ตารางที่ 5.8 ผลลัพธ์กรณีที่ 2 ถนนตรงบริเวณพื้นที่ L5 – L7

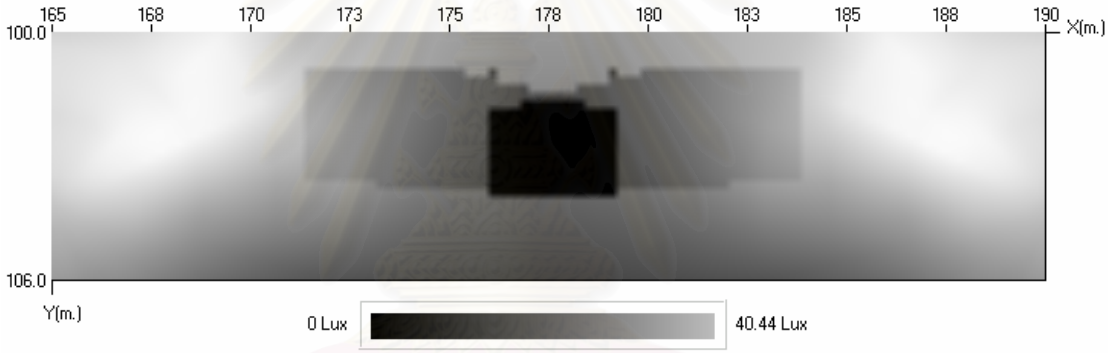
Emin (Lux)	Emax (Lux)	Eav (Lux)	Emin/Eav	Emin/Emax
0.000	40.436	25.745	0.000	0.000



รูปที่ 5.13 ภาพลายเส้นของความสว่างบริเวณพื้นที่ L5 - L7



รูปที่ 5.14 ภาพระบายสีของความสว่างบริเวณพื้นที่ L5 – L7



รูปที่ 5.15 ภาพแรเงาของความสว่างบริเวณพื้นที่ L5 – L7

ผลการวิเคราะห์

ก. เมื่อมีวัตถุอยู่บนถนน ค่าความสว่างสูงสุดและค่าความสว่างเฉลี่ยจะลดลง จากผลของเงาที่เกิดขึ้นทอดยาวมีผลต่อค่าความสว่างของจุดต่างๆ จนถึงจุดที่เกิดค่าความสว่างสูงสุด

ข เนื่องจากวัตถุอยู่ที่ตำแหน่งตรงกลางของพื้นที่คำนวณ และการติดตั้งเสาเป็นแบบ Single-Side Left โดยมีจำนวนโคมด้านซ้ายและด้านขวาเท่ากัน จึงทำให้ลักษณะเงาที่เกิดขึ้นสมมาตรทั้งซ้ายและขวา

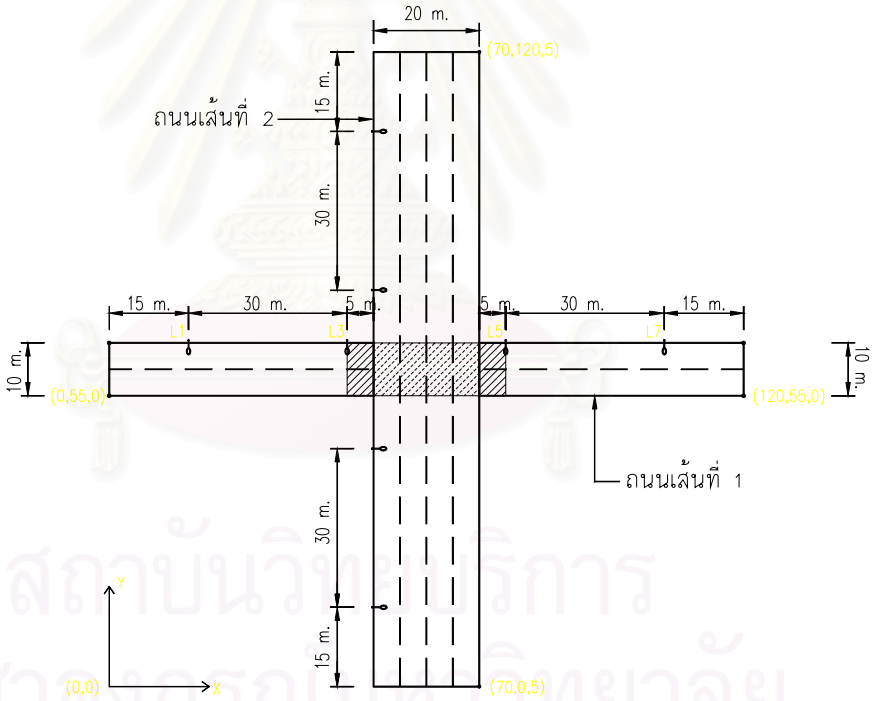
5.3 กรณีที่ 3 ตัวอย่างการให้แสงสว่างถนนตรง 2 เส้น วางขวางกัน

พื้นที่ที่ทดสอบ เป็นถนนมอเตอร์เวย์ที่มีลักษณะถนนตรง 2 เส้นวางขวางกัน ได้แก่

- ถนนเส้นที่ 1 เป็นถนนตรงแบบ Single Carriageway ขนาดกว้าง 10 เมตร 2 ช่องจราจร พิจารณาช่วงยาว 120 เมตร อยู่ที่ระดับพื้นดิน (z = 0 เมตร) ติดตั้งโคมสูง 8 เมตร ระยะช่วงยื่น 1 เมตร มุมเงย 5 องศา (ϕ-lamp =10,000 ลูเมน) ระยะห่างระหว่างเสา 30 เมตร ลักษณะการติดตั้งแบบ Single Side Left

- ถนนเส้นที่ 2 เป็นถนนตรงแบบ Single Carriageway ขนาดกว้าง 20 เมตร 4 ช่องจราจร พิจารณาช่วงยาว 120 เมตร อยู่ที่ระดับความสูง 5 เมตร (z = 5 เมตร) ติดตั้งโคมสูง 8 เมตร ระยะช่วงยื่น 1 เมตร มุมเงย 5 องศา (ϕ-lamp = 10,000 ลูเมน) ระยะห่างระหว่างเสา 30 เมตร ลักษณะการติดตั้งแบบ Single Side Left

ดวงโคมที่ติดตั้งบนถนนทั้งสองเส้นคือ GELU100.cie (ข้อมูลการกระจายแสงของโคมแสดงไว้ในภาคผนวก ก) โดยต้องการพิจารณาพื้นที่บริเวณช่วง L3- L5 ของถนนเส้นที่ 1 ดังรูปที่ 5.16



รูปที่ 5.16 ลักษณะพื้นที่ทดสอบกรณีถนนตรง 2 เส้น วางขวางกัน

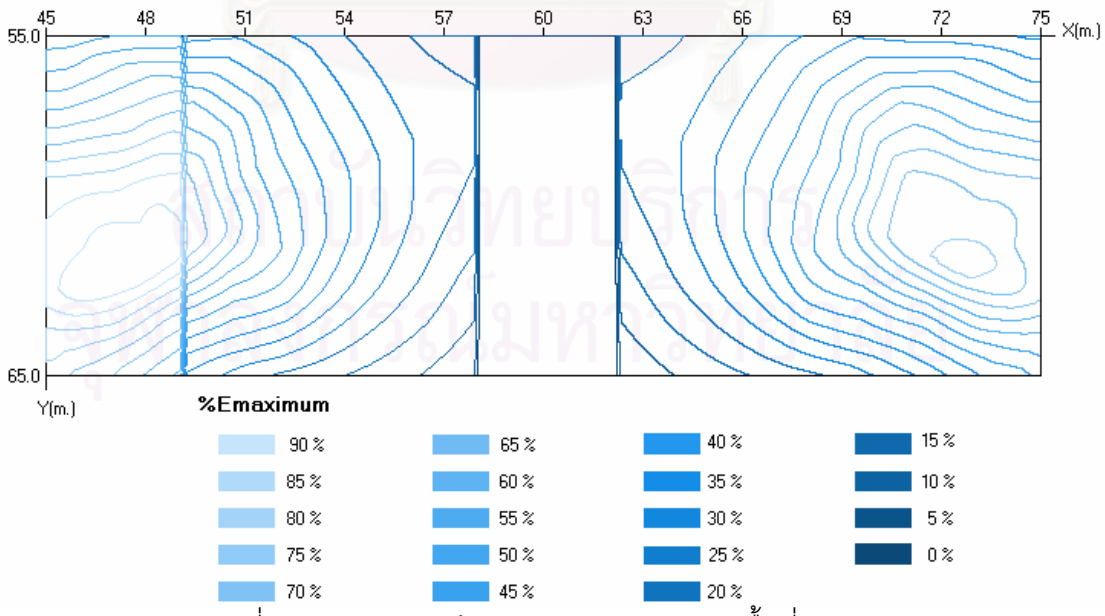
การคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 5.9 ความสว่างของถนนตรงบริเวณพื้นที่ L3 – L5

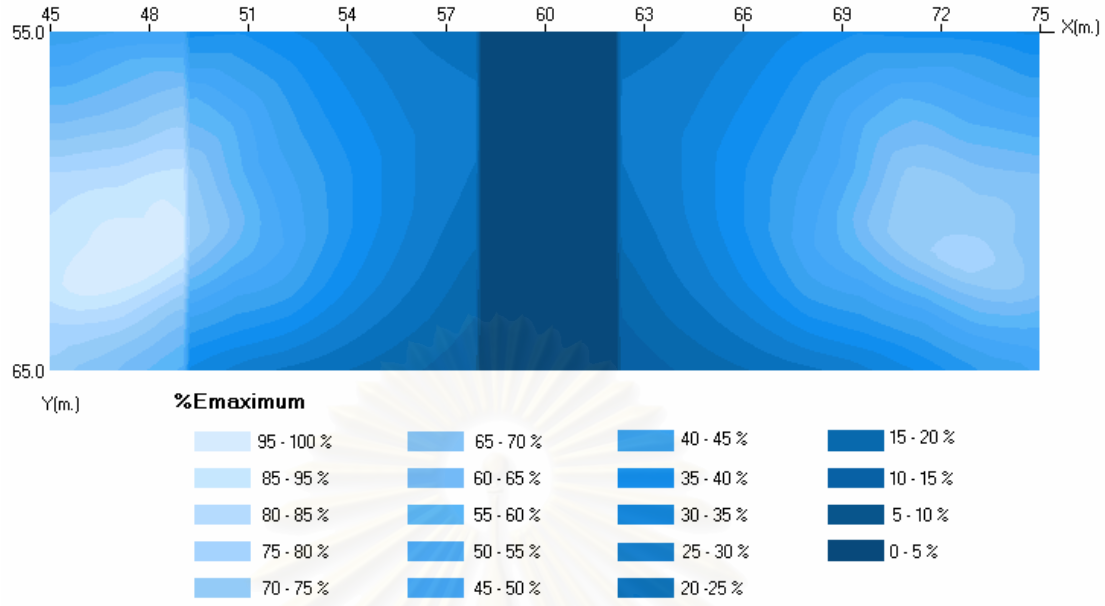
Y/X	45.00	48.00	51.00	54.00	57.00	60.00	63.00	66.00	69.00	72.00	75.00
55.00	24.446	27.213	20.636	15.812	12.040	0.134	12.040	15.812	20.636	20.173	18.036
55.50	26.866	29.984	22.235	16.579	12.663	0.132	12.663	16.579	22.235	23.004	20.390
56.50	30.954	35.364	25.624	18.052	13.829	0.128	13.829	18.052	25.624	28.382	24.250
57.50	35.765	39.348	28.780	19.398	14.843	0.123	14.843	19.398	28.780	32.178	28.700
58.50	40.934	44.039	30.050	20.641	14.588	0.118	14.588	20.641	30.050	36.480	33.349
59.50	46.085	48.323	31.476	21.417	14.027	0.113	14.027	21.417	31.476	40.152	37.799
60.50	47.538	50.459	33.413	21.516	13.288	0.110	13.288	21.516	33.413	41.433	38.391
61.50	48.385	52.794	32.202	20.641	12.236	0.107	12.236	20.641	32.202	42.677	38.108
62.50	49.422	49.020	28.167	18.836	10.940	0.104	10.940	18.836	28.167	38.229	37.811
63.50	45.876	42.058	23.252	15.920	9.456	0.100	9.456	15.920	23.252	30.536	33.329
64.50	42.874	36.821	17.869	12.683	7.885	0.097	7.885	12.683	17.869	24.571	29.447
65.00	41.529	34.715	15.102	11.057	7.073	0.095	7.073	11.057	15.102	22.017	27.629

ตารางที่ 5.10 ผลลัพธ์กรณีที่ 3.1 ถนนตรงบริเวณพื้นที่ L3 – L5

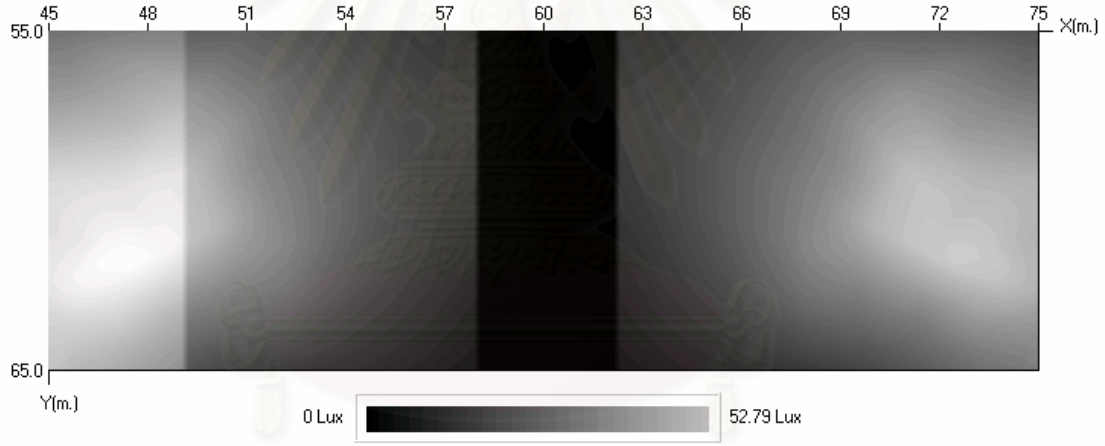
Emin (Lux)	Emax (Lux)	Eav (Lux)	Emin/Eav	Emin/Emax
0.097	52.794	23.467	0.004	0.002



รูปที่ 5.17 ภาพลายเส้นของความสว่างบริเวณพื้นที่ L3 – L5



รูปที่ 5.18 ภาพระบายสีของความสว่างบริเวณพื้นที่ L3 – L5



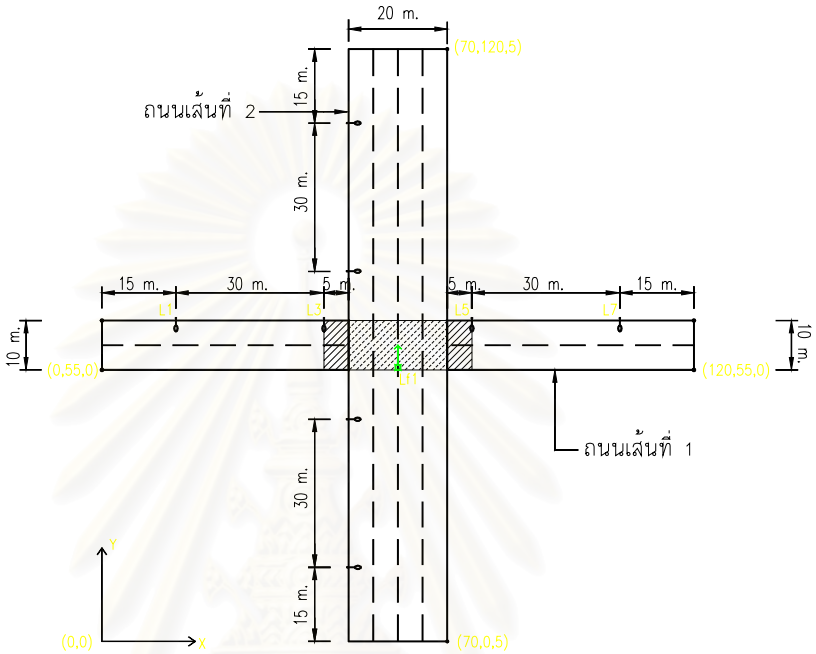
รูปที่ 5.19 ภาพแรเงาของความสว่างบริเวณพื้นที่ L3 – L5

ผลการวิเคราะห์

ก. เนื่องจากถนนเส้นที่ 2 ติดตั้งโคมแบบ Single Side Left จึงทำให้พื้นที่บริเวณโคม L3 มีความสว่างมากกว่าบริเวณโคม L5 เพราะโคมที่ติดตั้งอยู่บนถนนเส้นที่ 2 ส่องมาไม่ถึงบริเวณโคม L5

ข. ลักษณะเงาที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่พิจารณา จะสว่างมากตรงด้านซ้ายมือของพื้นที่พิจารณาแล้วมีค่าลดลงจนมืดและค่อยๆ สว่างเพิ่มขึ้นบริเวณด้าน L5 เนื่องจากแสงของโคม L5 และ L7 ที่ส่องไปถึง

จากกรณีที่ 3 เกิดเงามืดใต้ถนนเส้นที่ 2 จึงติดโคมไฟส่องเพิ่ม โดยติดตั้งโคมไฟส่อง (Lf1) ที่ตำแหน่ง (60,55,4.7) เล็งไปที่พิกัด (60,60,0) โคมไฟส่องขนาด 70 Watt HPS (ข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมรหัส SH10190.ies แสดงไว้ในภาคผนวก ข) ค่าฟลักซ์ส่องสว่าง 5600 ลูเมน โดยพิจารณาพื้นที่บริเวณช่วง L3-L5 ดังรูปที่ 5.20



รูปที่ 5.20 ลักษณะพื้นที่ทดสอบกรณีการให้แสงบริเวณถนนตรง 2 เส้น วางขวางกันโดยการติดตั้งโคมไฟส่อง

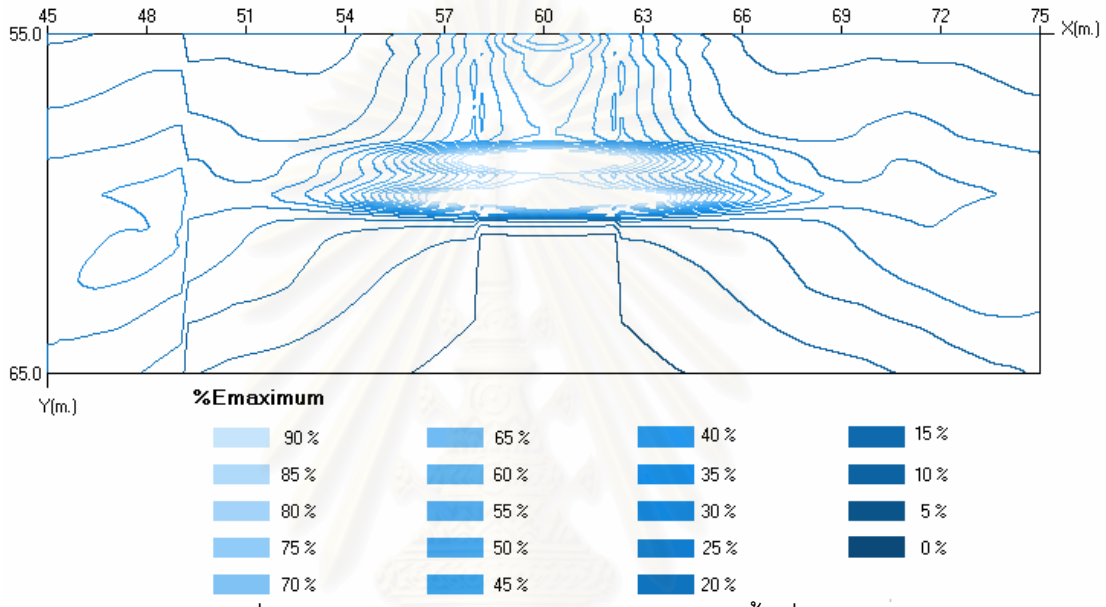
การคำนวณผลลัพธ์ด้วยคอมพิวเตอร์ได้ดังนี้

ตารางที่ 5.11 ความสว่างของถนนตรงบริเวณพื้นที่ L3 – L5 หน่วย : ลักซ์

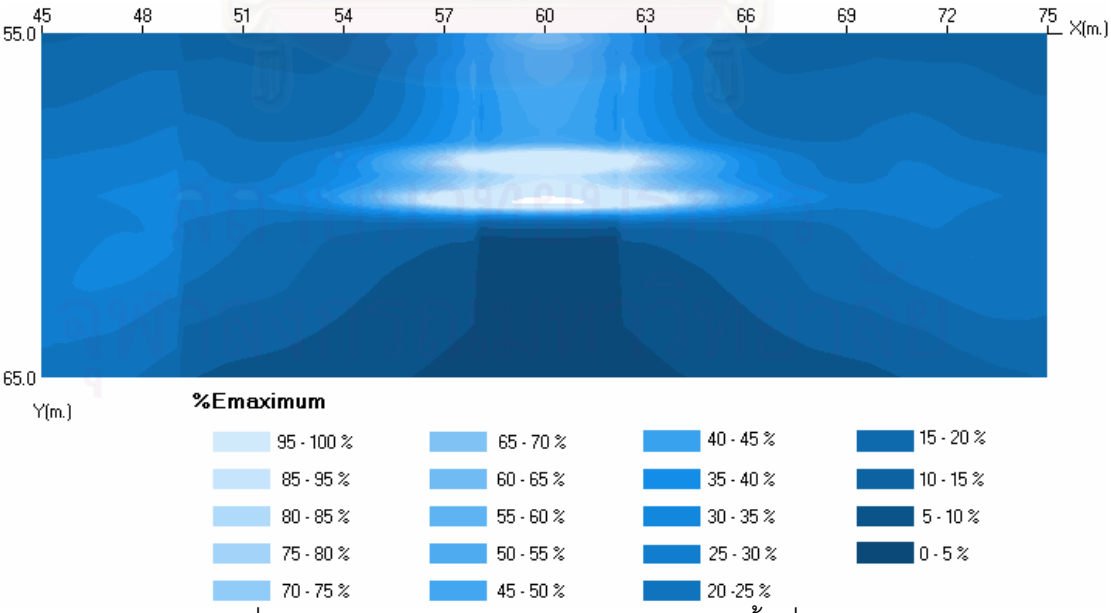
Y / X	45.00	48.00	51.00	54.00	57.00	60.00	63.00	66.00	69.00	72.00	75.00
55.00	24.589	27.733	22.363	23.631	55.985	114.38	55.985	23.631	22.363	20.693	18.179
55.50	27.070	30.627	24.381	25.707	57.133	102.55	57.133	25.707	24.381	23.648	20.593
56.50	31.261	36.278	28.534	29.620	63.990	95.783	63.990	29.620	28.534	29.296	24.556
57.50	36.171	40.459	32.351	32.954	64.766	88.945	64.766	32.954	32.351	33.289	29.105
58.50	41.951	46.774	38.753	54.512	123.00	169.25	123.00	54.512	38.753	39.214	34.366
59.50	48.351	53.498	44.494	69.555	133.78	173.60	133.78	69.555	44.494	45.326	40.065
60.50	48.308	52.337	38.497	35.699	42.433	37.118	42.433	35.699	38.497	43.311	39.161
61.50	48.623	53.255	33.218	22.863	16.346	6.087	16.346	22.863	33.218	43.138	38.346
62.50	49.570	49.305	28.712	19.788	12.570	2.121	12.570	19.788	28.712	38.514	37.959
63.50	45.977	42.235	23.566	16.465	10.306	1.086	10.306	16.465	23.566	30.712	33.430
64.50	42.949	36.950	18.093	13.055	8.391	0.664	8.391	13.055	18.093	24.699	29.521
65.00	41.594	34.825	15.292	11.369	7.473	0.548	7.473	11.369	15.292	22.128	27.694

ตารางที่ 5.12 ผลลัพธ์กรณีที่ 3.2 ถนนตรงบริเวณพื้นที่ L3 – L5

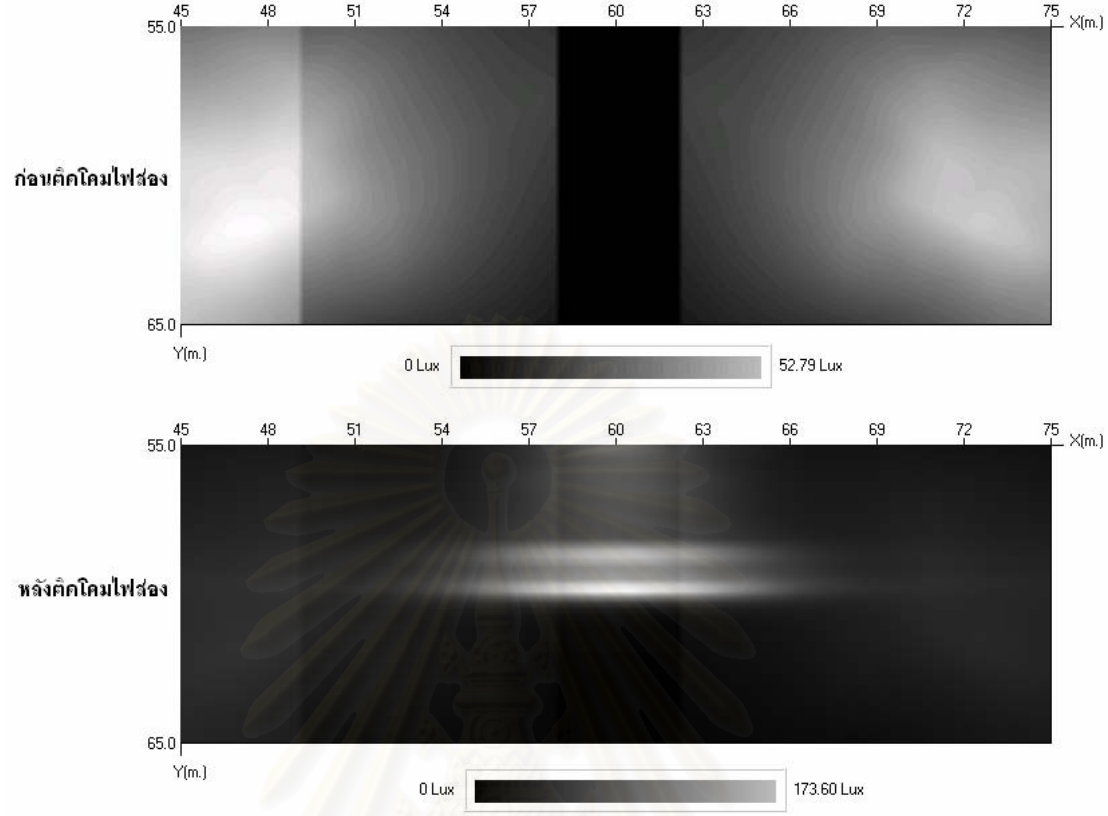
	Emin (Lux)	Emax (Lux)	Eav (Lux)	Emin/Eav	Emin/Emax
หลังติดโคมไฟส่อง	0.664	173.603	42.174	0.016	0.004
ก่อนติดโคมไฟส่อง	0.097	52.794	23.467	0.004	0.002



รูปที่ 5.21 ภาพลายเส้นของความสว่างบริเวณพื้นที่ L3 – L5



รูปที่ 5.22 ภาพระบายสีของความสว่างบริเวณพื้นที่ L3 – L5



รูปที่ 5.23 เปรียบเทียบภาพแรเงาของความสว่างบริเวณพื้นที่ L3 – L5 ก่อนติดโคมไฟส่องและหลังติดโคมไฟส่อง

ผลการวิเคราะห์

พิจารณารูปที่ 5.23 ประกอบ เมื่อติดโคมไฟส่องไว้ใต้ถนนเส้นที่ 2 ทำให้เงาใต้ถนนเส้นที่ 2 มีความสว่างเพิ่มขึ้นและเงาลดลง ผู้ออกแบบสามารถพิจารณาจากผลการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการออกแบบได้ (โคมไฟส่องที่ใช้มีลักษณะการกระจายแสงไม่เหมาะสมกับการแก้ปัญหาเรื่องเงาในกรณีนี้ต้องเลือกรุ่นอื่นแทน)

5.4 กรณีที่ 4 ตัวอย่างการให้แสงสว่างบริเวณถนนตรง 2 เส้น วางขวางกัน โดยการติดตั้งโคมไฟส่อง

พื้นที่ที่ทดสอบเป็นลักษณะเดียวกับกรณีที่ 3 ประกอบด้วยถนนตรง 2 เส้นวางขวางกัน แต่มีการติดตั้งโคมไฟส่องเพิ่ม ดังตารางที่ 5.13 โดยใช้โคม High Pressure Sodium 250 Watt (ข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมรหัส SH10190.ies แสดงไว้ในภาคผนวก ข) โดยถนนแต่ละเส้นมีลักษณะดังนี้

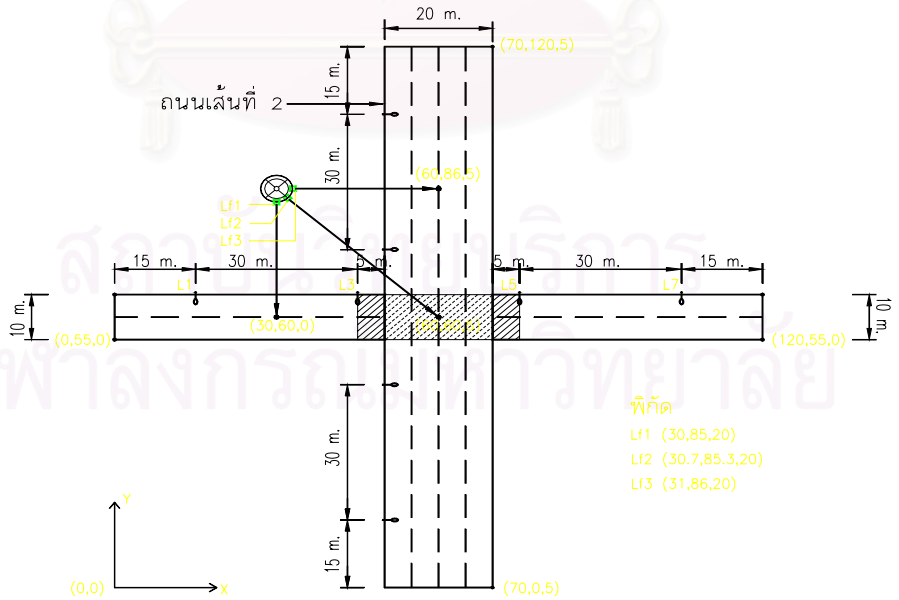
- ถนนเส้นที่ 1 เป็นถนนตรงแบบ Single Carriageway ขนาดกว้าง 10 เมตร 2 ช่องจราจร พิจารณาช่วงยาว 120 เมตร อยู่ที่ระดับพื้นดิน (z = 0 เมตร) ติดตั้งโคมสูง 8 เมตร ระยะช่วงยื่น 1 เมตร มุมเงย 5 องศา (ϕ-lamp = 10,000 ลูเมน) ระยะห่างระหว่างเสา 30 เมตร ลักษณะการติดตั้งแบบ Single Side Left

- ถนนเส้นที่ 2 เป็นถนนตรงแบบ Single Carriageway ขนาดกว้าง 20 เมตร 4 ช่องจราจร พิจารณาช่วงยาว 120 เมตร อยู่ที่ระดับความสูง 5 เมตร (z = 5 เมตร) ติดตั้งโคมสูง 8 เมตร ระยะช่วงยื่น 1 เมตร มุมเงย 5 องศา (ϕ-lamp = 10,000 ลูเมน) ระยะห่างระหว่างเสา 30 เมตร ลักษณะการติดตั้งแบบ Single Side Left

ดวงโคมที่ติดตั้งบนถนนทั้งสองเส้นคือ GELU100.cie (ข้อมูลการกระจายแสงของโคมแสดงไว้ในภาคผนวก ก) โดยต้องการพิจารณาพื้นที่บริเวณช่วง L3- L5 ของถนนเส้นที่ 1 ดังรูปที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 ข้อมูลของการติดตั้งโคมไฟส่อง

No. pole	No.	Code	Lamp Flux	Luminaire Position			Aiming Position		
				X	Y	Z	X	Y	Z
1	1	SH10190.ies	29000	30	85	20	30	60	0
	2	SH10190.ies	29000	30.7	85.3	20	60	60	5
	3	SH10190.ies	29000	31	86	20	60	86	5



รูปที่ 5.24 ลักษณะพื้นที่ทดสอบกรณีการให้แสงบริเวณถนนตรง 2 เส้นวางขวางกันโดยการติดตั้งโคมไฟส่อง

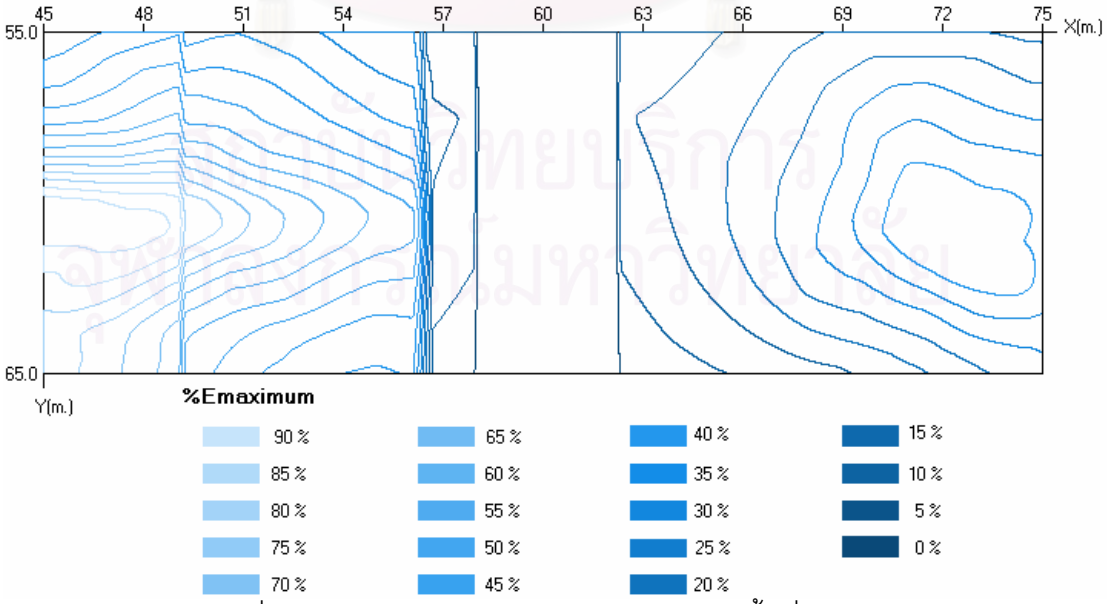
การคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 5.14 ความสว่างของถนนตรงบริเวณพื้นที่ L3 – L5

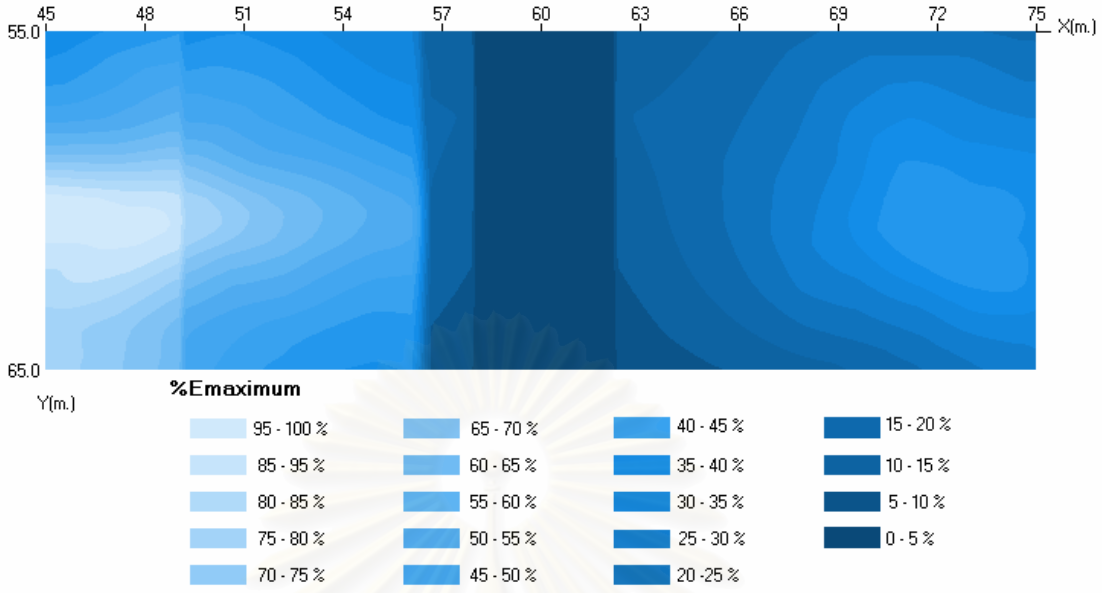
Y/X	45.00	48.00	51.00	54.00	57.00	60.00	63.00	66.00	69.00	72.00	75.00
55.00	34.922	41.830	38.537	32.302	12.040	0.134	12.040	15.812	20.636	20.173	18.036
55.50	37.489	44.625	40.618	33.956	12.663	0.132	12.663	16.579	22.235	23.004	20.390
56.50	42.974	50.689	45.076	37.578	13.829	0.128	13.829	18.052	25.624	28.382	24.250
57.50	50.973	56.385	49.725	41.892	14.843	0.123	14.843	19.398	28.780	32.178	28.700
58.50	64.767	67.055	55.501	47.974	14.588	0.118	14.588	20.641	30.050	36.480	33.349
59.50	85.625	82.927	65.670	56.010	14.027	0.113	14.027	21.417	31.476	40.152	37.799
60.50	97.398	93.621	73.857	60.858	13.288	0.110	13.288	21.516	33.413	41.433	38.391
61.50	91.286	91.401	68.945	57.276	12.236	0.107	12.236	20.641	32.202	42.677	38.108
62.50	86.921	82.474	59.099	50.525	10.940	0.104	10.940	18.836	28.167	38.229	37.811
63.50	81.673	73.698	51.778	45.043	9.456	0.100	9.456	15.920	23.252	30.536	33.329
64.50	81.219	70.347	47.422	41.148	7.885	0.097	7.885	12.683	17.869	24.571	29.447
65.00	82.075	70.003	45.789	39.545	7.073	0.095	7.073	11.057	15.102	22.017	27.629

ตารางที่ 5.15 ผลลัพธ์กรณีที่ 4 ถนนตรงบริเวณพื้นที่ L3 – L5

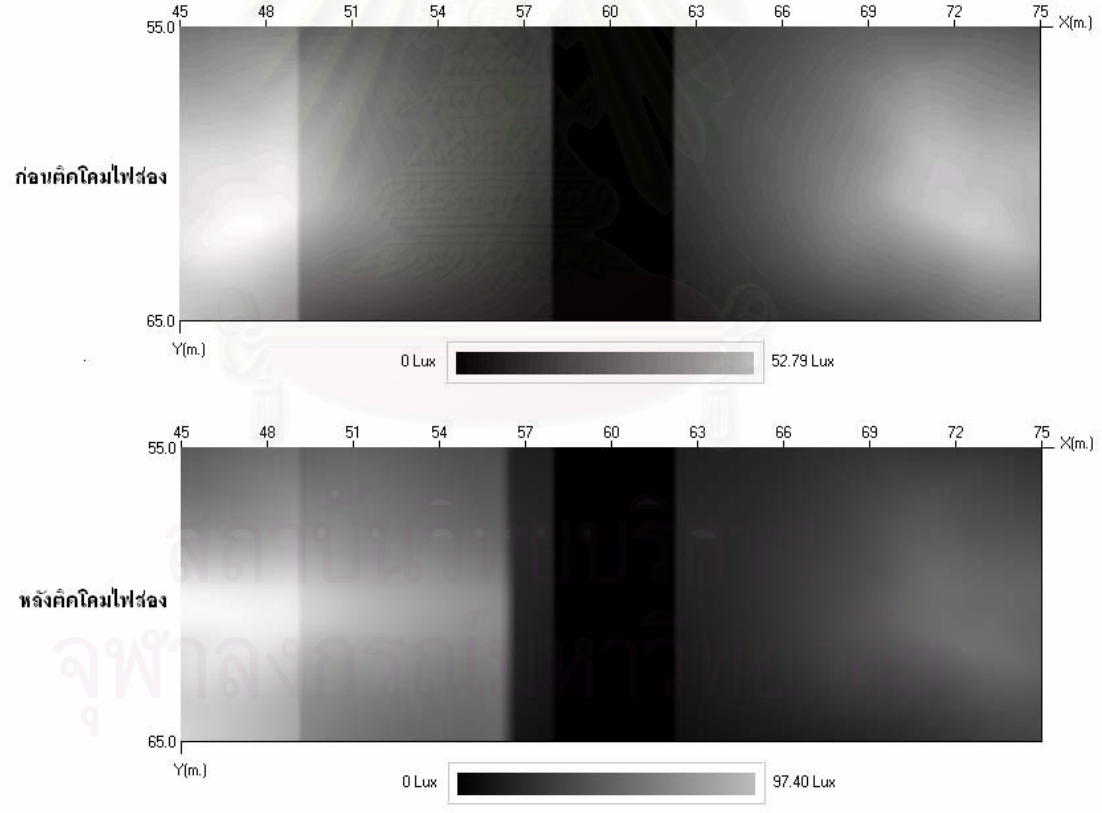
	Emin (Lux)	Emax (Lux)	Eav (Lux)	Emin/Eav	Emin/Emax
หลังติดโคมไฟส่อง	0.097	97.398	35.085	0.003	0.001
ก่อนติดโคมไฟส่อง	0.097	52.794	23.467	0.004	0.002



รูปที่ 5.25 ภาพลายเส้นของความสว่างบริเวณพื้นที่ L3 – L5



รูปที่ 5.26 ภาพระบายสีของความสว่างบริเวณพื้นที่ L3 – L5



รูปที่ 5.27 เปรียบเทียบภาพแรเงาของความสว่างบริเวณพื้นที่ L3 – L5 ก่อนติดโคมไฟส่องและหลังติดโคมไฟส่อง

ผลการวิเคราะห์

ก. เมื่อเปรียบเทียบค่าความสว่างสูงสุด ค่าความสว่างเฉลี่ยและค่าความสว่างต่ำสุดกรณีที่ติดตั้งโคมไฟส่องกับยังไม่ติดตั้งโคมไฟส่อง พบว่าเมื่อติดตั้งโคมไฟส่อง และเล็งไปยังจุดต่างๆดังกล่าว ทำให้ค่าความสว่างสูงสุดและค่าความสว่างเฉลี่ยเพิ่มขึ้นแต่ค่าความสม่ำเสมอรวมลดลง เพราะอิทธิพลจากโคมไฟส่อง พิจารณาผลจากตารางที่ 5.14 เปรียบเทียบกับตารางที่ 5.9 สังเกตได้ว่า ที่ระยะ X ตั้งแต่ 57 เมตร เป็นต้นไปจะได้ค่าความสว่างเท่ากันตลอดแนว Y นั่นแสดงว่า อิทธิพลของโคมไฟส่อง ไม่สามารถส่องไปถึงแล้ว เนื่องจากมีถนนเส้นบนบังอยู่ แสดงว่าโคมไฟส่อง Lf2 และ Lf3 ซึ่งเล็งไปบนถนนเส้นที่ 2 ไม่มีอิทธิพลไปยังถนนเส้นที่ 1 ทางด้านขวาของพื้นที่พิจารณา

ข. ลักษณะเงาที่เกิดขึ้นเมื่อติดตั้งโคมไฟส่องพบว่า ตั้งแต่ระยะ 45 ถึง 57 เมตร ด้านซ้ายของพื้นที่พิจารณาจะสว่างมาก แล้วมืดลงมาจนถึงที่ระยะ X = 60 เมตร ลักษณะเงาทางด้านขวามือของพื้นที่จะคล้ายกับกรณีที่ไม่ติดตั้งโคมไฟส่อง

ค. ผลการวิเคราะห์เพื่อใช้ในการออกแบบ แสดงในตารางที่ 5.15

ง. สามารถวิเคราะห์ผลร่วมกันได้ทั้งระบบเสาธรรมดาและระบบเสาสูง

5.5 กรณีที่ 5 ตัวอย่างการให้แสงสว่างบริเวณถนนตรง 3 เส้น วางพาดกัน

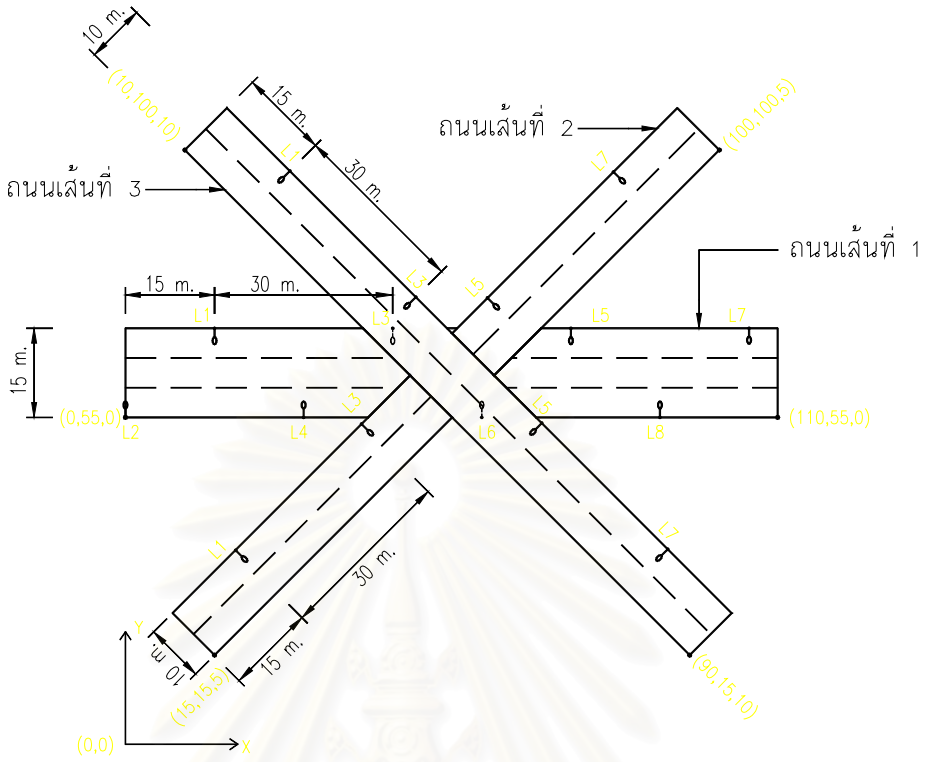
พื้นที่ทดสอบ ประกอบด้วยถนนตรง 3 เส้น วางพาดกัน ถนนแต่ละเส้นมีลักษณะดังนี้

- ถนนเส้นที่ 1 เป็นถนนตรงแบบ Single Carriageway ขนาดกว้าง 15 เมตร พิจารณาช่วงยาว 110 เมตร มี 3 ช่องจราจร อยู่ที่ระดับ Z=0 เมตร ติดตั้งโคมแบบ Stagger ระยะห่างระหว่างเสา 30 เมตร โคมสูง 8 เมตร ระยะช่วงยื่น 1 เมตร มุมเงย 5 องศา

- ถนนเส้นที่ 2 เป็นถนนตรงแบบ Single Carriageway ขนาดกว้าง 10 เมตร พิจารณาช่วงยาว 120 เมตร มี 2 ช่องจราจร อยู่ที่ระดับ Z=5 เมตร ติดตั้งโคมแบบ Single-Side Left ระยะห่างระหว่างเสา 30 เมตร โคมสูง 8 เมตร ระยะช่วงยื่น 1 เมตร มุมเงย 0 องศา

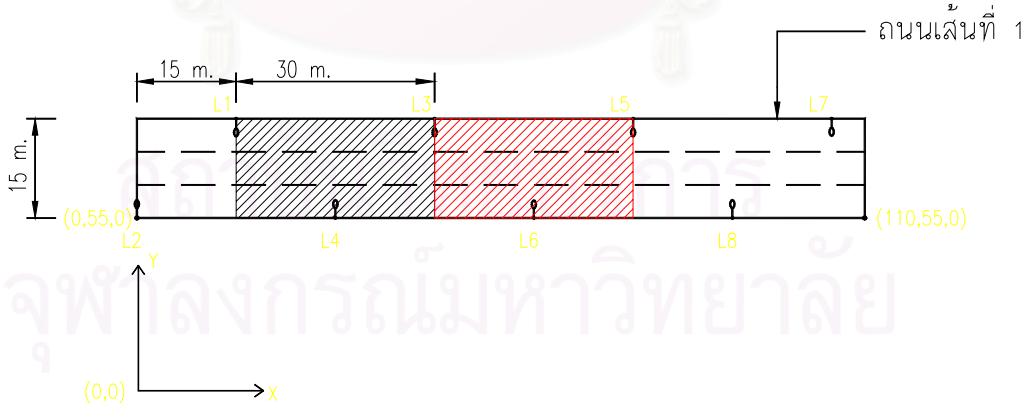
- ถนนเส้นที่ 3 เป็นถนนตรงแบบ Single Carriageway ขนาดกว้าง 10 เมตร พิจารณาช่วงยาว 120 เมตร มี 2 ช่องจราจร อยู่ที่ระดับ Z=10 เมตร ติดตั้งโคมแบบ Single-Side Left ระยะห่างระหว่างเสา 30 เมตร โคมสูง 8 เมตร ระยะช่วงยื่น 1 เมตร มุมเงย 0 องศา

ดวงโคมที่ติดตั้งบนถนนทั้งสามเส้นคือ ดวงโคมรหัส ltl9828.cie (150 Watt HPS) ค่าฟลักซ์ส่องสว่าง 16,000 ลูเมน (ข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมรหัส ltl9828.cie แสดงไว้ในภาคผนวก ก)



รูปที่ 5.28 ลักษณะพื้นที่ทดสอบกรณีการให้แสงบริเวณถนนตรง 3 เส้น วางพาดกัน

กรณีที่ 5.1 พิจารณาพื้นที่ L1 – L3 และ L3 – L5 ของถนนเส้นที่ 1 ขณะยังไม่มีถนนเส้นที่ 2 แ ละ 3



รูปที่ 5.29 ลักษณะพื้นที่ทดสอบกรณีที่ 5.1

การคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 5.16 ความสว่างของถนนตรงบริเวณพื้นที่ L1 – L3 หน่วย : ลักซ์

Y / X	15.00	18.00	21.00	24.00	27.00	30.00	33.00	36.00	39.00	42.00	45.00
55.00	16.160	18.436	24.363	29.319	34.796	27.356	34.916	29.586	24.844	19.250	17.459
55.50	17.392	20.205	27.177	32.757	38.467	30.644	38.585	33.022	27.650	21.002	18.666
56.50	19.741	23.069	31.801	38.078	45.484	45.978	45.603	38.337	32.256	23.829	20.958
57.50	21.950	25.704	34.937	41.667	48.555	47.123	48.673	41.920	35.371	26.420	23.098
58.50	24.396	28.597	35.813	42.393	53.139	49.601	53.253	42.637	36.223	29.263	25.464
59.50	27.260	30.883	35.962	40.766	50.818	49.748	50.926	41.000	36.355	31.495	28.236
60.50	30.828	34.074	35.368	39.874	49.343	49.109	49.446	40.095	35.744	34.664	31.722
61.50	35.298	38.486	36.210	39.130	46.498	42.720	46.594	39.337	36.564	39.049	36.162
62.50	40.276	42.556	38.473	38.484	42.083	37.642	42.172	38.675	38.804	43.088	41.104
63.50	43.335	45.742	40.923	38.277	37.899	33.157	37.980	38.451	41.227	46.239	44.120
64.50	45.303	48.492	42.781	37.628	34.386	29.437	34.459	37.784	43.056	48.949	46.038
65.50	45.815	48.709	43.114	35.846	30.080	26.163	30.147	35.988	43.360	49.124	46.492
66.50	45.197	46.689	40.358	32.487	24.803	21.859	24.865	32.617	40.580	47.064	45.810
67.50	44.875	42.919	36.320	27.764	20.875	18.202	20.930	27.881	36.518	43.253	45.419
68.50	27.291	36.266	30.002	22.069	17.259	15.073	17.308	22.174	30.175	36.559	27.763
69.50	31.294	29.404	22.993	17.124	13.944	12.452	13.989	17.220	23.149	29.661	31.703
70.00	30.920	26.379	19.735	14.969	12.498	11.299	12.541	15.060	19.883	26.618	31.298

ตารางที่ 5.17 ความสว่างของถนนตรงบริเวณพื้นที่ L3 – L5 หน่วย : ลักซ์

Y / X	45.00	48.00	51.00	54.00	57.00	60.00	63.00	66.00	69.00	72.00	75.00
55.00	17.459	19.273	24.893	29.667	35.031	27.515	35.022	29.649	24.865	19.233	17.402
55.50	18.666	21.025	27.698	33.101	38.700	30.804	38.691	33.082	27.668	20.983	18.607
56.50	20.958	23.851	32.302	38.412	45.713	46.134	45.703	38.391	32.269	23.803	20.893
57.50	23.098	26.440	35.414	41.991	48.778	47.272	48.767	41.969	35.379	26.389	23.027
58.50	25.464	29.282	36.263	42.704	53.352	49.743	53.340	42.680	36.225	29.226	25.386
59.50	28.236	31.513	36.393	41.062	51.019	49.881	51.006	41.036	36.353	31.453	28.152
60.50	31.722	34.681	35.779	40.152	49.532	48.232	49.519	40.126	35.736	34.618	31.632
61.50	36.162	39.064	36.597	39.390	46.674	42.834	46.661	39.363	36.553	38.999	36.068
62.50	41.104	43.103	38.834	38.724	42.245	37.748	42.232	38.697	38.789	43.035	41.006
63.50	44.120	46.252	41.255	38.497	38.047	33.252	38.034	38.469	41.210	46.183	44.019
64.50	46.038	48.961	43.082	37.826	34.520	29.524	34.507	37.799	43.037	48.892	45.934
65.50	46.492	49.135	43.384	36.026	30.203	26.242	30.190	35.999	43.339	49.065	46.388
66.50	45.810	47.075	40.602	32.652	24.916	21.931	24.903	32.625	40.558	47.006	45.706
67.50	45.419	43.263	36.538	27.913	20.976	18.266	20.963	27.887	36.494	43.195	45.317
68.50	27.763	36.568	30.193	22.203	17.349	15.129	17.337	22.176	30.151	36.503	27.668
69.50	31.703	29.669	23.166	17.246	14.026	12.502	14.014	17.220	23.125	29.609	31.616
70.00	31.298	26.626	19.898	15.085	12.576	11.347	12.564	15.059	19.859	26.568	31.215

ตารางที่ 5.18 ผลลัพธ์กรณีที่ 5.1

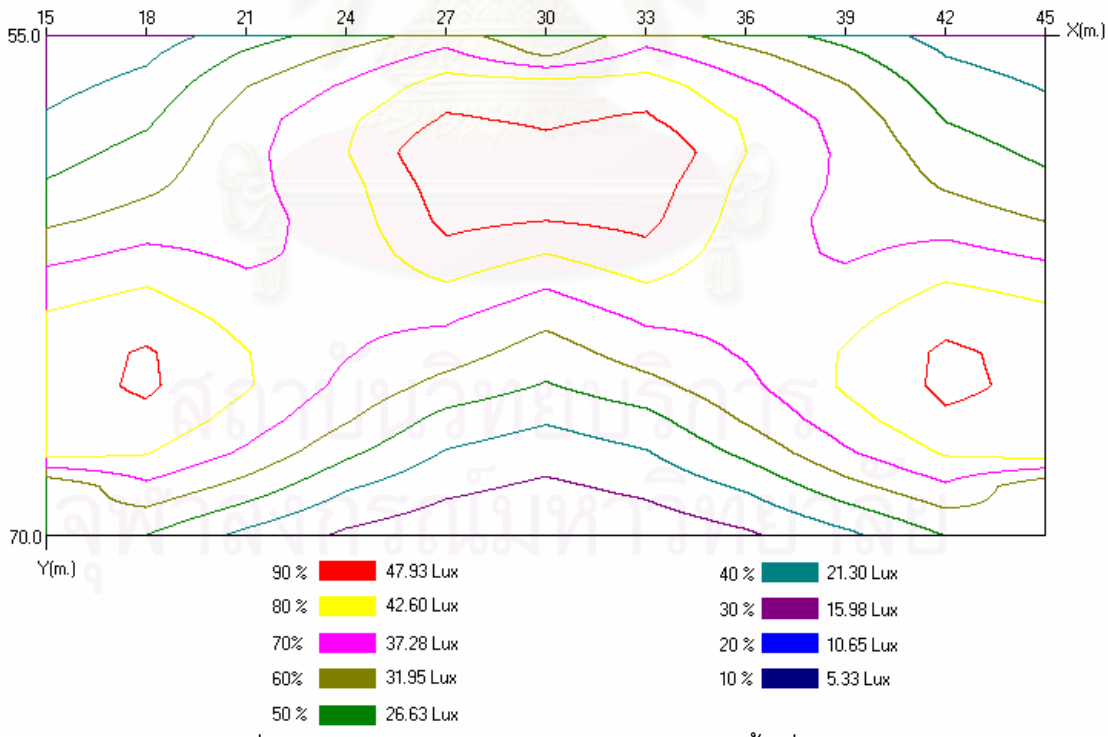
พื้นที่พิจารณา	Emin (Lux)	Emax (Lux)	Eav (Lux)	Emin/Eav	Emin/Emax
L1 – L3	12.452	53.253	34.380	0.362	0.234
L3 – L5	12.502	53.352	34.599	0.361	0.234

ผลการวิเคราะห์

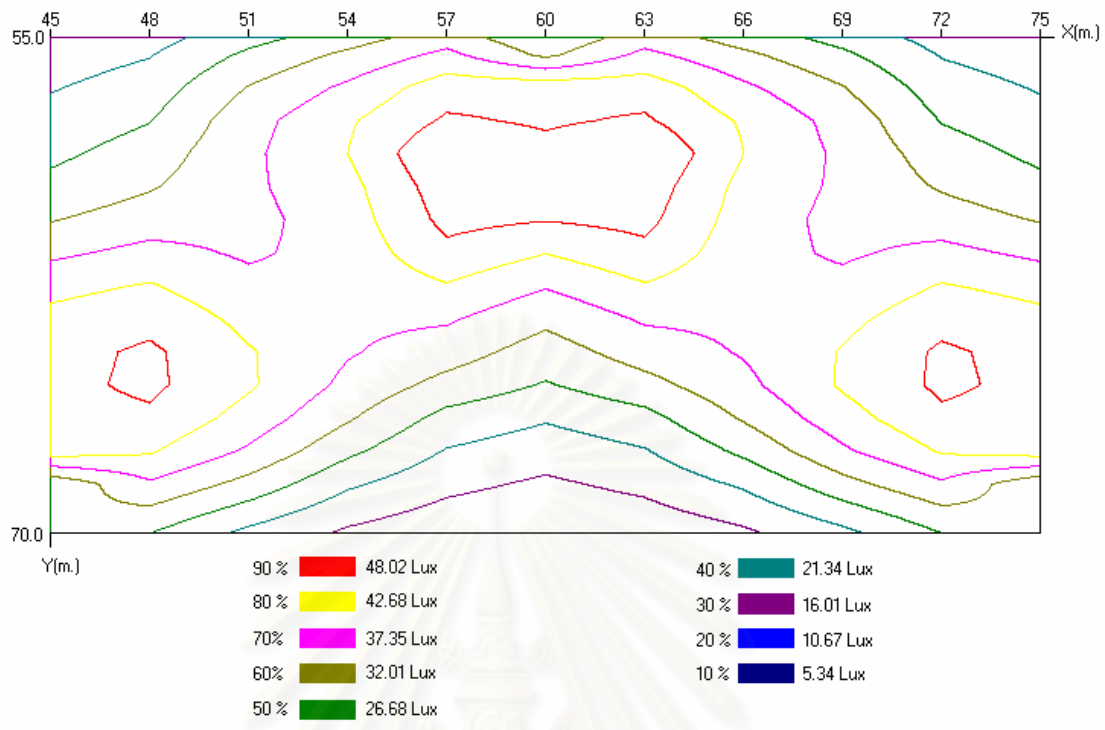
ก. เมื่อพิจารณาพื้นที่บริเวณ L1–L3 พบว่าบริเวณระยะ X=15 เมตร ถึง 27 เมตร มีค่าความสว่างน้อยกว่าบริเวณระยะ X=30 เมตร ถึง 42 เมตร เพราะพื้นที่ดังกล่าวมีแสงจากโคมดวงอื่นที่ส่องไปถึงน้อยมาก พิจารณารูปที่ 5.28 และ รูปที่ 5.29 ประกอบ

ข. เมื่อพิจารณาพื้นที่บริเวณ L3–L5 พบว่าบริเวณระยะ X=45 เมตร ถึง 54 เมตร มีค่าความสว่างมากกว่าบริเวณระยะ X=69 เมตร ถึง 75 เมตร เพราะพื้นที่ดังกล่าวมีแสงจากโคมดวงอื่นที่ส่องไปถึงได้มากกว่า พิจารณารูปที่ 5.28 และ รูปที่ 5.29 ประกอบ

ค. เนื่องจากไม่มีวัตถุใดๆ ดังนั้นจึงไม่มีเงาเกิดขึ้น



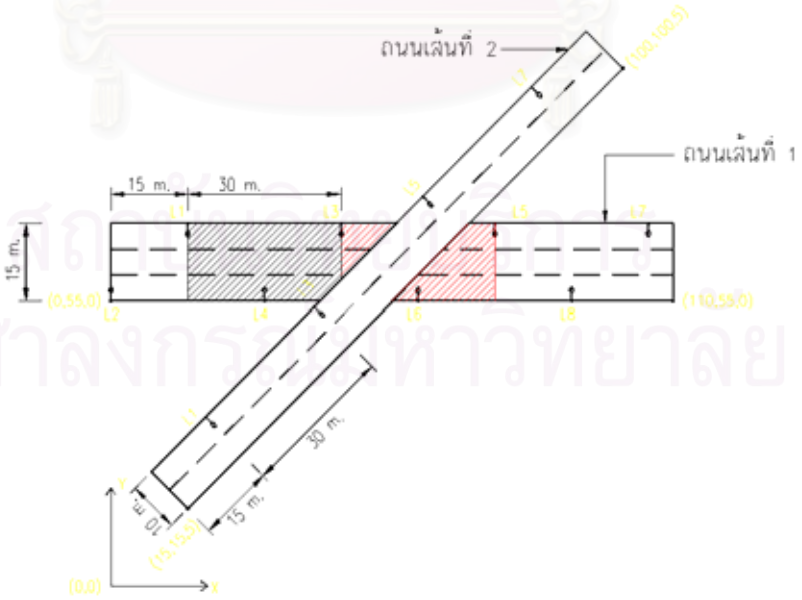
รูปที่ 5.30 ภาพลายเส้นของความสว่างบริเวณพื้นที่ L1 – L3



รูปที่ 5.31 ภาพลายเส้นของความสว่างบริเวณพื้นที่ L3 – L5

ผลการวิเคราะห์เพื่อใช้ในการออกแบบแสดงดังตารางที่ 5.18

กรณีที่ 5.2 พิจารณาพื้นที่ L1 – L3 และ L3 – L5 ของถนนเส้นที่ 1 เมื่อมีถนนเส้นที่ 2



รูปที่ 5.32 ลักษณะพื้นที่ทดสอบกรณีที่ 5.2

การคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 5.19 ความสว่างของถนนตรงบริเวณพื้นที่ L1 – L3

Y / X	15.00	18.00	21.00	24.00	27.00	30.00	33.00	36.00	39.00	42.00	45.00
55.00	17.913	20.605	27.100	33.031	39.512	33.327	42.497	38.715	34.723	29.583	11.657
55.50	19.069	22.272	29.902	36.298	42.951	36.307	45.703	41.524	36.868	30.550	12.568
56.50	21.273	25.000	34.280	41.265	49.504	50.992	51.720	45.485	40.038	31.879	27.034
57.50	23.341	27.453	37.184	44.498	52.128	51.520	53.853	47.810	41.715	33.047	27.697
58.50	25.646	30.177	37.847	45.123	56.307	53.460	57.626	47.384	41.375	34.737	29.435
59.50	28.411	32.335	37.870	43.208	53.573	53.084	54.535	45.025	40.521	36.156	31.778
60.50	31.888	35.405	37.095	42.041	51.698	50.954	52.687	43.546	39.369	38.577	34.646
61.50	36.274	39.702	37.763	41.033	48.948	45.246	49.429	42.432	39.572	42.079	38.244
62.50	41.172	43.664	39.863	40.256	44.313	39.857	44.644	41.320	41.171	45.245	42.207
63.50	44.158	46.749	42.190	39.889	39.916	35.070	40.111	40.610	42.985	47.506	44.455
64.50	46.062	49.425	43.936	39.085	36.195	31.869	36.283	39.521	44.232	49.616	45.858
65.50	46.523	49.576	44.178	37.160	31.785	28.382	31.704	37.336	44.196	49.301	46.056
66.50	45.857	47.494	41.337	33.693	26.377	23.870	26.219	33.633	41.235	47.092	45.645
67.50	45.489	43.665	37.221	28.899	22.349	20.051	23.388	28.766	36.945	43.432	45.775
68.50	27.863	36.957	30.845	23.137	18.639	16.892	19.621	22.955	30.615	37.036	28.759
69.50	31.825	30.047	23.788	18.130	15.237	14.175	16.166	18.026	23.617	30.519	33.309
70.00	31.432	27.003	20.507	15.944	13.759	12.978	14.658	15.921	20.465	27.649	33.208

ตารางที่ 5.20 ความสว่างของถนนตรงบริเวณพื้นที่ L3 – L5

Y / X	45.00	48.00	51.00	54.00	57.00	60.00	63.00	66.00	69.00	72.00	75.00
55.00	11.657	11.369	24.893	29.667	35.031	27.515	41.955	35.093	26.767	21.042	19.502
55.50	12.568	12.406	27.698	33.101	38.700	30.804	45.564	38.554	29.633	22.896	20.919
56.50	27.034	13.964	32.302	38.412	45.713	46.134	52.475	43.960	34.403	26.166	23.689
57.50	27.697	15.773	17.262	41.991	48.778	47.272	48.767	47.710	40.391	29.229	26.426
58.50	29.435	16.516	18.674	42.704	53.352	49.743	53.340	48.738	41.631	32.678	29.548
59.50	31.778	30.596	20.334	41.062	51.019	49.881	51.006	47.263	41.993	35.487	33.388
60.50	34.464	33.919	21.830	15.699	49.532	48.232	49.519	40.126	41.684	40.457	37.756
61.50	38.244	38.083	21.496	16.012	46.674	42.834	46.661	39.363	42.896	45.254	42.946
62.50	42.207	41.417	32.608	19.689	42.245	37.748	42.232	38.697	45.694	49.927	48.447
63.50	44.455	43.737	34.580	18.197	14.831	33.252	38.034	38.469	41.210	53.869	52.692
64.50	45.858	46.314	36.488	17.789	15.650	29.524	34.507	37.799	43.037	57.463	55.203
65.50	46.056	46.958	38.025	27.633	15.903	26.242	30.190	35.999	43.339	58.764	56.369
66.50	45.645	45.810	37.126	27.700	15.186	13.093	24.903	32.625	40.558	47.006	56.491
67.50	45.775	43.138	35.089	26.628	11.190	12.138	20.963	27.887	36.494	43.195	56.589
68.50	28.759	37.657	31.009	23.889	19.710	10.779	17.337	22.176	30.151	36.503	39.497
69.50	33.309	31.741	25.852	21.043	18.399	9.231	10.442	17.220	23.125	29.609	31.616
70.00	33.208	29.177	23.333	19.823	17.867	4.944	9.542	15.059	19.859	26.568	31.215

ตารางที่ 5.21 ผลลัพธ์กรณีที่ 5.2

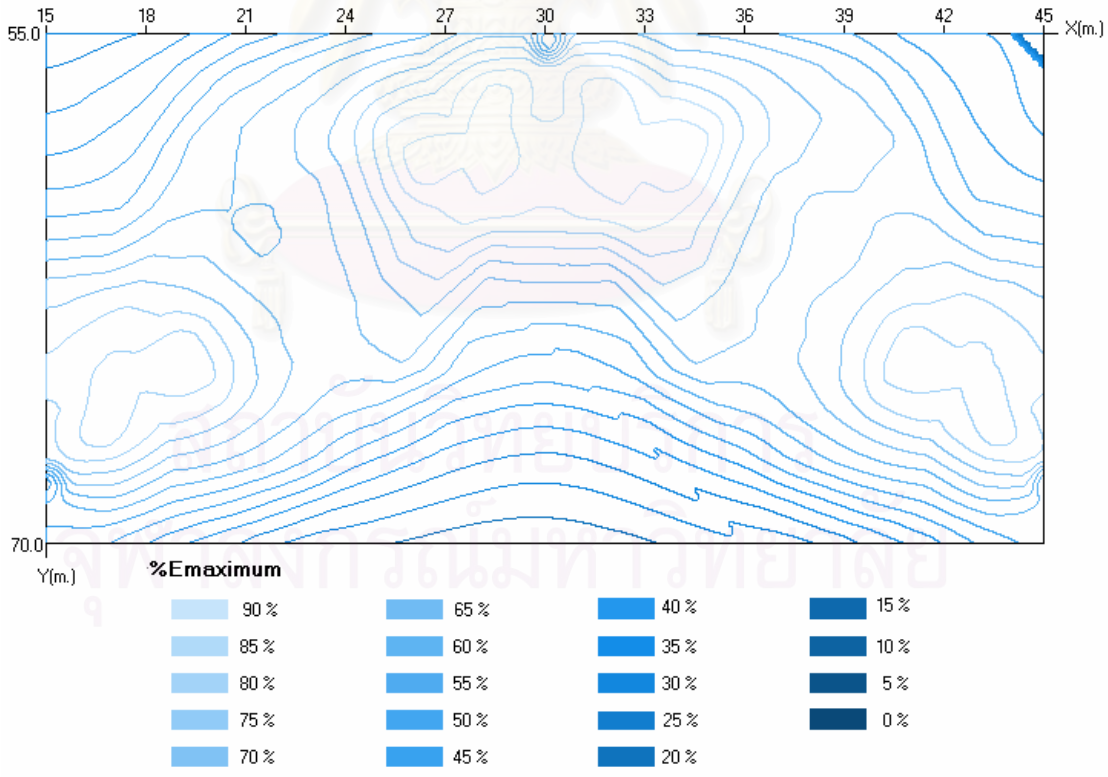
พื้นที่พิจารณา	Emin (Lux)	Emax (Lux)	Eav (Lux)	Emin/Eav	Emin/Emax
L1 – L3	14.175	57.626	36.682	0.386	0.246
L3 – L5	9.231	58.764	33.235	0.278	0.157

ผลการวิเคราะห์

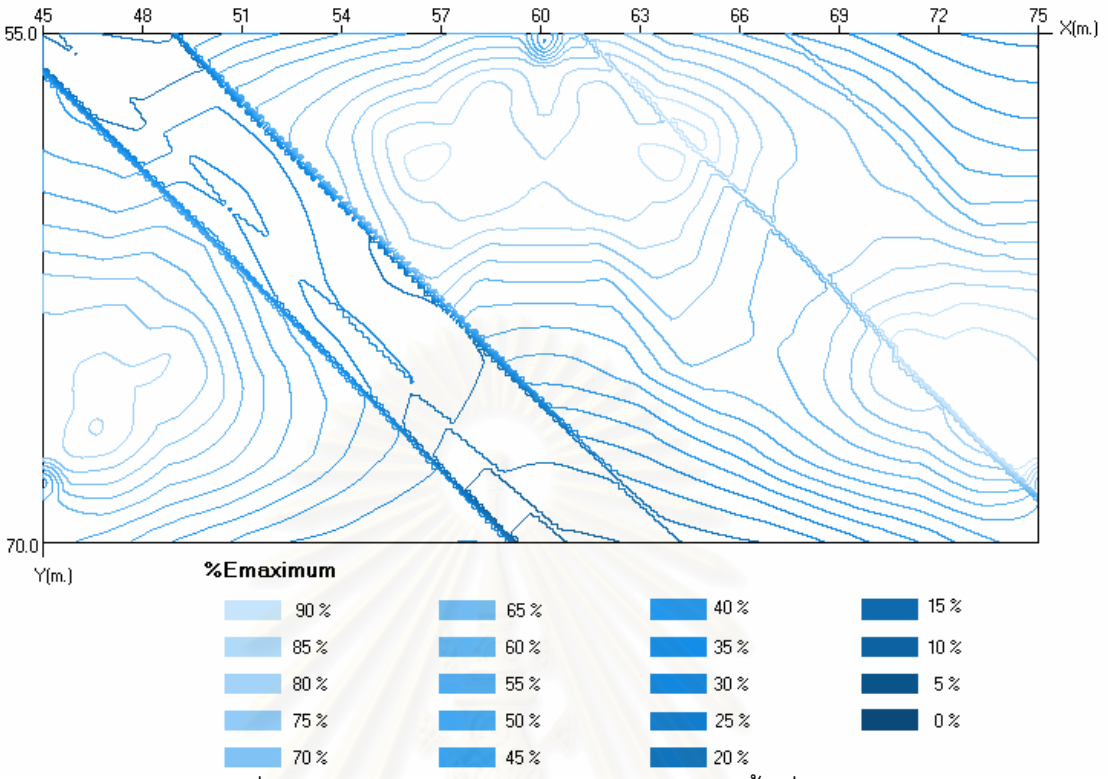
ก. เมื่อพิจารณาพื้นที่บริเวณ L1–L3 พบว่าบริเวณด้านขวามือ มีค่าความสว่างมากกว่าบริเวณด้านซ้ายมือ เพราะพื้นที่ดังกล่าวมีแสงจากโคมดวงที่อยู่บนถนนเส้นที่ 2 ส่องลงมาถึง

ข. เมื่อพิจารณารูปที่ 5.34 จะเห็นลักษณะของเงาของถนนชั้นบนที่มีอิทธิพลต่อความสว่างบนถนนชั้นล่าง

ค. ผู้ออกแบบสามารถใช้ข้อมูลตารางที่ 5.18 และ 5.21 ประกอบการออกแบบได้

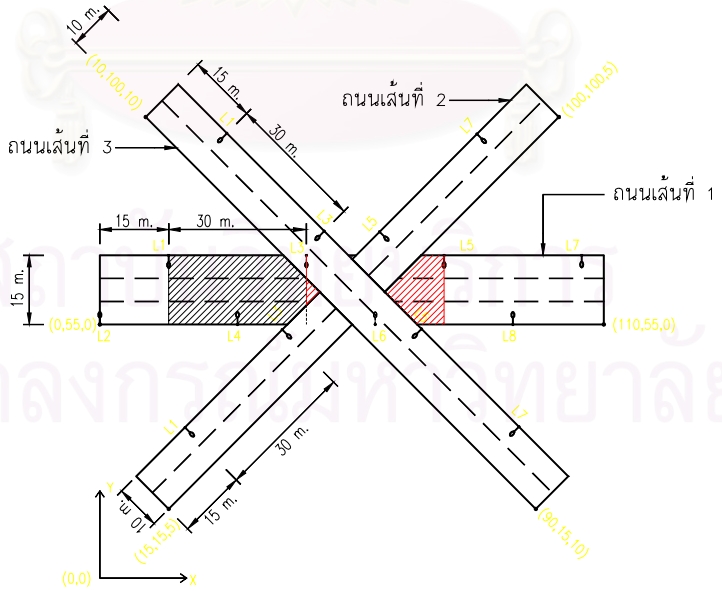


รูปที่ 5.33 ภาพลายเส้นของความสว่างบริเวณพื้นที่ L1 – L3



รูปที่ 5.34 ภาพลายเส้นของความสว่างบริเวณพื้นที่ L3 – L5

กรณีที่ 5.3 พิจารณาพื้นที่ L1 – L3 และ L3 – L5 ของถนนเส้นที่ 1 เมื่อมีถนนเส้นที่ 2 และถนนเส้นที่ 3



รูปที่ 5.35 ลักษณะพื้นที่ทดสอบกรณีที่ 5.3

การคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 5.22 ความสว่างของถนนตรงบริเวณพื้นที่ L1 – L3

Y / X	15.00	18.00	21.00	24.00	27.00	30.00	33.00	36.00	39.00	42.00	45.00
55.00	19.838	22.878	29.775	36.049	42.846	37.350	47.273	44.936	42.774	32.810	17.459
55.50	21.046	24.588	32.513	39.387	46.381	40.424	50.591	47.927	45.197	33.942	18.666
56.50	23.335	27.359	36.999	44.510	53.168	55.335	56.906	52.285	49.001	35.598	33.637
57.50	25.505	29.937	40.026	47.917	56.031	56.167	59.596	55.004	44.338	37.005	34.568
58.50	27.949	32.830	40.829	48.517	60.460	58.413	63.732	54.932	44.122	38.862	36.479
59.50	30.888	35.163	40.968	46.812	57.996	58.327	61.005	52.931	43.355	40.412	38.936
60.50	34.549	38.427	40.356	45.875	56.404	56.489	59.540	45.416	42.262	43.113	42.043
61.50	39.126	42.925	41.218	44.993	53.477	51.076	56.469	44.323	42.711	47.114	46.003
62.50	44.182	47.118	43.521	44.289	48.950	45.915	51.949	43.388	44.712	50.774	50.393
63.50	47.332	50.468	46.085	44.087	44.683	41.280	41.451	42.868	46.862	53.510	52.847
64.50	49.403	53.452	48.107	43.439	41.028	37.402	37.684	41.923	48.386	55.783	54.199
65.50	50.022	53.887	48.559	41.584	36.604	33.969	33.130	39.844	48.370	55.500	54.123
66.50	49.514	51.987	45.878	38.175	31.215	23.953	27.634	36.191	45.262	52.988	52.971
67.50	49.296	48.242	41.939	33.446	27.233	20.125	23.485	31.199	40.848	48.770	52.162
68.50	31.778	41.622	35.754	27.755	23.559	16.892	19.708	25.236	34.175	41.681	34.137
69.50	35.827	34.812	28.907	22.824	18.290	14.175	16.245	20.100	26.850	34.401	37.668
70.00	35.474	31.823	25.739	20.723	13.759	12.978	14.732	17.851	23.462	31.181	37.074

ตารางที่ 5.23 ความสว่างของถนนตรงบริเวณพื้นที่ L3 – L5

Y / X	45.00	48.00	51.00	54.00	57.00	60.00	63.00	66.00	69.00	72.00	75.00
55.00	17.459	19.273	24.893	29.667	35.031	27.515	41.955	41.600	32.921	26.911	24.772
55.50	18.666	21.025	27.698	33.101	38.700	30.804	45.564	44.999	35.829	28.800	26.153
56.50	33.637	23.851	32.302	38.412	45.713	46.134	55.525	50.312	40.718	31.964	28.835
57.50	34.568	26.440	35.414	41.991	48.778	47.272	51.726	52.137	44.300	34.985	31.481
58.50	36.479	29.282	36.263	42.704	53.352	49.743	56.209	53.515	45.740	38.368	34.500
59.50	28.936	42.723	36.393	41.062	51.019	52.431	53.790	48.251	46.263	41.088	38.125
60.50	42.043	45.500	35.779	40.152	49.532	50.748	52.223	43.019	46.995	44.672	42.401
61.50	46.003	49.430	36.597	39.390	46.674	45.310	49.292	42.151	48.395	49.516	47.432
62.50	50.393	52.953	48.116	38.724	42.245	40.189	44.794	41.393	47.512	54.066	52.743
63.50	52.847	55.529	50.189	38.497	40.421	35.666	40.528	41.069	43.860	58.734	56.078
64.50	54.199	57.657	51.633	37.826	36.893	31.915	36.942	40.269	45.522	62.131	58.391
65.50	54.123	57.295	51.539	44.357	38.605	28.614	32.573	38.351	45.679	60.493	59.355
66.50	52.971	54.836	48.443	49.157	32.141	24.282	27.210	34.871	42.766	49.099	60.068
67.50	52.162	50.752	44.151	43.775	27.777	20.594	23.198	30.038	38.573	45.158	59.947
68.50	34.137	43.829	37.762	37.563	31.917	21.497	19.504	24.236	32.113	38.350	40.892
69.50	37.668	36.660	37.449	32.326	28.476	17.711	16.118	19.189	24.982	31.348	33.189
70.00	37.074	33.491	34.148	28.334	27.054	16.309	14.634	16.984	21.667	28.249	32.734

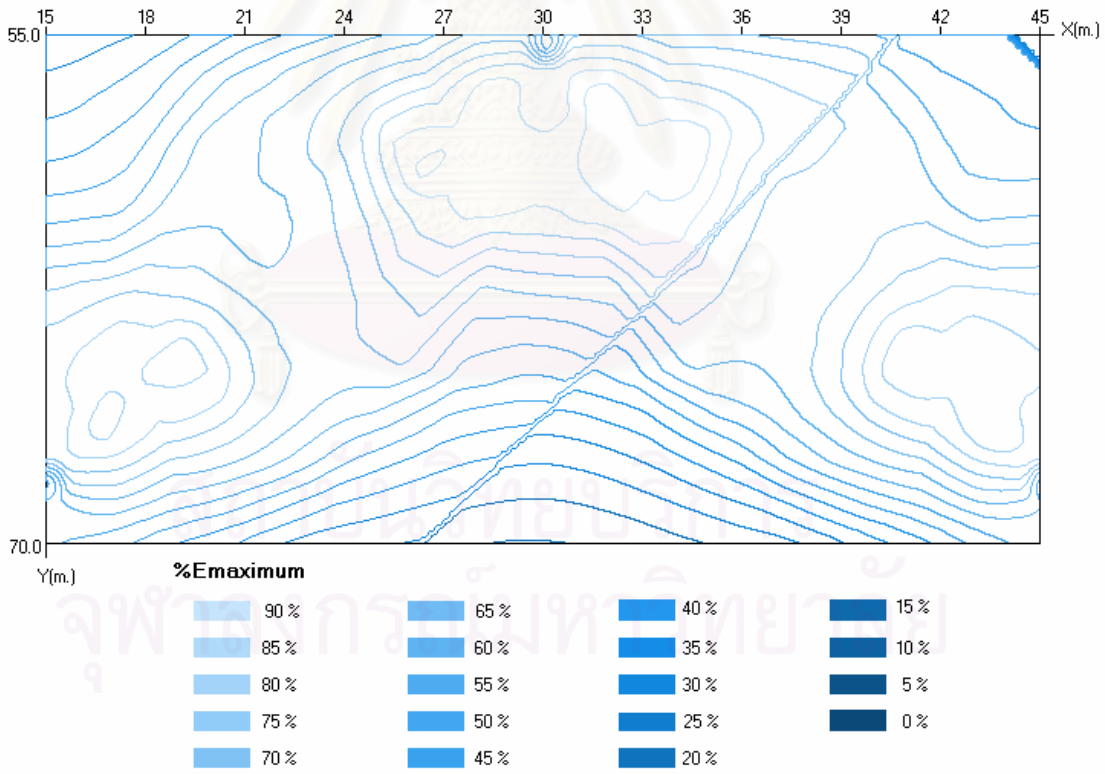
ตารางที่ 5.24 ผลลัพธ์กรณีที่ 5.3

พื้นที่พิจารณา	Emin (Lux)	Emax (Lux)	Eav (Lux)	Emin/Eav	Emin/Emax
L1 – L3	14.175	63.732	40.463	0.350	0.222
L3 – L5	16.118	62.131	39.726	0.406	0.259

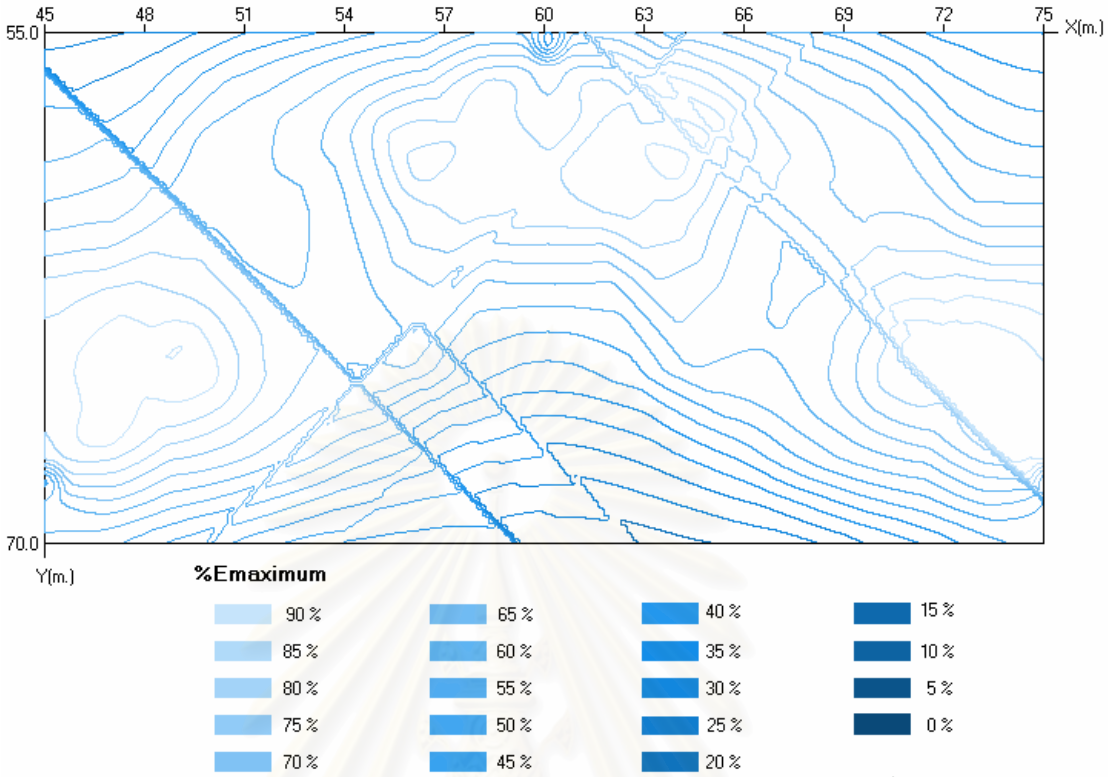
ผลการวิเคราะห์

ก. เมื่อพิจารณาพื้นที่บริเวณ L5 พบว่าบริเวณระยะ X=69 เมตร ถึง 75 เมตร มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีที่ 5.2 ที่เป็นเช่นนี้เพราะอิทธิพลจากโคมที่ติดตั้งอยู่บนถนนเส้นที่ 3 ส่องมาถึง

ข. พิจารณารูปที่ 5.36 ประกอบ จะเห็นเส้นขอบเงาของถนนเส้นที่ 3 ที่ตกลงมายังพื้นที่พิจารณาและมีขอบเงาของถนนเส้นที่ 2 อยู่ที่ระยะ X=45 เมตร



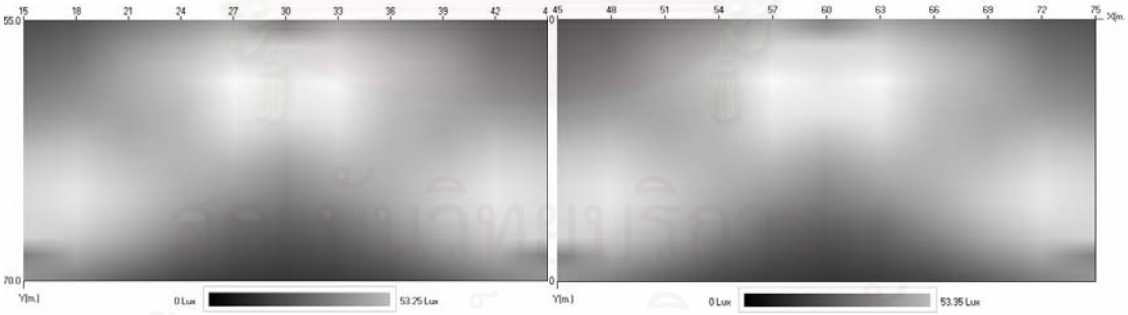
รูปที่ 5.36 ภาพลายเส้นของความสว่างบริเวณพื้นที่ L1 – L3



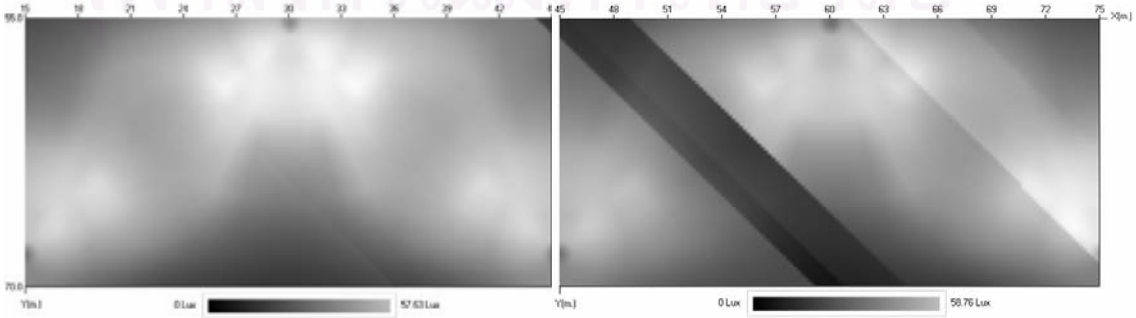
รูปที่ 5.37 ภาพลายเส้นของความสว่างบริเวณพื้นที่ L3 – L5

พื้นที่ L1-L3 **ของถนนเส้นที่** 1

กรณีที่ 5.1



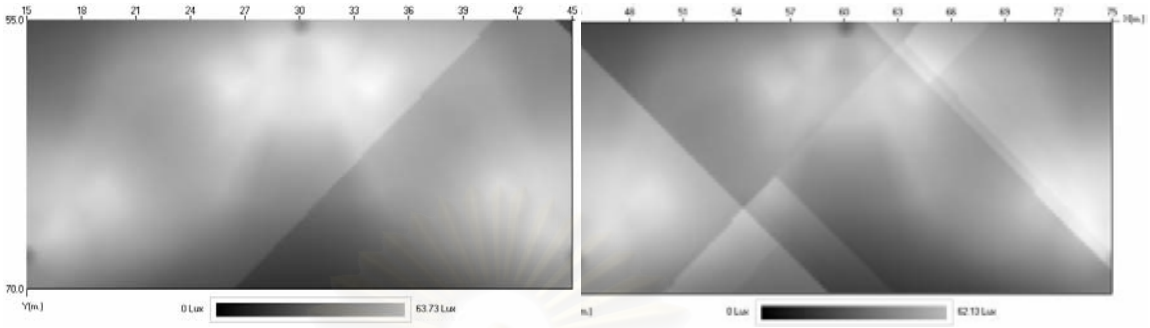
กรณีที่ 5.2



พื้นที่ L3-L5 **ของถนนเส้นที่** 1

พื้นที่ L1-L3 **ของถนนเส้นที่** 1 **พื้นที่** L3-L5 **ของถนนเส้นที่** 1

กรณีที่ 5.3



รูปที่ 5.38 เปรียบเทียบภาพแรเงาของความสว่างกรณี 5.1 ถึง กรณี 5.3
บริเวณพื้นที่ L1 - L3 และ L3 - L5 ตามลำดับ

ค. เมื่อเปรียบเทียบจากภาพแรเงาของความสว่างในแต่ละกรณี จะพบว่า กรณีที่ 5.1 มีถนนเพียงเส้นเดียว บนถนนไม่มีวัตถุ ดังนั้นจึงไม่มีเงาเกิดขึ้น แต่เมื่อมีถนนเส้นที่ 2 มาพาดอยู่บนเส้นที่ 1 ทำให้เกิดเงาในลักษณะเดียวกับถนนที่พาดอยู่ และเมื่อมีถนนเส้นที่ 3 มาพาดอยู่เหนือถนนเส้นที่ 2 อีกชั้น ในลักษณะดังรูปที่ 5.35 จึงทำให้เกิดเงาของถนนเส้นที่ 3 ดังรูปที่ 5.38

หมายเหตุ ภาพกราฟฟิกต่างๆ เช่นรูปที่ 5.38 จะมีลักษณะกลับบนลงล่างเมื่อเทียบกับรูปถนนเช่นรูปที่ 5.35

ง. ผู้ออกแบบสามารถใช้ผลลัพธ์ในตารางที่ 5.25 ประกอบการออกแบบได้

ตารางที่ 5.25 ผลลัพธ์การวิเคราะห์กรณีที่ 5

พื้นที่พิจารณา	กรณีที่	Emin (Lux)	Emax (Lux)	Eav (Lux)	Emin/Eav	Emin/Emax
L1 – L3	5.1	12.452	53.253	34.380	0.362	0.234
L1 – L3	5.2	14.175	57.626	36.682	0.386	0.246
L1 – L3	5.3	14.175	63.732	40.463	0.350	0.222
L3 – L5	5.1	12.502	53.352	34.599	0.361	0.234
L3 – L5	5.2	9.231	58.764	33.235	0.278	0.157
L3 – L5	5.3	16.118	62.131	39.726	0.406	0.259

บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการดำเนินงาน

วิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอวิธีการคำนวณค่าความสว่าง ความสม่ำเสมอของความสว่างบนถนนบริเวณทางแยกหลายระดับ โดยลักษณะถนนอาจเป็นถนนตรง ถนนเอียงซ้ายหรือขวา และถนนลาดขึ้นหรือลาดลงหรือถนนโค้งที่ติดตั้งดวงโคมระบบเสาธรรมดาและระบบเสาสูง โดยคำนวณด้วยวิธีจุดต่อจุด ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้หาค่าความสว่าง ณ จุดใดๆ บนพื้นถนนได้ หากคำนวณด้วยมือจะต้องใช้เวลานานและมีความผิดพลาดได้ง่าย จึงจำเป็นต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการคำนวณ ทำให้ผลการคำนวณมีความแม่นยำมากขึ้น และยังใช้เวลาในการคำนวณไม่มาก ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้ภาษาเดลไฟล์ 5 มาเป็นเครื่องมือในการพัฒนาโปรแกรม ซึ่งเป็นภาษาที่มีความรวดเร็วในการคำนวณ และง่ายต่อการออกแบบให้โปรแกรมสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้ได้อย่างสะดวก

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถคำนวณผลของเงาอันเกิดจากการบดบังของถนนชั้นบนหรือจากวัตถุที่มีผลต่อพื้นที่พิจารณาซึ่งเป็นสิ่งสำคัญเพราะในการออกแบบไฟถนน ผู้ออกแบบจำเป็นต้องคำนึงถึงปริมาณแสงและคุณภาพของแสงบนพื้นที่ออกแบบ โดยค่าความสว่างเฉลี่ยเป็นตัวบ่งบอกปริมาณแสง ส่วนคุณภาพของแสงนั้นค่าความสม่ำเสมอของความสว่างตลอดจนเงาที่เกิดขึ้นบนพื้นที่จะเป็นตัวกำหนด โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถแสดงผลได้ทั้งแบบข้อมูลตัวเลขในรูปแบบตารางข้อมูล ตลอดจนการแสดงผลเป็นรูปภาพลายเส้น ภาพระบายสีและภาพแรเงา ซึ่งสร้างจินตนาการในการมองเห็นถึงปริมาณแสงและคุณภาพของแสงที่ได้จากการคำนวณตามที่ออกแบบไว้ก่อนที่จะติดตั้งจริง ซึ่งการแสดงผลเป็นรูปภาพเป็นที่นิยม เนื่องจากสามารถสื่อสารให้เข้าใจได้ถูกต้องและรวดเร็วกว่าการสื่อสารด้วยข้อมูลประเภทอื่น

จากกรณีตัวอย่างการวิเคราะห์ทั้งหมดที่กล่าวในบทที่ 5 ยืนยันได้ว่าโปรแกรมที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมานี้มีความสามารถต่างๆ ตามที่ต้องการเหมาะที่วิศวกรผู้ออกแบบไฟถนนจะนำไปใช้ประเมินความเหมาะสมของการกำหนดจุดติดตั้งดวงโคม ทิศทางการให้แสง จำนวนชุดของดวงโคม ตลอดจนความกว้างของลำแสงจากดวงโคมแต่ละชุดได้ว่า การให้แสงสว่างลักษณะใดจะให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เช่น เกิดเงาน้อยที่สุด ได้ความสม่ำเสมอของความสว่างสูงที่สุด

6.2 ข้อเสนอแนะ

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในวิทยานิพนธ์นี้ได้คำนึงถึงผลกระทบจากการบดบังแสงของถนนชั้นบนต่อความสว่างบนพื้นถนนชั้นล่างและจากวัตถุบนถนนที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมเท่านั้น ซึ่งเป็นการคำนวณเงาอย่างคร่าวๆ ดังนั้นสามารถนำไปพัฒนาต่อโดยคำนึงถึงรูปทรงของวัตถุอย่างละเอียด ซึ่งจะมีผลต่อความละเอียดสมจริงของค่าความสว่างบนถนน ซึ่งผู้ออกแบบไฟถนนสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ผลการออกแบบติดตั้งโคมได้ ดังนั้นสามารถนำโปรแกรมนี้ไปพัฒนาต่อในเรื่องการออกแบบไฟถนน โดยให้โปรแกรมสามารถแสดงผลได้ทันทีว่าการออกแบบติดตั้งโคมไฟถนนนั้นผ่านมาตรฐานหรือไม่ อย่างไรก็ตามโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้ สามารถใช้งานได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น ยังมีส่วนที่ควรพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานให้มากขึ้น เช่น การจำลองภาพเป็น 3 มิติ ที่มีการให้แสงเงาเหมือนจริงยิ่งขึ้น เพื่อใช้ในการสื่อสารให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

[1] CIE Pub. NO 30-2 (TC-4.6). Calculation and measurement of luminance and illuminance in road lighting, 1982.

[2] CIE Pub. NO 34 (TC-4.6). Road Lighting Lantern and Installation Data-Photometrics, Classification and Performance, 1977.

[3] IES Computer Committee, IES Recommended Standard File Format for Electronic Transfer of Photometric Data, Journal of the Illumination Engineering Society (Winter 1990)

[4] International Commission On Illumination. Cie Technical Report Recommended File Format for Electronic Transfer of Luminaire Photometric Data. Version 1, 1993.

[5] International Commission On Illumination. CIE Technical Report Recommendation of Roads for Motor and Pedestrian Traffic, 1995.

[6] Ir. W.J.M. van Bommel, Prof.J.B. de Boer. Road Lighting. PHILIPS TECHNICAL LIBRARY KLUWER TECHNISCHE BOEKEN B.V.-DEVENTER-ANTWERPEN, 1980.

[7] ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์. เทคนิคการออกแบบระบบแสงสว่าง. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2543.

[8] ไชยะ แซ่มซ้อย. พื้นฐานวิศวกรรมการส่องสว่าง. กรุงเทพฯ: บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด, เล่มที่ 1, 2544.

[9] ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. Lighting System Design. กรุงเทพฯ: กลุ่มบริษัท แสงมิตร กรุ๊ป, 2544.

[10] ศรีบุตร แววเจริญ ชนศักดิ์ บ่ายเที่ยง. คณิตศาสตร์วิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ (พิมพ์ครั้งที่ 1) กรุงเทพฯ : วงตะวัน, 2544.

[11] สุวรรณ ถังมณี เอกสารประกอบการสอน Calculus II. Part II. สาขาวิชาคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. (ม.ป.ป.).

[12] รุจิพรรณ สัมปันณา. การประเมินคุณภาพของการส่องสว่างด้านแสงจ้าแยงตาและการเกิดเงา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

[13] สุวิชญาน์ อินนัดดา. การประเมินคุณภาพไฟถนน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างรูปแบบไฟล์ข้อมูลตามระบบของ CIE

** CIEF= CIE File Format, Version 1.0 (CIE Publication 102-1993)

* <label line 1>

* .

* .

* <label line n>

** IDNM= <identification number>

* LUMN=<luminaire name>

* LAMP=<lamp name>

* NLPS= <number of lamps in luminaire>

* TOLU=<summation of normal rated lumens of all lamps>

* LLGE= <lamp-luminaire geometry>

* BLID= <ballast identification>

* INPW= <input power in watts>

* INVO= <input voltage>

* INVA= <input volt amps>

* TLME= <tilt during measurement>

* TLNM=<tilt normal in application>

* ROME=<rotation during measurement>

* LSHP= <luminaire shape code>

* NLAV= <number of luminous area views to be listed>

* LA01= <luminous area 1> <plane angle> <cone angle>

* LA02= <luminous area 2> <plane angle> <cone angle>

* ”

* ”

* LAnn= <luminous area n> <plane angle> <cone angle>

** PHOT=<INCLUDE> or <file-spec>

(if PHOT = <file-spec> the file ends at this point.)

(if PHOT = <INCLUDE> the file continues as follows.)

* <label line 1>

* .

* .

* <label line n>

** PTYP= <photometric type>

* APOS=<angle position code>

* LUBA=<lumen basis of photometry>

* MULT=<multiplier>

* BAFA= <ballast factor>

* NCON= <number of cone angles>

* NPLA= <number of half-plane angles>

** CONA= <cone angles>

* <first half-plane angle> <intensity for all cone angles at first half-plane angle>

* <second half-plane angle> <intensity for all cone angles at second half-plane angle>

* .

* .

* <nth half-plane angle> <intensity for all cone angles at nth half-plane angle>

(if PHOT= file-spec> then the separate file containing the photometric data is as follows:)

** CIEA= CIE-A File Format, Version 1.0 (CIE Publication 102-1990)

* <label line 1>

* .

* .

* <label line n>

** PTYP= <photometric type>

* APOS=<angle position code>

* LUBA=<lumen basis of photometry>

* MULT=<multiplier>

* BAFA= <ballast factor>

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

* NCON= <number of cone angles>

* NPLA= <number of half-plane angles>

** CONA= <cone angles>

* <first half-plane angle> <intensity for all cone angles at first half-plane angle>

* <second half-plane angle> <intensity for all cone angles at second half-plane angle>

* .

* .

* <nth half-plane angle> <intensity for all cone angles at nth half-plane angle>

หมายเหตุ เครื่องหมาย “**” เป็นส่วนของ “key” lines และถ้ามีเครื่องหมาย “*” หรือ “**” จะต้องทำการขึ้นบรรทัดใหม่

ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดของข้อมูลได้ดังนี้

CIEF= CIE File Format, Version 1.0 (CIE Publication 102-1993)

บรรทัดแรกนี้จะบอกรายละเอียดของข้อมูลว่ารูปแบบข้อมูลแบบ CIE เวอร์ชั่นที่เท่าไหร่ และบอกแหล่งอ้างอิงของรูปแบบข้อมูล

<label line>

ในส่วนนี้จะบรรยายรายละเอียดเกี่ยวกับโคมไฟที่ใช้ และคำอธิบายอื่น ๆ ตามต้องการ ซึ่งแต่ละบรรทัดมีความยาวของตัวอักษรได้สูดสุด 78 ตัวอักษร และ label lines นี้จำกัดไว้ที่ 60 label lines (60 บรรทัด)

IDNM= or IDentification NuMber= <identification number>

บรรทัดนี้เป็น “key” lines วัตถุประสงค์หลักของบรรทัดนี้เพื่อบอกให้โปรแกรมที่นำข้อมูลไปประยุกต์ใช้ทราบว่าการส่งข้อมูลในเทอมของ label lines เสร็จเรียบร้อยแล้วและจะกล่าวถึงข้อมูลถัดไปคือ structured และอีกวัตถุประสงค์หนึ่งของบรรทัดนี้ก็เพื่อบอก luminaire identification number ซึ่งอาจจะเป็น alpha numeric และความยาวในบรรทัดนี้จะต้องไม่เกิน 78 ตัวอักษร

LUMN = or LUMinaire Name = <luminaire name>

ชื่อของดวงโคมอาจจะเป็นตัวเลขผสมตัวอักษรและจำกัดความยาวไว้ไม่เกิน 78 ตัวอักษร

LAMP = or LAMP name = <lamp name>
ชื่อของหลอดซึ่งอาจจะเป็นตัวเลขผสมตัวอักษรและจำกัดความยาวไว้ไม่เกิน 78 ตัวอักษร

NLPS = or Number of LamPS = <number of lamps in the luminaire>
จำนวนหลอดที่ใช้ซึ่งจะบอกเป็นเลขจำนวนจริง และไม่จำเป็นต้องมีขนาดเท่ากัน

TOLU = or TOtal LUmens = <summation of normal rated lumens of all lamps>
ผลรวมของฟลักซ์ส่องสว่างของทุกหลอดที่ติดตั้งในดวงโคม

LLGE = or Lamp Luminaire GEometry = <lamp-luminaire geometry>
ข้อมูลนี้จะเป็นส่วนที่บอกให้โปรแกรมชดเชยฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดที่แปรเปลี่ยนไปจากผลของการเอียงหลอด ซึ่งข้อมูลจะกำหนดไว้ตามรหัสดังต่อไปนี้

1 ถูกใช้เมื่อติดตั้งโคมไฟตามปกติหรือเล็งในแนวดิ่งลง โดยหลอดจะติดตั้งตามแนวดิ่งขั้วหลอดอยู่ด้านบน หรือแนวดิ่งขั้วหลอดอยู่ด้านล่าง

2 ถูกใช้เมื่อติดตั้งโคมไฟตามปกติหรือเล็งในแนวดิ่งลง โดยหลอดจะติดตั้งตามแนวนอนแต่เมื่อโคมไฟถูกทำให้เอียง โดยหลอดอาจจะเอียงขึ้นหรือเอียงลงซึ่งเป็นเงื่อนไขของการเอียงโคมไฟ

3 ถูกใช้เมื่อติดตั้งโคมไฟตามปกติหรือเล็งในแนวดิ่งลง โดยหลอดจะอยู่ในแนวนอน และยังคงอยู่แนวนอนเมื่อเอียงโคม

4 ถูกใช้เมื่อติดตั้งหลอดติดผนึกกับโคมไฟและไม่สามารถถอดเปลี่ยนได้

BLID = or BaLlast IDentification = <ballast identification>
รายละเอียดของบัลลาสต์ โดยจะบอกเป็นตัวเลขผสมตัวอักษรและความยาวในบรรทัดจำกัดไม่เกิน 78 ตัวอักษร

INPW = or INput PoWer = <input power in watts>
ต้องเป็นตัวเลขและแสดงกำลังไฟฟ้าของดวงโคมทั้งหมดที่รวมทั้งบัลลัสต์หรือการสูญเสียอื่น

INVO = or INput VOlts = <input voltage>
ต้องเป็นตัวเลขและบอกขนาดของแรงดันขาเข้าของดวงโคม

INVA = or INput Volt Amperes = <input volt amps>
ต้องเป็นตัวเลขและแสดงความต้องการกำลังงานปรากฏของหลอดและอุปกรณ์ประกอบทั้งหมด

TLME = or TiLt during MEasurement = <tilt during measurement>
ตัวเลขบอกการเอียงตัวของดวงโคมขณะตรวจวัดข้อมูลต้องเป็นตัวเลขและบรรยายมุมบวกหรือลบของการเอียงเนื่องจากการวัดความสว่าง ดูรูปที่ ก.1

TLNM = or TiLt NorMal = <tilt normal in application>
ตัวเลขบอกการเอียงตัวของดวงโคมในการติดตั้งใช้งานจริงต้องเป็นตัวเลขและบรรยายมุมบวกหรือลบของการเอียงเมื่อติดตั้งใช้งาน

ROME = or ROtation during MEasurement = <rotation during measurement>
ตัวเลขบอกการหมุนตัวของดวงโคมขณะตรวจวัดข้อมูล ต้องเป็นตัวเลขและบรรยายมุมของการหมุนในด้านบวกและด้านลบเป็นองศา

LSHP = or Luminaire SHaPe = <luminaire shape code>
ต้องเป็นจำนวนเต็มบอกเป็นรหัส ข้อมูลในส่วนนี้ปกติจะถูกนำไปใช้ในการคำนวณ glare จากรูปทรง, พื้นที่ และทิศทางของการมอง โปรแกรมที่ใช้งานจะสามารถคำนวณค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของดวงโคมได้โดยความเข้มส่องสว่าง ถ้ารูปทรงไม่เป็นไปตามรหัส 1-8 ก็ใช้รหัส 9 ซึ่งแต่ละรหัสแสดงรายละเอียดดังนี้

1 ใช้เมื่อพื้นที่ส่องสว่างเป็นรูปทรงกลมหรือลูกโลก
2 ใช้เมื่อพื้นที่ส่องสว่างเป็นรูปครึ่งทรงกลมในทิศทางของแกนแรก (first axis)
3 ใช้เมื่อพื้นที่ส่องสว่างเป็นรูปทรงกระบอกในทิศทางของแกนแรก
4 ใช้เมื่อพื้นที่ส่องสว่างเป็นรูปทรงกระบอกในทิศทางของแกนที่สอง (second axis)
5 ใช้เมื่อพื้นที่ส่องสว่างเป็นรูปครึ่งทรงกระบอกซึ่งมีแกนขนานกับแกนที่สอง และส่วนโค้งของทรงกระบอกอยู่ในทิศทางเดียวกันกับแกนแรก
6 ใช้เมื่อพื้นที่ส่องสว่างเป็นรูปครึ่งทรงกระบอกซึ่งมีแกนขนานกับแกนที่สาม และส่วนโค้งของทรงกระบอกอยู่ในทิศทางเดียวกันกับแกนแรก
7 ใช้เมื่อพื้นที่ส่องสว่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส (4 ด้าน) ซึ่งมีความยาวตั้งฉากกับแกนแรก
8 ใช้เมื่อพื้นที่ส่องสว่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส (4 ด้าน) ซึ่งมีความยาวขนานกับแกนแรก
9 ใช้สำหรับทุกพื้นที่ส่องสว่างอื่น ๆ

NLAV = or Number of Luminous Area Views = <number of luminous area views to be listed>

LA01 = or Luminous Area 01 = <luminous area 1> <plane angle> <cone angle>

LA02 = or Luminous Area 02 = <luminous area 2> <plane angle> <cone angle>

”

”

LAnn = or Luminous Area nn = <luminous area n> <plane angle> <cone angle>

บอกพื้นที่ส่องสว่าง (luminous area) ในหน่วยตารางเมตร ที่ได้จากการสังเกต ณ ตำแหน่งของมุม γ และมุม C ที่กำหนด ซึ่งจะจำกัดพื้นที่ส่องสว่างไว้ไม่เกิน 99 ชิ้น

PHOT = or PHOTometric data = <INCLUDE> or <file-spec>

บรรทัดนี้จะเป็น “key” lines บอกให้โปรแกรมทราบว่าการส่งข้อมูลทางกายภาพเสร็จเรียบร้อยแล้ว

<INCLUDE> ถ้าพบคำนี้จะใช้เพื่อส่งสัญญาณให้โปรแกรมทราบว่าข้อมูลถัดไปเป็น label lines ซึ่งเป็นข้อมูลทางแสงของดวงโคม

<file-spec> ถ้าเป็นคำอื่น ๆ ที่ไม่ใช้ INCLUDE แสดงว่าข้อมูลทางแสงแยกไฟล์ไปเป็นอีกไฟล์หนึ่งต่างหาก

if PHOT = <file-spec> ไฟล์นี้ก็จะสิ้นสุด ณ จุดนี้ โปรแกรมก็จะโหลดไฟล์ตามชื่อที่ป้อนเข้ามาเพื่อส่งไปเป็นอินพุตของข้อมูลทางแสง

if PHOT = <INCLUDE> the file continues as follows.

<label lines>

label lines ในส่วนนี้จะบรรจุข้อความที่พรรณนาเกี่ยวกับโคมไฟที่ใช้, การส่องสว่าง และบันทึกหรือข้อความอื่น ๆ แต่ละ label line มีความยาวได้สูงสุด 78 ตัวอักษร และมี label lines ได้ทั้งหมดไม่เกิน 60 label lines

PTYP = or Photometric TYPe = <photometric type>

ในส่วนนี้เป็น “key” line วัตถุประสงค์หนึ่งของบรรทัดนี้เพื่อส่งสัญญาณให้โปรแกรมทราบว่าการส่งข้อความที่พรรณนาเกี่ยวกับโคมไฟที่ใช้เสร็จสิ้นแล้ว และอีกวัตถุประสงค์หนึ่งเพื่อบอกชนิดของข้อมูลซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระบบดังนี้

C ใช้ข้อมูลระบบ C, γ แสดงได้ดังรูปที่ ก.2 แกนหมุนของระนาบคือแกนแรกในรูปที่ ก. 1

B ใช้ข้อมูลระบบ B, β แสดงดังรูปที่ ก.3 แกนหมุนของระนาบคือแกนที่สองในรูปที่ ก.1

A ใช้ข้อมูลระบบ A, α แสดงดังรูปที่ ก.4 แกนหมุนของระนาบก็คือแกนที่สามในรูปที่ ก.1

APOS = <angle position code>

เมื่อข้อมูลทางแสงเป็น Type C (C, γ) กำหนดรหัสดังนี้ (ดูในรูปที่ ก.2)

C1 ดวงโคมที่ใช้สำหรับให้แสงสว่างบนถนน ระนาบ 0-180 องศา เป็นระนาบที่ขนานไปกับขอบถนนหรือขนานไปกับเส้นสัมผัสของถนนโค้ง เมื่อดวงโคมติดตั้งอยู่เหนือขอบถนน ระนาบ 90 องศา จะตัดเข้าไปในถนน สำหรับดวงโคมซึ่งมีการกระจายของแสงไม่สมมาตรบนระนาบ 90/270 องศา ควรให้ความเข้มส่องสว่างสูงสุดปรากฏอยู่ในครึ่งทรงกลมซึ่งมีครึ่งระนาบ 0 องศา อยู่ด้วย

C2 ดวงโคมทั่วไปซึ่งมี mounting fitting สำหรับปรับดวงโคมในสถานที่ใช้งาน เช่น ดวงโคมที่ติดกับกำแพง ดวงโคมติดบนราวบนเพดาน และดวงโคม floodlight ระนาบ 0-180 องศา เป็นระนาบที่ขนานไปกับแกนที่ 2 และ ครึ่งระนาบ 270 องศา จะยื่นจากจุดศูนย์กลางแสงของอุปกรณ์ส่องสว่างผ่านด้าน mounting fitting

C3 ดวงโคมทั่วไปซึ่งไม่มี mounting fitting สำหรับปรับดวงโคมในสถานที่ใช้งานและมีการกระจายแสงเหมือนกันในทุกระนาบ ถ้าการกระจายแสงของดวงโคมสมมาตรกันในทุกระนาบแล้วครึ่งระนาบใด ๆ จะประพฤติตนเป็นครึ่งระนาบ 0 องศา

C4 ดวงโคมทั่วไปซึ่งไม่มี mounting fitting สำหรับปรับดวงโคมในสถานที่ใช้งานแต่มีระนาบสมมาตรอยู่ 1 ระนาบ ครึ่งระนาบ 90 องศา วางอยู่ในระนาบสมมาตรนั้น ถ้าแหล่งกำเนิดแสงหรือแหล่งกำเนิดแสงขนานกันมีลักษณะยาว ระนาบ 0 -180 จะตั้งฉากกับด้านที่ยาวกว่าของแหล่งกำเนิดแสง ถ้าแหล่งกำเนิดแสงไม่มีลักษณะยาว ผู้ผลิตควรจะทำสัญลักษณ์บนดวงโคมที่ตำแหน่งของครึ่งระนาบ 0 องศา โดยมีการอธิบายสัญลักษณ์ดังกล่าวในฉลากด้วย

C5 ดวงโคมทั่วไปซึ่งไม่มี mounting fitting สำหรับปรับดวงโคมในสถานที่ใช้งานแต่มีระนาบสมมาตรอยู่ 1 ระนาบ ครึ่งระนาบ 0 องศา วางอยู่ในระนาบสมมาตรนั้น ถ้าแหล่งกำเนิดแสงหรือแหล่งกำเนิดแสงขนานกันมีลักษณะยาว ระนาบ 0 -180 จะตั้งฉากกับด้านที่ยาวกว่าของแหล่งกำเนิดแสง ถ้าแหล่งกำเนิดแสงไม่มีลักษณะยาว ผู้ผลิตควรจะทำสัญลักษณ์บนดวงโคมที่ตำแหน่งของครึ่งระนาบ 0 องศา โดยมีการอธิบายสัญลักษณ์ดังกล่าวในฉลากด้วย

C6 เป็นดวงโคมที่ระบุอยู่ในกลุ่ม C3 แต่มีระนาบสมมาตร 2 ระนาบ คือทั้งครึ่งระนาบ 90 องศา และครึ่งระนาบ 0 องศาวางอยู่ในระนาบที่สมมาตร ถ้าแหล่งกำเนิดแสงหรือแหล่งกำเนิดแสงขนานกันมีลักษณะยาว ระนาบ 0-180 จะตั้งฉากกับด้านที่ยาวกว่าของแหล่งกำเนิดแสง ถ้าแหล่งกำเนิดแสงไม่มีลักษณะยาว ผู้ผลิตควรจะทำสัญลักษณ์บนดวงโคมที่ตำแหน่งของครึ่งระนาบ 0 องศา โดยมีการอธิบายสัญลักษณ์ดังกล่าวในฉลากด้วย

C7 เป็นดวงโคมที่ระบุอยู่ในกลุ่ม C3 แต่ไม่มีระนาบที่สมมาตร ผู้ผลิตควรจะทำสัญลักษณ์บนดวงโคมที่ตำแหน่งของครึ่งระนาบ 0 องศา โดยมีการอธิบายสัญลักษณ์ดังกล่าวในฉลากด้วย

เมื่อข้อมูลทางแสงเป็น Type B (B, β) กำหนดรหัสดังนี้ (ดูในรูปที่ ก.3)

B1 สำหรับดวงโคมทั่วไปซึ่งมี mounting fitting สำหรับปรับดวงโคมในสถานที่ใช้งานและมีการกระจายแสงเหมือนกันในทุกระนาบ ครึ่งระนาบใด ๆ จะประพฤติตนเสมือนครึ่งระนาบ 0 องศา

B2 สำหรับดวงโคมทั่วไปซึ่งมี mounting fitting สำหรับปรับดวงโคมในสถานที่ใช้งานและมีระนาบสมมาตร 1 ระนาบ ระนาบที่สมมาตรจะเป็นระนาบที่มีครึ่งระนาบ 0 องศาอยู่ โดยพิจารณาจากครึ่งระนาบทั้ง 2 หากครึ่งระนาบใดมีค่าความเข้มของแสงสูงสุดจะถือว่าเป็นครึ่งระนาบ 0 องศา

B3 สำหรับดวงโคมทั่วไปซึ่งมี mounting fitting สำหรับปรับดวงโคมในสถานที่ใช้งานและไม่มีการสมมาตรระหว่างระนาบ ระนาบที่มีความเข้มของแสงสูงสุดจะถือว่าเป็นครึ่งระนาบ 0 องศา

B4 สำหรับดวงโคมทั่วไปซึ่งไม่มี mounting fitting สำหรับปรับดวงโคมในสถานที่ใช้งาน ในกรณีนี้ผู้ผลิตจะต้องทำสัญลักษณ์บนดวงโคมที่ตำแหน่งของครึ่งระนาบ 0 องศา โดยมีการอธิบายสัญลักษณ์ดังกล่าวในฉลากด้วย

B1CS, B2CS, B3CS และ B4CS (CS = cone symmetry) ควรใช้เมื่อ การกระจายความส่องสว่างกำหนดตามข้างบน แต่สมมาตรรอบมุมกรวยที่ศูนย์องศา

เมื่อข้อมูลทางแสงเป็น Type A (A, α) กำหนดรหัสดังนี้ (ดูในรูปที่ ก.4)

A1 สำหรับดวงโคมทั่วไปซึ่งมี mounting fitting สำหรับปรับดวงโคมในสถานที่ใช้งานและมีการกระจายแสงเหมือนกันในทุกระนาบ ครึ่งระนาบใด ๆ จะประพฤติตนเสมือนครึ่งระนาบ 0 องศา

A2 สำหรับดวงโคมทั่วไปซึ่งมี mounting fitting สำหรับปรับดวงโคมในสถานที่ใช้งานและมีระนาบสมมาตร 1 ระนาบ ระนาบที่สมมาตรจะเป็นระนาบที่มีครึ่งระนาบ 0 องศาอยู่ โดยพิจารณาจากครึ่งระนาบทั้ง 2 หากครึ่งระนาบใดมีค่าความเข้มของแสงสูงสุดจะถือว่าเป็นครึ่งระนาบ 0 องศา

A3 สำหรับดวงโคมทั่วไปซึ่งมี mounting fitting สำหรับปรับดวงโคมในสถานที่ใช้งานและไม่มีการสมมาตรระหว่างระนาบ ครึ่งระนาบที่มีความเข้มของแสงสูงสุดจะถือว่าเป็นครึ่งระนาบ 0 องศา

A4 สำหรับดวงโคมทั่วไปซึ่งไม่มี mounting fitting สำหรับปรับดวงโคมในสถานที่ใช้งาน ในกรณีนี้ผู้ผลิตจะต้องทำสัญลักษณ์บนดวงโคมที่ตำแหน่งของครึ่งระนาบ 0 องศา โดยมีการอธิบายสัญลักษณ์ดังกล่าวในฉลากด้วย

A1CS, A2CS, A3CS และ A4CS (CS = cone symmetry) ควรใช้เมื่อ การกระจายความส่องสว่างกำหนดตามข้างบน แต่สมมาตรรอบมุมกรวยที่ศูนย์องศา

LUBA = or LUmen BAsis of photometry = <lumen basis of photometry>
ค่าฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดไฟที่ใช้อ้างอิงของชุดข้อมูล เช่น per 1000 lamp lumens ในกรณีที่ใช้ข้อมูลจริงให้ใส่เป็น -1

MULT= or MULTiplier = <multiplier>
เป็นตัวคูณแฟคเตอร์ของทุกค่าความเข้มส่องสว่างในไฟล์นี้ ปกติมีค่าเป็น 1.0 และอาจจะมีค่าต่างจาก 1.0 ได้โดยตัวคูณแฟคเตอร์นี้อาจจะน้อยกว่า 1.0 ได้แต่จะไม่ติดลบ

BAFA= or BAllast FActor = <ballast factor>
เป็นตัวคูณแฟคเตอร์ของทุกค่าความเข้มส่องสว่างในไฟล์นี้ปกติมีค่าเป็น 1.0 และอาจจะมีค่าต่างจาก 1.0 ได้ โดยบัลลาสต์แฟคเตอร์นี้อาจจะน้อยกว่า 1.0 ได้แต่จะไม่ติดลบ

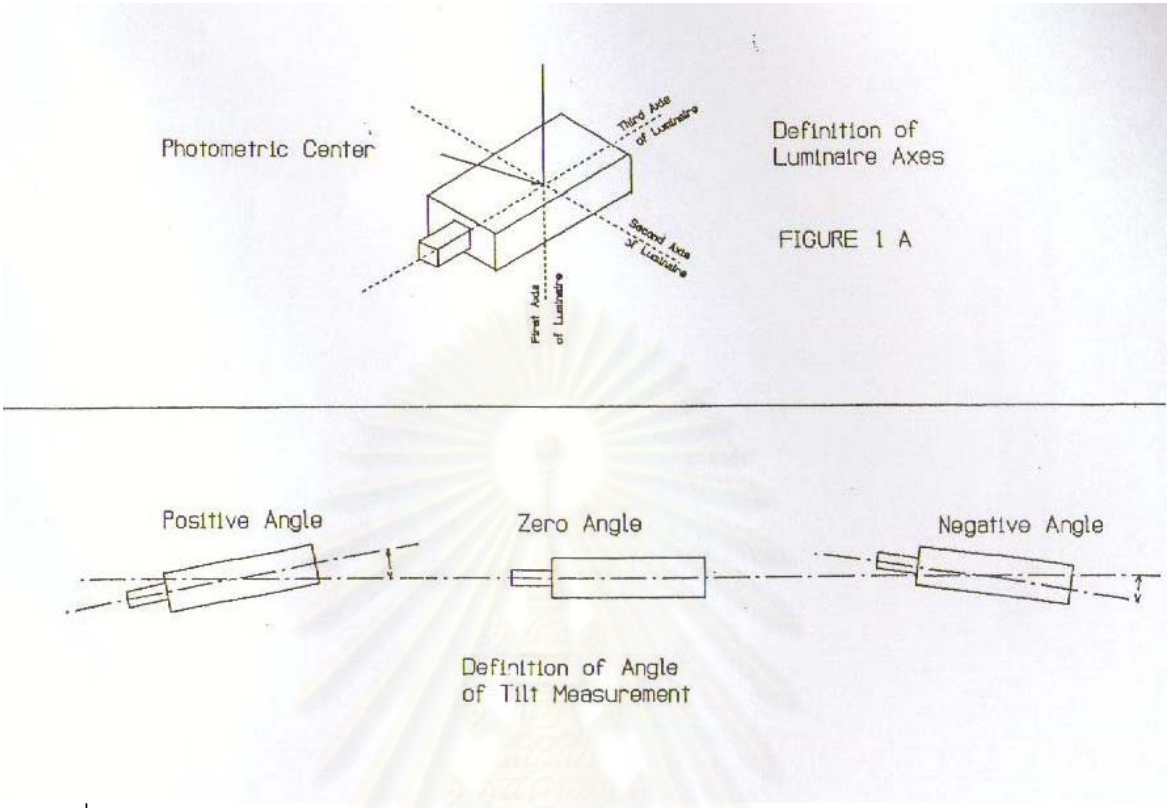
NCON= or Number of CONe Angles = <number of cone angles>
จำนวนของมุม γ ทั้งหมด (กรณีระบบวัดข้อมูลแบบ C - γ)

NPLA= or Number of PLane Angles = <number of half-plane angles>
จำนวนของระนาบ C ทั้งหมด (กรณีระบบวัดข้อมูลแบบ C - γ)

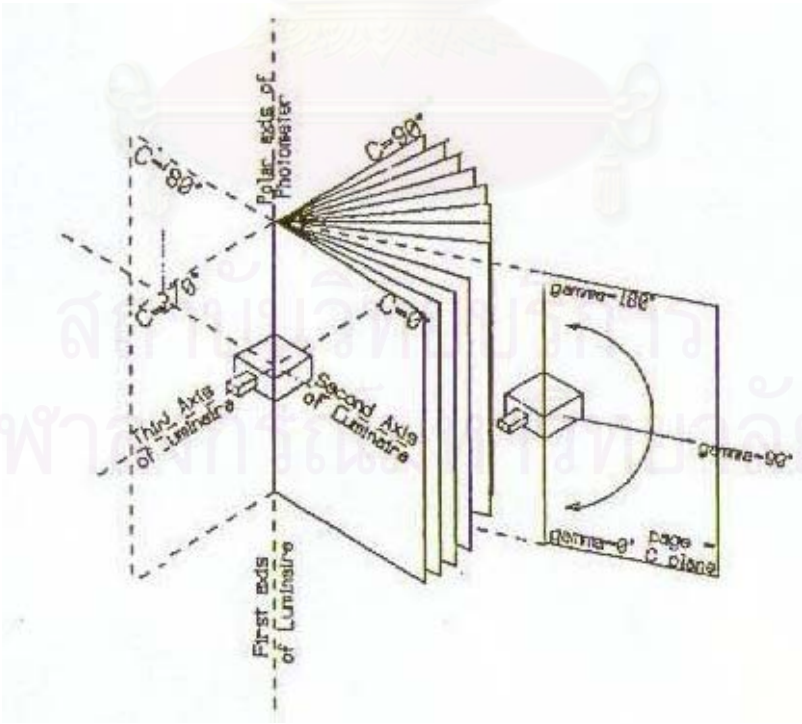
CONA= or CONe Angles = <cone angles>
แสดงค่า มุม γ สำหรับ Type C ค่าแรกจะต้องเริ่มต้นที่ 0 องศา

<first half-plane angle> <intensity for all cone angles at first half-plane angle>
<second half-plane angle> <intensity for all cone angles at second half-plane angle>
.
.
.
<nth half-plane angle> <intensity for all cone angles at nth half-plane angle>
แสดงค่าระนาบ C และค่าความเข้มส่องสว่างที่ มุม γ และระนาบ C ใด ๆ

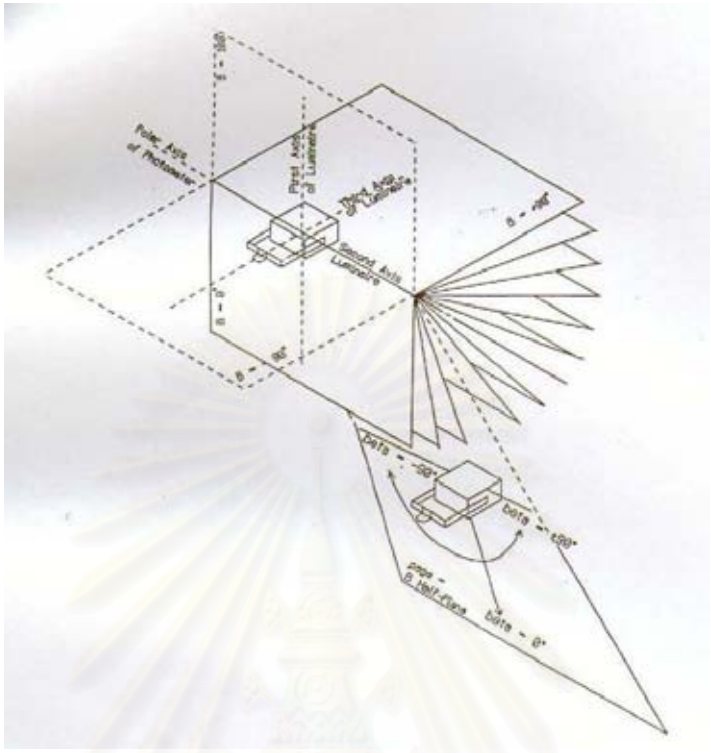
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



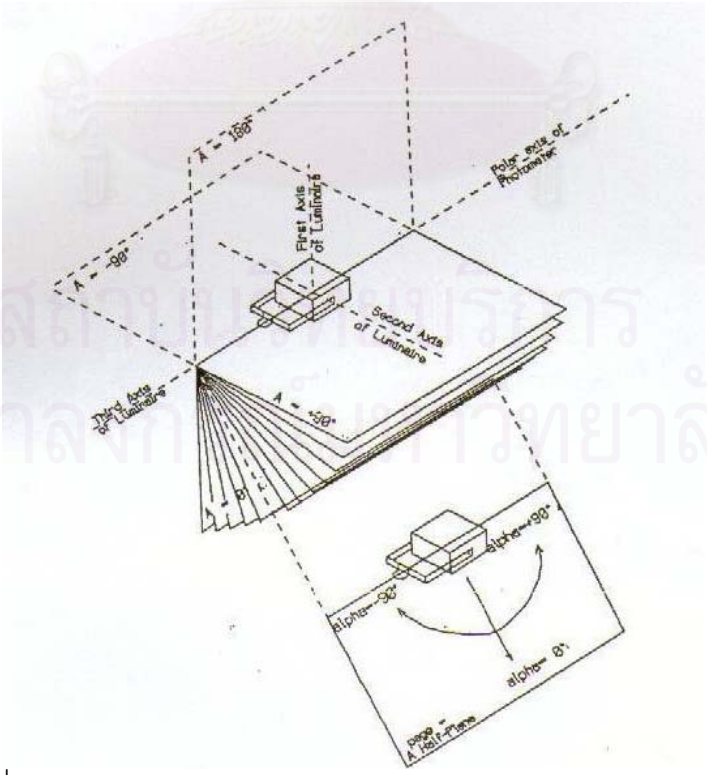
รูปที่ ก.1 Diagram of the three luminaire axis and illustration of positive and negative tilt.



รูปที่ ก.2 Illustates luminaire orientation for C/gramma photometry.



รูปที่ ก.3 Illustrates luminaire orientation for B/beta photometry.



รูปที่ ก.4 Illustrates luminaire orientation for A/alpha photometry.

ตัวอย่างไฟล์ GELU100.cie ตามระบบ CIE

CIEF=CIE File Format, Version 1.0 (CIE Publication 102-1993)

Example of the CIE File Format

Luminaire is for Road Lighting

Example Fittings Inc. London. England

IDNM= E/m 113-114

LUNM= Silverlinear - 100

LAMP= 100 watt HPS

NLPS= 1

TOLU= 9000

LLGE= 2

BLID= 100/250/R

INPW= 115

INVO=

INVA=

TLME= 0

TLNM= 0

ROME= 0

LSHP= 9

NLAV= 1

LA00= 0.8 1 0

PHOT= INCLUDE

PTYP= Type C

APOS= C1

LUBA= 9000

MULT= 1

BAFA= 1

NCON= 26

NPLA= 21

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CONA= 0.0 5.0 15.0 25.0 35.0 42.0 55.0 60.0 62.5 64.5 65.0 67.5 70.0 72.5 75.0 77.5 80.0 82.5 85.0 87.5 90.0 95.0 105.0 115.0 125.0 135.0

0 1969 2086 2237 2260 2592 3141 3351 3002 2928 2760 2672 2326 1938 1532 1136 735 531 416 340 284 249 203 141 85 36 7

5 1969 2113 2330 2478 2890 3617 3911 3626 3571 3410 3330 3031 2588 2012 1346 800 576 444 361 297 256 201 136 84 35 7

15 1969 2165 2534 2970 3610 4319 4921 5631 6408 7095 7053 6159 4471 2841 1722 1066 756 580 455 357 288 209 137 80 33 5

25 1969 2197 2757 3469 4353 4538 5702 7560 8604 9280 9261 8172 6174 3201 1752 1118 839 647 499 388 312 217 135 72 24 0

35 1969 2248 2829 3519 4569 4738 5926 6703 6783 6712 6615 5758 4565 2546 1536 952 700 551 441 357 292 216 149 79 24 3

45 1969 2269 2860 3459 4817 5400 6046 6439 5494 4745 4558 3785 3123 2189 1358 889 660 512 408 337 287 232 160 87 20 1

55 1969 2280 2761 3431 4538 5435 5674 4193 3135 2542 2437 2141 1904 1553 1105 737 571 472 393 336 279 240 179 107 16 0

65 1969 2276 2680 3415 4029 4858 3791 2586 1976 1602 1520 1270 1182 1040 803 620 532 439 377 328 307 255 197 121 11 0

75 1969 2258 2646 3351 3762 4227 3017 1865 1458 1234 1193 1036 952 835 619 511 436 391 363 331 311 267 205 127 7 0

85 1969 2252 2593 3299 3521 3627 2494 1546 1204 1021 981 845 729 615 511 425 379 341 323 307 291 263 196 124 9 0

90 1969 2250 2586 3293 3490 3551 2429 1506 1173 995 955 821 701 587 496 413 371 336 317 304 288 261 195 123 11 0

270 1969 1765 1549 1442 1477 1333 856 653 571 512 499 440 392 347 309 280 256 235 216 203 189 173 48 0 0 3

275 1969 1768 1546 1438 1470 1326 863 659 575 516 503 443 395 349 312 281 257 235 216 204 191 173 51 0 0 3

285 1969 1782 1534 1412 1416 1280 917 711 608 541 527 464 411 361 324 293 265 243 223 208 191 172 64 12 0 3

295 1969 1780 1506 1389 1332 1218 932 709 611 551 536 472 417 368 328 295 269 245 225 208 193 168 103 19 1 1

305 1969 1825 1537 1405 1268 1152 900 691 604 548 535 476 428 384 348 311 281 255 233 215 197 167 104 40 7 1

315 1969 1850 1609 1416 1201 1102 832 680 617 573 561 517 473 421 371 340 307 275 249 229 211 185 121 55 13 1

325 1969 1889 1688 1450 1216 1116 888 729 663 631 619 577 528 464 405 355 317 288 265 243 224 199 144 72 23 1

335 1969 1938 1800 1597 1382 1274 1114 933 860 793 776 696 624 515 444 381 328 289 264 247 232 209 156 81 29 4

345 1969 1997 1961 1804 1749 1728 1749 1476 1338 1229 1201 1050 867 637 532 429 367 312 281 260 240 208 160 85 35 4

355 1969 2058 2145 2068 2313 2640 2806 2501 2493 2421 2336 1906 1453 1096 921 672 492 393 325 276 245 205 148 85 37 5

ตัวอย่างไฟล์ ltl9828.cie ซึ่งได้จากการแปลง ltl9828.ies ให้อยู่ในรูปข้อมูลตามระบบ CIE

CIEF=CIE File Format, Version 1.0 (CIE Publication 102-1993)

IESNA91

[TEST] LTL9828

[MANUFAC] LITHONIA LIGHTING

[LUMCAT] CHL 150S R3 DLG (III-MED-SEMICUTOFF)

[LUMINAIRE] GLASS REFRACTOR, ALUMINUM REFLECTOR SOCKET POSITION A-2

[LAMP] ONE 150-WATT CLEAR ET-23.5 HIGH PRESSURE SODIUM, HORIZONTAL

[MORE] POSITION.

[_IESTYPE] III-MED-SEMICUTOFF

[_PRODUCTGROUP] OUTDOOR

[_INFOLINK] www.lithonia.com/visual/ies/ies.asp?vfile=

IDNM=

LUNM=

LAMP=

NLPS= 1

TOLU= 16000

LLGE=

BLID=

INPW= 189

INVO=

INVA=

TLME=

TLNM=

ROME=

LSHP=

NLAV= 0

PHOT= INCLUDE

PTYP= Type C

APOS=

LUBA= 16000

MULT= 1

BAFA= 1

NCON= 27

NPLA= 22

CONA= 0.0 5.0 15.0 25.0 35.0 45.0 55.0 60.0 62.5 65.0 67.5 70.0 71.5 72.5 75.0 77.5 80.0 82.5 85.0 87.5 90.0 95.0 105.0 115.0 125.0 135.0 180.0

0 952 1943 2098 2065 2514 2922 3139 3139 2849 2509 2281 2236 2093 1958 1476 989 802 661 464 350 279 206 139 78 32 3 0

5 952 1977 2179 2204 2791 3425 3654 3675 3358 3069 2912 3031 2926 2776 2070 1428 1163 908 575 399 301 202 138 74 30 1 0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

15 952 2038 2355 2522 3197 3819 4479 4336 4123 3941 3861 3943 3829 3756 3316 2730 2054 1103 583 394 302 208 123 69 26 1 0

25 952 2082 2540 2789 3704 3888 3981 4471 4876 5295 5918 6769 7252 7241 6286 3899 1788 950 652 505 397 233 123 65 20 0 0

30 952 2101 2623 2845 3905 3737 3695 4443 5213 5962 6494 7368 7900 7726 7328 4447 2067 999 610 443 352 224 132 65 19 0 0

35 952 2128 2683 2885 4065 3797 3773 4663 5595 6305 6749 7205 7510 7403 6870 4398 2107 1042 594 417 324 227 140 67 18 0 0

45 952 2152 2729 3054 4260 4156 4511 5364 5775 5780 5499 5252 4769 4455 3807 2688 1725 1063 592 416 333 246 155 77 13 0 0

55 952 2167 2661 3098 3762 4733 5053 4858 4837 4410 3611 3080 2702 2507 1860 1316 931 659 498 382 305 243 177 96 8 0 0

65 952 2182 2472 3055 3831 4480 5480 4332 3263 2430 1645 1297 1184 1115 1104 1042 752 537 421 371 344 275 201 116 3 0 0

75 952 2185 2355 2969 3588 3359 3654 2756 2372 1896 1409 1031 892 830 756 684 533 436 371 344 321 290 205 121 3 0 0

85 952 2175 2316 2861 3422 3286 3092 2201 1827 1559 1304 928 783 703 571 472 394 343 309 293 281 265 197 116 3 0 0

90 952 2175 2310 2847 3401 3277 3020 2132 1760 1517 1290 915 769 688 548 445 378 332 302 286 275 262 197 116 3 0 0

270 952 1401 1582 1533 1482 1455 1093 755 667 583 518 464 435 413 367 327 294 270 246 224 211 200 5 0 0 0 0

275 952 1405 1576 1528 1476 1445 1093 783 675 590 542 470 437 417 370 328 296 269 244 225 211 200 16 0 0 0 0

285 952 1430 1540 1482 1435 1367 1097 843 730 648 572 503 464 439 383 335 298 267 243 225 211 194 111 0 0 0 0

295 952 1474 1513 1436 1410 1309 1134 964 883 772 653 568 518 489 424 367 323 286 255 231 209 181 111 30 0 0 0

305 952 1532 1507 1417 1339 1267 1105 984 885 779 669 578 526 499 436 381 339 300 270 239 216 178 108 43 1 0 0

315 952 1603 1533 1393 1248 1211 1090 991 876 756 645 572 534 511 462 410 362 314 279 248 225 194 128 57 12 0 0

325 952 1677 1607 1390 1204 1204 1139 930 839 762 699 646 613 592 542 472 409 366 352 278 246 209 147 73 22 0 0

335 952 1757 1718 1490 1297 1256 1282 1073 969 876 819 746 708 691 618 503 408 339 297 266 240 206 152 81 28 0 0

345 952 1833 1854 1703 1644 1528 1698 1520 1390 1290 1169 1019 919 854 700 541 421 348 298 265 243 208 150 84 32 1 0

355 952 1908 2020 1935 2219 2362 2613 2556 2321

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างรูปแบบไฟล์ข้อมูลตามระบบของ IES

* <label line 1>

* <label line 2>

* .

* .

* <label line n>

* TILT= <file-spec> or <INCLUDE> or <NONE>

(these four lines appear only if TILT=<INCLUDE>)

* <lamp to luminaire geometry>

* <# of pairs of angles and multiplying factors>

* <angles>

* <multiplying factors>

* <# of lamps> <lumens/lamp> <multiplier> <# of vertical angles> <#of horizontal angles> <photometric type> <units type> <width> <length> <height>

* <ballast factor> <ballast lamp photometric factor> <input watts>

* <vertical angles>

* <horizontal angles>

* <candela values for all vertical angles at 1st horizontal angle>

* <candela values for all vertical angles at 2nd horizontal angle>

* .

* .

* <candela values for all vertical angles at last horizontal angle>

สามารถแสดงรายละเอียดของข้อมูลได้ดังนี้

<label lines>

ในส่วนนี้จะบอกถึงรายละเอียดต่าง ๆ ของดวงโคม ซึ่งแต่ละบรรทัดมีความยาวของตัวอักษรได้สูงสุด 80 ตัวอักษร ดังเช่น

Line 1: Test report number and laboratory

Line 2: Luminaire catalog number and/or identification

Line 3: Luminaire description

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Line 4: Lamp catalog number and/or identification

Line 5: Lamp description

Line 6: Other information, such as mounting, ballast used, etc.

และข้อคิดเห็นต่าง ๆ ก็จะรวมอยู่ในส่วนนี้ด้วย

TILT= <file-spec> or <INCLUDE> or <NONE>

<file-spec> ถ้าเป็นคำอื่น ๆ ที่ไม่ใช้ INCLUDE แสดงว่าข้อมูลการปรับค่าฟลักซ์ส่องสว่างจากผลของการเอียงหลอดถูกแยกไฟล์ไปอีกไฟล์หนึ่ง

<INCLUDE> ถ้าพบคำนี้จะใช้เพื่อส่งสัญญาณให้โปรแกรมทราบว่าข้อมูลถัดไปเป็น label lines ซึ่งเป็นคำอธิบายข้อมูลทางแสงของดวงโคม

<NONE> ถ้าพบคำนี้แสดงว่าข้อมูลถัดไปจะแสดงรายละเอียดข้อมูลทางแสงของดวงโคม

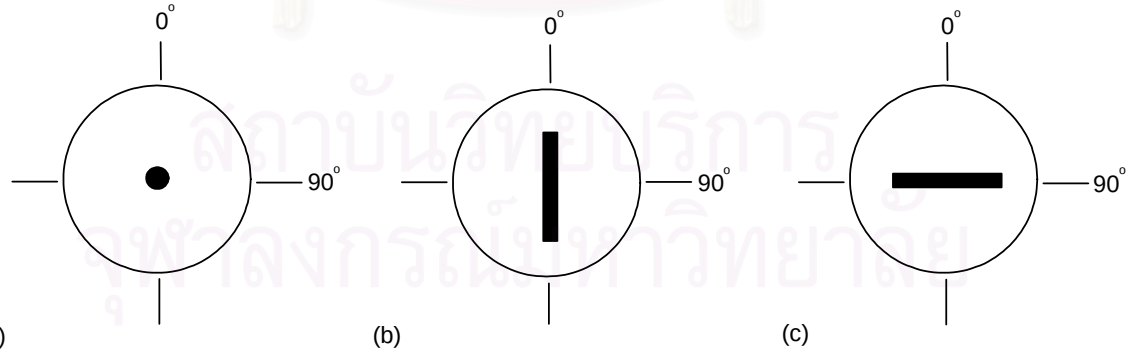
<lamp to luminaire geometry>

เป็นการกำหนดลักษณะการวางตัวของหลอดในดวงโคม มี 3 ค่าดังนี้

1 หลอดวางตัวแบบ vertical base up หรือ vertical base down เมื่อดวงโคมเล็งในแนวดิ่งลง ดังรูปที่ ข.1(a)

2 เมื่อดวงโคมเล็งในแนวดิ่งลง หลอดจะวางตัวในแนวนอนและหลอดจะยังคงวางตัวอยู่ในแนวนอนเมื่อดวงโคมหมุนรอบแกน 0 องศา ดังรูปที่ ข.1(b)

3 เมื่อดวงโคมเล็งในแนวดิ่งลง หลอดจะวางตัวในแนวนอน และหลอดจะเอียงไปเมื่อดวงโคมหมุนรอบแกน 0 องศา ดังรูปที่ ข.1(c)



รูปที่ ข.1 Plan view of lamp to luminaire geometry

<# of pairs of angles and multiplying factors>

จำนวนคู่ของมุม และแฟกเตอร์ตัวคูณปรับแก้ค่า

<angles>

แสดงค่ามุมทั้งหมดซึ่งจะเริ่มจาก 0 องศา ถึง 90 องศา หรือ 0 องศา ถึง 180 องศา แฟคเตอร์ตัวคูณจะเริ่มต้นจาก 0 องศา เมื่อโคมไฟมีลักษณะส่องลง (straight down)

<multiplying factors>

แฟคเตอร์ตัวคูณจะแสดงรายการสมนัยกับมุมที่กล่าวไปข้างบน ตัวอย่างเช่น

2

7

0 15 30 45 60 75 90

1.0 0.95 0.94 0.90 0.88 0.87 0.94

<# of lamps>

จำนวนของหลอดที่ติดตั้งในดวงโคม

<lumens/lamp>

ข้อมูลฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดที่ติดตั้งในดวงโคมเฉลี่ยต่อหลอด

<multiplier>

แฟคเตอร์ตัวคูณที่ใช้กับไฟล์ข้อมูลนี้ โดยปกติมีค่าเป็น 1.0 แต่อาจจะมีค่ามากกว่า 1.0 ก็ได้ เช่น เป็น 10 หรือ 100

<# of vertical angles>

จำนวนทั้งหมดของมุมในแนวดิ่ง (ถ้าเป็นระบบ C - γ จะหมายถึง มุม γ)

<# of horizontal angles>

จำนวนทั้งหมดของมุมในแนวนอน (ถ้าเป็นระบบ C - γ จะหมายถึง จำนวนระนาบ C)

<photometric type>

บอกชนิดของระบบการวัดข้อมูลการกระจายแสงดังนี้

1 ใช้เมื่อระบบการวัดเป็น Type A หรือ Type C

2 ใช้เมื่อระบบการวัดเป็น Type B

<units type>

บอกหน่วยวัดของขนาดของโคมไฟ

1 ถ้าขนาดของโคมไฟมีหน่วยเป็นฟุต

2 ถ้าขนาดของโคมไฟมีหน่วยเป็นเมตร

<width>

ความกว้างของช่องปล่อยแสงของดวงโคมวัดตามแนวระนาบ 90 องศา ถึง 270 องศา ดังในรูปที่ ข. 2(a)

<length>

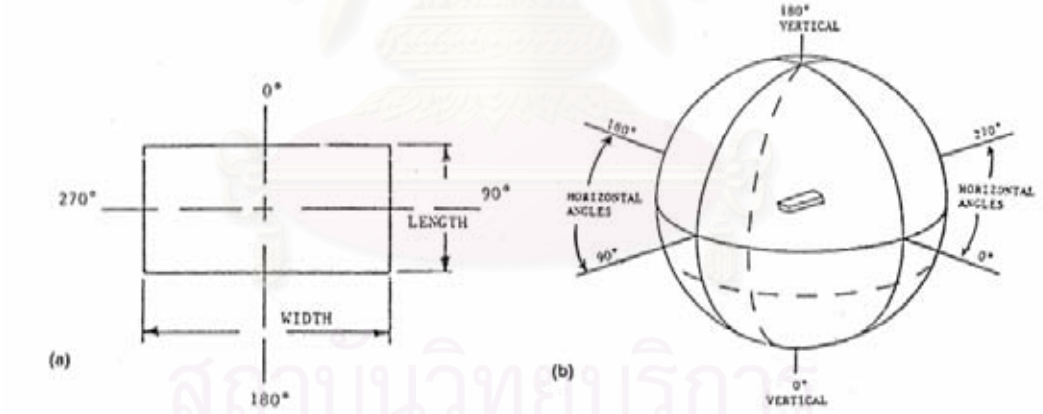
ความยาวของช่องปล่อยแสงของดวงโคมวัดตามแนวระนาบ 0 องศา ถึง 180 องศา ดังในรูปที่ ข.2(a)

<height>

ความสูงของช่องปล่อยแสงของดวงโคม

การกำหนดความกว้าง, ความยาว และความสูงนี้จะสมมุติว่าการส่องสว่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าดังในรูปที่ ข.2(a)

แต่สำหรับกรณี point source จะมีความกว้าง, ความยาว และความสูงเป็นศูนย์



รูปที่ ข.2 Conventions for vertical and horizontal angles used in standard IES format: (a) Plan view of luminaire showing length and width in relation to horizontal angles; and (b) schematic showing vertical and horizontal angeles.

<ballast factor>

บัลลาสต์แฟคเตอร์ คือ อัตราส่วนของฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดที่ใช้งานร่วมกับบัลลาสต์ทั่วไปเทียบกับฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดที่ใช้งานร่วมกับบัลลาสต์อ้างอิงที่ใช้ระบุค่าฟลักซ์ส่องสว่างของหลอด

<ballast lamp photometric factor>

เป็นอัตราส่วนของฟลักซ์ส่องสว่างของดวงโคมที่เกิดจากการใช้หลอด และบัลลาสต์ในการทดสอบทางแสงของดวงโคมต่อฟลักซ์ส่องสว่างของดวงโคมที่เกิดจากการใช้หลอดและบัลลาสต์ที่ใช้ในการออกรายงานผลการทดสอบทางแสงของดวงโคม

<input watts>
ผลรวมของกำลังไฟฟ้าทั้งหมดของดวงโคม (รวมของบัลลาสต์ด้วย)

<vertical angles>
สำหรับระบบการวัดแบบ Type A และ Type C ค่าแรกต้องเป็น 0 หรือไม่ก็ 90 องศา และมุมค่าสุดท้ายต้องเป็น 90 หรือ 180 องศา แต่สำหรับ Type B มุมแรกคือค่ามุมที่ต่ำที่สุดในการวัดการกระจายความเข้มส่องสว่าง

<horizontal angles>
สำหรับระบบการวัดแบบ Type A และ Type C ค่าเริ่มต้นของมุมนี้จะต้องเป็น 0 องศาเสมอ ส่วนค่าสุดท้ายต้องเป็นดังนี้

- 0° ในกรณีนี้มีระนาบ C เพียงระนาบเดียว และถือว่าโคมไฟให้แสงสมมาตรกันในทุกระนาบ
- 90° ในกรณีนี้ถือว่าโคมไฟให้แสงสมมาตรกันในทุก quadrant
- 180° ในกรณีนี้ถือว่าโคมไฟให้แสงสมมาตรกัน ในแนวระนาบ 0° ถึง 180°
- *** ที่ *** มากกว่า 180° และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 360° ในกรณีนี้ถือว่าโคมไฟให้แสงไม่สมมาตร

สำหรับระบบการวัดแบบ Type B มี 2 กรณีคือ
(1) การส่องสว่างของโคมไฟสมมาตรกับระนาบอ้างอิงแนวตั้ง (vertical reference plane) ในกรณีนี้มุมแนวนอน(horizontal angle) มุมแรกคือศูนย์ และมุมแนวนอน มุมสุดท้ายไม่เกิน 90 องศา
(2) การส่องสว่างของโคมไฟไม่สมมาตรกับระนาบอ้างอิงแนวตั้ง (vertical reference plane) ในกรณีนี้มุมแนวนอน มุมแรกอยู่ระหว่าง -90 และ 0 และมุมแนวนอน มุมสุดท้ายอยู่ระหว่าง 0 ถึง 90 องศา

<candela values for all vertical angles at 1st horizontal angle>
<candela values for all vertical angles at 2nd horizontal angle>
.
.
<candela values for all vertical angles at last horizontal angle>

แสดงค่าความเข้มส่องสว่างที่ทุกมุม γ ที่ระนาบ C ทีละระนาบ

ตัวอย่างไฟล์ SH10190.ies ตามระบบ IES

IESNA91

[TEST] SH10190

[MANUFAC] LITHONIA LIGHTING

[LUMCAT] 170S 250S HPN

[LUMINAIRE] HIGH PERFORMANCE FLOODLIGHT, HPN DISTRIBUTION, 250W HPS,

[MORE] W/CLEAR LAMP.

[LAMPCAT] 29000 Lumens, Horizontal Lamp Burning Position

[LAMP] ONE 250-WATT CLEAR E-18 HIGH PRESSURE SODIUM, HORIZONTAL POSITION.

[_PRODUCTGROUP] OUTDOOR

[_INFOLINK] www.lithonia.com/visual/ies/ies.asp?vfile=

TILT=NONE

1 29000 1 67 11 2 1 1 1 0

1 1 310

-90 -70 -65 -60 -55 -50 -45 -40 -35 -30

-25 -20 -19 -18 -17 -16 -15 -14 -13 -12.5

-12 -11.5 -11 -10.5 -10 -9.5 -9 -8.5 -8 -7.5

-7 -6.5 -6 -5.5 -5 -4.5 -4 -3.5 -3 -2.5

-2 -1.5 -1 -0.5 0 0.5 1.5 2.5 3.5 4.5

5.5 6.5 7.5 10 12.5 15 17.5 20 22.5 25

27.5 30 32.5 35 40 45 90

0 5 15 25 35 45 55 65 75 85

90

0 0 58.6 385.7 2689.7 5862.9 6902.6 5804.3 6097.2 6258.2

6634.2 7254.1 7317.5 7590.9 7713 7844.7 8069.4 8376.8 8982.2 9353.2

10773.8 12643.4 14630.3 16685.4 19248.2 22011.3 24818.2 26439 26902.7 26321.8

25643.2 24984.2 24627.8 23739.4 22440.9 22392 23885.8 24940.2 26380.3 27683.7

31179 39638.9 44915.9 48220.8 49948.8 41166.8 20790.9 8508.7 4808.5 2929

1889.2 1708.6 1698.8 878.7 644.4 439.3 351.4 283.2 248.9 166

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

131.8 131.8 112.3 14.6 0 0 0

0 9.8 51.3 400.4 2665.4 5872.6 6868.5 5821.4 6077.7 6253.3

6602.4 7183.3 7334.6 7544.7 7722.7 7852.1 8071.8 8367.1 8984.7 9389.8

10773.8 12616.6 14622.9 16731.8 19241 21967.4 24774.3 26385.2 26787.9 26219.3

25582.2 24942.7 24642.4 23673.4 22382.3 22448.2 23895.6 24901.3 26290 27495.8

31020.4 39223.9 44896.5 47774.1 49880.6 40617.7 20607.8 8562.3 4791.4 2938.8

1894.1 1706.1 1647.5 854.3 632.2 419.8 363.6 278.3 244.1 163.6

146.4 136.6 114.7 31.7 17.1 9.8 0

0 17.1 41.5 419.9 2594.6 5543.1 6465.8 5616.4 5941 6116.7

6380.3 6951.5 7105.3 7337.1 7566.5 7676.4 7930.2 8228 8808.9 9255.5

10698.2 12384.8 14452.1 16541.3 18987.1 21601.2 24183.6 25772.6 26207.1 25801.9

25069.7 24378.9 24168.9 23136.6 21964.9 22003.9 23456.3 24454.5 26036.3 27395.8

30983.7 38606.4 44066.5 47573.9 46941.8 38286.6 19995.2 8703.9 4879.2 2928.9

1786.7 1557.2 1515.7 881.1 627.3 449.1 346.6 275.9 236.8 178.1

144.1 143.9 117.2 70.8 29.3 7.3 0

0 12.2 31.8 400.4 2389.5 4532.6 5159.9 4937.8 5504.1 5743.3

5875 6414.5 6558.5 6827 7117.5 7244.3 7417.6 7781.3 8291.5 8660

10122 11679.3 13666.1 15645.7 17886.3 20285.7 22348.1 23763.8 24064.1 23644.2

22951.1 22418.9 22126 21081.3 20114.8 20144.1 21693.9 22814.3 24273.9 25777.4

28740.7 35001.3 40610.3 42553.2 41642.8 34386.2 18506.2 8420.8 4832.8 2799.6

1676.8 1362 1337.6 778.6 568.7 424.7 373.5 280.8 212.4 168.4

156.3 107.4 112.3 100.1 14.6 12.2 0

0 0 29.3 419.8 2047.8 3578.3 4164 4046.8 4932.9 5052.5

5076.9 5621.2 5779.9 6009.3 6333.9 6548.8 6827 7107.7 7471.3 7810.6

9209.2 10551.7 12262.7 14000.5 15865.3 17664.2 19262.9 20375.9 20764.1 20624.9

20195.3 19870.7 19668.2 18750.3 18118.1 18301.3 19643.6 20988.6 22536.1 25274.7

28279.3 32543.4 34530.2 35347.9 32706.9 27351.8 15303.9 7920.4 4654.6 2821.6

1603.6 1313.2 1257 747 510 410.1 334.4 266 207.5 158.6

126.9 122 90.3 73.3 12.2 9.8 0

0 9.8 29.3 329.5 1388.9 2267.5 3824.7 3121.9 3556.3 3807.6

3841.9 4239.7 4337.3 4535 4737.5 4972 5247.8 5701.8 6263.2 6873.4

7874 8640.5 9638.8 10554.2 11515.8 12348 13178 13671.1 14151.8 14244.6

14491.1 14459.4 14583.9 14510.7 14647.3 14857.3 15789.7 16214.4 17183.3 18716.2

20478.4 21681.8 21049.6 20798.3 18799.2 15352.8 10258.8 6160.6 3754 2496.9

1596.3 1244.8 1044.7 703 500.4 349 300.3 195.3 175.8 122.1

102.6 83 78.1 58.6 19.5 4.9 0

0 0 14.6 258.8 832.3 1132.5 1393.7 1835.5 1989.3 2282.1

2538.4 2755.6 2814.2 2897.3 2955.8 3073 3197.5 3446.4 4012.7 4486.3

4947.5 5367.3 5823.8 6294.9 6653.6 6936.8 7188.2 7400.5 7473.8 7505.5

7429.8 7539.7 7508 7434.7 7469 7666.6 7969.3 8496.5 9150.6 10256.3

11196 11696.4 11794.1 12121.1 10664 8862.6 5782.4 3739.4 2599.5 1769.6

1135.1 861.7 778.5 588.2 407.7 305.1 236.8 187.9 144 90.3

80.6 44 44 34.2 31.7 14.6 0

0 0 0 85.4 390.5 688.3 1000.8 1052 1300.9 1376.7

1386.4 1474.3 1493.8 1532.9 1571.9 1569.4 1630.4 1679.3 1942.8 2184.5

2433.5 2631.2 2880.2 3114.5 3275.6 3453.8 3614.9 3749.1 3844.3 3951.7

3954.2 3963.9 3929.7 3912.6 3849.1 3954.1 4244.5 4928 6299.8 6983.1

7234.6 7166.3 6868.5 5821.4 4317.8 3514.8 2370 1918.4 1527.9 1139.8

849.4 649.2 568.7 388.2 285.6 244.1 185.5 107.4 107.4 87.9

46.4 56.1 22 41.5 14.6 9.8 0

0 0 0 22 44 87.8 141.6 248.9 278.3 324.6

336.9 380.9 400.3 393 429.5 468.6 498 568.8 605.3 649.2

651.7 705.4 717.7 773.8 778.6 778.5 820.2 832.3 837.2 839.7

851.8 868.9 871.4 920.2 930 1010.5 1100.8 1122.8 1108.2 1088.6

1010.4 1022.8 908 864.1 686 654.1 527.2 461.3 388.1 324.7

268.5 202.6 168.4 163.5 100.1 107.4 87.9 61.1 41.5 65.9

29.3 0 7.3 24.4 17 12.2 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 2.5 2.5 2.5 0

0 0 0 0 2.5 2.5 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

4.9 0 4.9 0 0 0 0 0 0 0

2.5 4.9 9.8 2.5 0 7.3 0 2.5 0 0

9.8 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 7.3 0 0 0 0 0 0 0

0 0 7.3 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

0 0 0 0 4.9 0 0 0 0 0

0 0 0 0 9.8 0 0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววรรณรัตน์ วิวัฒนะ เกิดวันที่ 14 สิงหาคม พ.ศ. 2521 ที่ อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2543 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผลงานทางวิชาการได้แก่ รางวัลชนะเลิศจากการประกวดโปรแกรม Advanced Road Lighting Photometric Data Presentation ประจำปี 2546 รางวัลรองชนะเลิศอันดับที่ 1 จากการประกวดโปรแกรม Basic Indoor Photometric Data Presentation และรางวัลรองชนะเลิศอันดับที่ 2 จากการประกวดโปรแกรม Basic Road Lighting Photometric Data Presentation ประจำปี 2547 จากสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย