การประเมินคุณภาพไฟถนน

นางสาว สุวิชญาน์ อินนัดดา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0243-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

QUALITY EVALUATION IN ROAD LIGHTING

Miss. Suwichaya Innadda

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 2000

ISBN 974-13-0243-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินคุณภาพไฟถนน
โดย	นางสาว สุวิชญาน์ อินนัดดา
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ไชยะ แช่มช้อย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

……ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์)

……... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ไชยะ แช่มช้อย)

……กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุวิชญาน์ อินนัดดา : การประเมินคุณภาพไฟถนน
(QUALITY EVALUATION IN ROAD LIGHTING)
อ. ที่ปรึกษา : อาจารย์ ไชยะ แช่มช้อย , 109 หน้า. ISBN 974-13-0243-6

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการประเมินคุณภาพของการให้แสงสว่างถนน ด้วยการประเมินค่าความสว่าง ความส่องสว่าง และระดับแสงจ้า ตามมาตรฐานของ CIE

ในการประเมินจะมีการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมาก ใช้เวลานาน จึงพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยงานที่ทำให้สามารถประเมินคุณภาพของการส่องสว่างได้ทั้งถนนตรง ถนนโค้ง ถนนทางราบ ถนนเอียงขึ้น-ลง ตลอดจนการให้แสงสว่างด้วยระบบเสาธรรมดาและระบบเสาสูง ผลการประเมินสามารถนำเสนอได้ทั้งตารางข้อมูล ภาพแรเงา ภาพลายเส้น ภาพสามมิติ ตลอดจนภาพเสมือนจริง ทำให้ผู้ออกแบบตัดสินใจเลือกระบบที่เหมาะสมได้ง่ายขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2543 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม - .....

4270627321: MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: ROADLIGHTING

SUWICHAYA INNADDA : QUALITY EVALUATION IN ROADLIGHTING.

THESIS ADVISOR : CHAIYA CHAMCHOY 109 pp.

ISBN 974-13-0243-6

Illumination quality evaluation of roadway lighting on illuminance , luminance and glare is presented this thesis. Evaluation process is time consuming and analyses a lot of data, then a computer software is developed to handle the problems. With this program, lighting quality on straight and curve, horizontal and incline roads with conventional and high-mast lighting system can be easily evaluated. The designer can choose the suitable system from the results that are presented in the form of data-table, shade, contour , 3D and perspective pictures.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Electrical Engineering . Student's signature .....

Field of study Electrical Engineering . Advisor's signature .....

Academic year 2000 . Co-advisor's signature - .

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อาจารย์ ไชยะ แช่มช้อย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้แนะแนวทางปฏิบัติ ให้ความคิดเห็นและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ตลอดจนชี้ให้เห็นถึงข้อบกพร่องและแนวทางแก้ไขต่างๆ นับตั้งแต่เริ่มต้นในการทำวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

นอกจากนั้น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ อดีตอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ รองศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา – มารดา ที่ได้ให้กำลังใจเสมอมา และขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุวิชญาน์ อินนัดดา

เมษายน 2544

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฏ

สารบัญภาพ ..... ฐ

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 ประวัติความเป็นมาและแนวเหตุผล 1

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ 1

1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์ 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน 2

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ 3

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับไฟแสงสว่างถนน 4

2.1 นิยามที่เกี่ยวข้อง 4

ความสว่าง 4

ความส่องสว่าง 4

ความเปรียบต่างของความส่องสว่าง 4

ความส่องสว่างเฉลี่ยบนถนน 5

ความสม่ำเสมอรวม 5

ความสม่ำเสมอตามแนวยาว 6

Disability Glare 6

Discomfort Glare 6

2.2 โคมไฟถนน 8

2.2.1 การกำหนดระนาบทางแสงของโคมไฟถนน 8

2.2.2 การแสดงค่าความเข้มส่องสว่างของโคมไฟ 8

1) ตารางความเข้มส่องสว่าง 8

2) เส้นโค้งความเข้มแสงเท่า 9

3) เส้นโค้งโพลาร์ 12

2.2.3 พื้นที่ให้แสง 14
2.2.4 การจัดประเภทของดวงโคม 14
2.3 การติดตั้งไฟถนน 18
2.3.1 รูปแบบการติดตั้งเสาไฟ 18
2.4 ประเภทของถนนและมาตรฐานของแสงสว่างของไฟถนน 19
2.4.1 มาตรฐานของแสงสว่างของไฟถนนตามมาตรฐาน CIE 19
2.4.2 มาตรฐานของแสงสว่างของไฟถนนของประเทศไทย 21
การทางพิเศษแห่งประเทศไทย 21
กรมทางหลวง 21
การไฟฟ้านครหลวง 21
2.5 การแบ่งประเภทของผิวถนน 22
2.5.1 ระดับความขาวดำของถนน 22
2.5.2 ระดับของการสะท้อนแสงแบบ specular 22
3. การคำนวณไฟแสงสว่างถนน 25
3.1 การคำนวณค่าความสว่างและค่าความส่องสว่าง 25
3.1.1 ระบบเสาธรรมดา (กรณีทางตรง) 25
3.1.2 ระบบเสาธรรมดา (กรณีทางโค้ง) 29
3.1.3 ระบบเสาธรรมดา (กรณีถนน Ramp Up และ Ramp Down) 31
3.1.4 ระบบเสาสูง 33
3.1.4.1 ลักษณะการติดตั้งโคม 33
3.1.4.2 กรณีที่มุมหันเป็นศูนย์ 33
3.1.4.3 กรณีที่มุมหันไม่เป็นศูนย์ 34
3.1.5 ระบบเสาสูง (กรณีถนน Ramp Up และ Ramp Down) 34
3.2 คุณลักษณะความส่องสว่าง 35
3.3 การคำนวณระดับแสงจ้า 36
การคำนวณ Disability Glare 36
การคำนวณหาค่า Veiling Luminance 38
การคำนวณ Discomfort Glare 38
3.4 รายละเอียดพื้นที่ 39
พื้นที่ที่ต้องการ 39
ตำแหน่งจุดสังเกต 39

4. โปรแกรมประเมินคุณภาพความสว่างและความส่องสว่างไฟถนน 40
4.1 ส่วนรับข้อมูล 40
4.1.1 ระบบเสาธรรมดา 41
4.1.2 ระบบเสาสูง 43
4.2 ส่วนประมวลผล 46
4.2.1 ส่วนจัดเก็บข้อมูล 46
4.2.2 ส่วนคำนวณผลลัพธ์ 46
4.2.2.1 ส่วนคำนวณของระบบเสาธรรมดา 47
4.2.2.2 ส่วนคำนวณของระบบเสาสูง 49
4.2.2.3 ส่วนคำนวณแสงจ้า 51
4.3 ส่วนแสดงผล 52
4.3.1 ตารางแสดงค่าความสว่าง 52
4.3.1.1 กรณีทางตรง 52
4.3.1.2 กรณีทางโค้ง 52
4.3.2 ตารางแสดงค่าความส่องสว่าง 53
4.3.2.1 กรณีทางตรง 53
4.3.2.2 กรณีทางโค้ง 53
4.3.3 ภาพแรเงาของความสว่าง 54
4.3.3.1 กรณีทางตรง 54
4.3.3.2 กรณีทางโค้ง 54
4.3.4 ภาพแรเงาของความส่องสว่าง 55
4.3.4.1 กรณีทางตรง 55
4.3.4.2 กรณีทางโค้ง 55
4.3.5 ภาพลายเส้นของความสว่าง 56
4.3.5.1 กรณีทางตรง 56
4.3.5.2 กรณีทางโค้ง 56
4.3.6 ภาพลายเส้นของความส่องสว่าง 57
4.3.6.1 กรณีทางตรง 57
4.3.6.2 กรณีทางโค้ง 57

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.7 ภาพมุมสูงของความสว่าง 58
4.3.7.1 กรณีทางตรง 58
4.3.7.2 กรณีทางโค้ง 58
4.3.8 ภาพมุมสูงของความส่องสว่าง 59
4.3.8.1 กรณีทางตรง 59
4.3.8.2 กรณีทางโค้ง 59
4.3.9 ภาพแรเงาและลายเส้นของความสว่าง 60
4.3.9.1 กรณีทางตรง 60
4.3.9.2 กรณีทางโค้ง 60
4.3.10 ภาพแรเงาและลายเส้นของความส่องสว่าง 61
4.3.10.1 กรณีทางตรง 61
4.3.10.2 กรณีทางโค้ง 61
4.3.11 ภาพ 3 มิติของความสว่าง 62
4.3.11.1 กรณีทางตรง 62
4.3.11.2 กรณีทางโค้ง 62
4.3.12 ภาพ 3 มิติของความส่องสว่าง 63
4.3.12.1 กรณีทางตรง 63
4.3.12.2 กรณีทางโค้ง 63
5. ตัวอย่างการประเมินคุณภาพการส่องสว่าง 64
5.1 กรณีที่ 1 ตัวอย่างการให้แสงสว่างถนนตรง 64
5.2 กรณีที่ 2 เปรียบเทียบความสว่างและความส่องสว่างของถนน 71
ที่มีลักษณะการติดตั้งโคมต่างกัน
5.3 กรณีที่ 3 เปรียบเทียบความสว่างและความส่องสว่างของถนนเอียง 72
5.4 กรณีที่ 4 ตัวอย่างการให้แสงสว่างถนนโค้ง 74
5.5 กรณีที่ 5 เปรียบเทียบชนิดของถนน 81
5.6 กรณีที่ 6 เปรียบเทียบการติดตั้งในระบบเสาธรรมดาและระบบเสาสูง 83
6. สรุปและข้อเสนอแนะ 89
6.1 สรุปผลการดำเนินงาน 89
6.2 ข้อเสนอแนะ 90

รายการอ้างอิง 91
ภาคผนวก
ก. ตาราง I1 93
ตาราง I2 94
ข. ROADSURFACE STANDARD C1 95
ROADSURFACE STANDARD C2 96
ROADSURFACE STANDARD R1 97
ROADSURFACE STANDARD R2 98
ROADSURFACE STANDARD R3 99
ROADSURFACE STANDARD R4 100
ROADSURFACE STANDARD N1 101
ROADSURFACE STANDARD N2 102
ROADSURFACE STANDARD N3 103
ROADSURFACE STANDARD N4 104
ROADSURFACE STANDARD W1 105
ROADSURFACE STANDARD W2 106
ROADSURFACE STANDARD W3 107
ROADSURFACE STANDARD W4 108
ประวัติผู้เขียน 109

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2-1 ขนาดพิกัดที่ใช้จัดประเภทของโคมไฟถนน 17
2-2 ความส่องสว่างของไฟถนนตามมาตรฐาน CIE 20
2-3 การแบ่งประเภทของถนนมาตรฐาน CIE 20
2-4 แสดงความสว่างเฉลี่ยต่ำสุดตามประเภทของถนน 21
2-5 การแบ่งประเภทของผิวถนนแห้งแบบ R-Classification 22
2-6 การแบ่งประเภทของผิวถนนแห้งแบบ N-Classification 22
2-7 การแบ่ง class ของผิวถนน 23
2-8 การแบ่งประเภทของผิวถนนแบบ C-Classification 23
2-9 การแบ่งประเภทของผิวถนนเปียกแบบ W-Classification 24
5-1 ความสว่างของถนนตรง 65
5-2 ความส่องสว่างของถนนตรง 65
5-3 ความสม่ำเสมอของความสว่างถนนตรง 63
5-4 ความสม่ำเสมอของความส่องสว่างถนนตรง 65
5-5 การเปรียบเทียบแสงสว่างบนถนนที่มีลักษณะการติดตั้งโคมแตกต่างกัน 73
5-6 การเปรียบเทียบแสงสว่างบนถนนเอียง $+5^{\circ}$ 73
5-7 การเปรียบเทียบแสงสว่างบนถนนเอียง -5° 73
5-8 ความสว่างของถนนโค้ง 75
5-9 ความส่องสว่างของถนนโค้ง 75
5-10 ความสม่ำเสมอของความสว่างถนนโค้ง 75
5-11 ความสม่ำเสมอของความส่องสว่างถนนโค้ง 75
5-12 การเปรียบเทียบแสงสว่างบนถนนที่มีชนิดถนนแตกต่างกัน 82
5-13 ข้อมูลการติดตั้งโคมระบบเสาสูง 83
5-14 การเปรียบเทียบความสว่างและความส่องสว่างทั้ง 2 ระบบ 83

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่

2-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสม่ำเสมอรวมกับความส่องสว่างเฉลี่ย 5

2-2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Discomfort Glare กับความส่องสว่างเฉลี่ย 7

2-3 การกระจายแสงในระบบ C-γ 8

2-4 ตารางความเข้มส่องสว่างของโคมไฟ หน่วยเป็น cd / 1000 ลูเมน 10

2-5 แผนภูมิเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าของโคมไฟ 11

2-6 เส้นโค้งความเข้มแสงเท่าของโคมไฟถนนที่เขียนลงบนผิวถนน 11

2-7 ระนาบที่ใช้แสดงเส้นโค้งโพลาร์ของดวงโคมไฟถนน 12

2-8 การแปลงการกระจายแสงบนผิวกรวยหลักลงบนระนาบธรรมดา 13

2-9 ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งโคมไฟโพลาร์ของโคมไฟถนน 14

2-10 นิยามของ Throw และ Spread 14

2-11 มุมที่ใช้ระบุ Throw และ Spread 15

2-12 การคำนวณหาขนาดมุม γ_T จากกราฟเส้นโค้งโพลาร์ 15

2-13 การหาค่ามุม γ_S เพื่อระบุ Spread 16

2-14 การจัดประเภทโคมไฟถนน ด้วยตัวแปร Throw และ Spread 17

2-15 ลักษณะการติดตั้งไฟถนน 17

3-1 ตำแหน่งของโคม ผู้สังเกต และจุดที่พิจารณาบนผิวถนน 25

3-2 การกำหนดค่ามุมของ แนวมองกับแนวระดับ 26

3-3 การคำนวณมุม $\gamma_1, \gamma_2, \beta$ 27

3-4 การคำนวณมุม C 28

3-5 จุดที่ต้องคำนวณภายในพื้นที่ที่ต้องการ 29

3-6 รูปความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ระบบ 30

3-7 การคำนวณระยะ R และระยะ S 30

3-8 ระนาบบนพื้นเอียง 31

3-9 ระนาบเอียงมองเสมือนพื้นราบ 32

3-10 การคำนวณมุมต่างๆ 32

3-11 การปรับตั้งโคม โดยอาศัยมุมเล็ง (δ) และมุมหัน (τ) 33

3-12 การคำนวณมุม C และมุม γ ในกรณีมุมหันไม่เท่ากับศูนย์ 34

3-13 การคำนวณค่า Lz' 35
3-14 ช่วงมุมที่จะพิจารณาในการคำนวณ Disability Glare 36
3-15 การคำนวณมุม C และมุม γ 37
3-16 จุดที่ต้องการคำนวณภายในพื้นที่ที่ต้องการ 39
4-1 หน้าจอแรกของโปรแกรม 40
4-2 Pole Configulation (page 1) 41
4-3 Pole Configulation (page 2) 41
4-4 หน้าจอ Input Data ระบบเสาธรรมดา 42
4-5 หน้าจอ Input Data ระบบเสาสูง (กรณีทางตรง) 43
4-6 ข้อมูลที่ใช้ป้อนในหน้าจอ Input Data of Luminance (กรณีทางตรง) 43
4-7 หน้าจอ Input Data of Luminaure ของระบบเสาสูง (กรณีทางตรง) 44
4-8 หน้าจอ Input Data ระบบเสาสูง (กรณีทางโค้ง) 44
4-9 ข้อมูลที่ใช้ป้อนในหน้าจอ Input Data of Luminaire (กรณีทางโค้ง) 45
4-10 หน้าจอ Input Data of Luminaire ของระบบเสาสูง (กรณีทางโค้ง) 45
4-11 แผนภาพแสดงการคำนวณความส่องสว่างของระบบเสาธรรมดา 47
4-11 แผนภาพแสดงการคำนวณความส่องสว่างของระบบเสาธรรมดา (ต่อ) 48
4-12 แผนภาพแสดงการคำนวณความส่องสว่างของระบบเสาสูง 49
4-12 แผนภาพแสดงการคำนวณความส่องสว่างของระบบเสาสูง (ต่อ) 50
4-13 แผนภาพแสดงการคำนวณ Glare 51
4-14 หน้าจอแสดงตารางแสดงค่าความสว่างถนนตรง 52
4-15 หน้าจอแสดงตารางแสดงค่าความสว่างถนนโค้ง 52
4-16 หน้าจอแสดงตารางแสดงค่าความส่องสว่างถนนตรง 53
4-17 หน้าจอแสดงตารางแสดงค่าความส่องสว่างถนนโค้ง 53
4-18 หน้าจอแสดงภาพแรเงาค่าความสว่างถนนตรง 54
4-19 หน้าจอแสดงภาพแรเงาค่าความสว่างถนนโค้ง 54
4-20 หน้าจอแสดงภาพแรเงาค่าความส่องสว่างถนนตรง 55
4-21 หน้าจอแสดงภาพแรเงาค่าความส่องสว่างถนนโค้ง 55
4-22 หน้าจอแสดงภาพลายเส้นค่าความสว่างถนนตรง 56
4-23 หน้าจอแสดงภาพลายเส้นค่าความสว่างถนนโค้ง 56

4-24 หน้าจอแสดงภาพลายเส้นค่าความส่องสว่างถนนตรง 57
4-25 หน้าจอแสดงภาพลายเส้นค่าความส่องสว่างถนนโค้ง 57
4-26 หน้าจอแสดงภาพมุมสูงค่าความสว่างถนนตรง 58
4-27 หน้าจอแสดงภาพมุมสูงค่าความสว่างถนนโค้ง 58
4-28 หน้าจอแสดงภาพมุมสูงค่าความส่องสว่างถนนตรง 59
4-29 หน้าจอแสดงภาพมุมสูงค่าความส่องสว่างถนนโค้ง 59
4-30 หน้าจอแสดงภาพแรเงาและภาพลายเส้นค่าความสว่างถนนตรง 60
4-31 หน้าจอแสดงภาพแรเงาและภาพลายเส้นค่าความสว่างถนนโค้ง 60
4-32 หน้าจอแสดงภาพแรเงาและภาพลายเส้นค่าความส่องสว่างถนนตรง 61
4-33 หน้าจอแสดงภาพแรเงาและภาพลายเส้นค่าความส่องสว่างถนนโค้ง 61
4-34 หน้าจอแสดงภาพ 3 มิติ ค่าความสว่างถนนตรง 62
4-35 หน้าจอแสดงภาพ 3 มิติ ค่าความสว่างถนนโค้ง 62
4-36 หน้าจอแสดงภาพ 3 มิติ ค่าความส่องสว่างถนนตรง 63
4-37 หน้าจอแสดงภาพ 3 มิติ ค่าความส่องสว่างถนนโค้ง 63
5-1 ลักษณะพื้นที่ที่ทดสอบ 64
5-2 ภาพลายเส้นของความสว่าง 66
5-3 ภาพลายเส้นของความส่องสว่าง 66
5-4 ภาพ 3 มิติ ของความสว่าง 67
5-5 ภาพ 3 มิติ ของความส่องสว่าง 67
5-6 ภาพแรเงาของความสว่าง 68
5-7 ภาพแรเงาของความส่องสว่าง 68
5-8 ภาพ perspective ของความสว่าง 69
5-9 ภาพ perspective ของความส่องสว่าง 69
5-10 ภาพ perspective และลายเส้นของความสว่าง 70
5-11 ภาพ perspective และลายเส้นของความส่องสว่าง 70
5-12 ลักษณะพื้นที่ที่ทดสอบของถนนโค้ง 74
5-13 ภาพลายเส้นของความสว่าง 76
5-14 ภาพลายเส้นของความส่องสว่าง 76
5-15 ภาพ 3 มิติ ของความสว่าง 77

5-16 ภาพ 3 มิติ ขิงความส่องสว่าง 77
5-17 ภาพแรเงาของความสว่าง 78
5-18 ภาพแรเงาของความส่องสว่าง 78
5-19 ภาพ perspective ของความสว่าง 79
5-20 ภาพ perspective ของความส่องสว่าง 79
5-21 ภาพ perspective และลายเส้น ของความสว่าง 80
5-22 ภาพ perspective และลายเส้น ของความส่องสว่าง 80
5-23 ภาพลายเส้นของความสว่างระบบเสาธรรมดา 84
5-24 ภาพลายเส้นของความสว่างระบบเสาสูง 84
5-25 ภาพลายเส้นของความส่องสว่างระบบเสาธรรมดา 85
5-26 ภาพลายเส้นของความส่องสว่างระบบเสาสูง 85
5-27 ภาพ perspective และลายเส้นของความสว่างระบบเสาธรรมดา 86
5-28 ภาพ perspective และลายเส้นของความสว่างระบบเสาสูง 86
5-29 ภาพ perspective และลายเส้นของความส่องสว่างระบบเสาธรรมดา 87
5-30 ภาพ perspective และลายเส้นของความส่องสว่างระบบเสาสูง 87

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ประวัติความเป็นมาและแนวเหตุผล

ในปัจจุบันนี้เมืองใหญ่ๆโดยมากจะมีการจราจรคับคั่งในเวลาพลบค่ำซึ่งเป็นเวลาที่ผู้คนส่วนใหญ่ต่างเลิกงานและเดินทางกลับบ้าน คุณภาพของแสงไฟถนนจึงมีความสำคัญมาก ไฟถนนที่ดีจะไม่ทำให้สายตาเมื่อยล้าเร็ว เพิ่มความสะดวกปลอดภัยบนท้องถนน เพิ่มความคล่องตัวของการจราจรและยังช่วยลดอาชญากรรมที่อาจเกิดขึ้นบนท้องถนนได้

การออกแบบไฟถนนในประเทศไทยเริ่มใช้การคำนวณค่าความส่องสว่าง (Luminance) บนผิวถนนมาพิจารณาในการออกแบบแทนค่าความสว่าง (Illuminance) แล้ว เนื่องจากเป็นการออกแบบที่คำนึงถึงปริมาณแสงที่ส่องจากโคมไฟแล้วสะท้อนผิวถนนเข้าสู่ตาของผู้ขับขี่ยวดยาน และปริมาณแสงที่ส่องจากโคมไฟเข้าสู่ตาโดยตรงอีกส่วนหนึ่ง ซึ่งปริมาณทั้งสองส่วนนี้มีผลต่อการมองเห็นของผู้ขับขี่ยวดยาน ซึ่ง การพิจารณาดังกล่าวจะต้องใช้เวลาในการคำนวณมาก

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอวิธีการประเมินคุณภาพ โดยเขียนโปรแกรมเพื่อช่วยในการออกแบบโดยใช้วิธีคิดทีละจุด ซึ่งมีการแสดงผลในรูปของความสว่างและความส่องสว่างตามจุดที่กำหนด ซึ่งจะให้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำ และรวดเร็ว รวมถึงสามารถแสดงเส้นทางเดินของความสว่างและความส่องสว่างบนถนนอีกด้วย เพื่อให้สามารถพิจารณาความสม่ำเสมอของแสงบนผิวถนนที่ออกแบบได้ด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1) เพื่อศึกษาวิธีการประเมินคุณภาพของการให้แสงสว่างของไฟถนน
2) เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถวิเคราะห์ความส่องสว่างและระดับแสงจ้าของไฟถนนซึ่งมีผลต่อการมองเห็นของผู้ขับขี่ยวดยานบนถนน

1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

1) ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับไฟถนน
2) พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ความสว่าง ความส่องสว่าง ความสม่ำเสมอรวม ความสม่ำเสมอตามแนวยาวของถนน และระดับแสงจ้าของไฟถนน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) สามารถพัฒนาโปรแกรม เพื่อช่วยในการออกแบบไฟถนน ให้คล่องตัวในการใช้งาน ประหยัดเวลา โดยค่าที่คำนวณได้มีความถูกต้องแม่นยำสูง
2) ทำให้ทราบถึงวิธีการออกแบบไฟถนนซึ่งเป็นมาตรฐานสากล และนำมาเป็นแนวทางในการออกแบบไฟถนนในประเทศต่อไป
3) เป็นการเสนอแนะให้ผู้ออกแบบ หันมาสนใจค่าความส่องสว่างและระดับแสงจ้า ซึ่งมีผลต่อการมองเห็นของผู้ขับขี่ยวดยานบนถนนโดยตรง

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1) ศึกษาวิธีการคำนวณการออกแบบไฟแสงสว่างของถนนตามมาตรฐาน CIE
2) ศึกษาข้อมูลที่จำเป็นเพื่อช่วยในการออกแบบไฟถนน
3) ศึกษาโปรแกรมภาษาเดลไฟ เพื่อใช้ในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์
4) ออกแบบโครงสร้างของโปรแกรมคอมพิวเตอร์
5) พัฒนาโปรแกรมในส่วนรับข้อมูลและส่วนแสดงผล
6) พัฒนาโปรแกรมในส่วนของการคำนวณและการประมวลผล
7) ทดสอบและปรับปรุงโปรแกรม
8) สรุปและประเมินผลการทำงาน
9) เขียนวิทยานิพนธ์

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์แต่ละบทมีดังนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับไฟแสงสว่างถนน

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

บทที่ 4 กล่าวถึงการประเมินคุณภาพความสว่างและความส่องสว่างไฟถนนโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะแยกออกเป็นส่วนรับข้อมูล ส่วนประมวลผล และส่วนแสดงผล

บทที่ 5 กล่าวถึงตัวอย่างการประเมินคุณภาพการส่องสว่าง โดยมีการเปรียบเทียบความสว่างและความส่องสว่างของถนนที่มีลักษณะการติดตั้งโคมต่างกัน การเปรียบเทียบความสว่างและความส่องสว่างของถนนเอียง การเปรียบเทียบชนิดของถนน และการเปรียบเทียบการติดตั้งในระบบเสาธรรมดาและระบบเสาสูง

บทที่ 6 เป็นบทสรุปและข้อเสนอแนะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับไฟแสงสว่างถนน

2.1 นิยามที่เกี่ยวข้อง

ความสว่าง (Illuminance , E)

ความสว่าง คือ ความหนาแน่นของฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกกระทบบนพื้นที่ย่อยใดๆ

$$E = \frac{dF}{dA} \tag{2.1}$$

ความส่องสว่าง (Luminance , L)

ความส่องสว่าง คือ อัตราส่วนของความเข้มส่องสว่างต่อพื้นที่ของแหล่งกำเนิดแสงที่ตั้งฉากกับความเข้มส่องสว่าง

$$L = \frac{I}{A_{\perp}} \tag{2.2}$$

ความเปรียบต่างของความส่องสว่าง (Luminance Contrast ,C)

ความเปรียบต่างของความส่องสว่าง คือ ความแตกต่างของค่าความส่องสว่างของวัตถุกับบริเวณรอบข้างวัตถุเปรียนเทียบกับความส่องสว่างของบริเวณรอบข้างวัตถุ

$$C = \frac{L_0 - L_b}{L_b} \tag{2.3}$$

โดย L_0 = ความส่องสว่างของวัตถุ

L_b = ความส่องสว่างของบริเวณรอบข้างวัตถุ

เมื่อวัตถุมืดกว่าบริเวณรอบข้าง จะทำให้เห็นวัตถุเป็นเงาดำ ซึ่งค่า C จะเป็นค่าลบ แต่เมื่อวัตถุสว่างกว่าบริเวณรอบข้าง ค่า C จะเป็นค่าบวก แต่โดยทั่วไปแล้ววัตถุจะมีความส่องสว่างต่ำกว่าบริเวณรอบข้าง เพราะฉะนั้น ค่า C มักจะเป็นค่าลบ

ความส่องสว่างเฉลี่ยบนถนน (Average Luminance , L_{av})

ความส่องสว่างเฉลี่ยบนถนน คือ ค่าเฉลี่ยของความส่องสว่างของถนนในบริเวณที่พิจารณา ถ้าระดับความส่องสว่างเฉลี่ยของผิวถนนมีค่าสูงขึ้น จะทำให้การมองเห็นดีขึ้น

$$L_{av} = \frac{L_{sum}}{N} \qquad (2.4)$$

โดย L_{sum} คือ ผลรวมของความส่องสว่างทุกจุด

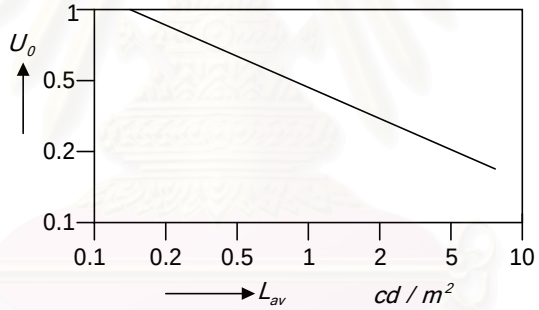
N คือ จำนวนจุดที่พิจารณา

ความสม่ำเสมอรวม (Overall Uniformity , U_0)

$$U_0 = \frac{L_{min}}{L_{av}} \qquad (2.5)$$

โดย L_{min} คือ ค่าความส่องสว่างต่ำสุด

L_{av} คือ ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย



รูปที่ 2-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสม่ำเสมอรวม(U_0)กับความส่องสว่างเฉลี่ย(L_{av})

ถ้า ค่าความสม่ำเสมอรวมต่ำ การสังเกตเห็นวัตถุบนผิวถนนจะเป็นไปได้ยาก

จากการทดลองให้ผู้ขับขี่ยวดยานที่มีอายุระหว่าง 16-30 ปี สังเกตวัตถุขนาด 20×20 เซนติเมตร ที่วางไว้บนผิวถนนบริเวณที่มีค่าความส่องสว่างของถนนต่ำที่สุด และให้วัตถุมี Luminance Contrast เท่ากับ 0.25 เมื่อผู้ขับขี่ยวดยานอยู่ห่างจากวัตถุเป็นระยะทาง 60 ถึง 100 เมตร จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า U_0 กับ L_{av} ที่ทำให้โอกาสที่ผู้ขับขี่ยวดยานสังเกตเห็นวัตถุเป็น 75 % ดังรูปที่ 2-1

จากรูปที่ 2-1 เมื่อ $U_0 = 0.4$ ค่า $L_{av} = 1.5$ cd/m^2

แต่ $U_0 = 0.2$ ค่า $L_{av} = 5$ cd/m^2

จะเห็นว่า เมื่อ U_0 ลดลงครึ่งหนึ่งจะต้องเพิ่มค่า L_{av} ถึง 3.33 เท่าจึงจะสังเกตเห็นวัตถุเหมือนเดิม

ความสม่ำเสมอตามแนวยาว (Longitudinal Uniformity , U_l)

$$U_l = \frac{L_{min}}{L_{max}} \quad (2.6)$$

โดย L_{min} คือ ค่าความส่องสว่างต่ำสุดของช่องวิ่ง

L_{max} คือ ค่าความส่องสว่างต่ำสุดของช่องวิ่ง

ค่า U_l จะทำให้ผู้ขับขี่ยวดยานมีความสบายตาในขณะขับขี่ไปตามถนน ถ้าค่า U_l มีค่าต่ำ ค่าความส่องสว่างของถนนจะน้อยและมากสลับกันไป คล้ายกับเราขับรถผ่านทางม้าลาย ซึ่งจะทำให้ตาลายและอาจจะเกิดอุบัติเหตุตามมา

Disability Glare

ในการคำนวณ Disability Glare โดยทั่วไปจะพิจารณาในเทอมของค่า Veiling Luminance (L_{av}) และค่า Threshold Increment (TI) ซึ่งมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

$$L_v = 10\frac{E_{eye}}{\theta^2} \quad (2.7)$$

$$TI = 65\frac{L_v}{(L_{av})^{0.8}} \quad (2.8)$$

โดยที่ E_{eye} เป็นค่าความสว่างที่ตา เนื่องจากต้นกำเนิดแสงบนระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางการมอง

θ เป็นมุมระหว่างแนวมองกับแนวจากตาถึงต้นกำเนิดแสง หน่วยเป็นองศา

Discomfort Glare (G)

คือ แสงจ้าที่ทำให้ความสามารถในการมองเห็นวัตถุลดลง และทำให้ไม่สบายตา จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของหลอดไฟ โคมไฟ และการติดตั้งโคมไฟ

$$G = 13.84 - 3.31\log I_{80} + 1.3\log(I_{80}/I_{88})^{0.5} - 0.08\log(I_{80}/I_{88}) + 1.29\log F + C + 0.97\log L_{av} + 4.41\log h' - 1.46\log p \quad (2.9)$$

$$SLI = 13.84 - 3.31\log I_{80} + 1.3\log(I_{80}/I_{88})^{0.5} - 0.08\log(I_{80}/I_{88}) + 1.29\log F + C$$
$$G = SLI + 0.97\log L_{av} + 4.41\log h' - 1.46\log p \quad (2.10)$$

โดยที่

I_{80} = absolute luminous intensity (cd) ที่ มุม γ เท่ากับ 80° บนระนาบ C เท่ากับ 0°

I_{80} / I_{88} = ratio of luminous intensity (cd) ที่มุม γ เท่ากับ 80° กับ 88° บนระนาบ C เท่ากับ 0°

F = flashed area of luminaires (m^2) ที่ มุม γ เท่ากับ 76°

C = colour factor ขึ้นกับชนิดของหลอดไฟ

เช่น Low pressure sodium C = 0.4

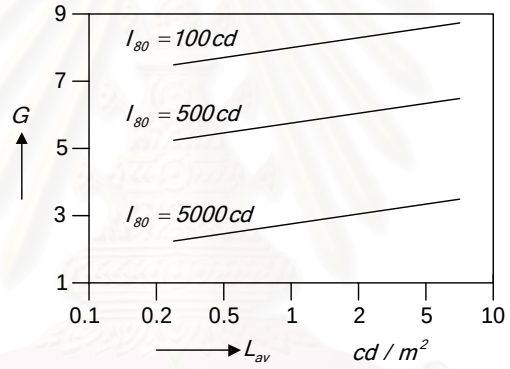
หลอดชนิดอื่นๆ C = 0

L_{av} = average road surface luminance (cd/m^2)

h' = height of the lanterns above eye level

P = number of lanterns per km.

SLI = Specific Luminare Index



รูปที่ 2-2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Discomfort Glare(G)กับความส่องสว่างเฉลี่ย(L_{av})

รูปที่ 2-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสม่ำเสมอรวม(U_0)กับความส่องสว่างเฉลี่ย (L_{av}) เมื่อรูปแบบการติดตั้งดวงโคมเป็นแบบ Single Sided โดยมีค่า I_{80} ต่างๆกัน ค่า h' = 7.5 m. , P = 33, F = 0.07 m^2 และ I_{80} / I_{88} = 1.75 ซึ่งให้ความหมายว่า ถ้าค่าG มากขึ้น จะทำให้ผู้สังเกตมีความสบายตามากขึ้นสรุปได้ว่า

G = 1 หมายถึง มีแสงจ้าระดับที่ทนไม่ได้

G = 3 หมายถึง มีแสงจ้าระดับที่รบกวนตา

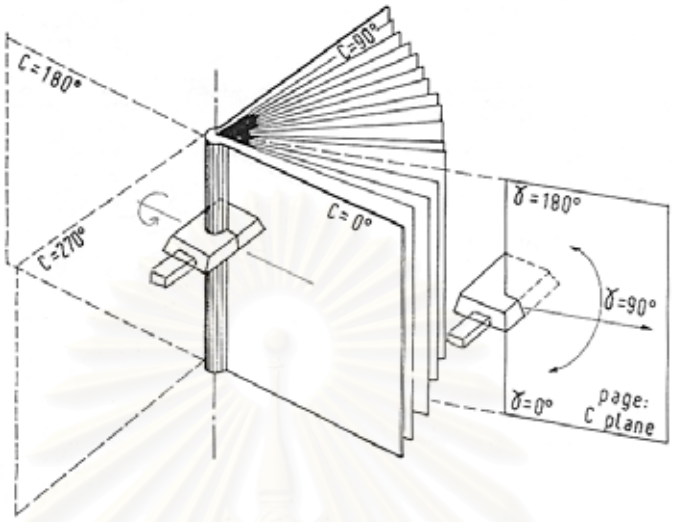
G = 5 หมายถึง มีแสงจ้าระดับที่พอรับได้

G = 7 หมายถึง มีแสงจ้าระดับที่น่าพอใจ

G = 9 หมายถึง ไม่รู้สึกว่ามีแสงจ้า

2.2 โคมไฟถนน

2.2.1 การกำหนดระนาบทางแสงของโคมไฟถนน



รูปที่ 2-3 การกระจายแสงในระบบ $C-\gamma$

จุดศูนย์กลางของระบบโคออร์ดิเนตจะอยู่ที่จุดเดียวกับจุดศูนย์กลางแสงของดวงโคม แกนอ้างอิงของระบบ คือ แนวดิ่งจากจุดศูนย์กลางแสงของดวงโคมถึงระนาบนอนที่ต้องการแสงสว่าง (ในที่นี้คือพื้นถนน) เป็นแกนอ้างอิงของดวงโคม โดยระนาบดิ่งที่ขนานกับแนวถนนจะถูกกำหนดด้วยระนาบที่มีมุม $C = 0^{\circ}$ และ $C = 180^{\circ}$ ระนาบดิ่งที่ตั้งฉากกับแนวถนนจะถูกกำหนดด้วยระนาบที่มีมุม $C = 90^{\circ}$ เมื่อระนาบนี้อยู่ทางด้านถนน และระนาบที่มีมุม $C = 270^{\circ}$ เมื่อระนาบดิ่งนี้อยู่ทางด้านทางเดินเท้า มุมที่วัดจากแนวดิ่งลงในแต่ละระนาบเหล่านี้ กำหนดด้วยมุม γ โดยแนวดิ่งลงมีมุม $\gamma = 0^{\circ}$ และแนวดิ่งขึ้นมีมุม $\gamma = 180^{\circ}$

2.2.2 การแสดงค่าความเข้มส่องสว่างของโคมไฟ

1) ตารางความเข้มส่องสว่าง

การนำเสนอข้อมูลในลักษณะนี้ เหมาะกับการใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณสมรรถนะของระบบไฟถนน เพราะเป็นข้อมูลตัวเลขจำนวนมาก ระยะห่างของมุม γ และระนาบ C ในตารางข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่างจะขึ้นอยู่กับรูปร่างของการกระจายความเข้มส่องสว่าง และวิธีการประมาณในช่วง (Interpolation) ที่ใช้ในการคำนวณ ถ้าการคำนวณสมรรถนะของระบบไฟถนนเป็นไปตามวิธีการที่กำหนดโดย CIE (International Commission on Illumination) ขนาดของมุม γ และระนาบ C จะเป็นไปดังนี้

มุม γ	0^{o}	ถึง	30^{o}	เปลี่ยนทีละ	10	องศา	(4 มุม)
	35^{o}	ถึง	45^{o}	เปลี่ยนทีละ	5	องศา	(3 มุม)
	47.5^{o}	ถึง	105^{o}	เปลี่ยนทีละ	2.5	องศา	(24 มุม)
	120^{o}	ถึง	180^{o}	เปลี่ยนทีละ	15	องศา	(5 มุม)
						รวมทั้งหมด 36 มุม	

ระนาบ C	0^{o}	ถึง	50^{o}	เปลี่ยนทีละ	5	องศา	(11 ระนาบ)
	60^{o}	ถึง	120^{o}	เปลี่ยนทีละ	15	องศา	(5 ระนาบ)
	130^{o}	ถึง	230^{o}	เปลี่ยนทีละ	5	องศา	(21 ระนาบ)
	240^{o}	ถึง	300^{o}	เปลี่ยนทีละ	15	องศา	(5 ระนาบ)
	310^{o}	ถึง	355^{o}	เปลี่ยนทีละ	5	องศา	(10 ระนาบ)
						รวมทั้งหมด 52 ระนาบ	

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

ในกรณีที่การกระจายความเข้มส่องสว่างของโคมไฟถนนมีลักษณะสมมาตรระหว่างระนาบ C_{90} ถึง C_{270} และระนาบ C_{270} ถึง C_{90} การนำเสนอข้อมูลจะแสดงเพียงครึ่งซีกเท่านั้น โดยแสดงข้อมูลจากระนาบ C_{270} ถึงระนาบ C_{90} รวมทั้งหมด 27 ระนาบ ระนาบละ 36 ค่า รวมเป็น 972 ค่า

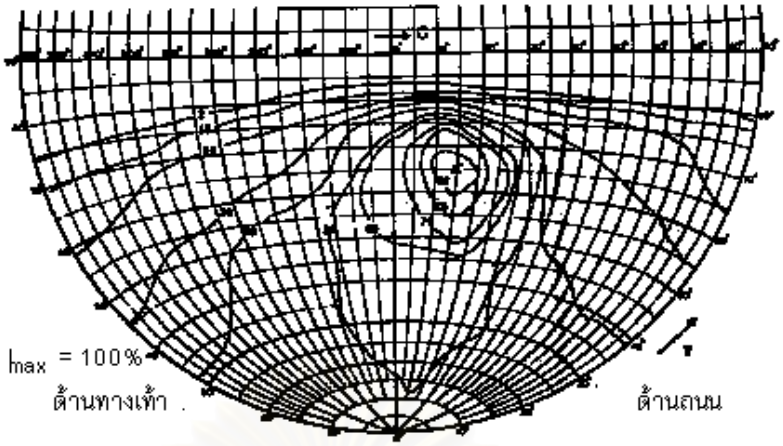
2) เส้นโค้งความเข้มแสงเท่า

วิธีที่จะแสดงการกระจายแสงของโคมไฟถนนในลักษณะของกราฟให้เห็นลักษณะการกระจายแสงได้อย่างกระจ่างชัด จะแสดงในรูปของเส้นโค้งความเข้มแสงเท่า เช่นเดียวกับแผนที่แสดงชั้นความสูงของผิวโลก

สำหรับโคมไฟถนนที่มีการกระจายแสงแบบสมมาตร จะแสดงเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าบนครึ่งทรงกลมซีกเดียวโดยมีจุดศูนย์กลางของแผนภูมิ ($\gamma = 90^{o}$, $C = 0^{o}$ หรือ 180^{o}) แทนแนวถนน ดังแสดงในรูปที่ 2-5

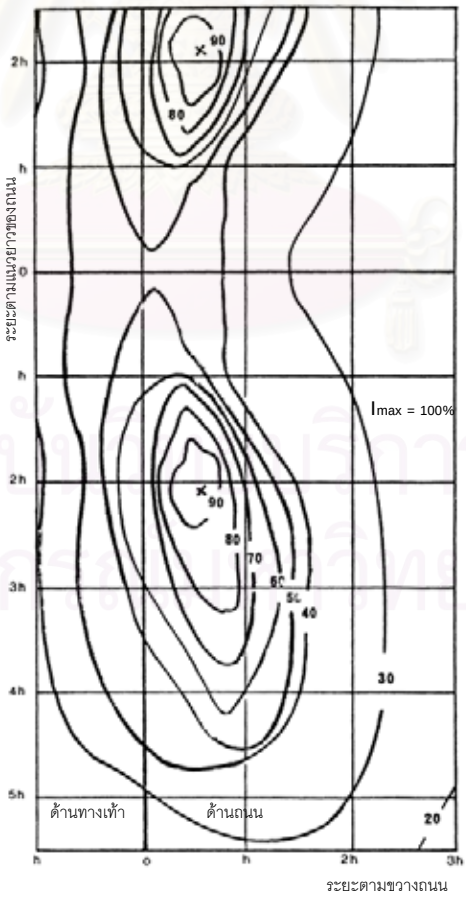
มุม γ (องศา)	ระนาบ C																										
	270°	285°	300°	310°	315°	320°	325°	330°	335°	340°	345°	350°	355°	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	75°	90°
0.0	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201
10.0	187	189	192	194	195	196	197	198	199	200	202	203	205	207	208	209	209	210	210	210	211	210	210	210	209	209	209
20.0	170	172	179	182	184	187	190	194	197	201	205	209	213	217	220	223	226	227	226	224	221	220	216	213	206	195	191
30.0	145	146	154	165	170	176	185	197	210	226	241	255	267	279	289	290	286	277	261	245	233	221	210	200	185	170	166
35.0	133	133	144	157	164	172	187	205	224	246	267	292	311	331	343	348	330	314	281	255	242	229	206	286	174	157	156
40.0	122	123	134	148	156	165	182	202	227	255	284	315	344	375	389	389	365	332	270	229	214	212	198	183	165	146	143
45.0	110	111	119	133	141	149	167	189	220	257	300	350	388	430	437	429	389	350	307	268	230	202	184	168	152	136	131
47.5	104	104	111	124	131	140	159	183	219	263	309	364	399	436	447	442	400	361	308	263	223	189	172	157	143	130	125
50.0	97	96	102	115	122	131	151	178	218	267	319	374	409	444	455	449	411	370	307	253	211	178	160	146	133	123	119
52.5	90	88	94	106	113	121	144	174	216	269	319	375	409	443	454	451	415	377	299	236	192	159	144	131	122	115	113
55.0	82	80	84	96	103	112	137	170	212	262	313	369	404	440	447	445	411	369	283	214	171	138	126	116	110	107	106
57.5	74	72	75	86	92	99	125	159	199	249	298	356	391	429	436	429	393	357	265	196	152	119	111	103	100	100	98
60.0	66	66	67	76	80	87	113	146	185	233	281	337	377	420	422	407	372	338	247	179	135	103	97	93	92	92	90
62.5	58	58	57	64	68	73	96	126	162	209	255	310	342	377	387	379	342	305	216	152	114	87	83	82	82	81	79
65.0	51	50	48	53	56	61	80	107	141	185	229	280	309	339	350	347	309	273	187	127	94	73	71	72	73	72	69
67.5	43	42	39	42	45	47	62	82	114	158	198	248	274	302	306	301	267	233	147	93	73	59	60	60	64	62	60
70.0	34	32	29	31	32	34	42	53	79	121	159	205	230	258	259	248	213	179	102	59	51	46	48	52	54	54	50
72.5	24	21	20	21	21	22	25	29	49	79	114	158	179	212	207	196	158	121	66	35	33	34	40	45	45	45	42
75.0	16	12	11	11	11	11	12	14	20	34	54	89	109	145	136	122	83	59	33	20	20	22	25	28	34	35	33
77.5	11	6	6	6	6	6	7	7	9	10	18	30	40	65	54	50	31	18	14	10	12	13	15	18	24	27	25
80.0	9	4	3	3	4	4	5	5	5	6	6	7	10	8	14	11	9	6	6	4	5	6	8	10	15	16	15
82.5	10	3	2	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	6	5	7	6	5	4	3	2	3	4	4	7	9	8
85.0	9	3	2	3	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5	5	5	5	4	3	2	2	2	2	2	2	4	4
87.5	6	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5	5	5	4	4	3	2	2	1	1	1	2	2	2
90.0	3	2	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	4	4	4	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1
92.5	1	2	2	2	2	3	3	4	4	4	4	4	5	0	4	4	3	3	2	2	1	1	1	0	1	1	1
95.0	1	1	1	2	2	3	3	4	4	4	4	4	4	0	4	4	3	3	2	2	1	1	1	0	0	1	1
97.5	1	1	1	2	2	3	3	4	4	4	4	4	0	0	0	4	3	3	2	2	1	1	0	0	0	1	1
100.0	0	0	1	2	2	3	3	4	4	4	4	4	0	0	0	3	3	3	2	2	1	1	0	0	0	1	1
102.5	0	0	1	1	2	2	2	3	3	3	3	0	0	0	0	0	3	2	2	1	1	1	0	0	0	1	1
105.0	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	3	0	0	0	0	0	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	1
120.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
135.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
165.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 2-4 ตัวอย่างข้อมูลการกระจายแสงของโคมไฟถนน



รูปที่ 2-5 แผนภูมิเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าของโคมไฟ

ในบางครั้ง เพื่อให้เห็นภาพการกระจายความเข้มส่องสว่างของโคมไฟถนน บนพื้นถนนได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ผู้ผลิตอาจแสดงการกระจายความเข้มส่องสว่างของโคมไฟถนนโดยการเขียนเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าลงบนพื้นถนนแทนการเขียนลงบนผิวของครึ่งทรงกลม ดังแสดงในรูปที่ 2-6 ในรูปนี้จุด 0 , 0 คือตำแหน่งจุดตกของโคมไฟถนนบนระนาบพื้นถนนและระยะที่ใช้บนแผนภูมินี้จะแสดงในเทอมของความสูงของโคมไฟถนนเหนือระนาบพื้นถนน



รูปที่ 2-6 เส้นโค้งความเข้มแสงเท่าของโคมไฟถนนที่เขียนลงบนผิวถนน

3) เส้นโค้งโพลาร์

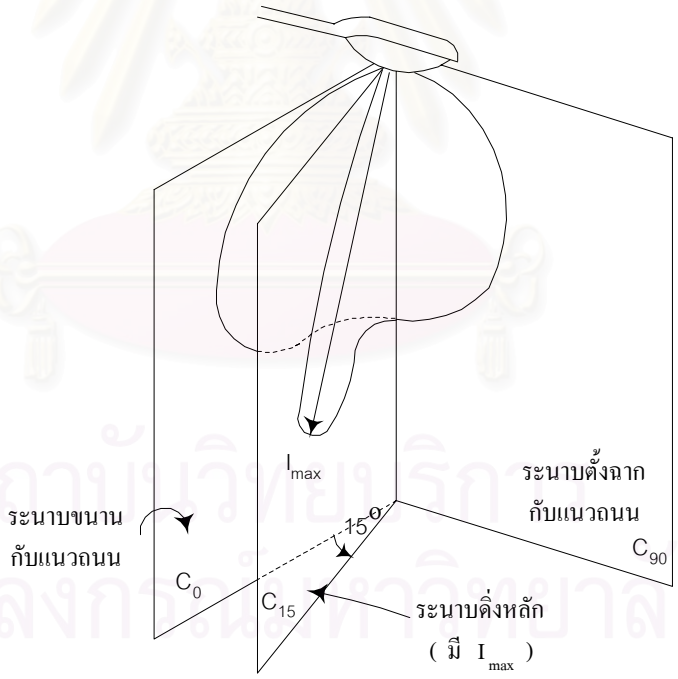
ลักษณะการกระจายแสงที่เด่นของโคมไฟถนน สามารถนำเสนอให้เห็นได้โดยการเขียนการกระจายความเข้มส่องสว่างบนระนาบหลักเป็นเส้นโค้งโพลาร์ ระนาบหลักของโคมไฟถนนจะประกอบไปด้วย

ระนาบดิ่งที่ผ่านแนวความเข้มส่องสว่างสูงสุดซึ่งเรียกว่าระนาบดิ่งหลัก(Principle Vertical Plane) ระนาบนี้จะต้องระบุมุม C ที่ใช้กำกับระนาบนี้ด้วย (ดังรูปที่ 2-7)

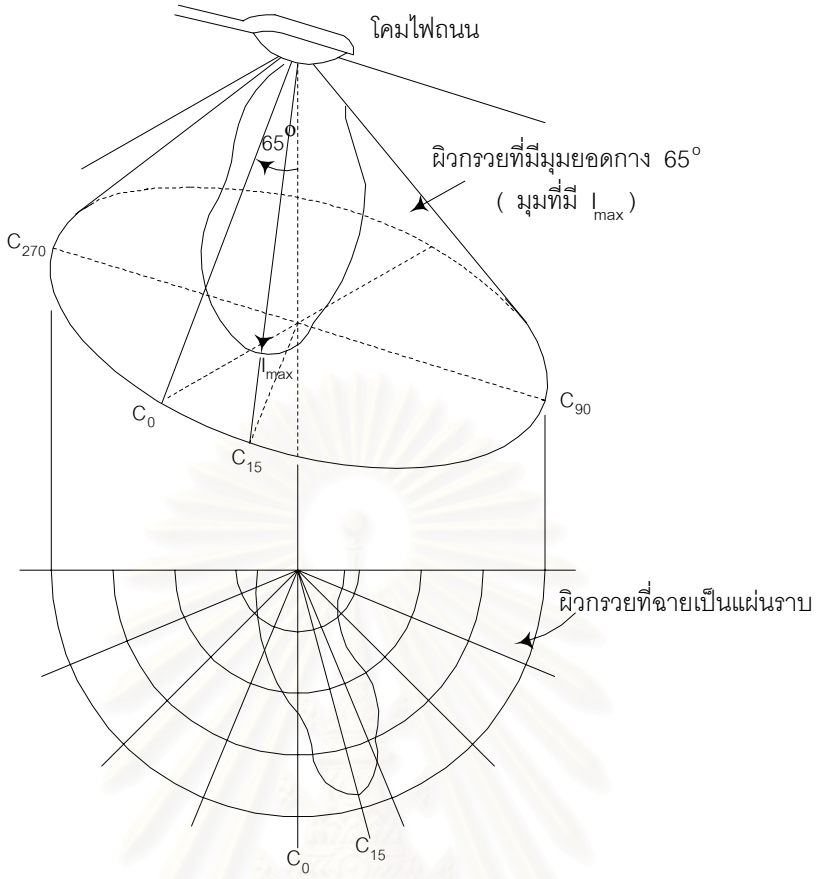
ถ้าระนาบดิ่งหลักไม่ใช่ระนาบที่ $C = 0^{\circ}$ จะต้องแสดงการกระจายความเข้มส่องสว่างบนระนาบดิ่งที่ขนานแถวถนน (Roadway Vertical Plane ; $C = 0^{\circ}$) ด้วย เนื่องจากการกระจายความเข้มส่องสว่างในระนาบนี้จะมีผลต่อแสงจ้าระคายตา (Discomfort Glare) จากระบบไฟถนนด้วย

การกระจายแสงลึกเข้าไปในถนนจากโคมไฟถนน จะดูได้จากการกระจายความเข้มส่องสว่างบนระนาบดิ่งที่ตั้งฉากกับแนวถนน (Transverse Vertical Plane ; $C = 90^{\circ}$)

เพื่อให้เห็นภาพการกระจายความเข้มส่องสว่างอย่างสมบูรณ์ ให้แสดงเส้นโค้ง โพลาร์ของการกระจายความเข้มส่องสว่างที่วัดบนผิวของกรวยหลัก (Principal Conical Surface) ที่ผ่านแนว I_{max} ด้วย

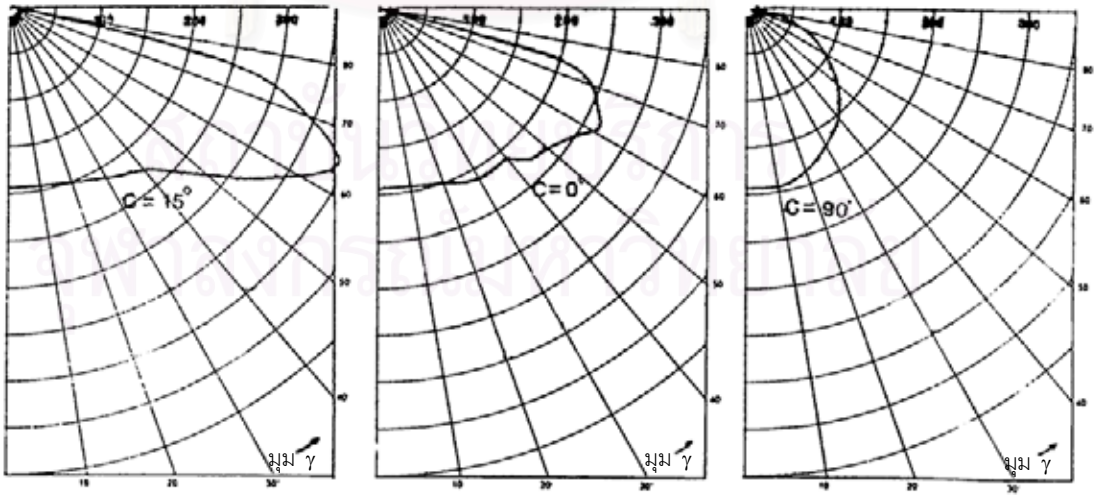


รูปที่ 2-7 ระนาบที่ใช้แสดงเส้นโค้งโพลาร์ของโคมไฟถนน



รูปที่ 2-8 การแปลงการกระจายแสงบนผิวกรวยหลักลงบนระนาบธรรมดา

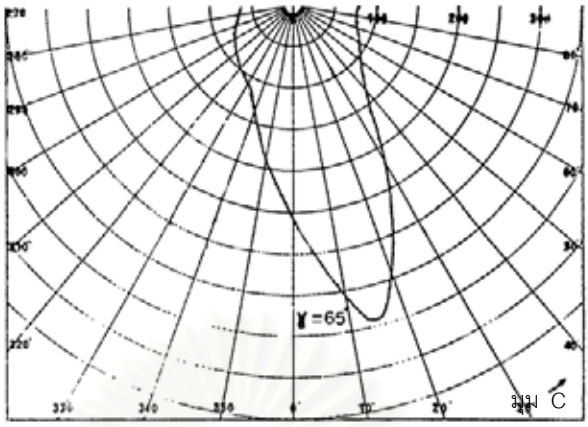
เส้นโค้งโพลาร์บนระนาบดิ่ง 3 ระนาบและบนผิวกรวย 1 อัน ของโคมไฟถนนตัวอย่างหนึ่ง แสดงในรูปที่ 2-9 ถึงแม้ว่าเส้นโค้งโพลาร์จะทำให้มองเห็นการกระจายความเข้มส่องสว่างของโคมไฟถนนได้ชัดเจนแต่ก็ไม่สะดวกต่อการนำไปใช้ในการคำนวณในรายละเอียด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงมุมที่มีการแปรเปลี่ยนของค่าความเข้มส่องสว่างสูง



ก)ระนาบดิ่งหลัก (Principal Vertical Plane)

ข) ระนาบดิ่งที่ขนานกับแนวถนน (Roadway Vertical Plane)

ค) ระนาบดิ่งที่ตั้งฉากกับแนวถนน (Transverse Vertical Plane)



ง) ผิวของกรวยหลัก (Principal Conical Surface)

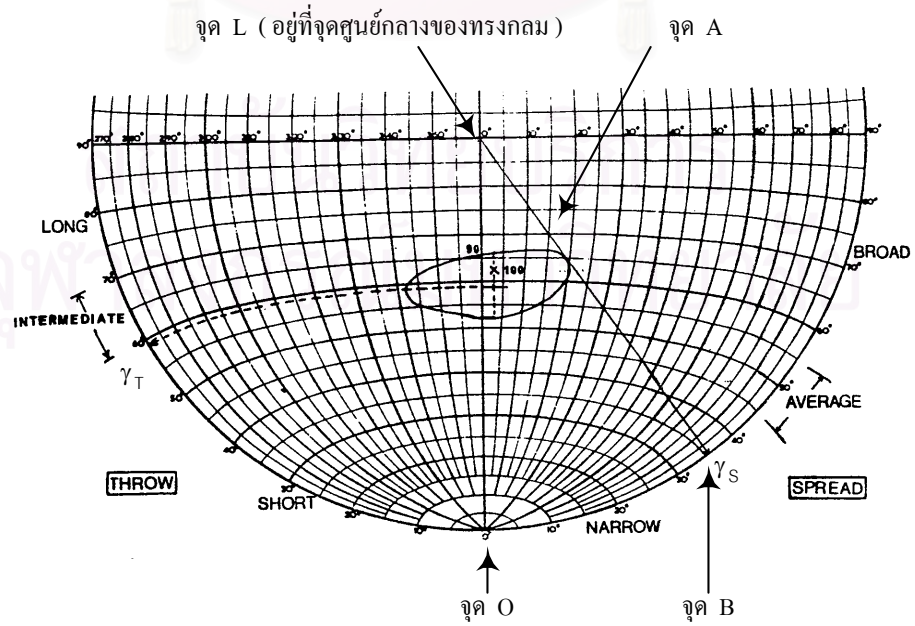
รูปที่ 2-9 ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งโพลาร์ของโคมไฟถนน

2.2.3 พื้นที่ให้แสง (Flashed Area)

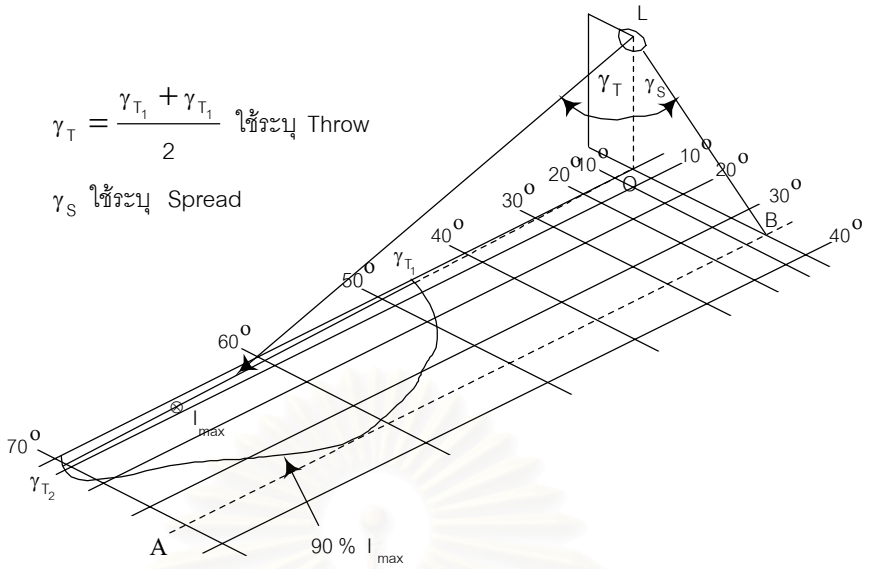
ในการคำนวณ Discomfort Glare จะต้องใช้ค่า F (Flashed Area) ซึ่งเป็นพื้นที่ของโคมที่เปล่งแสงออกมาที่มุม $\gamma = 76$ องศา ในระนาบ C_0

2.2.4 การจัดประเภทของดวงโคม

มาตรฐาน CIE ได้แบ่งประเภทของโคมไฟถนนเป็น Throw , Spread และ Control ดังนี้

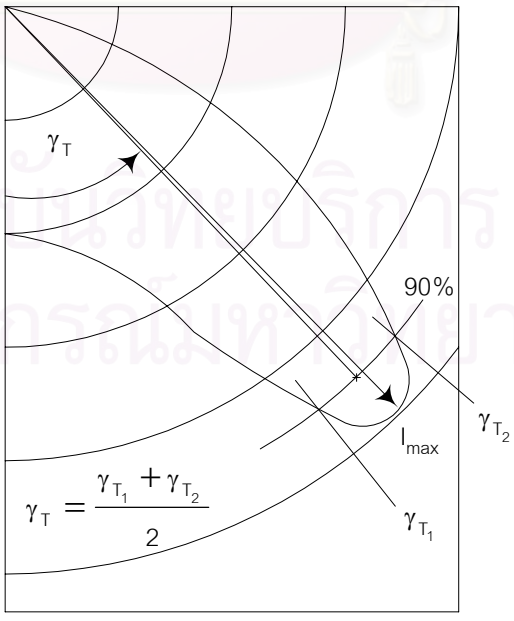


รูปที่ 2-10 นิยามของ Throw และ Spread



รูปที่ 2-11 มุมที่ใช้ระบุ Throw และ Spread

Throw ถูกกำหนดด้วยขนาดของมุมของศูนย์กลางของลำแสงที่วัดจากแนวดิ่งลง มุมของศูนย์กลางของลำแสง (γ_T) อาจหาได้จากเส้นโค้งความเข้มแสงเท่า โดยใช้ค่าเฉลี่ยของมุม γ ของเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าขนาดร้อยละ 90 ของค่าความเข้มส่องสว่างสูงสุดในระนาบดิ่งหลักที่ผ่านค่าความเข้มส่องสว่างสูงสุด (ดังรูปที่ 2-10 และรูปที่ 2-11) หรือหาได้จากเส้นโค้งโพลาร์บนระนาบดิ่งหลักโดยใช้ค่าเฉลี่ยของมุม γ ที่ค่าความเข้มส่องสว่างร้อยละ 90 ของค่าความเข้มส่องสว่างสูงสุด ดังรูปที่ 2-12

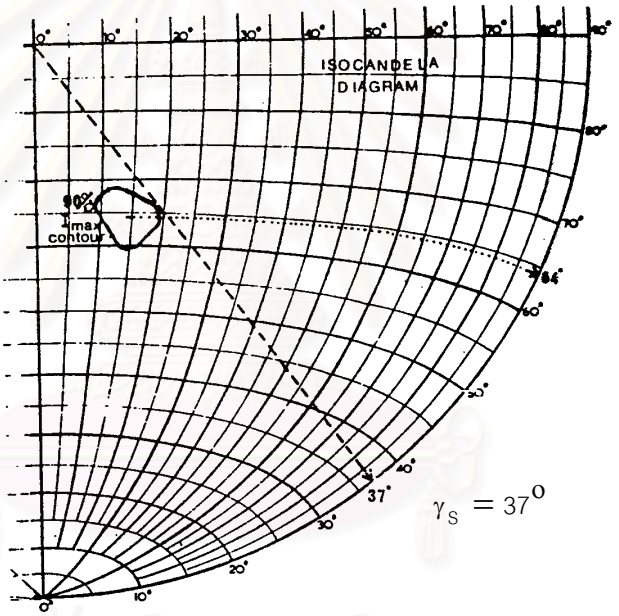


รูปที่ 2-12 การคำนวณหาขนาดมุม γ_T จากกราฟเส้นโค้งโพลาร์

Throw จะเป็นตัวบอกให้ทราบถึงสมรรถนะของโคมไฟถนนที่จะดันแสงออกทางด้านข้างว่าไปได้ไกลมากน้อยเพียงใด หากมุม γ_T มีค่าสูง แสดงว่าโคมไฟถนนดวงนั้นสามารถดันแสงออกไปทางด้านข้างได้ไกล ทำให้สามารถตั้งเสาไฟแต่ละต้นได้ไกลขึ้น

Spread ถูกกำหนดด้วยระยะห่างที่ไกลที่สุดของเส้นแนวถนน (เส้น A-B ในรูปที่ 2-11) ที่สัมผัสกับเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าขนาดร้อยละ 90 ของค่าความเข้มส่องสว่างสูงสุดที่เขียนลงบนผิวถนนดังรูปที่ 2-6 การกำหนดระยะห่างนี้กำหนดด้วยมุม γ_S ซึ่งหาได้จากแผนภูมิเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าดังแสดงในรูปที่ 2-13 โดยการลากเส้นตรงจากจุดศูนย์กลาง ($C = 0^o$, $\gamma = 90^o$) สัมผัสขอบเส้นโค้งความเข้มแสงเท่าขนาดร้อยละ 90 ของค่าความเข้มส่องสว่างสูงสุดทางซีกที่ออกไปทางด้านถนนจนตัดกับขอบของแผนภูมิจะได้ค่า γ_S หรือหาค่า γ_S จากรูปที่ 2-11 ได้จาก

$$\gamma_S = \tan^{-1} (OB / LO)$$



รูปที่ 2-13 แสดงการหาค่ามุม γ_S เพื่อระบุ Spread

Spread จะเป็นตัวบอกให้ทราบถึงสมรรถนะของโคมไฟถนน ที่จะดันแสงออกไปทางด้านหน้า (ออกไปทางด้านถนน) ว่าไปได้ไกลมากน้อยเพียงใด หากมุม γ_S มีค่าสูง แสดงว่าโคมไฟถนนดวงนั้นสามารถดันแสงออกไปทางด้านหน้าได้ไกล ทำให้สามารถใช้กับถนนกว้าง ๆ ที่มีหลายช่องจราจรได้ดี

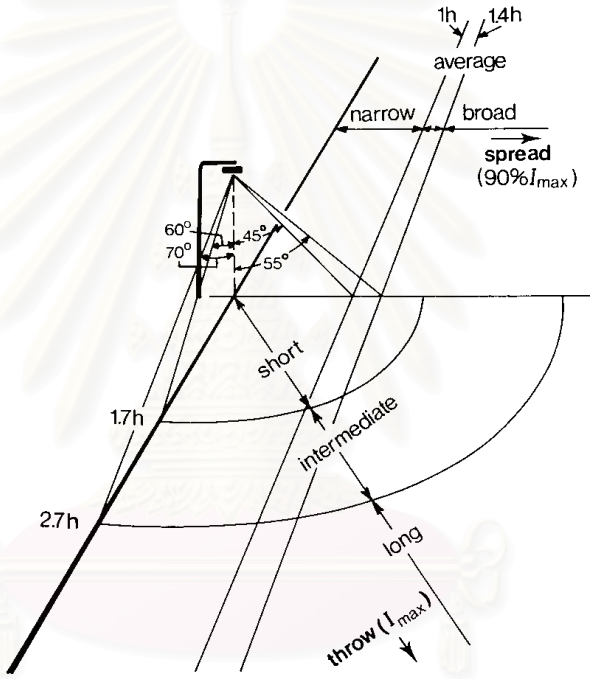
Control ถูกกำหนดด้วยค่า Specific Lantern Index ; *SLI* โดยที่

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

การจัดประเภทของโคมไฟถนนด้วยตัวแปร Throw , Spread และ Control ตามระบบของ CIE จะกำหนดไว้ ดังแสดงในรูปที่ 2-14 และตารางที่ 2-1

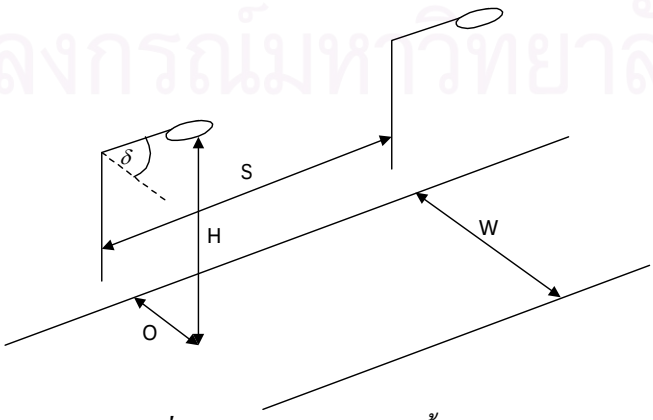
ตารางที่ 2-1 ขนาดพิกัดที่ใช้จัดประเภทของโคมไฟถนน

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



รูปที่ 2-14 การจัดประเภทโคมไฟถนนด้วยตัวแปร Throw และ Spread

2.3 การติดตั้งไฟถนน



รูปที่ 2-15 ลักษณะการติดตั้งไฟถนน

รูปที่ 2-15 แสดงลักษณะการติดตั้งไฟถนนโดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องดังนี้

H คือ ความสูงของการติดตั้ง (Mounting Height)

S คือ ระยะห่างระหว่างเสาไฟในแนวเดียวกัน (Spacing)

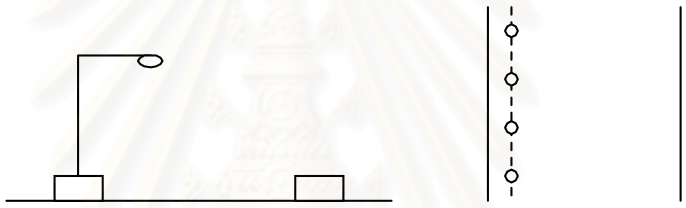
W คือ ความกว้างของถนน (Road Width)

O คือ ระยะช่วงยื่น (Overhang)

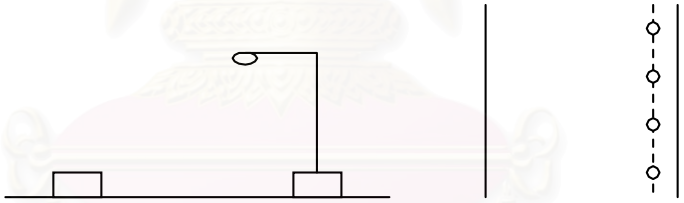
δ คือ มุมเงยของดวงโคม (Tilt Angle)

ในกรณีที่จำกัดความสูงของเสาไฟ อาจทำให้ริมถนนด้านตรงข้ามโคมไฟมีแสงไปตกไม่เพียงพอ จึงมีการปรับค่ามุมเงยเพื่อช่วยเพิ่มปริมาณแสงที่จะไปตกให้มากขึ้น แต่การปรับมุมเงยมากเกินไปจะทำให้เกิดแสงจ้าแยงตามากขึ้น ดังนั้นจึงไม่ควรปรับค่ามุมเงยมากจนเกินไป

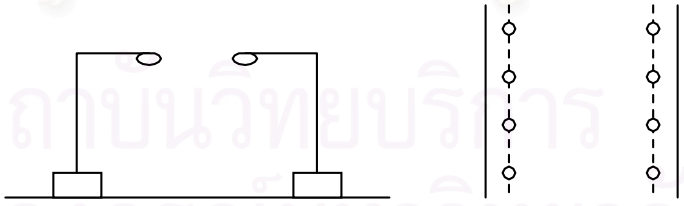
2.3.1 รูปแบบการติดตั้งเสาไฟ (Arrangement)



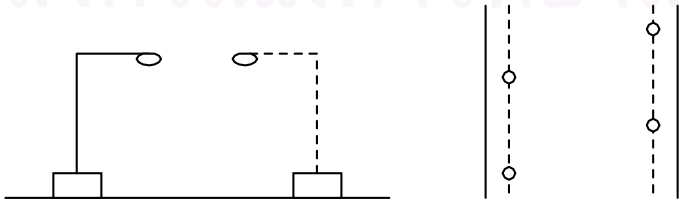
Single – Sided (Left)



Single – Sided (Right)

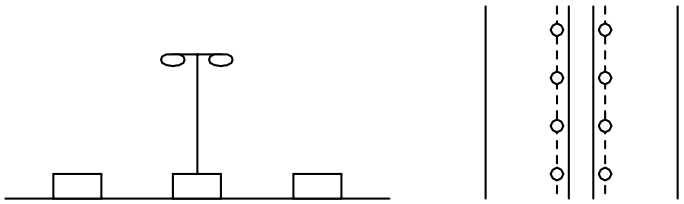


Opposite

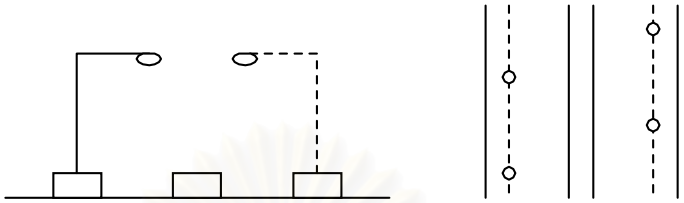


Stagger

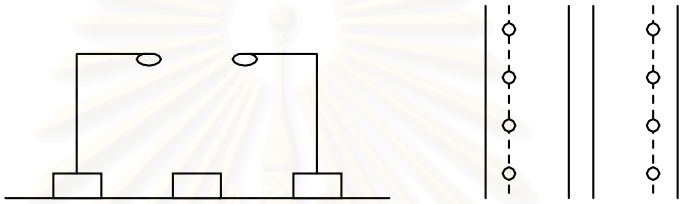
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



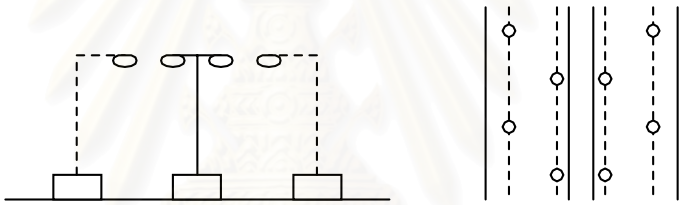
Median



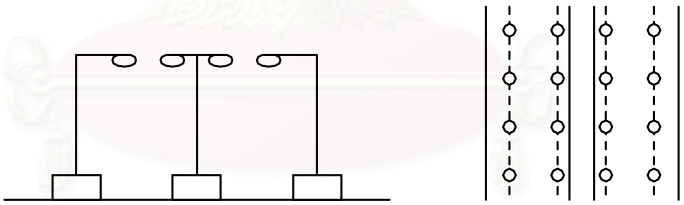
Stagger through median



Opposite through median



Stagger to median



Opposite to median

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 ประเภทของถนนและมาตรฐานทางแสงสว่างของไฟถนน

2.4.1 มาตรฐานทางแสงสว่างของไฟถนนตามมาตรฐาน CIE

ตารางที่ 2-2 ความส่องสว่างของไฟถนนตามมาตรฐาน CIE

ประเภทของถนน	บริเวณโดยรอบ	ความส่องสว่าง	ความสม่ำเสมอ		แสงจ้า	
		$L_{av}(cd/m^2)\geq$	$U_0\geq$	$U_l\geq$	G≥	TI (%)≤
A	ทุกแบบ	2	0.4	0.7	6	10
B	สว่าง	2			5	10
	มืด	1			6	10
C	สว่าง	2		0.5	5	20
	มืด	1			6	10
D	สว่าง	2			4	20
E	สว่าง	1			4	20
	มืด	0.5			5	20

ตารางที่ 2-3 การแบ่งประเภทของถนนมาตรฐาน CIE

ประเภทของถนน		ชนิดและความหนาแน่นของการจราจร	ชนิดของถนน	ตัวอย่าง
การจราจรสำหรับรถยนต์	A	การจราจรหนาแน่นและใช้ความเร็วสูง	ถนนที่มีทางวิ่งสวนเลนแยกกัน ไม่มีทางแยก มีการควบคุมการเข้าออกของรถ	มอเตอร์เวย์ ทางด่วน
	B		ถนนสายสำคัญสำหรับการจราจรทางรถยนต์เท่านั้น อาจมีทางวิ่งแยกกัน สำหรับการจราจรความเร็วต่ำและ/หรือ มีคนเดิน ถนนในเมืองหรือถนนในชนบทที่สำคัญ	ถนนใหญ่ ถนนสายหลัก
	C	การจราจรหนาแน่นและใช้ความเร็วปานกลางหรือการจราจรที่มีคนเดินและมีความเร็วปานกลาง		ถนนวงแหวน ถนนทางแยก
การจราจรสำหรับรถและคนเดิน	D	การจราจรหนาแน่นปานกลาง ส่วนใหญ่มีความเร็วต่ำหรือมีคนเดิน	ถนนในเมืองหรือศูนย์การค้า ถนนทางเข้าอาคารธุรกิจ ซึ่งการจราจรมีความเร็วต่ำหรือมีคนเดิน	ถนนใหญ่ ถนนธุรกิจ ถนนร้านค้า
	E	การจราจรที่จำกัดความเร็วและมีความหนาแน่นปานกลาง	ถนนที่เชื่อมระหว่างถนนในบริเวณที่อยู่อาศัยและถนนประเภท A ถึง D	ถนนหลักที่เชื่อมต่อถนนท้องถิ่น

2.4.2 มาตรฐานทางแสงสว่างของไฟถนนของประเทศไทย

การทางพิเศษแห่งประเทศไทย

ความสว่างเฉลี่ย

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

ความสม่ำเสมอของความสว่าง

- $E_{min}/E_{av} \geq 1/2.5$
- $E_{min}/E_{max} \geq 1/6$

กรมทางหลวง

ตารางที่ 2-4 ความสว่างเฉลี่ยต่ำสุดตามประเภทของถนน

ประเภทถนน	ความสว่างเฉลี่ยในแนวนอนต่ำสุด (lx)		
	พื้นที่กลางเมือง Central–Urban Areas	พื้นที่ในเมือง Sub–Urban Areas	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

- $E_{min}/E_{av} \geq 1/2.5$
- $E_{min}/E_{max} \geq 1/6$

การไฟฟ้านครหลวง

ความสว่างเฉลี่ยแนวราบ

- ไฟถนน / ไฟเชิงลาด / ไฟถนนยกระดับ 21.5 Lux

ความสม่ำเสมอของความสว่าง

- $E_{min}/E_{av} \geq 1/3$

ค่าตัวประกอบการบำรุงรักษา 0.8

ค่าความสว่างเฉลี่ยแนวราบเริ่มต้น 26.8 Lux

2.5 การแบ่งประเภทของผิวถนน

2.5.1 ระดับความขาวดำของถนน (Average Luminance Coefficient , Q_0)

$$Q_0 = \frac{\int_0^{\Omega_0} q d\Omega}{\Omega_0}$$

โดยที่

q คือ สัมประสิทธิ์ความส่องสว่าง (ขึ้นอยู่กับมุม β, γ)

Ω_0 คือ มุมตันในทิศที่แสงตกกระทบจุดที่พิจารณา

เมื่อ Q_0 มีค่ามากแสดงว่าพื้นผิวถนนมีความสามารถในการสะท้อนแสงมาก

2.5.2 ระดับของการสะท้อนแสงแบบ Specular (Specularity Factor , S1)

$$S1 = r(0,2) / r(0,0)$$

โดยที่

$r(0,2)$ คือ Reduced Luminance Coefficient ที่ $\beta = 0, \tan\gamma = 2$

$r(0,0)$ คือ Reduced Luminance Coefficient ที่ $\beta = 0, \tan\gamma = 0$

ตารางที่ 2-5 การแบ่งประเภทของผิวถนนแห้งแบบ R-Classification

ประเภท	S1	S1 มาตรฐาน	Q_0 ปกติ
R1	S1 < 0.42	0.25	0.10
R2	0.42 ≤ S1 < 0.85	0.58	0.07
R3	0.85 ≤ S1 < 1.35	1.11	0.07
R4	1.35 ≤ S1	1.55	0.08

ตารางที่ 2-6 การแบ่งประเภทของผิวถนนแห้งแบบ N-Classification

ประเภท	S1	S1 มาตรฐาน	Q_0 ปกติ
N1	S1 < 0.28	0.18	0.10
N2	0.28 ≤ S1 < 0.60	0.41	0.07
N3	0.60 ≤ S1 < 1.30	0.88	0.07
N4	1.30 ≤ S1	1.61	0.08

โดยจะแบ่งประเภทผิวถนนแห้ง ออกเป็น R-Classification และ N- Classification ซึ่งแต่ละประเภทแบ่งออกเป็น 4 Class ดังนี้

ตารางที่ 2-7 การแบ่ง Class ของผิวถนน

Class	Materials
I	- Asphaltic type road surface containing either at least 15 percent artificial brightener or at least 30 percent very bright anorthosites. - Surface dressings containing chippings that cover over 80 percent of the road surface , where the chippings mainly consist of either artificial brightener or are 100 percent very bright anorthosites. - Concrete road surfaces.
II	- Surface dressings having a harsh texture and containing normal aggregates. - Asphaltic surfaces containing 10 to 15 percent artificial brighteners. - Coarse and harsh asphaltic concrete , rich in gravel (> 60 %) of sizes up to or greater than 10 mm. - New condition mastic asphalt.
III	- Asphaltic concrete (cold asphalt , mastic asphalt) having gravel sizes up to 10 mm , but of a harsh texture (similar to sand paper). - Polished , coarse textured , surface dressings.
IV	- Mastic asphalt after some months of use. - Road surfaces having a rather smooth or polished texture.

ตารางที่ 2-8 การแบ่งประเภทของผิวถนนแบบ C-Classification

ประเภท	S1	S1 มาตรฐาน	Q_0 ปกติ
C1	S1 < 0.4	0.24	0.10
C2	S1 ≥ 0.85	0.97	0.07

ตารางที่ 2-9 การแบ่งประเภทของผิวถนนเปียกแบบ W-Classification

ประเภท	$S1'$	Q_0 ปกติ
W1	$S1' < 9.6$	0.11
W2	$9.6 \leq S1' < 26.5$	0.15
W3	$26.5 \leq S1' < 73$	0.20
W4	$73 \leq S1'$	0.25

โดยที่ ถ้า S1 > 1

$$\log(S1'/0.147) = \frac{\log(S1/0.147)}{1 - Q_0/0.687}$$

ถ้า S1 ≤ 1

$$S1' = S1$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

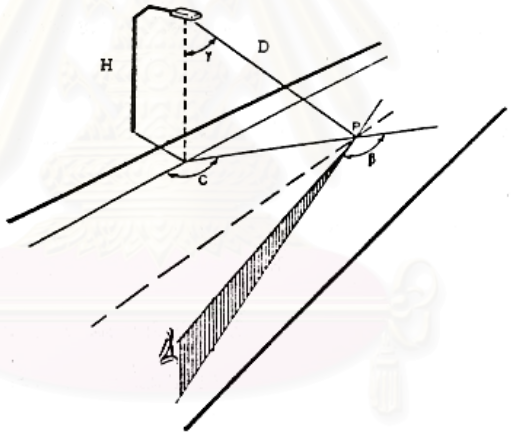
บทที่ 3

การคำนวณไฟแสงสว่างถนน

การคำนวณแสงสว่างบนพื้นถนนที่กล่าวถึงในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้ วิธีจุดต่อจุด(Point By Point) โดยจะให้ผลลัพธ์ที่มีรายละเอียดและมีความแม่นยำ เนื่องจากวิธีการดังกล่าว สามารถใช้ตรวจสอบความสม่ำเสมอ ตรวจสอบความสว่างและความส่องสว่างที่จุดใดๆ ที่ต้องการได้สิ่งสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงคือ ปริมาณแสง และคุณภาพของแสงบนพื้นถนน

3.1 การคำนวณค่าความสว่างและค่าความส่องสว่าง

3.1.1 ระบบเสาธรรมดา (กรณีทางตรง)

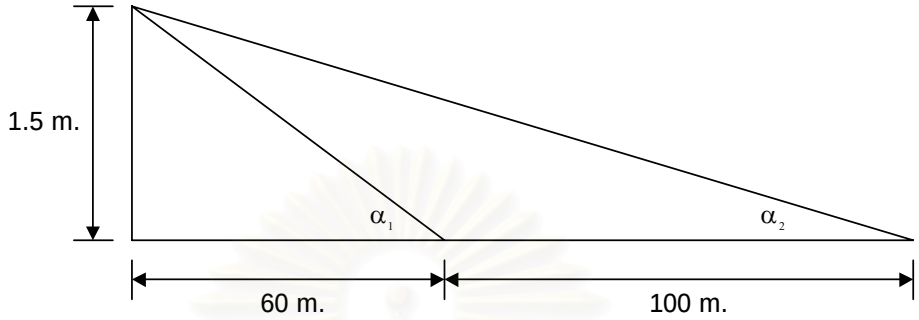


รูปที่ 3-1 ตำแหน่งของโคม ผู้สังเกต และจุดที่พิจารณาบนผิวถนน

ให้

$I(C,\gamma)$	=	Luminous Intensity ของดวงโคมที่มุมγ บนระนาบ C
$q(\beta,\gamma)$	=	Luminace Coefficient บนผิวถนน
$R(\beta,\gamma)$	=	Reduced Luminance Coefficient
H	=	ความสูงของดวงโคม
β	=	มุมของระนาบแสงสะท้อนกับระนาบที่มอง
γ	=	มุมของแนวแสงที่ใช้วัดข้อมูล I กับแนวดิ่ง
C	=	มุมของระนาบ ณ จุดที่พิจารณา
α	=	มุมของแนวที่มองกับแนวระดับ

ในทางปฏิบัติ ระยะจากผู้มองถึงจุดที่พิจารณาจะอยู่ระหว่าง 60 เมตรถึง 160 เมตร และผู้มองอยู่สูงจากพื้น 1.5 เมตร ดังรูปที่ 3-2 จึงได้มุม α อยู่ระหว่าง 0.53 ถึง 1.43 องศา มาตรฐาน CIE จึงกำหนดให้ค่ามุม α เป็นค่าเฉลี่ยซึ่งมีค่าคงที่ที่ 1 องศา



รูปที่ 3-2 การกำหนดค่ามุมของแนวมองกับแนวระดับ

จากรูปที่ 3-1

ค่าความสว่าง ที่จุด P บนผิวถนน

$$Ep = \frac{I(C,\gamma)\cos(\gamma)}{D^2} \qquad \text{โดยที่} \qquad D = \frac{H}{\cos(\gamma)}$$

ดังนั้น
$$Ep = \frac{I(C,\gamma)\cos^3(\gamma)}{H^2} \quad \text{Lux} \qquad (3.1)$$

ค่าความส่องสว่าง ที่จุด P บนผิวถนน

$$Lp = q(\beta,\gamma)Ep$$

$$= \frac{q(\beta,\gamma)I(C,\gamma)\cos^3(\gamma)}{H^2}$$

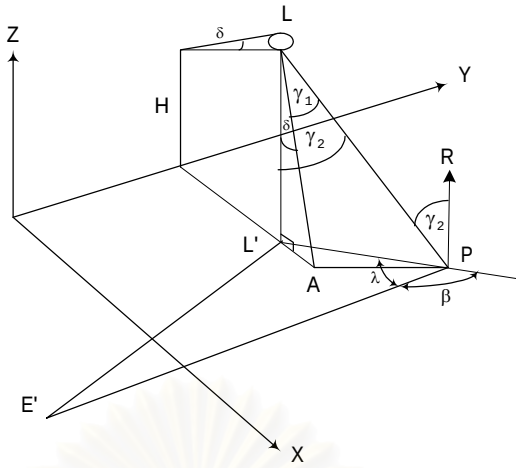
โดยที่
$$R(\beta,\gamma) = q(\beta,\gamma)\cos^3(\gamma)$$

ดังนั้น
$$Lp = \frac{R(\beta,\gamma)I(C,\gamma)}{H^2} \quad \text{cd/m}^2 \qquad (3.2)$$

แต่โดยทั่วไป การติดตั้งโคมจะมีค่ามุมเงย (Tilt Angle) เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ดังรูปที่ 3-3 ทำให้มุม γ ในสมการที่ 3.1 และ 3.2 เปลี่ยนไปเป็น γ_1 และ γ_2

ดังนั้น
$$Ep = \frac{I(C,\gamma_1)\cos^3(\gamma_2)}{H^2} \quad \text{Lux} \qquad (3.3)$$

$$Lp = \frac{R(\beta,\gamma_2)I(C,\gamma_1)}{H^2} \quad \text{cd/m}^2 \qquad (3.4)$$



รูปที่ 3-3 การคำนวณมุม $\gamma_1, \gamma_2, \beta$

ให้ Lx = ตำแหน่งของโคมไฟตามแกน X

Ly = ตำแหน่งของโคมไฟตามแกน Y

Ax = ตำแหน่งจุดเล็งของโคมไฟตามแกน X

Ay = ตำแหน่งจุดเล็งของโคมไฟตามแกน Y

E′x = ตำแหน่งของผู้สังเกตตามแกน X ในระนาบ XY

E′y = ตำแหน่งของผู้สังเกตตามแกน Y ในระนาบ XY

Px = ตำแหน่งของจุดที่พิจารณาบนพื้นถนนตามแกน X

Py = ตำแหน่งของจุดที่พิจารณาบนพื้นถนนตามแกน Y

จากสมการที่ 3.3 และ 3.4 มุมที่เราพิจารณาคือมุม $\beta, \gamma_1, \gamma_2, C$ ดังนั้น รูปที่ 3-3 พิจารณา $\Delta L'PE'$

$$L'P = \sqrt{(L'x - Px)^2 + (L'y - Py)^2}$$

$$PE' = \sqrt{(Px - E'x)^2 + (Py - E'y)^2}$$

$$E'L' = \sqrt{(E'x - L'x)^2 + (E'y - L'y)^2}$$

$$\cos\lambda = \frac{L'P^2 + PE'^2 - E'L'^2}{2 \cdot L'P \cdot PE'} \tag{3.5}$$

$$\beta = 180^\circ - \lambda \tag{3.6}$$

พิจารณา ΔAPL

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

$$PL = \sqrt{(Px - Lx)^2 + (Py - Ly)^2 + H^2}$$

$$LA = \frac{H}{\cos(\delta)}$$

$$\cos\gamma_1 = \frac{LA^2 + PL^2 - AP^2}{2 \cdot LA \cdot PL} \tag{3.7}$$

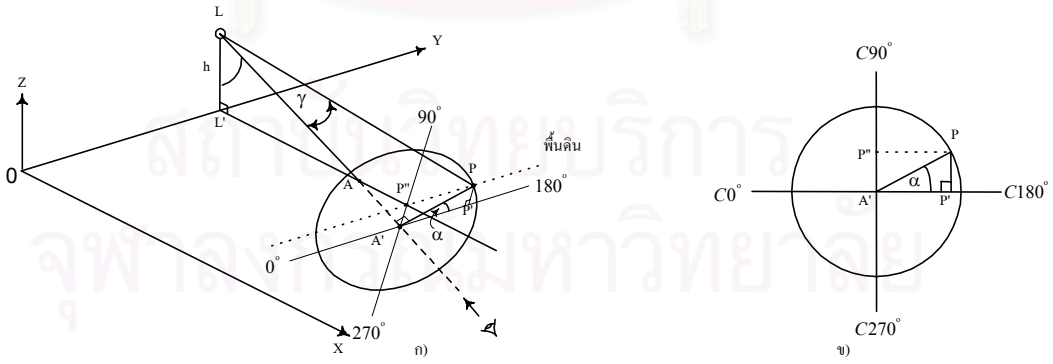
เมื่อ R เป็นเวกเตอร์ 1 หน่วย ที่มีทิศทางตั้งฉากกับ ระนาบ X-Y

$$LR = \sqrt{(Lx - Rx)^2 + (Ly - Ry)^2 + (H - Rz)^2}$$

$$PR = \sqrt{(Px - Rx)^2 + (Py - Ry)^2 + (Rz)^2}$$

$$\cos\gamma_2 = \frac{PL^2 + PR^2 - LR^2}{2 \cdot PL \cdot PR} \tag{3.8}$$

สำหรับการคำนวณมุม C นั้นเนื่องจากมีมุมเล็งเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ระนาบมุม C ที่จุดเล็งและจุดคำนวณไม่ตั้งฉากกับพื้นที่ ดังนั้นจึงต้องลากเส้นต่อจากเส้น LA จนกระทั่งตั้งฉากกับเส้นตรงที่ลากจากจุด P ที่จุด A′ แล้วสร้างเป็นรูปกรวยโดยให้จุด A′ เป็นจุดศูนย์กลางดังรูปที่ 3-4



รูปที่ 3-4 ก) และ ข) การคำนวณมุม C

จากรูปที่ 3-4 เมื่อพิจารณาวงกลมซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน โดยกำหนดมุม C ดังรูป จะสามารถคำนวณมุม C ได้ดังนี้

$$C = 180^{o} - \alpha \qquad \text{(กรณีนี้เท่านั้น)} \qquad (3.9)$$

พิจารณา $\Delta A'P'P$ จะได้

$$PA' = LP \sin\gamma$$

$$P'A' = PP'' = Py - Ay = Py - Ly$$

$$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{P'A'}{PA'}\right) \qquad (3.10)$$

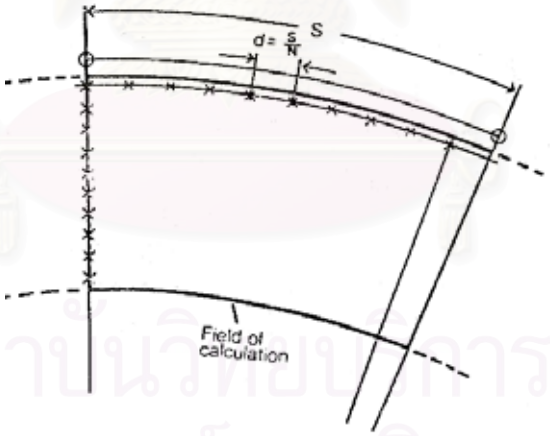
$$\therefore \alpha = \cos^{-1}\left(\frac{Py - Ly}{LP \sin\gamma}\right) \qquad (3.11)$$

$$\therefore C = 180 - \alpha \qquad \text{(กรณีนี้เท่านั้น)}$$

จากค่า C และมุม γ_1 นำไปคำนวณหาค่า Luminous Intensity จากตาราง I ของดวงโคม

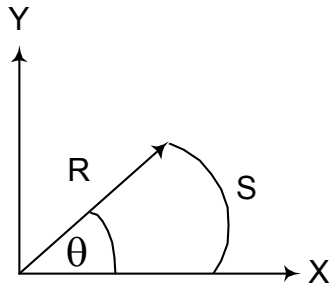
β และมุม γ_2 นำไปคำนวณหาค่า Reflection Coefficient จากตาราง R ของผิวถนนที่กำหนด แล้วนำไปคำนวณหาค่าความสว่างและความส่องสว่างที่จุด P ต่อไป

3.1.2 ระบบเสาธรรมดา (กรณีทางโค้ง)



รูปที่ 3-5 จุดที่ต้องคำนวณภายในพื้นที่ที่ต้องการ

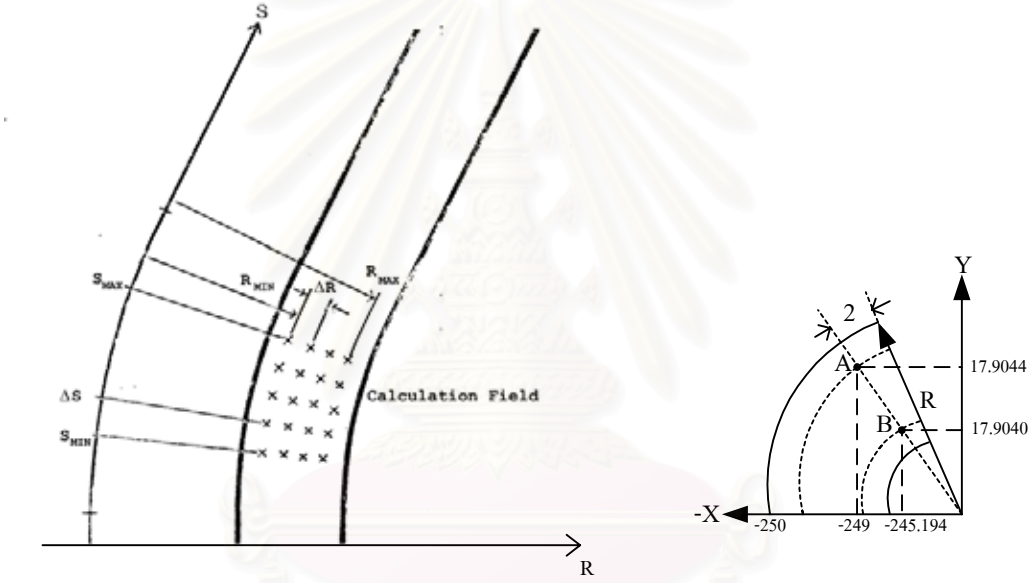
โดยเงื่อนไขในการกำหนดจุดที่จะคำนวณ จะคิดเช่นเดียวกับที่ใช้ในกรณีของทางตรง ในกรณีทางตรงจะพิจารณาในระบบ Rectangular Coordinate แต่ในกรณีทางโค้งจะใส่ข้อมูลในระบบ R-S axis ดังรูปที่ 3-5 แล้วจึงแปลงจากระบบ R-S axis เป็นระบบ Rectangular Coordinate



รูปที่ 3-6 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ระบบ

ตัวอย่างเช่น

พิจารณาถนนโค้ง ที่มีค่า S เท่ากับ 60 - 80 เมตร และมีรัศมีความโค้ง 250 เมตร ถนนมี 3 ช่องวิ่ง กว้าง 10.5 เมตร ดังรูปที่ 3-7



รูปที่ 3-7 การกำหนดระยะ R และ ระยะ S

จากโจทย์ จะได้ระยะ S_{min} = 60 m. S_{max} = 80 m.

เนื่องจาก S < 50 m : N = 10

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

ถนน 1 ช่องวิ่งกว้าง $W = \frac{10.5}{3} = 3.5$ m.

ระยะตามขวางที่จุด A เท่ากับ $\frac{1}{10} x 3.5 = 0.35$ m.

ที่จุด A

S' = 18

R = 250-0.35 = 249.65

แปลงเป็นระบบ X-Y Coordinate ได้ดังนี้

$$\theta = \frac{18}{249.65}$$

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

$$Y = R\sin\theta = 249.65\sin\left(\frac{18}{249.65}\right) = 17.9844$$

ที่จุด B

R = 250-3.15 = 246.85

แปลงเป็นระบบ X-Y Coordinate ได้ดังนี้

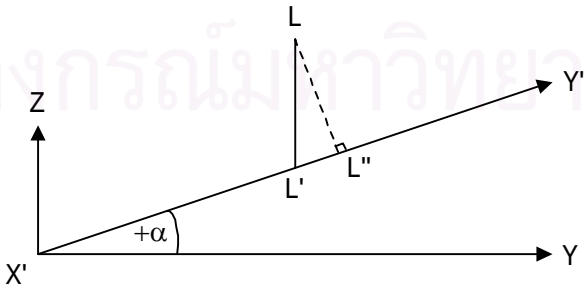
$$X = R\cos\theta = 246.85\cos(\frac{18}{249.65}) = 246.2086$$

$$Y = R\sin\theta = 246.85\sin(\frac{18}{249.65}) = 17.7827$$

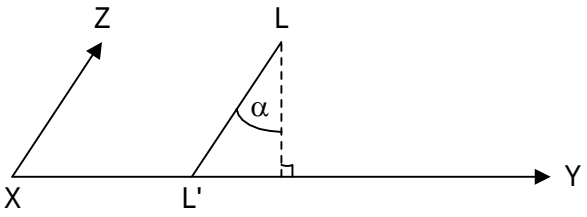
เมื่อทราบตำแหน่งของจุดที่ต้องการในระบบ X-Y Coordinate แล้ว จึงทำการคำนวณค่าต่างๆดังที่ได้กล่าวมาในหัวข้อที่ผ่านมา

3.1.3 ระบบเสาธรรมดา (กรณีถนน Ramp Up และ Ramp Down)

เราจะเปลี่ยนระนาบที่ทำการคำนวณเป็นระนาบบนพื้นเอียง เนื่องจากจุด L เดิม (Lx,Ly,Lz) เป็นจุดที่เทียบกับระนาบบนพื้นราบ เราจึงต้องหาค่า L ใหม่ (Lx',Ly',Lz') ที่เทียบกับระนาบบนพื้นเอียง ดังรูปที่ 3-8



รูปที่ 3-8 ระนาบบนพื้นเอียง

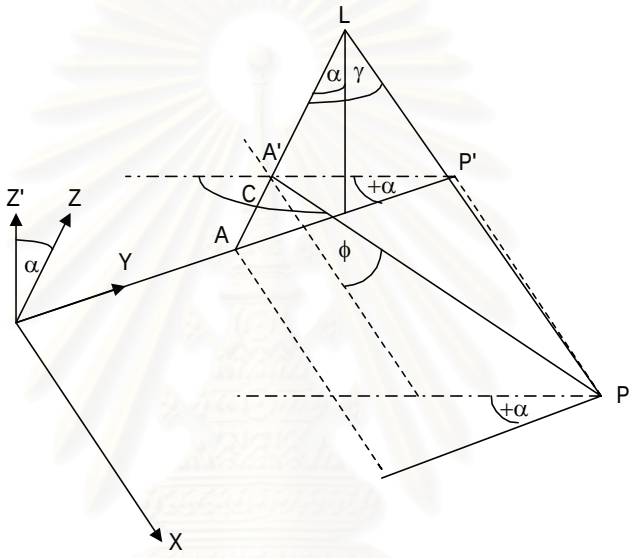


รูปที่ 3-9 ระนาบเอียงมองเสมือนพื้นราบ

โดย $Lx' = Lx$ (3.12)

$Ly' = Ly + Lz \sin\alpha$ (3.13)

$Lz' = Lz \cos\alpha$ (3.14)



รูปที่ 3-10 การคำนวณมุมต่างๆ

พิจารณา ΔAPL

$$LA = Lz$$

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

$$PL = \sqrt{(Lx - Px)^2 + (Ly + Lz\sin\alpha - Py)^2 + (Lz\cos\alpha)^2}$$

$$\cos\gamma = \frac{PL^2 + LA^2 - AP^2}{2 \cdot LA \cdot PL} \quad (3.15)$$

พิจารณา ΔA′P′P

$$AP' = Py - Ay$$

$$P'P = Px - Ax$$

$$A'P' = AP' \cos\alpha$$

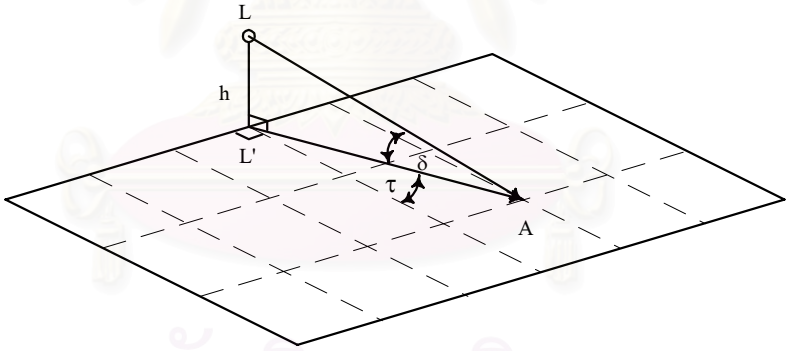
$$Tan\varphi = \frac{A'P'}{P'P} = \frac{(Py - Ay)\cos\alpha}{(Px - Ax)} \tag{3.16}$$

$$C = 90^{o} + \varphi \qquad \text{(กรณีนี้เท่านั้น)} \tag{3.17}$$

3.1.4 ระบบเสาสูง (High Mast System)

3.1.4.1 ลักษณะการติดตั้งโคม

การติดตั้งโคมด้วยระบบเสาสูง (High Mast System) ในแต่ละเสาจะมีจำนวนโคม มากกว่า 1 โคมเล็งไปยังจุดต่างๆกัน ตามลักษณะของถนนและความส่องสว่างที่ต้องการ เพื่อให้ได้จุดเล็งตามที่กำหนดนั้นเป็นสิ่งที่ค่อนข้างยุ่งยาก การติดตั้งโคมอาจจะใช้กล้องติดตั้งที่ตัวโคมแล้วเล็งโคมไปยังจุดที่ต้องการโดยอาศัยกล้องที่ติดตั้งนั้นซึ่งการติดตั้งจะกระทำบนเสาโดยตรง หรือจะใช้วิธีทำการปรับโคมก่อนนำไปติดตั้งบนเสา โดยอาศัยมุมเล็ง (δ) และมุมหัน (τ) เป็นตัวกำหนดเพื่อให้ได้จุดเล็งที่ต้องการ ดังรูปที่ 3-11

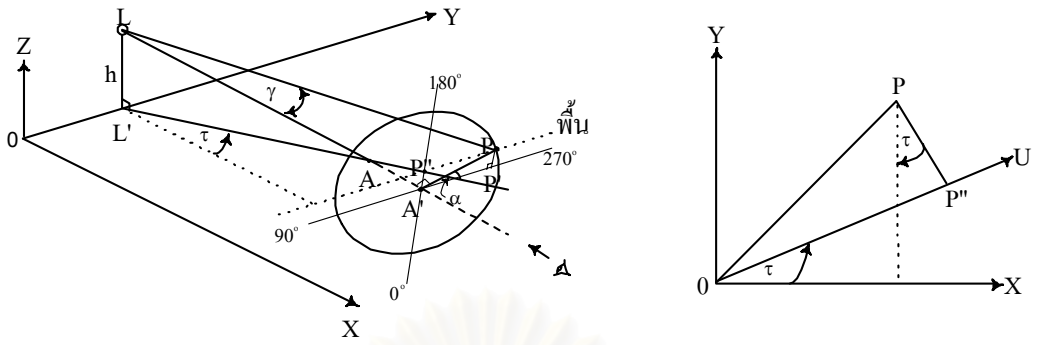


รูปที่ 3-11 การปรับตั้งโคม โดยอาศัยมุมเล็ง (δ) และ มุมหัน (τ)

3.1.4.2 กรณีที่มุมหัน (τ) เป็นศูนย์

จะคำนวณหาค่าต่างๆเหมือนกรณีระบบเสาธรรมดาแต่ไม่คิดมุมเงย

3.1.4.3 กรณีที่มุมหัน (τ) ไม่เป็นศูนย์



รูปที่ 3-12 การคำนวณมุม C และมุมγ ในกรณีมุมหันไม่เท่ากับศูนย์

$$\cos\gamma = \frac{LA^2 + PL^2 - AP^2}{2 \bullet LA \bullet PL} \tag{3.18}$$

$$\tau = \tan^{-1}\frac{Ay - Ly}{Ax - Lx} \tag{3.19}$$

$$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{P'A'}{PA'}\right) \tag{3.20}$$

$$PA' = LP\sin\gamma \tag{3.21}$$

$$P'A' = PP''$$

$$PP'' = (\Delta Y_P - \Delta X_P \tan\tau)\cos\tau$$

$$= \Delta Y_P \cos\tau - \Delta X_P \sin\tau \tag{3.22}$$

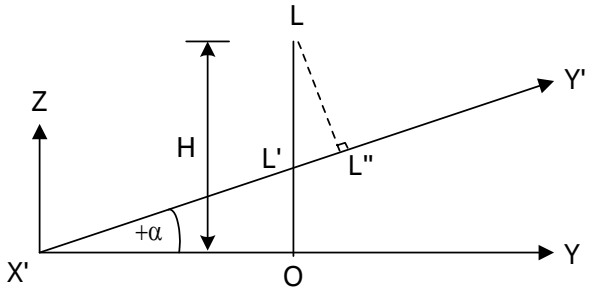
$$\therefore \quad \alpha = \cos^{-1}\frac{(\Delta Y_P \cos\tau - \Delta X_P \sin\tau)}{LP\sin\gamma} \tag{3.23}$$

จากรูปที่ 3-12 เมื่อพิจารณาวงกลมซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน โดยกำหนดมุม C ดังรูป จะสามารถคำนวณมุม C ได้ดังนี้

$$C = 270^{\circ} - \alpha \qquad \text{(กรณีนี้เท่านั้น)} \tag{3.24}$$

3.1.5 กรณีที่ถนน Ramp Up และ Ramp Down

เนื่องจากระบบ High Mast เสาไฟจะติดตั้งที่พื้นราบ ไม่ได้ติดตั้งตามลักษณะถนนที่มีการ Ramp up หรือ Ramp Down เพราะฉะนั้นถ้าเราคิดที่ระนาบพื้นเอียง ความสูงของเสาไฟจะมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะทาง $X'L'$



รูปที่ 3-13 การคำนวณค่า Lz'

$$L'O = X'L' \sin\alpha \tag{3.25}$$

$$Lz = H - L'O \tag{3.26}$$

$$Lz' = Lz \cos\alpha \tag{3.27}$$

3.2 คุณลักษณะความส่องสว่าง

ในการคำนวณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (L_{av}) จะต้องรู้ค่าความส่องสว่างของจุดที่ต้องคำนวณทุกจุดและจำนวนจุดที่คำนวณ สำหรับการคำนวณค่าความสม่ำเสมอรวม (Overall Uniformity ,U_0) และความสม่ำเสมอตามแนวยาว (Longitudinal Uniformity ,U_l) จะต้องรู้ค่าความส่องสว่างต่ำสุดและสูงสุด ซึ่งอาจจะเป็นจุดใดๆก็ได้ ภายในพื้นที่ที่ต้องคำนวณ โดยการเปรียบเทียบค่าแบบจุดต่อจุด เมื่อได้ค่าดังกล่าวแล้วจึงนำมาหาค่าต่างๆดังนี้

$$L_{av} = \frac{L_{sum}}{N} \tag{3.28}$$

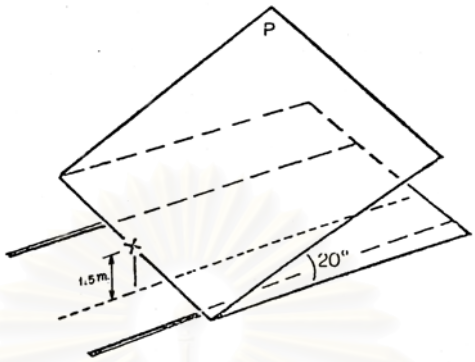
$$U_0 = \frac{L_{min}}{L_{av}} \tag{3.29}$$

$$U_l = \frac{L_{min}}{L_{max}} \tag{3.30}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 การคำนวณระดับแสงจ้า

การคำนวณ Disability Glare



รูปที่ 3-14 ช่วงมุมที่จะพิจารณาในการคำนวณ Disability Glare

โดยคิดว่าผู้ขับขี่ยวดยานมองผิวถนนตรงจุดที่อยู่ห่างออกไป 90 เมตร และโคมไฟที่อยู่ภายในมุมยกขึ้น 20 องศากับแนวราบ จะถูกนำมาคิดค่า L_v ทั้งหมด เนื่องจากเป็นมุมสูงสุดที่ตาของผู้ขับขี่สามารถมองเห็นโคมไฟโดยไม่มีหลังคารถบัง ตามมาตรฐาน CIE ดังรูปที่ 3-14

ตำแหน่งผู้สังเกตจะอยู่ที่ตำแหน่งห่างจากพื้นที่ที่จะพิจารณาทำมุมกับโคมแรก 20 องศา

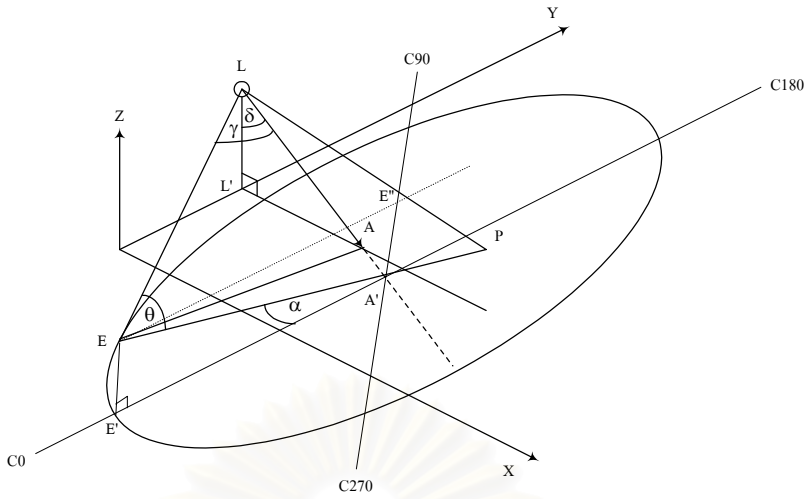
$$Ey = Ly - \frac{H - 1.5}{Tan20^{o}} \tag{3.31}$$

$$Px = Ex \tag{3.32}$$

$$Py = Ey + 90 \tag{3.33}$$

คำนวณหามุมθ ของดวงโคม ถ้ามุมθ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 องศา จะนำโคมนั้นมาพิจารณาหา L_v โดยจะหาค่า L_v จนกระทั่งค่า L_v ของโคมที่พิจารณามีค่าน้อยกว่า 2 % ของค่า L_v รวมของแถวนั้น

โดย
$$Tan\theta = \frac{H - 1.5}{Ly - Ey} \tag{3.34}$$



รูปที่ 3-15 การคำนวณมุม C และ γ

จากรูปที่ 3-15 พิจารณาที่ ΔLAE

$$LA = \frac{H}{\cos\delta}$$

$$EL = \sqrt{(Lx - Ex)^2 + (Ly - Ey)^2 + (H - 1.5)^2}$$

$$EA = \sqrt{(Ex - Ax)^2 + (Ey - Ay)^2 + 1.5^2}$$

$$\cos\gamma = \frac{LA^2 + EL^2 - EA^2}{2 \cdot LA \cdot EL} \tag{3.35}$$

พิจารณา ΔA′E′E จะได้

$$EA' = LE\sin\gamma$$

$$E'A' = EE'' = Ey - Ay = Ey - Ly$$

$$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{E'A'}{EA'}\right)$$

$$\therefore \quad \alpha = \cos^{-1}\left(\frac{Ey - Ly}{LE\sin\gamma}\right) \tag{3.36}$$

จะสามารถหาค่ามุม C ได้ดังนี้

$$C = \alpha \qquad \text{(เฉพาะกรณีนี้เท่านั้น)} \tag{3.37}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณหาค่า Veiling Luminance

คำนวณหาค่า Illuminance จากโคมในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการมองของผู้สังเกตได้จาก

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

โดยที่ D คือระยะ LE

พิจารณาที่ ΔLPE

$$LP = \sqrt{H^2 + (Lx - Px)^2 + (Ly - Py)^2}$$

$$LE = \sqrt{(Lx - Ex)^2 + (Ly - Ey)^2 + (H - 1.5)^2}$$

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

$$\cos\theta = \frac{LE^2 + PE^2 - LP^2}{2 \cdot LE \cdot PE} \qquad (3.38)$$

ดังนั้นสามารถหาค่า Veiling Luminance (L_v) ได้จาก

$$L_v = 0.003\sum_{i=1}^{n}\frac{E_{vi}}{\theta^2} \qquad (\theta \text{ in radians}) \qquad (3.39)$$

$$L_v = 10\sum_{i=1}^{n}\frac{E_{vi}}{\theta^2} \qquad (\theta \text{ in degrees}) \qquad (3.40)$$

โดยที่ n เป็นจำนวนโคมทั้งหมดที่ถูกพิจารณาภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดตามที่ได้กล่าวมาแล้ว

ดังนั้น สามารถหาค่า Threshold Increment (TI%) ได้จาก

$$TI = \frac{65 \cdot L_v}{(L_{av})^{0.8}} \% \qquad (3.41)$$

โดยที่ค่า L_{av} เป็นค่า Average Luminance ในบริเวณที่พิจารณา

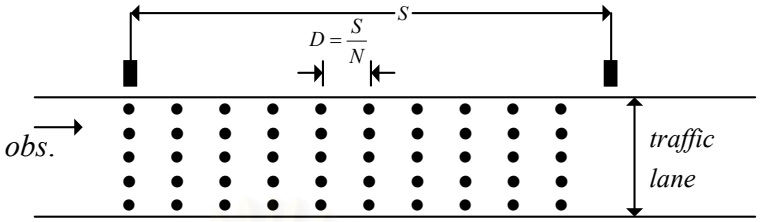
การคำนวณ Discomfort Glare (G)

$$G = 13.84 - 3.31\log I_{80} + 1.3\log(I_{80}/I_{88})^{0.5} - 0.08\log(I_{80}/I_{88}) + 1.29\log F + C$$
$$+ 0.97\log L_{av} + 4.41\log h' - 1.46\log p \qquad (3.42)$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 รายละเอียดพื้นที่

พื้นที่ที่ต้องคำนวณค่าต่างๆ



รูปที่ 3-16 จุดที่ต้องคำนวณภายในพื้นที่ที่ต้องการ

โดยที่

S = ระยะห่างระหว่างโคมในแนวเดียวกัน

D = ระยะห่างระหว่างจุดที่ต้องการคำนวณ

N = จำนวนจุดที่ต้องคำนวณ

ถ้า $S \le 50m : N = 10$

$S > 50m : D \le 5m$

ส่วนตามขวางถนนจะคำนวณ 5 จุด ต่อ 1 ช่องวิ่ง (Lane) โดยจุดแรกอยู่ห่างจากขอบถนนเท่ากับ 1/10 เท่าของความกว้างช่องวิ่ง และแต่ละจุดห่างกัน 2/10 เท่าของความกว้างช่องวิ่ง

ตำแหน่งจุดสังเกต

- แนวตามยาวถนนจะอยู่ห่างจากจุดแรกที่จะคำนวณ 60 m และสูงจากพื้นดิน 1.5 m
- แนวตามขวางถนน

  ถ้าคำนวณ L_{av} และ U_0 จะคิดที่จุดห่างจากขอบซ้ายของถนน เท่ากับ 1/4 ของความกว้างของถนน

  ถ้าคำนวณ U_l จะคิดที่จุดกึ่งกลางของแต่ละช่องวิ่ง

บทที่ 4

โปรแกรมประเมินคุณภาพความสว่างและความส่องสว่างไฟถนน

การคำนวณแสงสว่างไฟถนน วิธีการที่เหมาะสมที่จะใช้คำนวณ คือ วิธีจุดต่อจุด (Point by Point Method) ณ จุดต่างๆบนพื้นถนน การคำนวณโดยใช้มือจะทำให้มีความล่าช้าและอาจจะเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ ดังนั้นการนำเอาคอมพิวเตอร์มาใช้ในการคำนวณจึงช่วยประหยัดเวลาและมีความถูกต้องแม่นยำมาก โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้เขียนด้วยภาษา Delphi 5 นอกจากจะสามารถคำนวณความสว่าง ความส่องสว่าง และระดับแสงจ้าประเภทต่างๆของถนนตรงแล้ว ยังสามารถคำนวณความสว่าง ความส่องสว่าง และระดับแสงจ้าของถนนโค้งได้อีกด้วย การแสดงผลการคำนวณจะมีทั้ง ลักษณะที่เป็นตาราง ภาพลายเส้น ภาพแรเงา ภาพ Perspective และภาพ 3 มิติ โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

- ส่วนรับข้อมูล
- ส่วนประมวลผล
- ส่วนแสดงผล

4.1 ส่วนรับข้อมูล

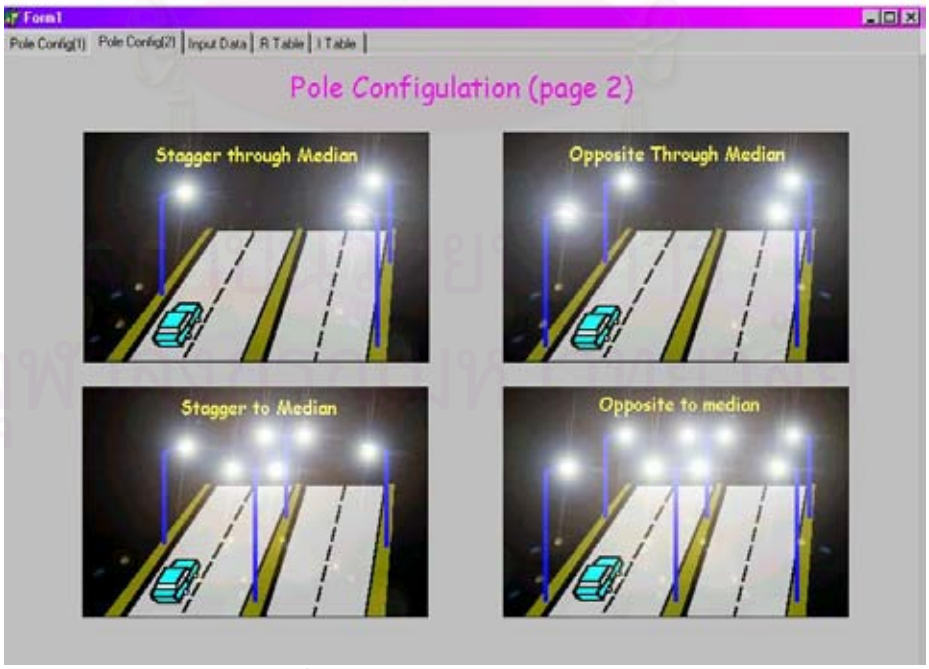
รูปที่ 4-1 หน้าจอแรกของโปรแกรม

จากรูปที่ 4-1 หน้าจอแรกของโปรแกรมจะมี 2 ส่วน ให้ผู้ใช้เลือก คือ

1. Conventional System
2. High Mast System

4.1.1 ระบบเสาธรรมดา (Conventional System)

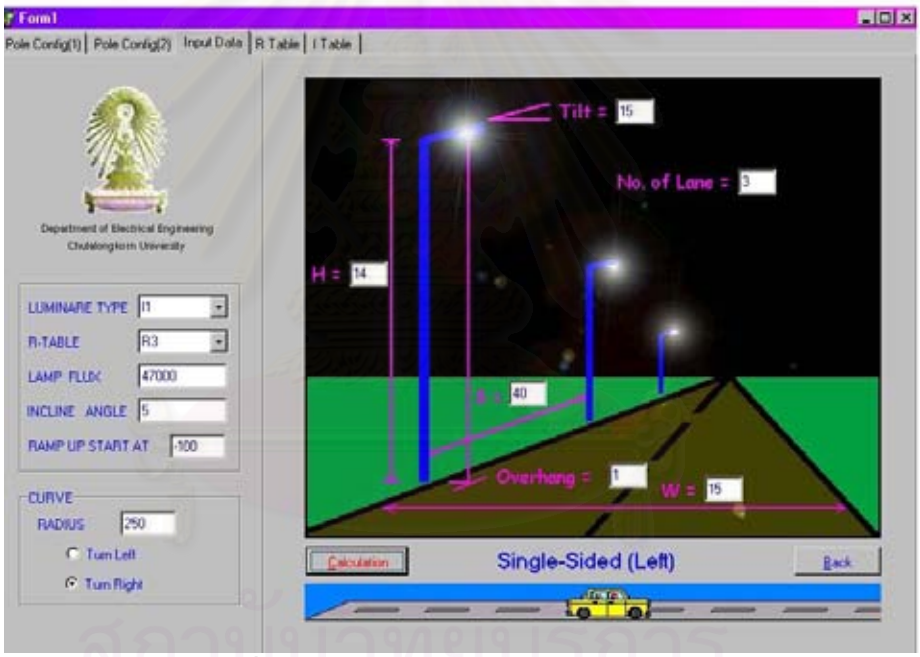
รูปที่ 4-2 Pole Configulation (page1)



รูปที่ 4-3 Pole Configulation (page2)

ถ้าเราเลือก Conventional System โปรแกรมจะเข้าสู่ส่วนของการติดตั้งเสาไฟถนนระบบเสาธรรมดา จากรูปที่ 4-2 และ รูปที่ 4-3 จะแสดงลักษณะการติดตั้งเสาไฟให้เลือก 9 แบบ ดังนี้

1. Single Sided (Left)
2. Single Sided (Right)
3. Opposite
4. Staggered
5. Median Only
6. Stagger Through Median
7. Opposite Through Median
8. Stagger To Median
9. Opposite To Median



รูปที่ 4-4 หน้าจอ Input Data ระบบเสาธรรมดา

จากรูปที่ 4-4 ผู้ใช้ต้องเลือก LUMINARE TYPE และ R-TABLE จากข้อมูลที่มีอยู่ในโปรแกรม และต้องระบุค่า LAMP FLUX และ INCLINE ANGLE

โดยถ้า INCLINE ANGLE เท่ากับ 0 หมายถึง ถนนอยู่บนพื้นราบธรรมดา

INCLINE ANGLE มากกว่า 0 หมายถึง ถนนเอียงขึ้น

ผู้ใช้จะต้องระบุตำแหน่งที่ถนนเริ่มเอียงขึ้นห่างจากจุดแรกที่พิจารณาโดยต้องน้อยกว่า –60 เมตร

INCLINE ANGLE น้อยกว่า 0 หมายถึง ถนนเอียงลง

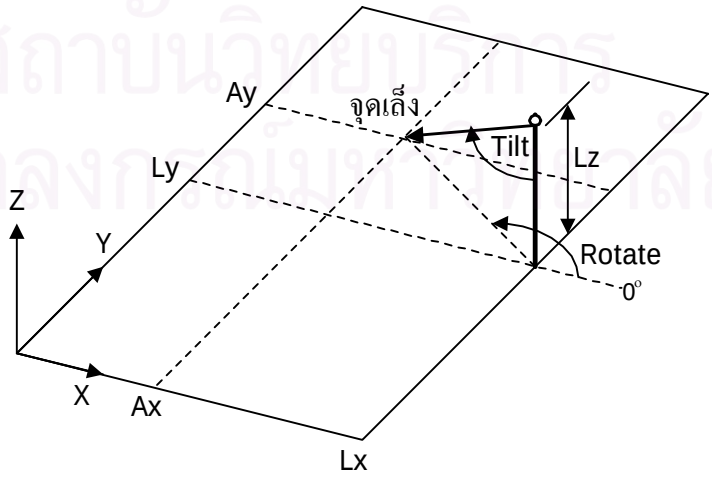
ผู้ใช้จะต้องระบุตำแหน่งที่ถนนเริ่มเอียงลงห่างจากจุดแรกที่พิจารณาโดยต้องมากกว่า 1 ช่วง Space

ส่วน CURVE ถ้าผู้ใช้ต้องการพิจารณาถนนตรง RADIUS จะเท่ากับ 0 หรือไม่ใส่ก็ได้ แต่ถ้าผู้ใช้ต้องการพิจารณาถนนโค้ง จะต้องใส่ค่า RADIUS และเลือกว่า ถนนเลี้ยวซ้ายหรือเลี้ยวขวา

4.1.2 ระบบเสาสูง (High Mast System)

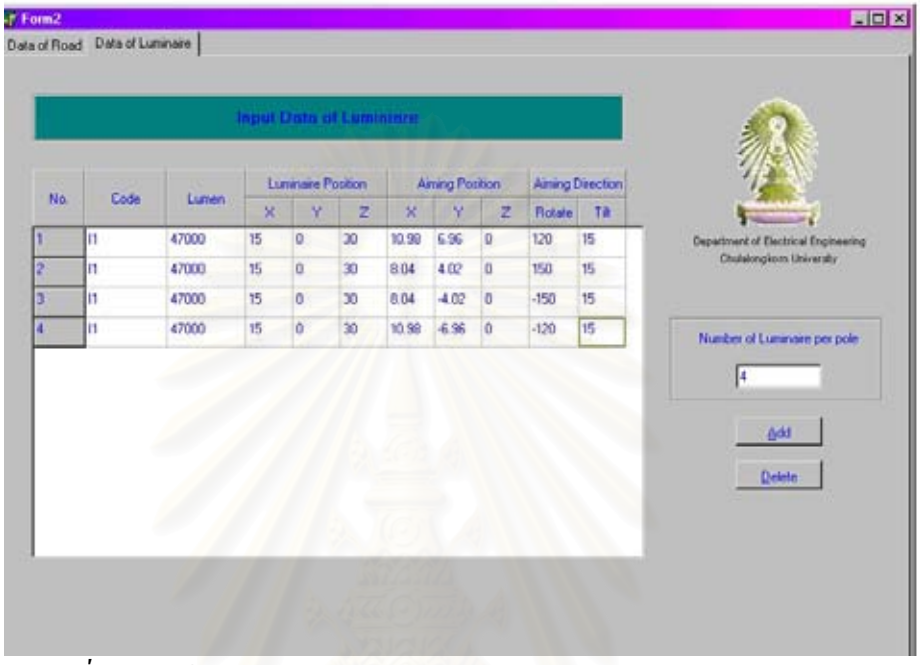
รูปที่ 4-5 หน้าจอ Input Data ระบบเสาสูง (กรณีทางตรง)

จากรูปที่ 4-5 ผู้ใช้จะใส่ข้อมูลเหมือนกับกรณีระบบเสาธรรมดา แต่จะมีส่วนที่เพิ่มเติมมาดังแสดงในรูปที่ 4-7

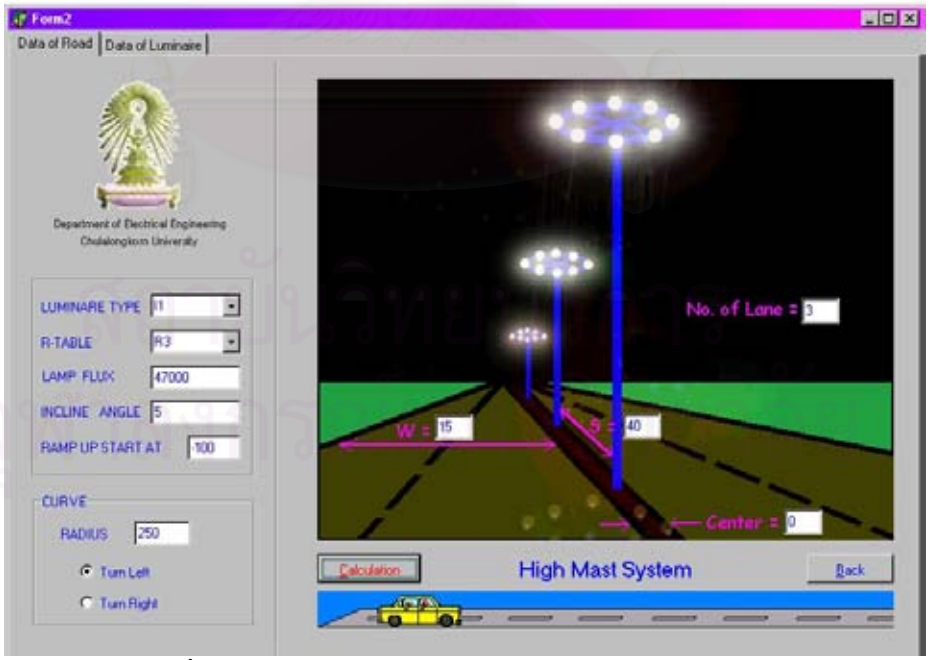


รูปที่ 4-6 ข้อมูลที่ใช้ป้อนในหน้าจอ Input Data of Luminaire (กรณีทางตรง)

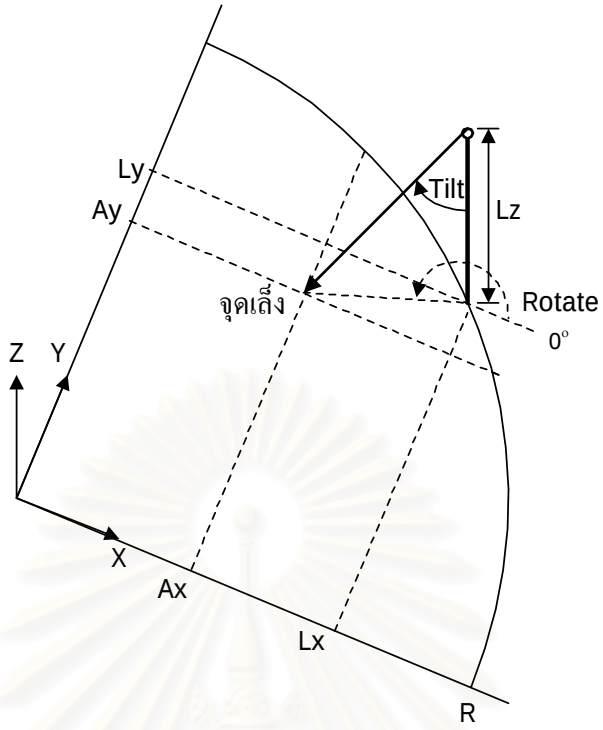
โดยที่ผู้ใช้ต้องใส่ข้อมูลในส่วนของ Luminaire Position ให้ครบ ส่วนในส่วนของ Aiming Position และ Aiming Direction ผู้ใช้จะเลือกใส่ข้อมูลในส่วนใดส่วนหนึ่งก็ได้ โปรแกรมจะคำนวณส่วนที่เหลือให้โดยอัตโนมัติ จำนวนโคมไฟที่ปรากฏในตารางจะเป็นจำนวนโคมไฟต่อ 1 เสาไฟเท่านั้น



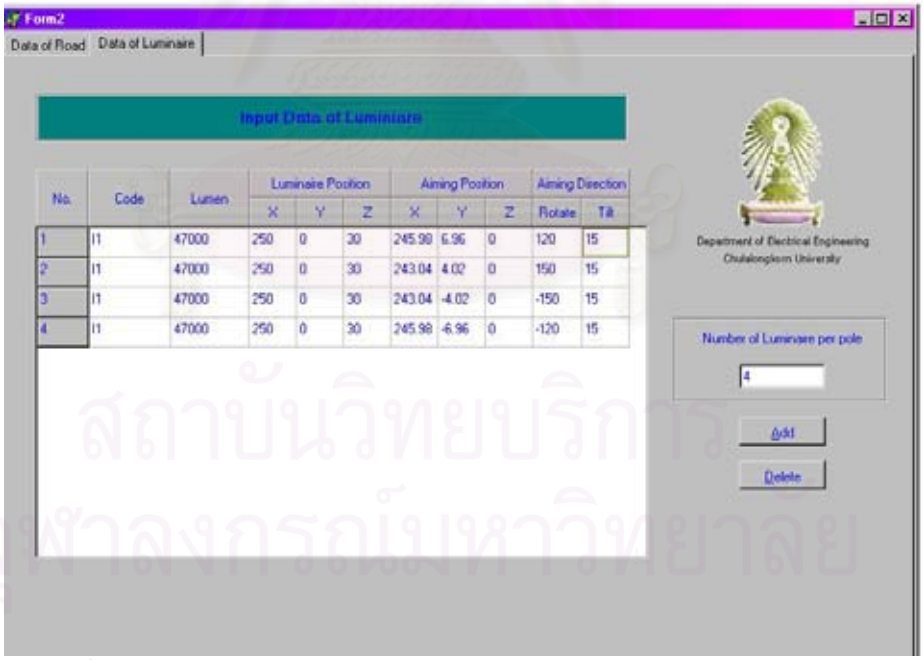
รูปที่ 4-7 หน้าจอ Input Data of Luminaire ของระบบเสาสูง (กรณีทางตรง)



รูปที่ 4-8 หน้าจอ Input Data ระบบเสาสูง (กรณีทางโค้ง)



รูปที่ 4-9 ข้อมูลที่ใช้ป้อนในหน้าจอ Input Data of Luminaire (กรณีทางโค้ง)



รูปที่ 4-10 หน้าจอ Input Data of Luminaire ของระบบเสาสูง(กรณีทางโค้ง)

จากรูปที่ 4-10 ผู้ใช้จะต้องใส่ข้อมูลเหมือนกรณีของถนนตรง ซึ่งค่าที่แสดงจะเป็นค่าเทียบกับระนาบบนพื้นราบในระบบ X-Y System

4.2 ส่วนประมวลผล

4.2.1 ส่วนจัดเก็บข้อมูล

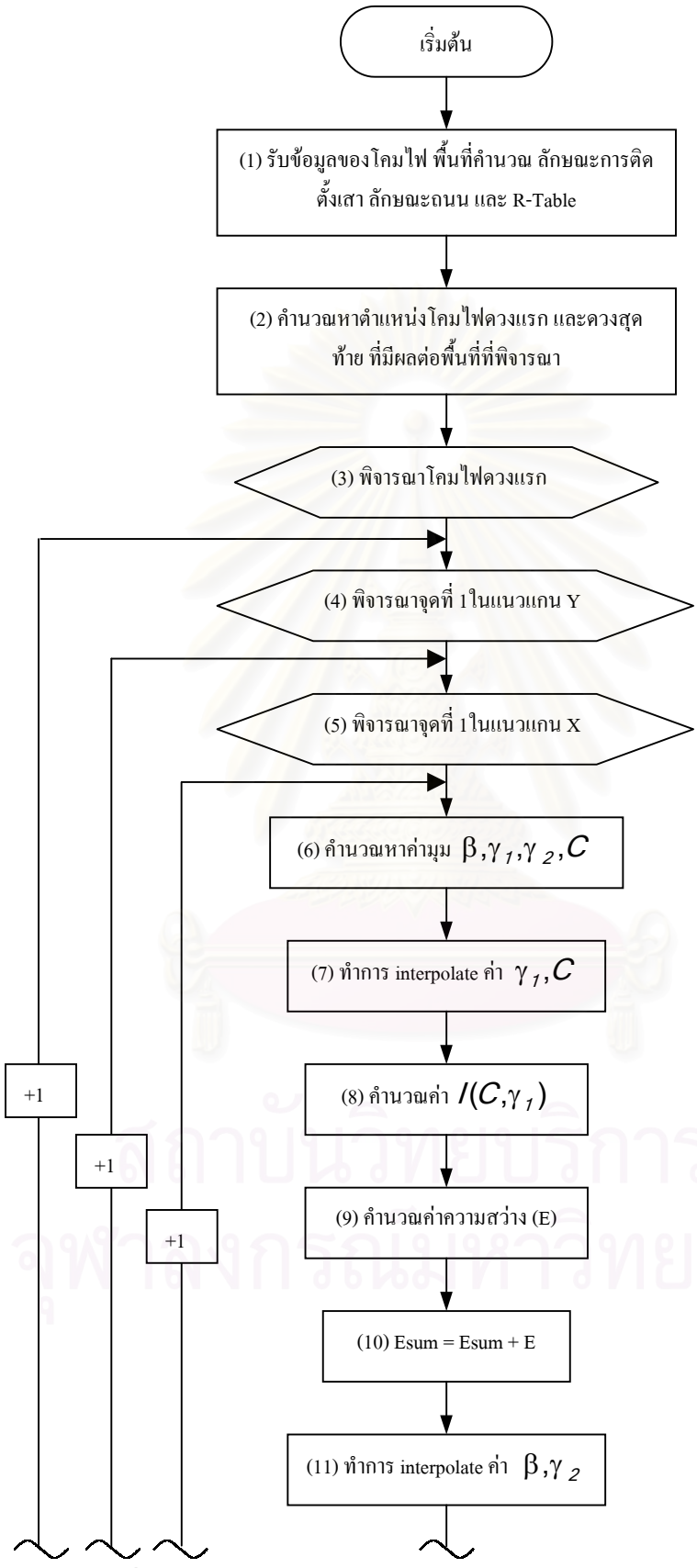
ข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคม และ R-TABLE จะมีการจัดเก็บไว้เป็นฐานข้อมูล ซึ่งสามารถนำออกมาใช้ได้โดยที่ไม่ต้องป้อนข้อมูลใหม่ทุกครั้งที่มีการคำนวณ นอกจากนี้ยังสามารถแก้ไขและเพิ่มเติมข้อมูลได้

4.2.2 ส่วนคำนวณผลลัพธ์

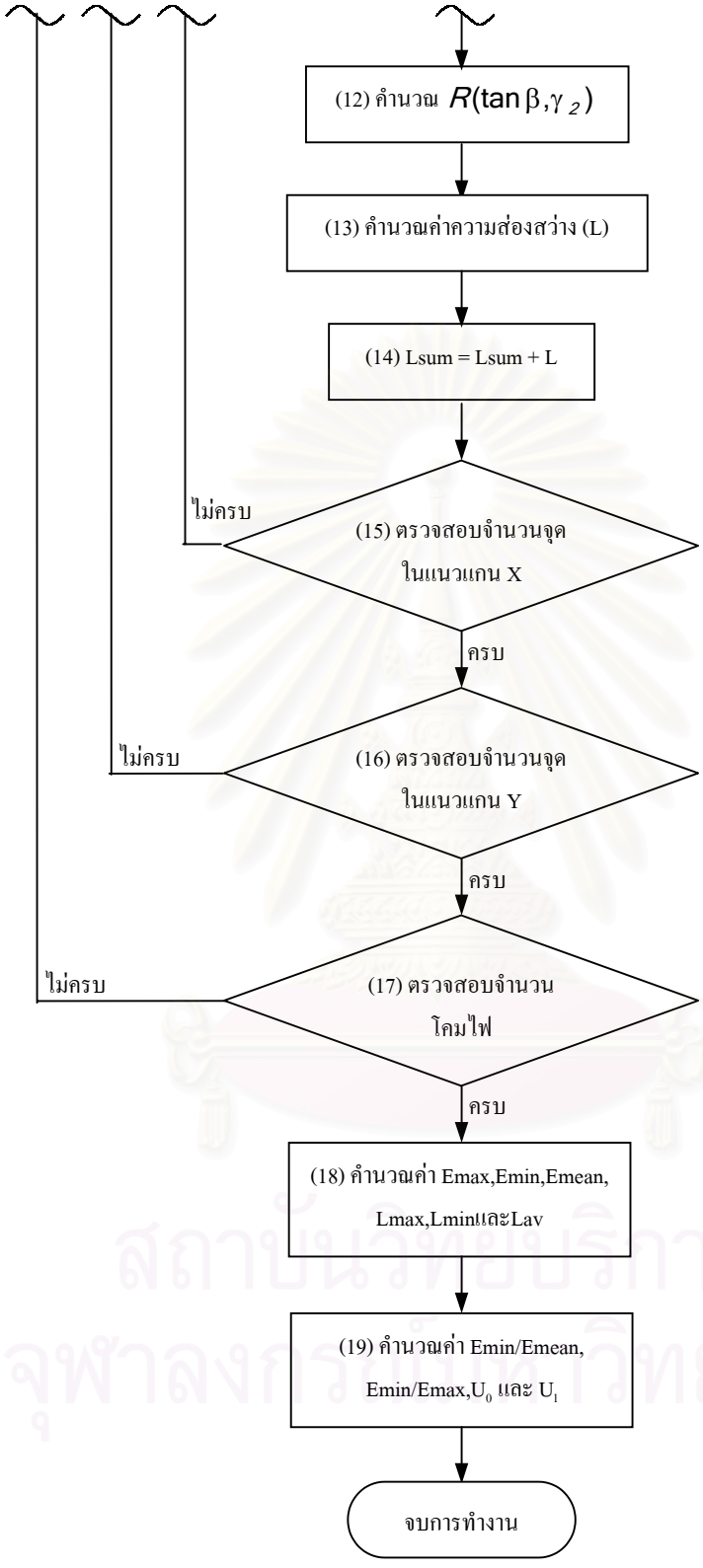
ข้อมูลที่จำเป็นในการคำนวณ

1) ข้อมูลเกี่ยวกับถนน
   - ชนิดของผิวถนน
   - ลักษณะของถนน
   - จำนวนช่องวิ่ง (Lane) ต่อทางวิ่ง
   - ความกว้างของถนน
   - ความกว้างของเกาะกลางถนน (ถ้ามี)
   - ขนาดของมุมเอียง (Incline Angle)
2) ข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดการติดตั้งโคม
   - ความสูงของเสาไฟ (Mounting Height)
   - ระยะห่างระหว่างเสาไฟในแนวแถวเดียวกัน (Spacing)
   - รูปแบบการติดตั้งเสา (Arrangement)
   - ระยะช่วงยื่น (Overhang)
   - มุมเงยของดวงโคม (Tilt Angle)
   - จุดเล็ง (Aiming Point) กรณีระบบเสาสูง
3) ข้อมูลเกี่ยวกับดวงโคม
   - การกระจายค่าความเข้มส่องสว่างของโคม ซึ่งแสดงข้อมูลเป็น แคนเดลา ต่อ 1000 ลูเมน ของหลอดไฟที่ใช้กับโคม ระนาบมุมที่ทำการวัดนั้นจะใช้ระบบ C - γ
   - ฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดไฟ

4.2.2.1 ส่วนคำนวณของระบบเสาธรรมดา

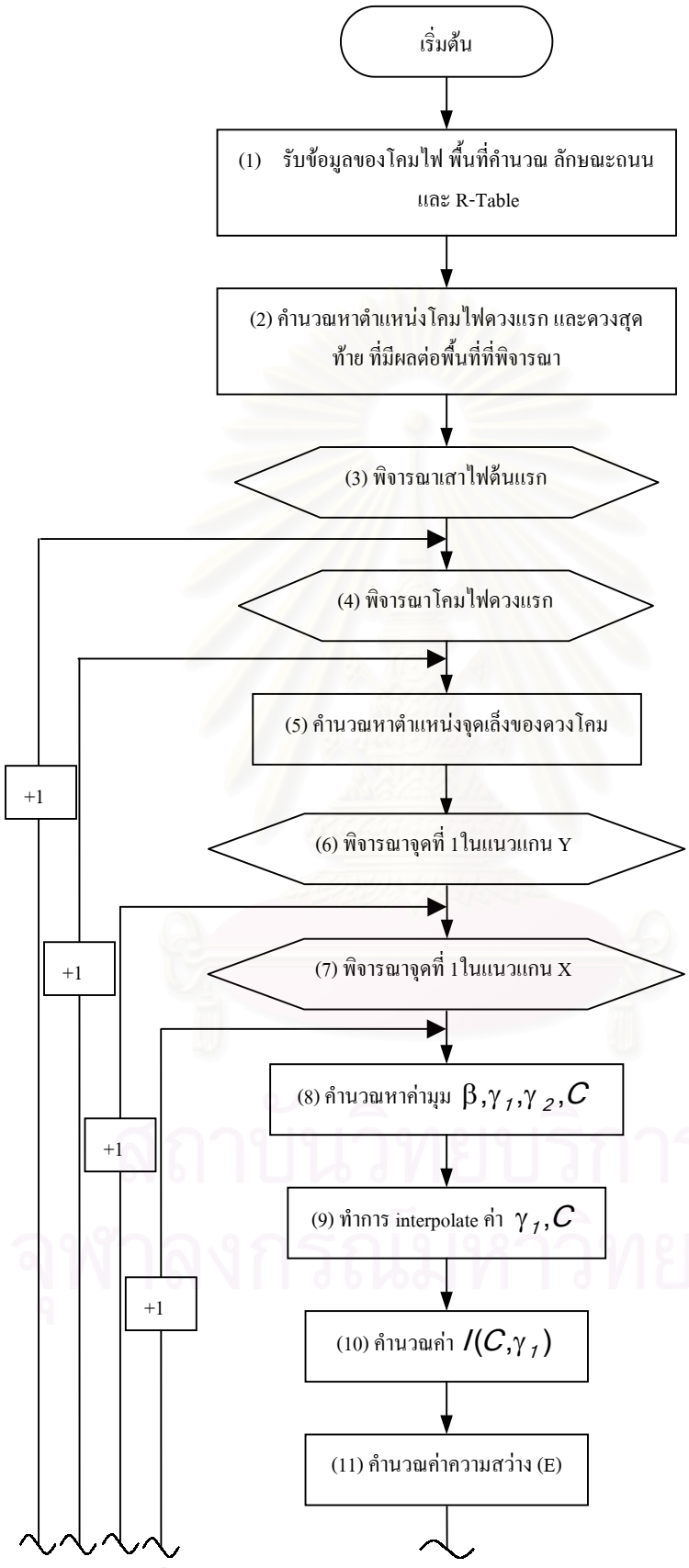


รูปที่ 4-11 แผนภาพแสดงการคำนวณความส่องสว่างของระบบเสาธรรมดา

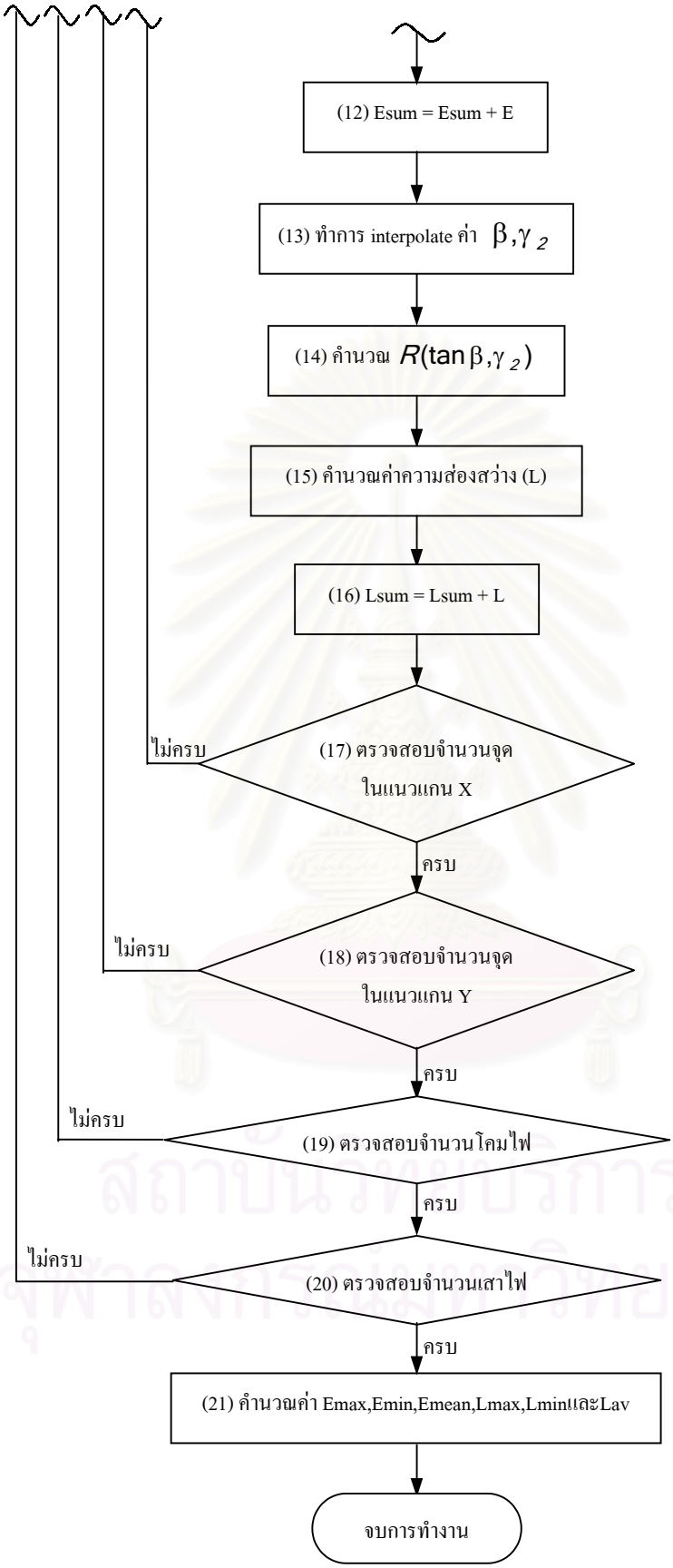


รูปที่ 4-11 (ต่อ) แผนภาพแสดงการคำนวณความส่องสว่างของระบบเสาธรรมดา

4.2.2.2 ส่วนคำนวณของระบบเสาสูง

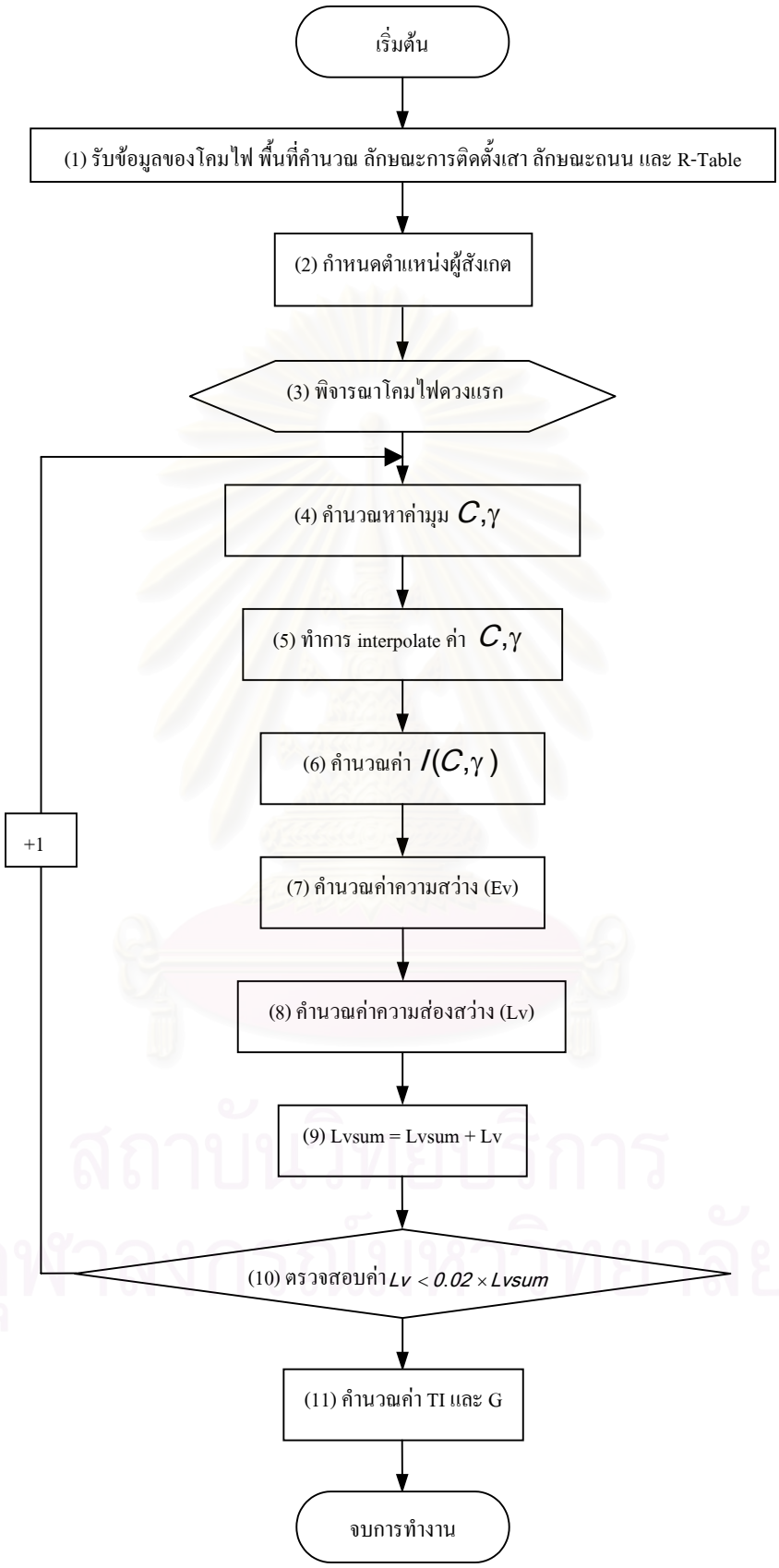


รูปที่ 4-12 แผนภาพแสดงการคำนวณความส่องสว่างของระบบเสาสูง



รูปที่ 4-12 (ต่อ) แผนภาพแสดงการคำนวณความส่องสว่างของระบบเสาสูง

4.2.2.3 ส่วนคำนวณแสงจ้า



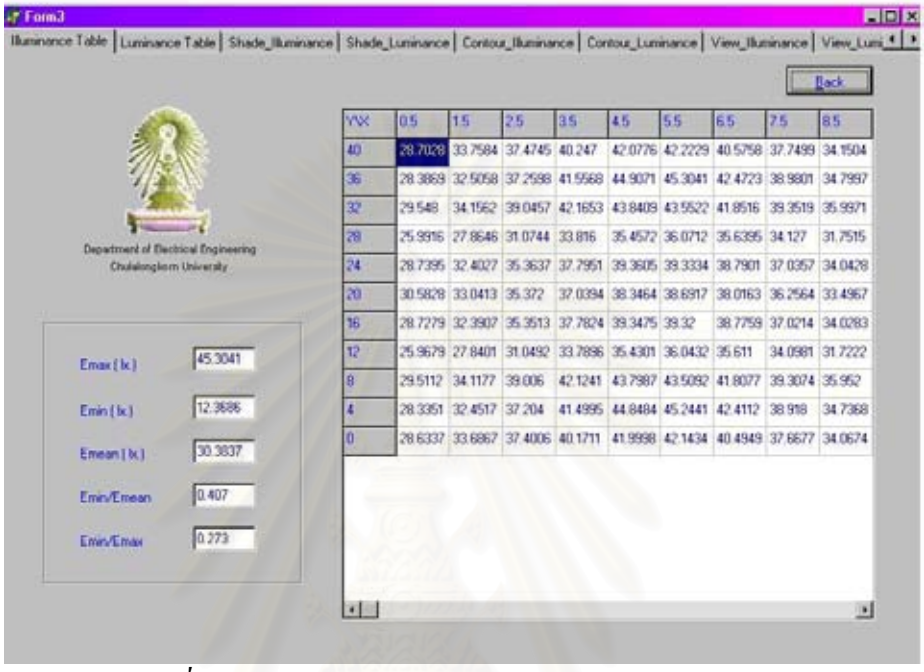
รูปที่ 4-13 แผนภาพแสดงการคำนวณ Glare

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 ส่วนแสดงผล

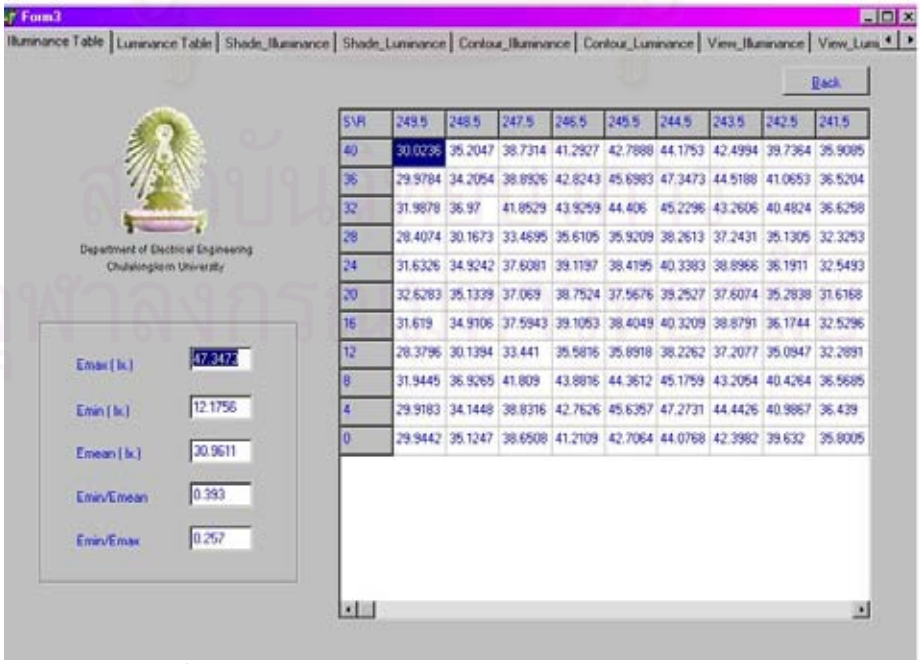
4.3.1 ตารางแสดงค่าความสว่าง

4.3.1.1 กรณีทางตรง



รูปที่ 4-14 หน้าจอแสดงตารางแสดงค่าความสว่างถนนตรง

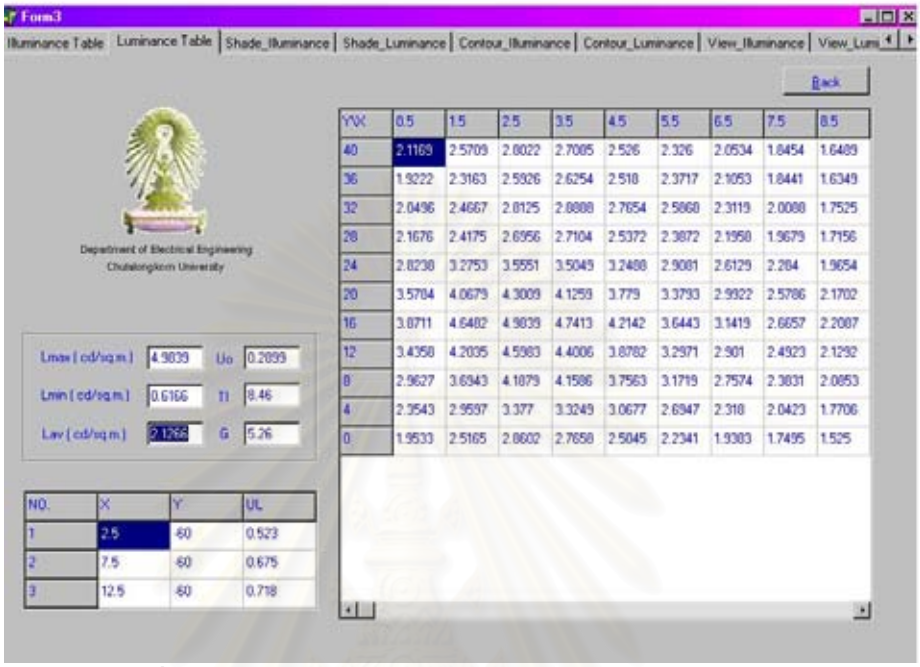
4.3.1.2 กรณีทางโค้ง



รูปที่ 4-15 หน้าจอแสดงตารางแสดงค่าความสว่างถนนโค้ง

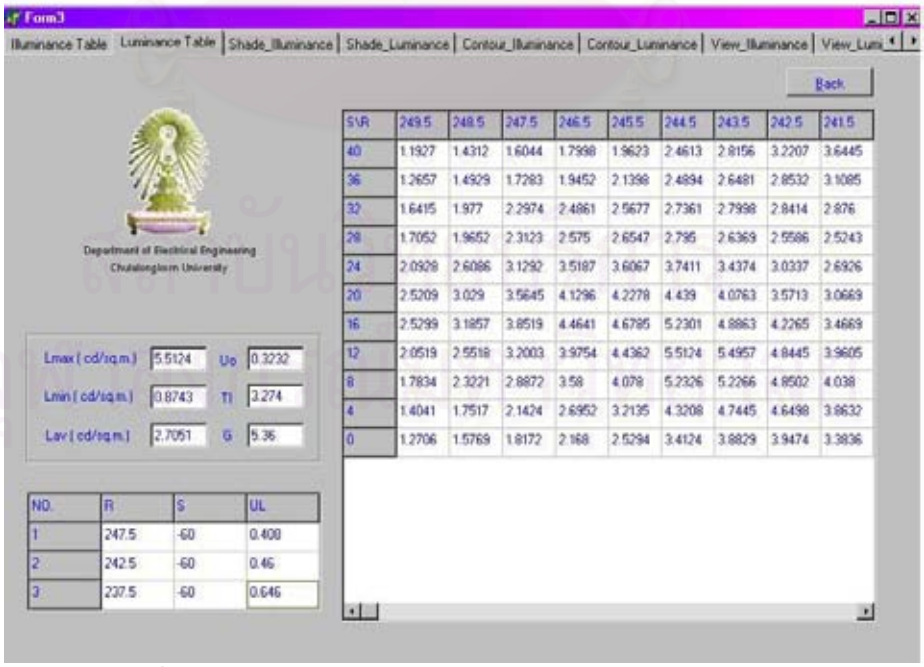
4.3.2 ตารางแสดงค่าความส่องสว่าง

4.3.2.1 กรณีทางตรง



รูปที่ 4-16 หน้าจอแสดงตารางแสดงค่าความส่องสว่างถนนตรง

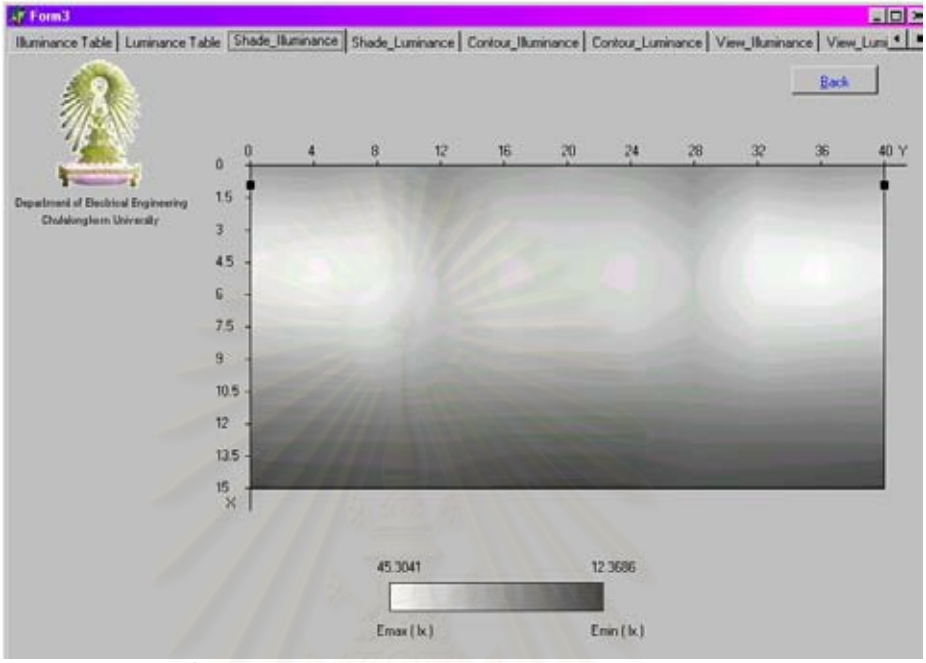
4.3.2.2 กรณีทางโค้ง



รูปที่ 4-17 หน้าจอแสดงตารางแสดงค่าความส่องสว่างถนนโค้ง

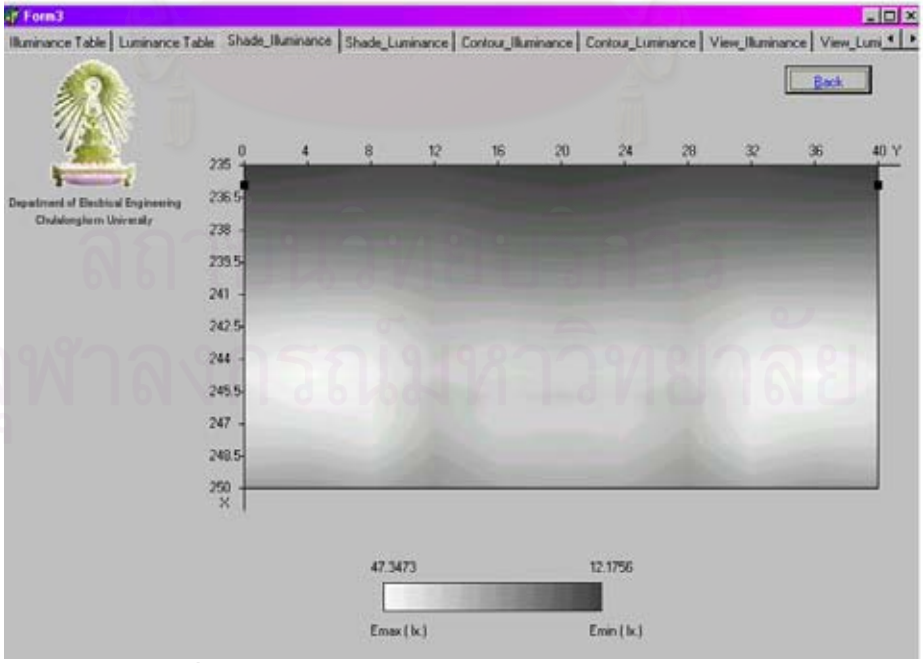
4.3.3 ภาพแรเงาของความสว่าง

4.3.3.1 กรณีทางตรง



รูปที่ 4-18 หน้าจอแสดงภาพแรเงาค่าความสว่างถนนตรง

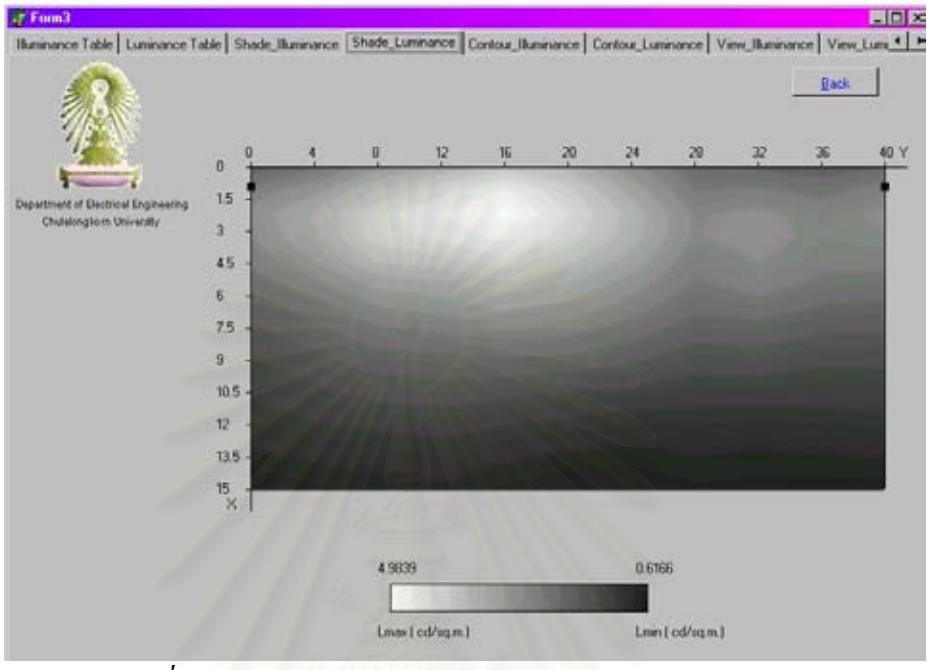
4.3.3.2 กรณีทางโค้ง



รูปที่ 4-19 หน้าจอแสดงภาพแรเงาค่าความสว่างถนนโค้ง

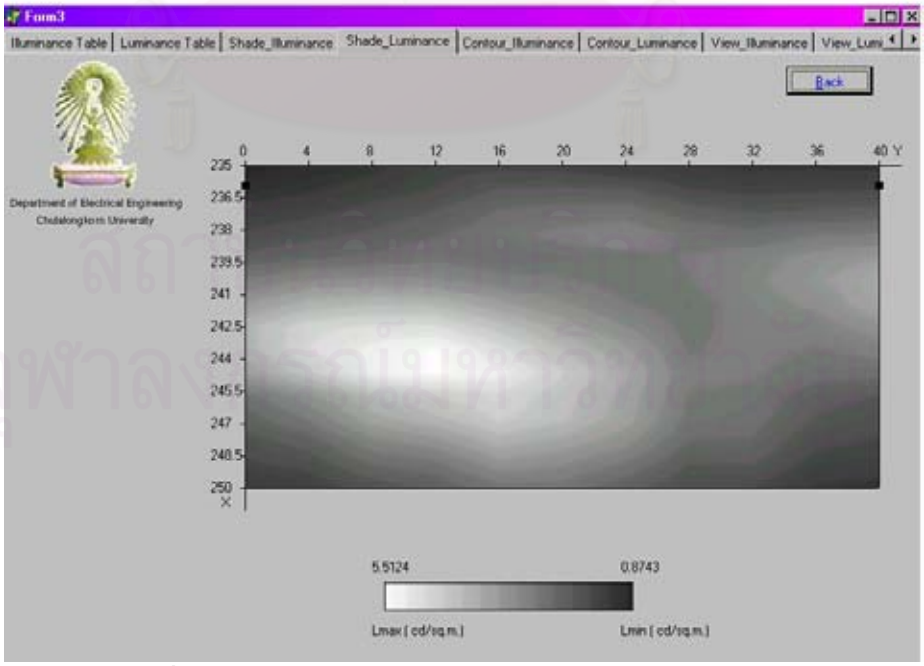
4.3.4 ภาพแรเงาของความส่องสว่าง

4.3.4.1 กรณีทางตรง



รูปที่ 4-20 หน้าจอแสดงภาพแรเงาค่าความส่องสว่างถนนตรง

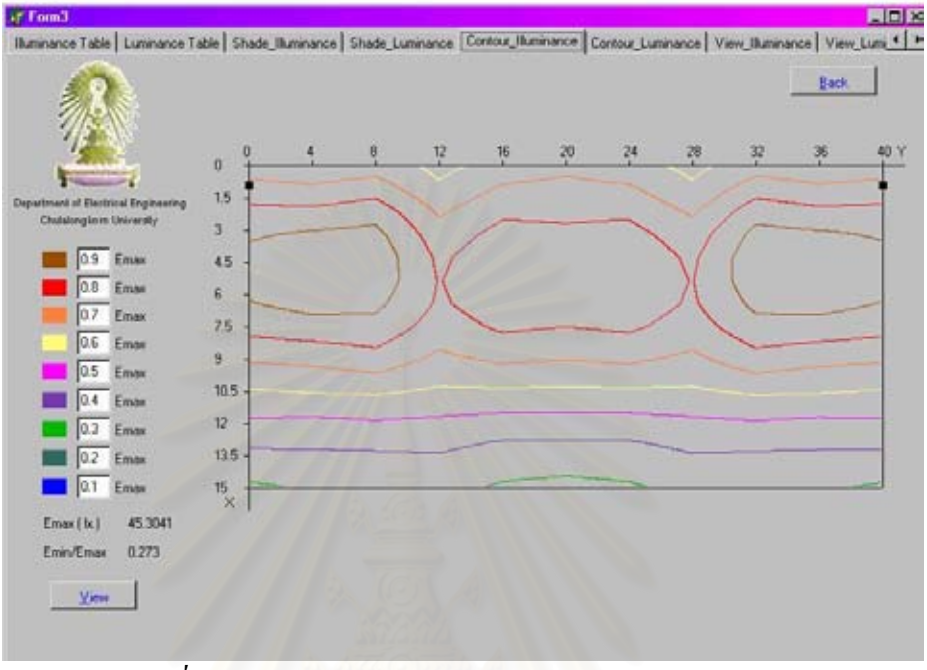
4.3.4.2 กรณีทางโค้ง



รูปที่ 4-21 หน้าจอแสดงภาพแรเงาค่าความส่องสว่างถนนโค้ง

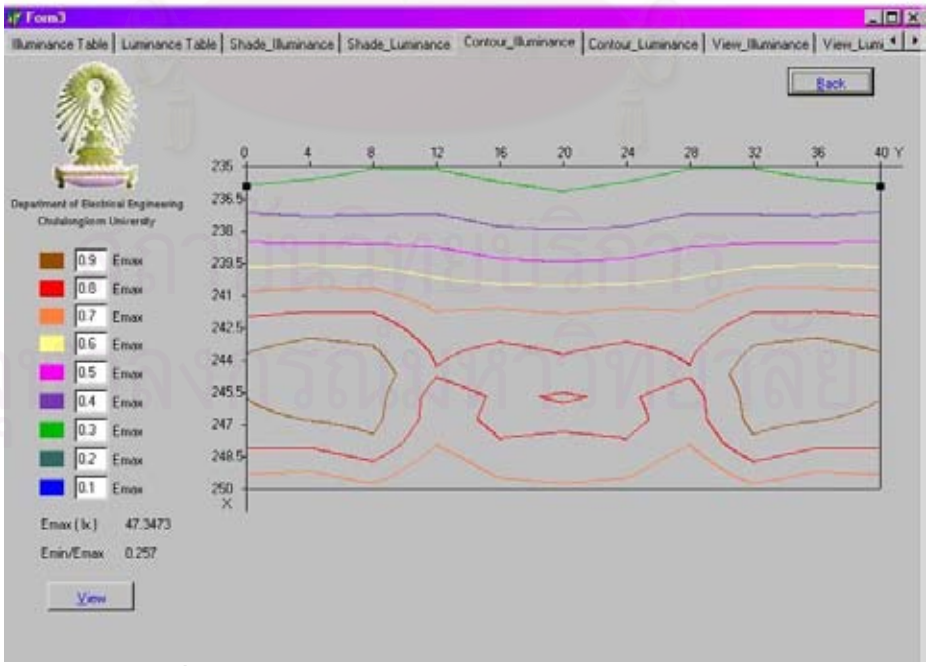
4.3.5 ภาพลายเส้นของความสว่าง

4.3.5.1 กรณีทางตรง



รูปที่ 4-22 หน้าจอแสดงภาพลายเส้นค่าความสว่างถนนตรง

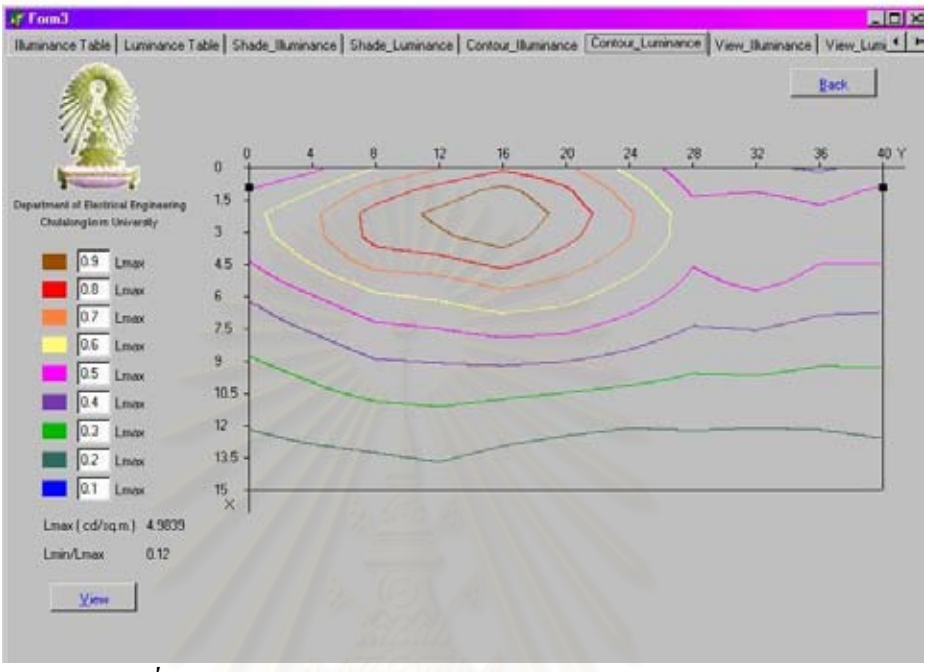
4.3.5.2 กรณีทางโค้ง



รูปที่ 4-23 หน้าจอแสดงภาพลายเส้นค่าความสว่างถนนโค้ง

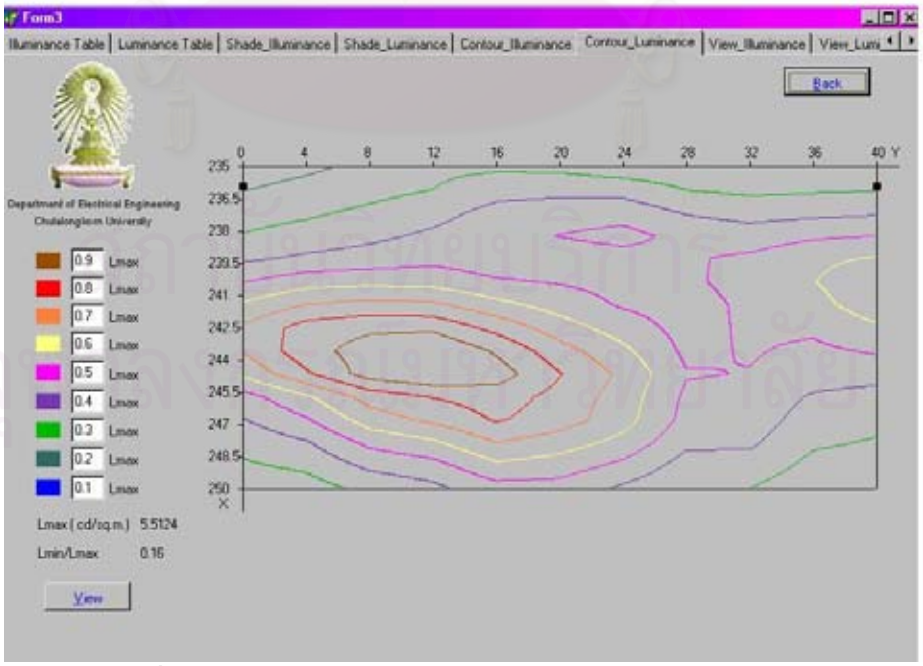
4.3.6 ภาพลายเส้นของความส่องสว่าง

4.3.6.1 กรณีทางตรง



รูปที่ 4-24 หน้าจอแสดงภาพลายเส้นค่าความส่องสว่างถนนตรง

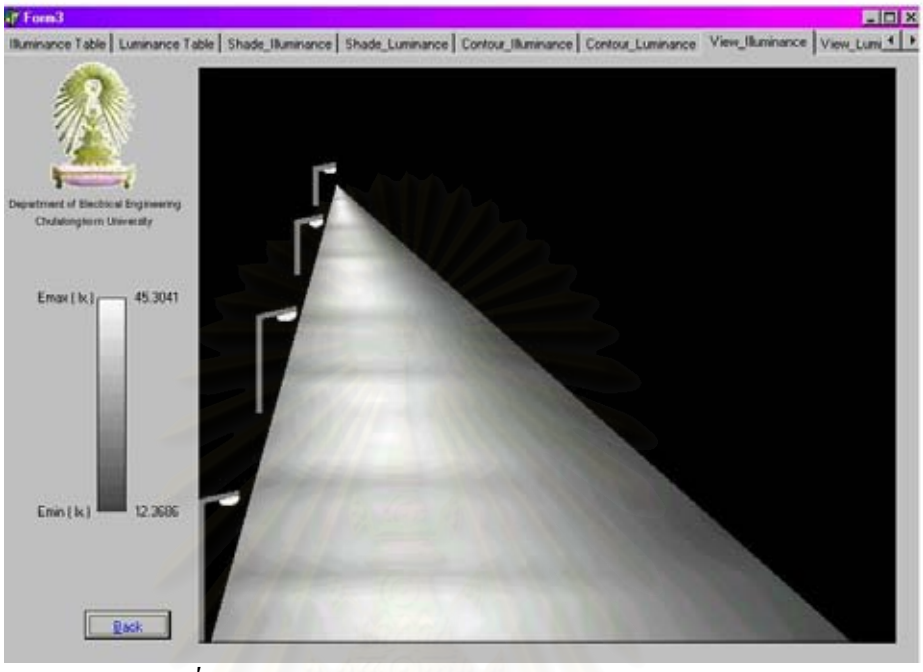
4.3.6.2 กรณีทางโค้ง



รูปที่ 4-25 หน้าจอแสดงภาพลายเส้นค่าความส่องสว่างถนนโค้ง

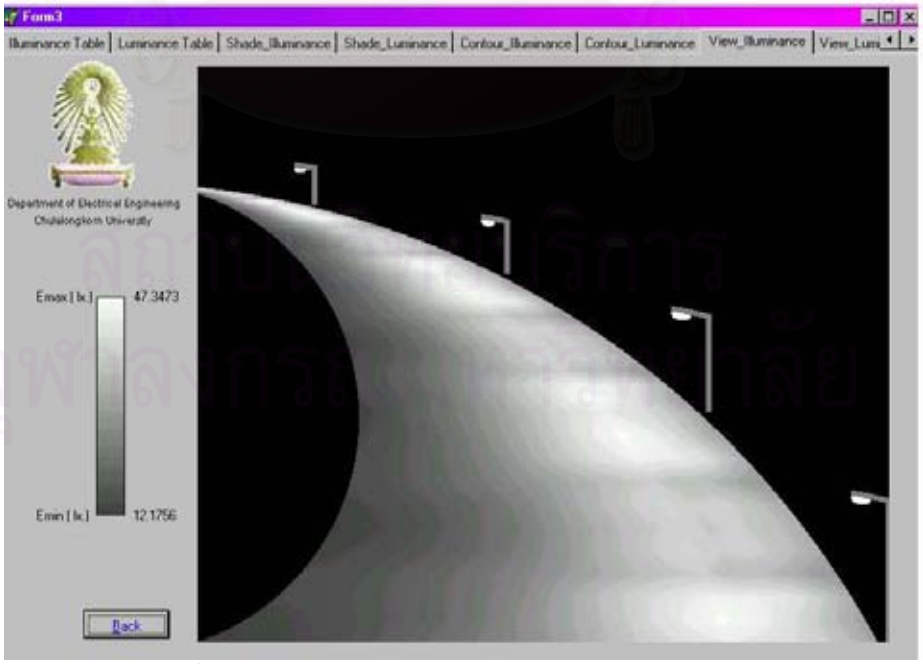
4.3.7 ภาพมุมสูงของความสว่าง

4.3.7.1 กรณีทางตรง



รูปที่ 4-26 หน้าจอแสดงภาพมุมสูงค่าความสว่างถนนตรง

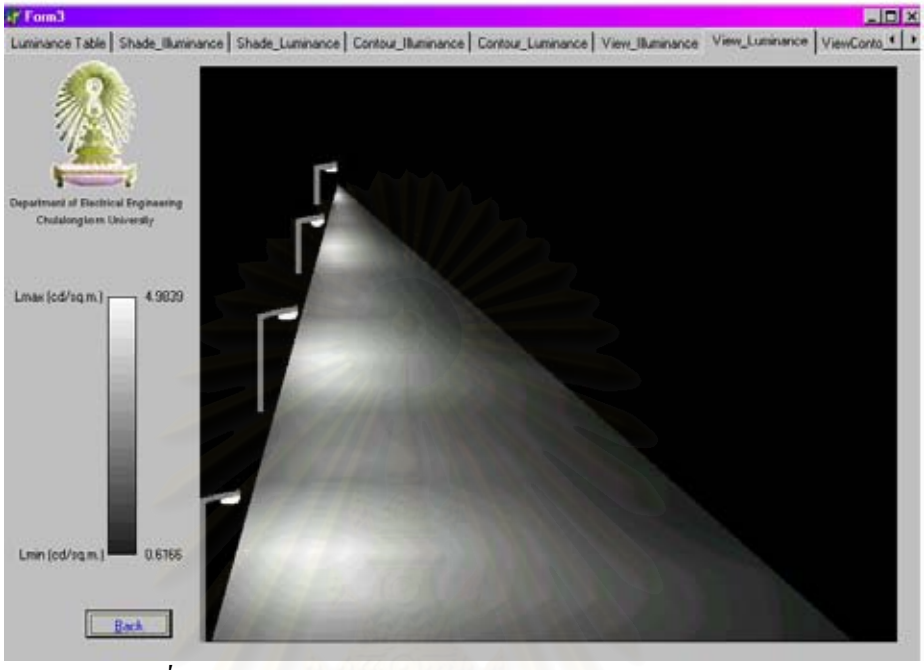
4.3.7.2 กรณีทางโค้ง



รูปที่ 4-27 หน้าจอแสดงภาพมุมสูงค่าความสว่างถนนโค้ง

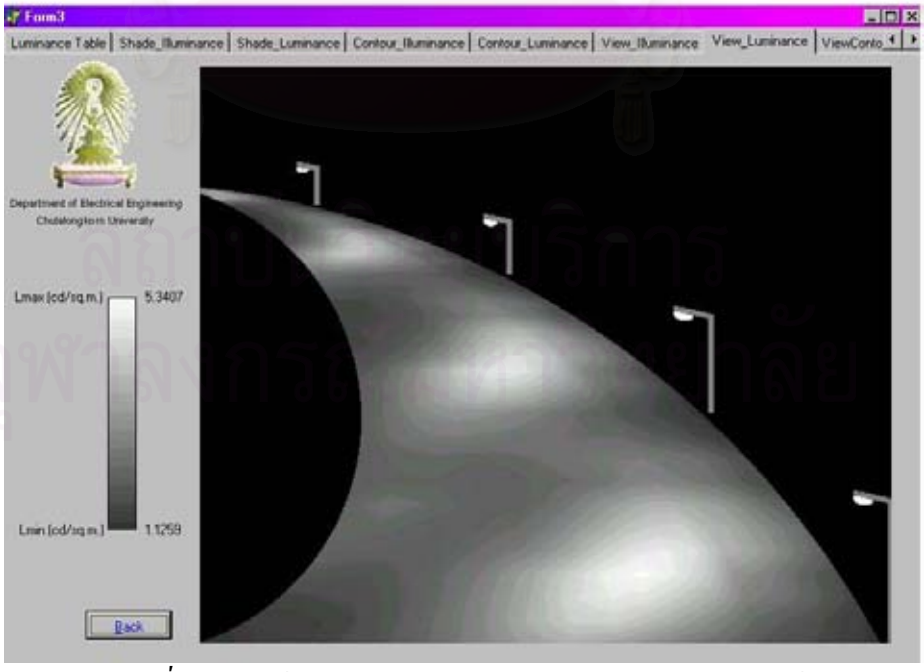
4.3.8 ภาพมุมสูงของความส่องสว่าง

4.3.8.1 กรณีทางตรง



รูปที่ 4-28 หน้าจอแสดงภาพมุมสูงค่าความส่องสว่างถนนตรง

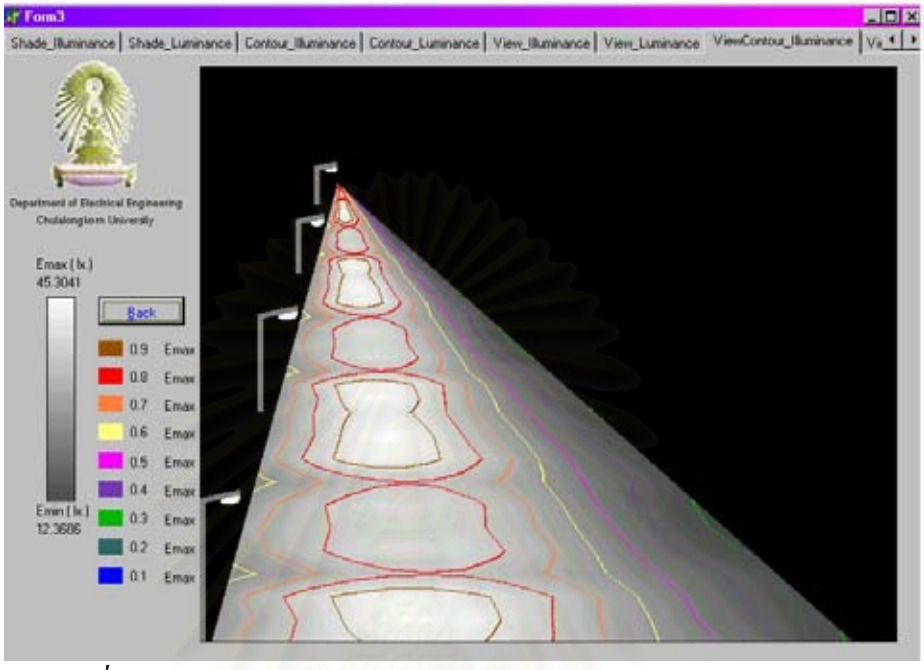
4.3.8.2 กรณีทางโค้ง



รูปที่ 4-29 หน้าจอแสดงภาพมุมสูงค่าความส่องสว่างถนนโค้ง

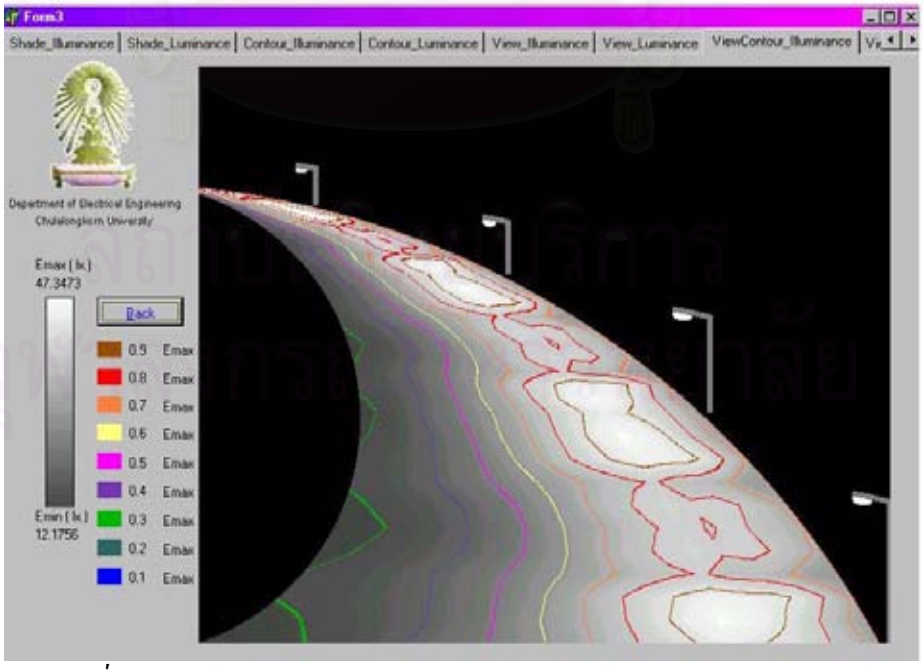
4.3.9 ภาพแรเงาและลายเส้นของความสว่าง

4.3.9.1 กรณีทางตรง



รูปที่ 4-30 หน้าจอแสดงภาพแรเงาและภาพลายเส้นค่าความสว่างถนนตรง

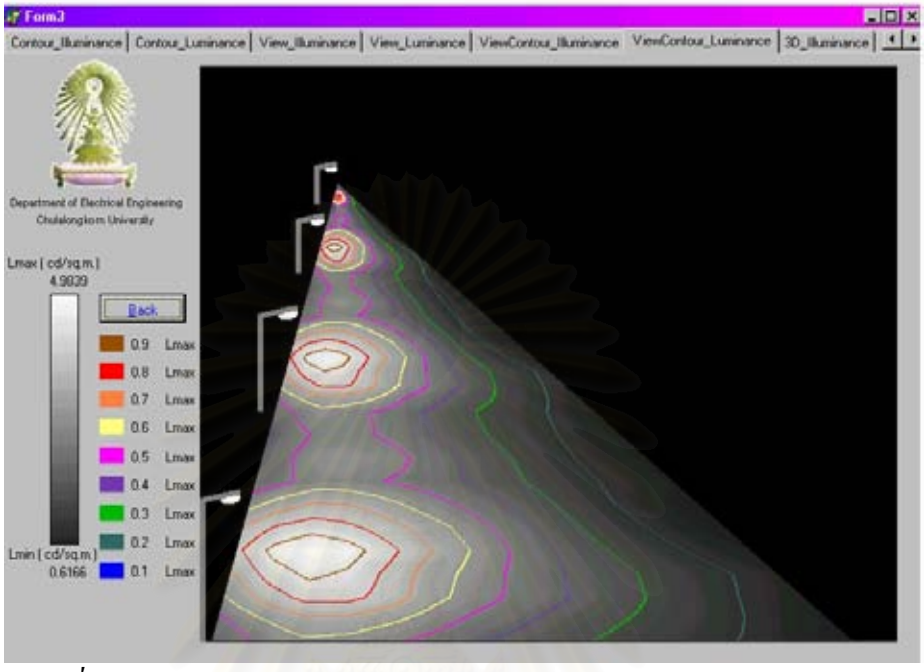
4.3.9.2 กรณีทางโค้ง



รูปที่ 4-31 หน้าจอแสดงภาพแรเงาและภาพลายเส้นค่าความสว่างถนนโค้ง

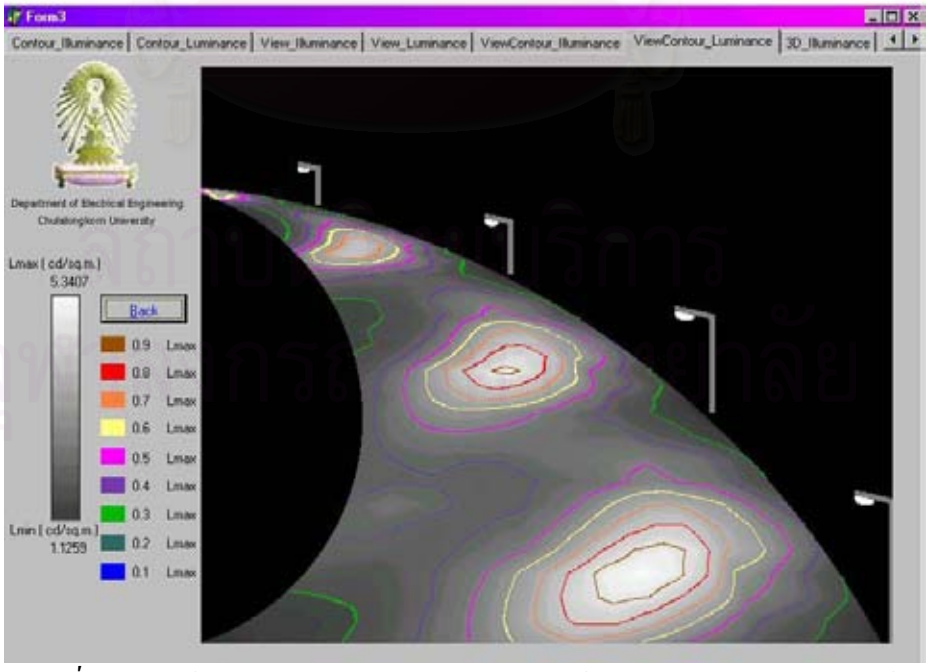
4.3.10 ภาพแรเงาและลายเส้นของความส่องสว่าง

4.3.10.1 กรณีทางตรง



รูปที่ 4-32 หน้าจอแสดงภาพแรเงาและภาพลายเส้นค่าความส่องสว่างถนนตรง

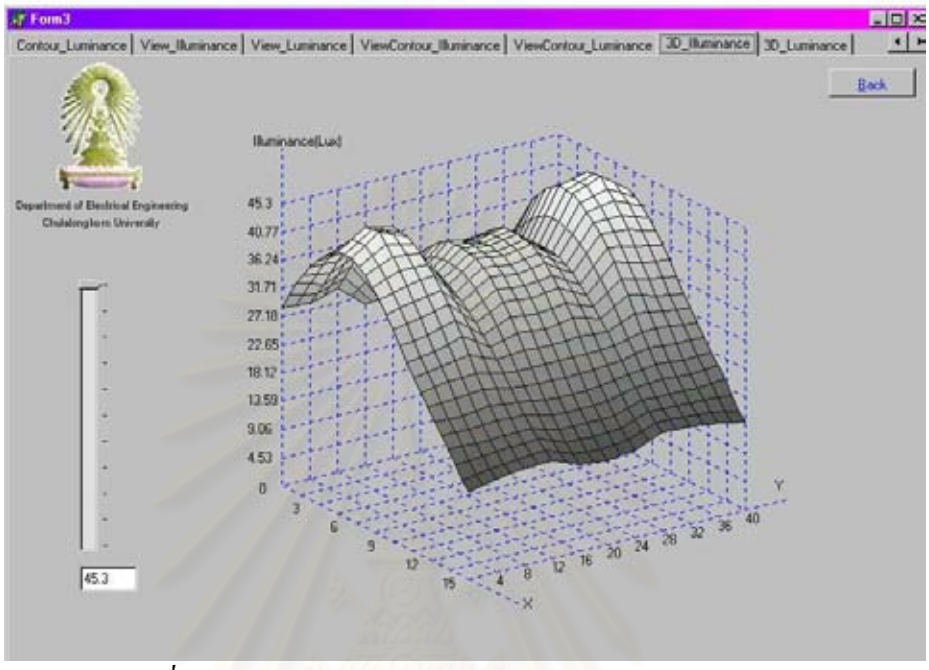
4.3.10.2 กรณีทางโค้ง



รูปที่ 4-33 หน้าจอแสดงภาพแรเงาและภาพลายเส้นค่าความส่องสว่างถนนโค้ง

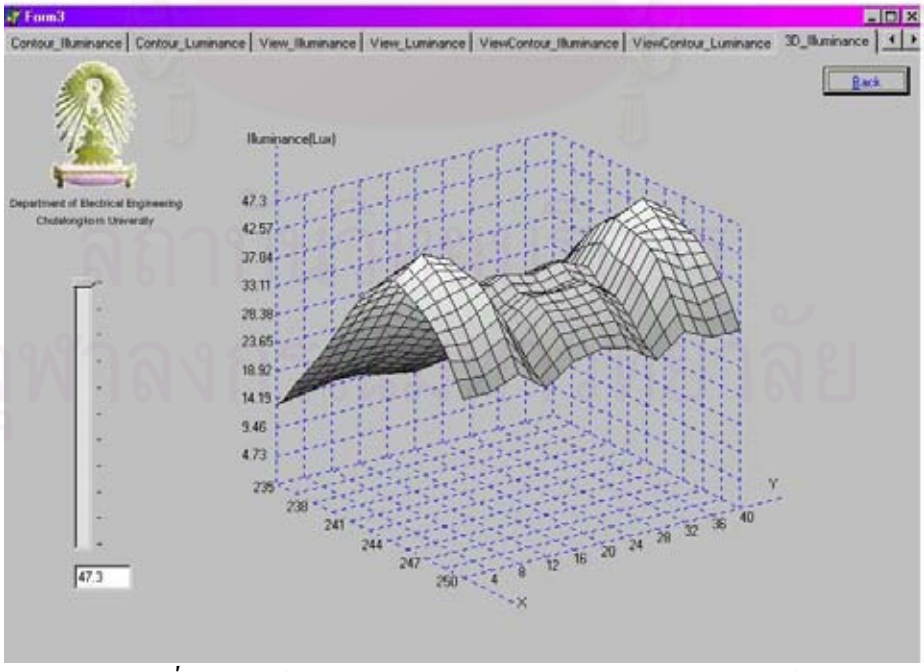
4.3.11 ภาพ 3 มิติของความสว่าง

4.3.11.1 กรณีทางตรง



รูปที่ 4-34 หน้าจอแสดงภาพ 3 มิติของค่าความสว่างถนนตรง

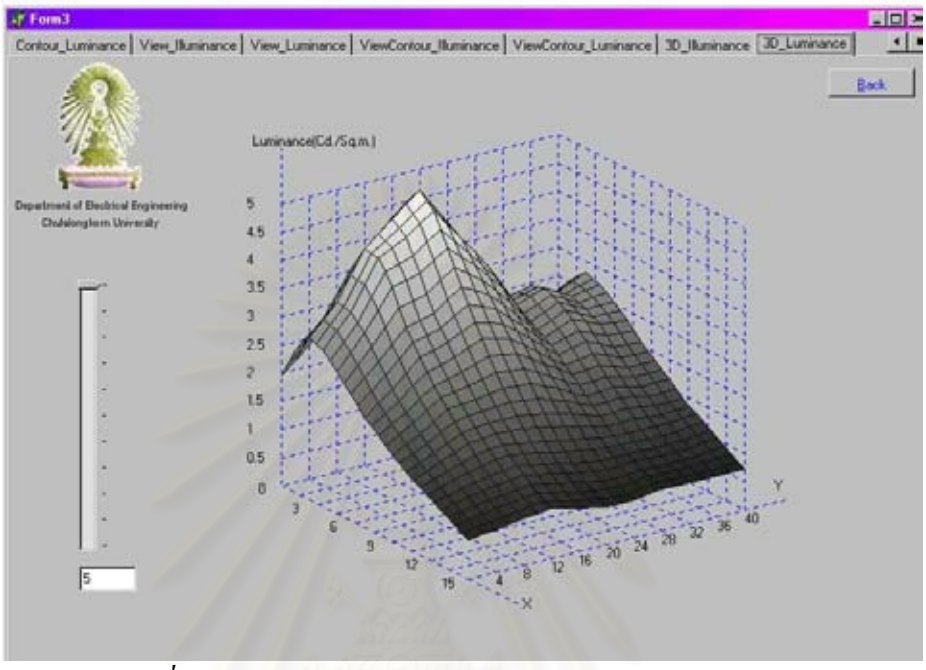
4.3.11.2 กรณีทางโค้ง



รูปที่ 4-35 หน้าจอแสดงภาพ 3 มิติของค่าความสว่างถนนโค้ง

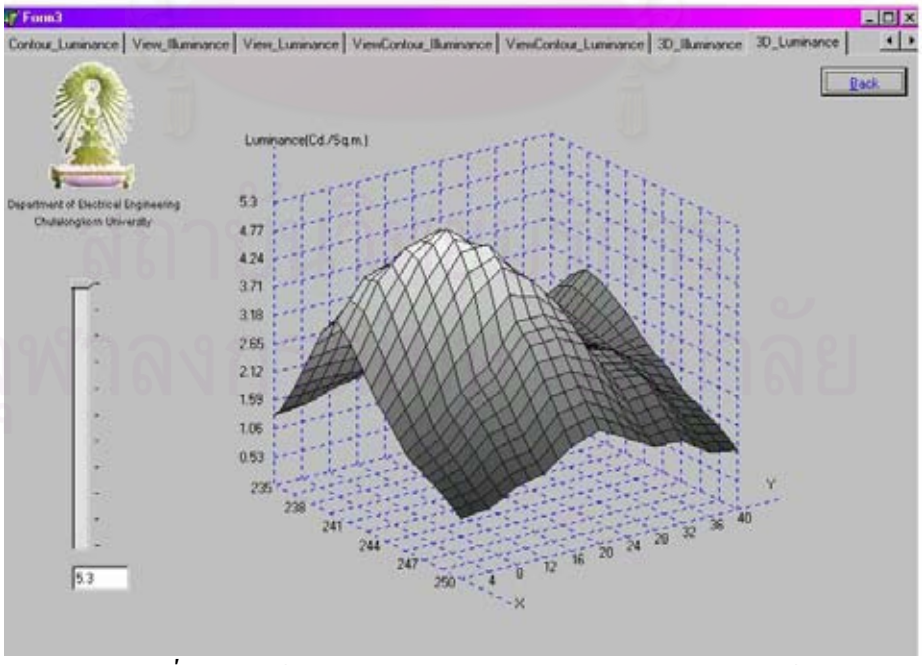
4.3.12 ภาพ 3 มิติของความส่องสว่าง

4.3.12.1 กรณีทางตรง



รูปที่ 4-36 หน้าจอแสดงภาพ 3 มิติค่าความส่องสว่างถนนตรง

4.3.12.2 กรณีทางโค้ง



รูปที่ 4-37 หน้าจอแสดงภาพ 3 มิติค่าความส่องสว่างถนนโค้ง

บทที่ 5

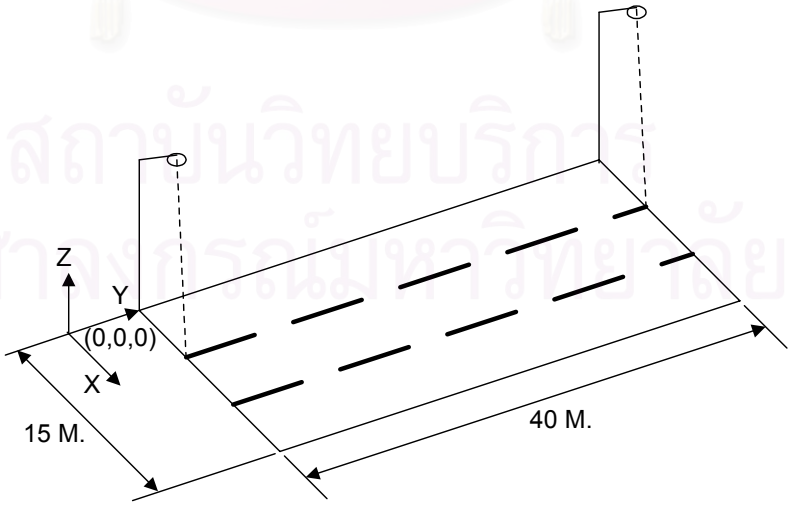
ตัวอย่างการประเมินคุณภาพการส่องสว่าง

ในบทนี้จะนำเสนอตัวอย่างการประเมินระดับคุณภาพการของการให้แสงสว่าง โดยวิธีจุดต่อจุดวิเคราะห์ระดับความสว่าง ความส่องสว่าง และแสงจ้า ของถนนตรง และถนนโค้งซึ่งการแสดงผลสามารถแสดงได้ทั้งรูปแบบของตารางข้อมูล ภาพแรเงา ภาพลายเส้น ภาพ 3 มิติ และภาพเสมือนจริงของความสว่างและความส่องสว่าง ทำให้ผู้ใช้มองเห็นภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้น เนื่องจากการแสดงผลเป็นรูปภาพจะสามารถสื่อสารให้เข้าใจได้ง่ายและถูกต้องกว่า

นอกจากนี้ยังมีการเปรียบเทียบระดับความสว่าง ความส่องสว่าง และแสงจ้า บนพื้นที่ที่มีลักษณะการติดตั้งที่แตกต่างกัน ชนิดถนนแตกต่างกัน และลักษณะถนนเอียงขึ้น เอียงลง เปรียบเทียบกับถนนบนพื้นราบธรรมดาอีกด้วย

5.1 กรณีที่ 1 ตัวอย่างการให้แสงสว่างถนนตรง

พื้นที่ที่ทดสอบ เป็นถนนทางตรงขนาดกว้าง 15 เมตร 3 เลน ติดตั้งโคมสูง 14 เมตร มุมเงย 15 องศา (ϕ -lamp = 47000 ลูเมน) ระยะระหว่างเสา 40 เมตร ลักษณะการติดตั้งแบบ Single-Side (left) ถนนเป็นแบบ R3 (ข้อมูลการกระจายแสงของโคมแสดงไว้ในภาคผนวก ก) (ข้อมูลการสะท้อนแสงของพื้นถนนแสดงไว้ในภาคผนวก ข)



รูปที่ 5-1 ลักษณะพื้นที่ที่ทดสอบ

ตารางที่ 5-1 ความสว่างของถนนตรง

X/Y	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5
40	28.7	33.8	37.5	40.2	42.1	42.2	40.6	37.7	34.2	29.8	26.2	22.7	19.4	15.4	13.0
36	28.4	32.5	37.3	41.6	45.0	**45.3**	42.5	39.0	34.8	30.6	26.8	22.4	19.1	16.2	14.0
32	29.5	34.2	39.0	42.2	43.8	43.6	41.9	39.4	36.0	31.8	27.0	22.9	19.2	16.6	14.7
28	26.0	27.8	31.1	33.9	35.5	36.0	35.6	34.1	31.8	29.1	25.9	22.4	19.3	16.9	14.7
24	28.7	32.4	35.4	37.8	39.4	39.3	38.8	37.0	34.0	30.2	25.7	21.6	17.9	15.1	13.0
20	30.6	33.0	35.4	37.0	38.3	38.7	38.0	36.3	33.5	29.6	25.7	21.4	17.9	14.7	**12.4**
16	28.7	32.4	35.4	37.8	39.3	39.3	38.8	37.0	34.0	30.2	25.7	21.6	17.9	15.1	13.0
12	25.9	27.8	31.0	33.8	35.4	36.0	35.6	34.1	31.7	29.1	25.8	22.3	19.3	16.9	14.7
8	29.5	34.1	39.0	42.1	43.8	43.5	41.8	39.3	36.0	31.8	27.0	22.9	19.2	16.5	14.7
4	28.3	32.4	37.2	41.5	44.9	45.2	42.4	38.9	34.7	30.5	26.7	22.3	19.1	16.2	13.9
0	28.6	33.7	37.4	40.2	42.0	42.1	40.5	37.7	34.1	29.7	26.1	22.6	19.3	15.3	13.0

ตารางที่ 5-2 ความส่องสว่างของถนนตรง

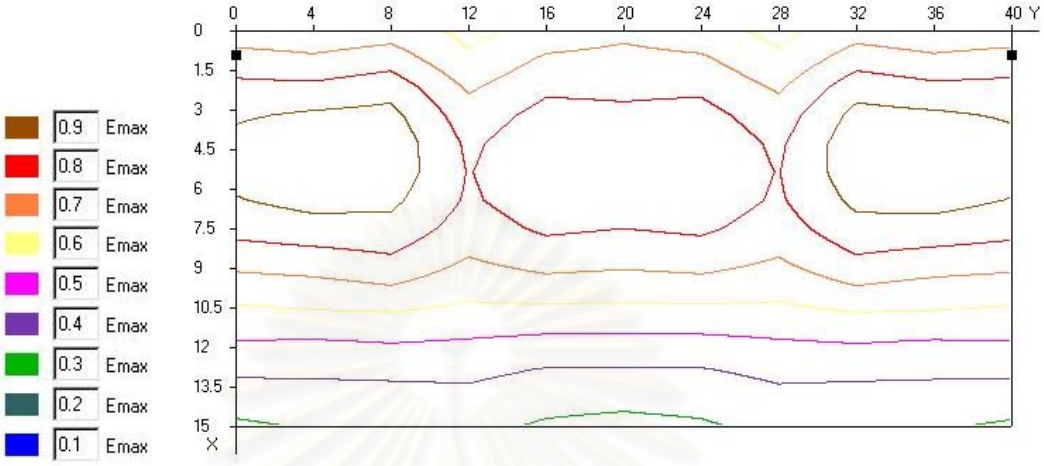
X/Y	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5
40	2.12	2.57	2.80	2.71	2.53	2.33	2.05	1.85	1.65	1.42	1.28	1.11	0.96	0.80	0.67
36	1.92	2.31	2.59	2.63	2.52	2.37	2.11	1.84	1.63	1.41	1.24	1.06	0.90	0.78	0.68
32	2.05	2.47	2.81	2.89	2.77	2.59	2.31	2.01	1.75	1.50	1.25	1.05	0.89	0.77	0.69
28	2.17	2.42	2.70	2.71	2.54	2.39	2.20	1.97	1.72	1.48	1.25	1.06	0.91	0.80	0.71
24	2.82	3.28	3.56	3.50	3.25	2.91	2.61	2.28	1.97	1.65	1.32	1.06	0.86	0.72	0.63
20	3.58	4.07	4.30	4.13	3.78	3.38	2.99	2.58	2.17	1.77	1.42	1.14	0.92	0.74	**0.62**
16	3.87	4.65	**4.98**	4.74	4.21	3.64	3.14	2.67	2.21	1.85	1.52	1.24	1.02	0.84	0.70
12	3.44	4.20	4.60	4.40	3.88	3.30	2.90	2.49	2.13	1.85	1.59	1.34	1.13	0.96	0.81
8	2.96	3.69	4.19	4.16	3.76	3.17	2.76	2.38	2.09	1.80	1.53	1.28	1.06	0.89	0.77
4	2.35	2.96	3.38	3.32	3.07	2.69	2.32	2.04	1.77	1.56	1.37	1.78	1.00	0.83	0.70
0	1.95	2.52	2.86	2.77	2.50	2.23	1.94	1.75	1.53	1.35	1.19	1.05	0.91	0.74	0.63

ตารางที่ 5-3 ความสม่ำเสมอของความสว่างถนนตรง

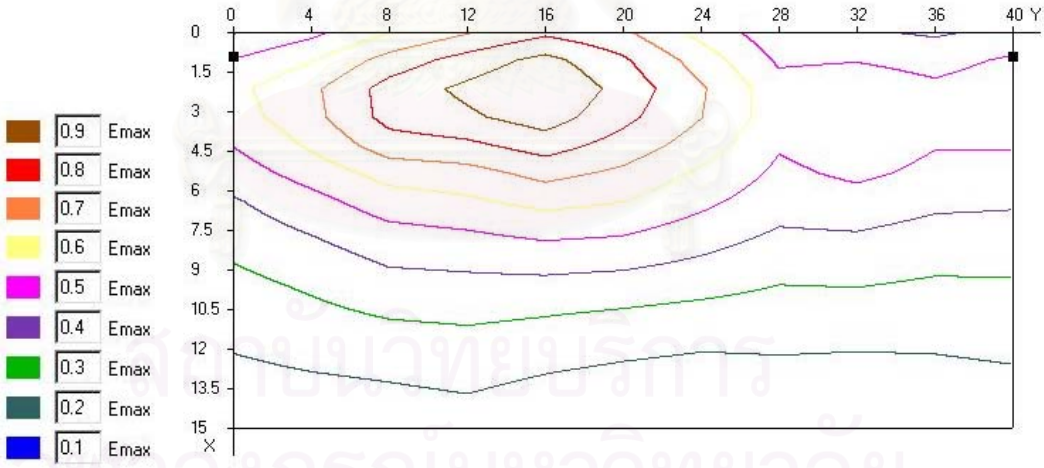
Emin (Lux)	Emax (Lux)	Eav (Lux)	Emin / Eav	Emin / Emax	TI	G
12.4	45.3	30.4	0.408	0.274	8.46	5.26

ตารางที่ 5-4 ความสม่ำเสมอของความส่องสว่างถนนตรง

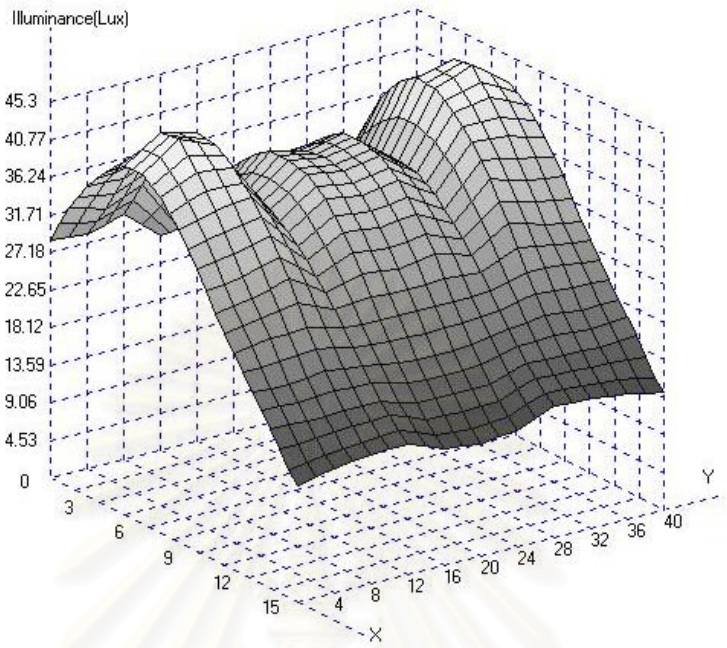
Lmin (cd/m^2)	Lmax (cd/m^2)	Lav (cd/m^2)	U_0 Lmin / Lav	U_{11}	U_{12}	U_{13}
0.62	4.98	2.13	0.291	0.523	0.675	0.718



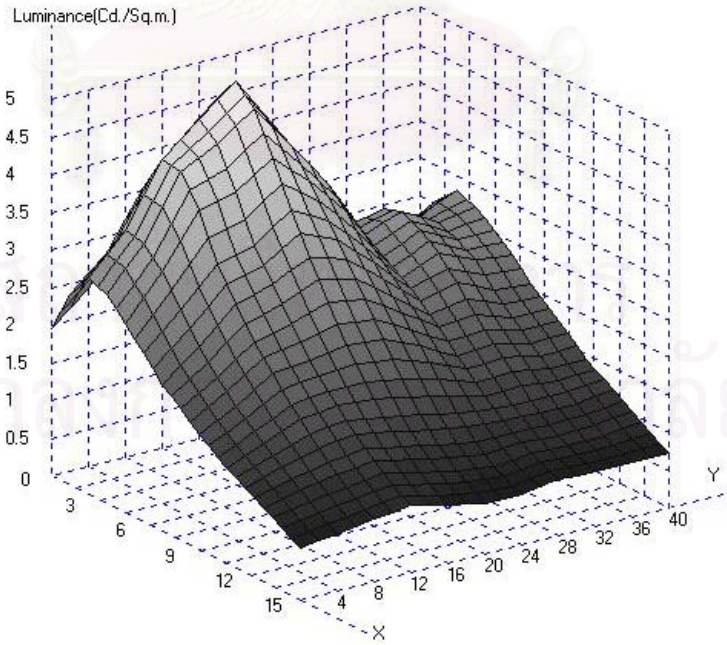
รูปที่ 5-2 ภาพลายเส้นของความสว่าง



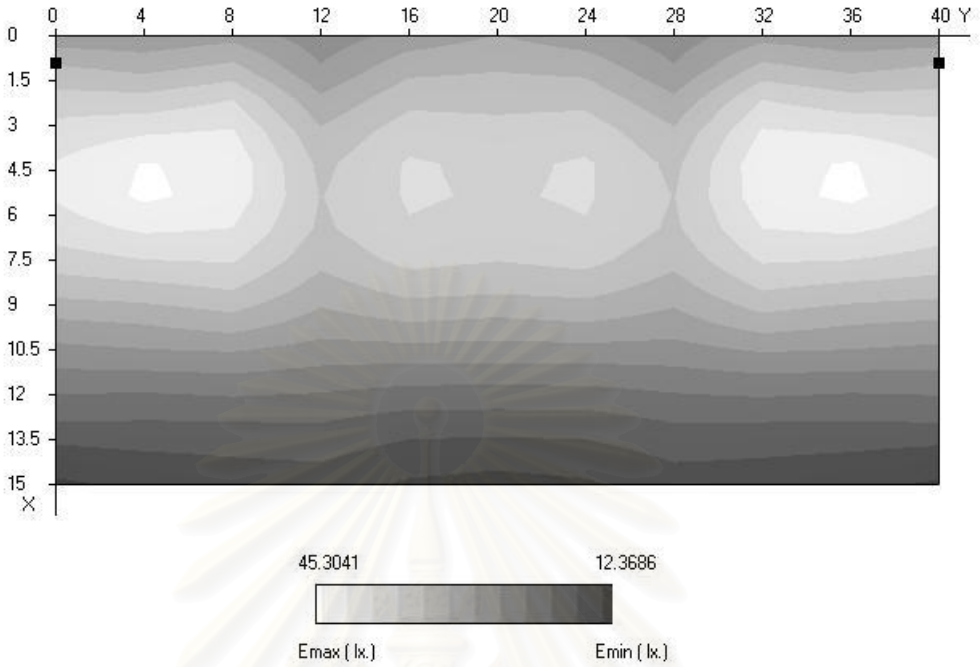
รูปที่ 5-3 ภาพลายเส้นของความส่องสว่าง



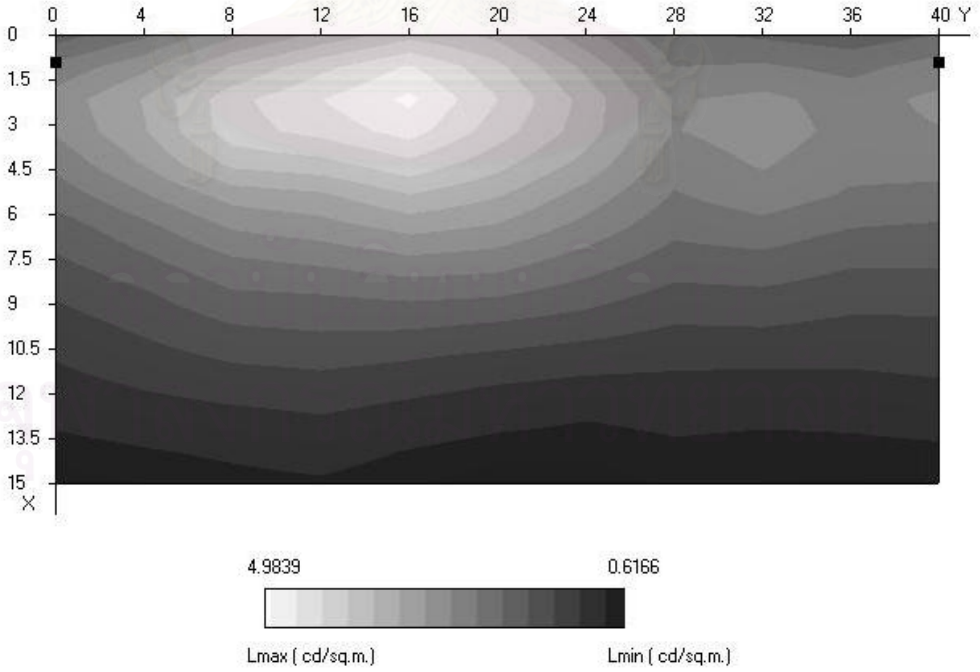
รูปที่ 5-4 ภาพสามมิติของความสว่าง



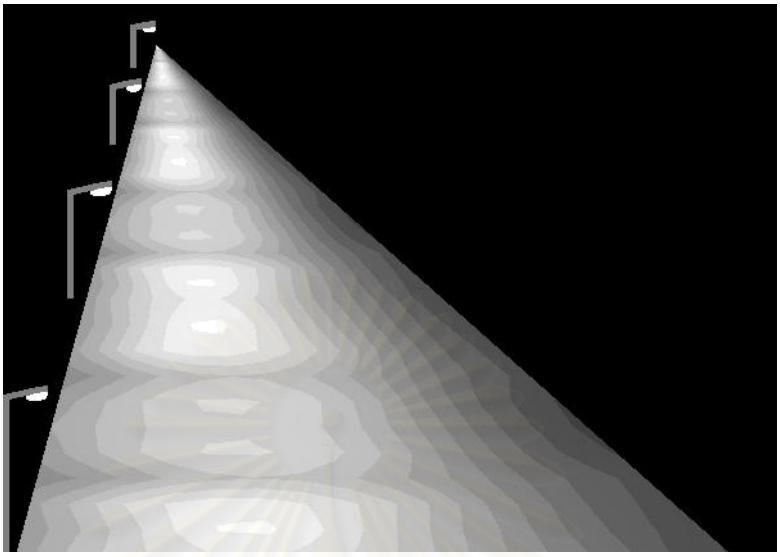
รูปที่ 5-5 ภาพสามมิติของความส่องสว่าง



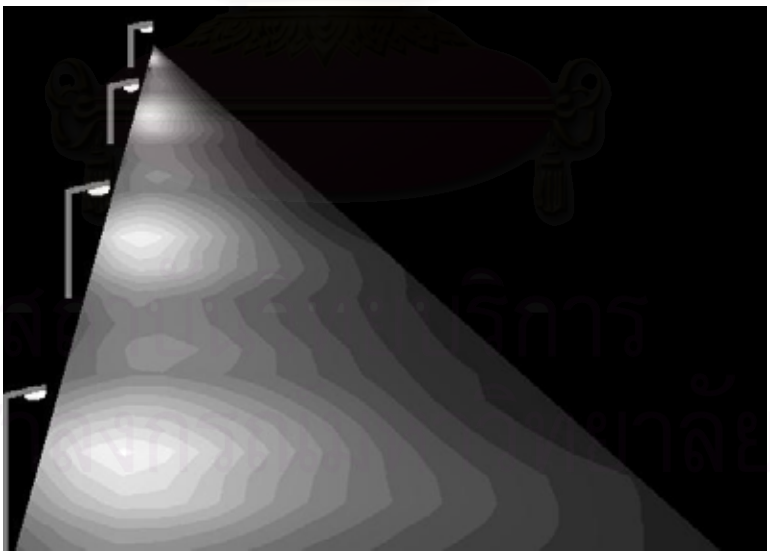
รูปที่ 5-6 ภาพแรเงาของความสว่าง



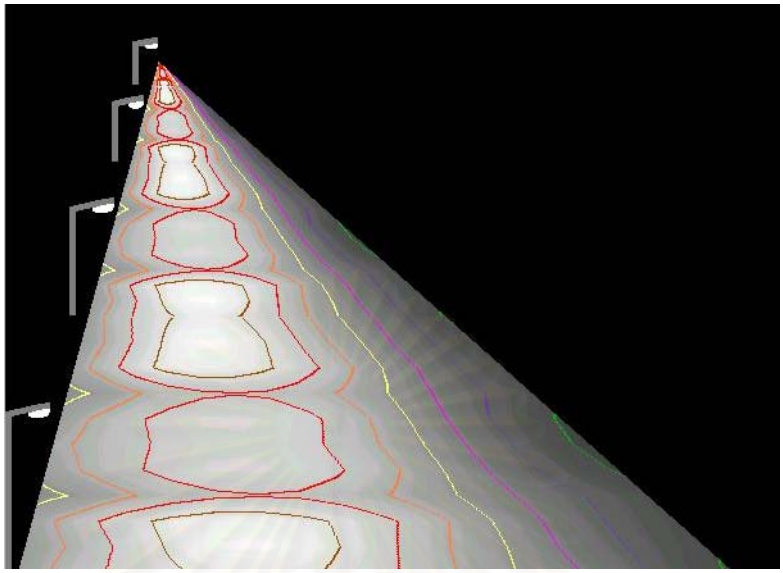
รูปที่ 5-7 ภาพแรเงาของความส่องสว่าง



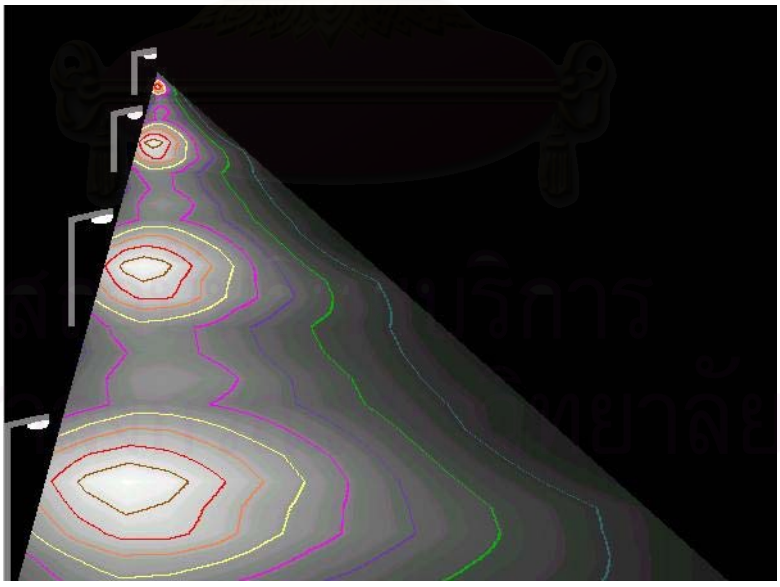
รูปที่ 5-8 ภาพ perspective ของความสว่าง



รูปที่ 5-9 ภาพ perspective ของความส่องสว่าง



รูปที่ 5-10 ภาพ perspective และลายเส้นของความสว่าง



รูปที่ 5-11 ภาพ perspective และลายเส้นของความส่องสว่าง

การวิเคราะห์ผล

ก. จากผลการคำนวณได้ความส่องสว่างเฉลี่ยบนพื้นถนน 2.13 cd/m^2 ซึ่งมาตรฐาน CIEกำหนดไว้ที่ 2 cd/m^2 ซึ่งผ่านเงื่อนไขการให้แสงสว่าง

ข. จากผลการคำนวณได้ความสม่ำเสมอ U_0 0.291 ซึ่งมาตรฐาน CIEกำหนดไว้ที่ 0.4 cd/m^2 จึงไม่ผ่านเงื่อนไขการให้แสงสว่าง เนื่องจากลักษณะการติดตั้งโคมเป็นแบบ Single- Side (Left) ทำให้แสงจะสว่างทางฝั่งด้านซ้ายมากกว่าด้านขวา อาจจะแก้ไขได้โดยเปลี่ยนลักษณะการติดตั้งโคม เปลี่ยนความสูงของเสาไฟ หรือ ปรับค่ามุมเงยให้มากขึ้นแต่ต้องไม่มากเกินไปเพราะจะทำให้เกิดปัญหาเรื่องแสงจ้าตามมา

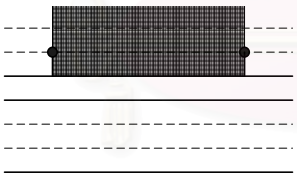
ค. จากผลการคำนวณได้ความสม่ำเสมอ U_1 0.523 , 0.675 , 0.718 cd/m^2 ตามลำดับ ซึ่งมาตรฐาน CIE กำหนดไว้ที่ 0.5 cd/m^2 ซึ่งผ่านเงื่อนไขการให้แสงสว่าง

ง. จากผลการคำนวณได้ค่า G 5.26 ซึ่งมาตรฐาน CIE กำหนดไว้ที่ 5 จึงผ่านเงื่อนไข

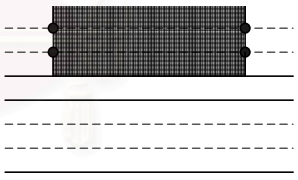
จ. จากผลการคำนวณได้ค่า TI 8.46 ซึ่งมาตรฐาน CIEกำหนดไว้ที่ 10 จึงไม่ผ่านเงื่อนไข

5.2 กรณีที่ 2 เปรียบเทียบความสว่างและความส่องสว่างของถนนที่มีลักษณะการติดตั้งโคมต่างกัน

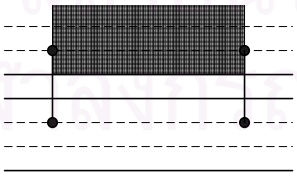
พื้นที่ที่ทดสอบ เป็นถนนทางตรงขนาดกว้าง 15 เมตร 3 เลน ติดตั้งโคมสูง 14 เมตร มุมเงย 15 องศา (ϕ -lamp = 47000 ลูเมน) ระยะระหว่างเสา 40 เมตร ถนนเป็นแบบ R3 (ข้อมูลการกระจายแสงของโคมแสดงไว้ในภาคผนวก ก) (ข้อมูลการสะท้อนแสงของพื้นถนนแสดงไว้ในภาคผนวก ข)



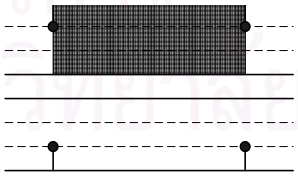
Single Sided (Right)



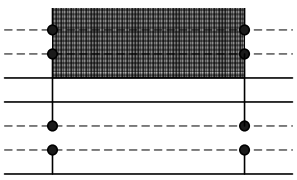
Opposite



Median Only



Opposite through Median



Opposite to Median

การวิเคราะห์ผล

ก. จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 5-5 จะได้ข้อสรุปดังนี้ ถ้าลักษณะการติดตั้งเป็นแบบ Single Sided (Right) ความสว่างและความส่องสว่างจะมากบริเวณฝั่งขวาของพื้นที่ที่พิจารณา เพราะฉะนั้นค่าความสม่ำเสมอรวมจึงน้อย และค่าความสม่ำเสมอในแนวยาวจะน้อยบริเวณฝั่งขวาของพื้นที่ที่พิจารณา

ข. จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 5-5 จะได้ข้อสรุปดังนี้ ถ้าลักษณะการติดตั้งเป็นแบบ Opposite ความสว่างและความส่องสว่างจะมากบริเวณกลางพื้นที่ที่เราพิจารณาและมีค่ามากกว่าแบบ Single Sided (Right) เพราะฉะนั้นค่าความสม่ำเสมอรวมจึงมากกว่าและค่าความสม่ำเสมอในแนวยาวของฝั่งซ้ายและขวาจะใกล้เคียงกัน

ค. จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 5-5 จะได้ข้อสรุปดังนี้ ถ้าลักษณะการติดตั้งเป็นแบบ Median Only ความสว่างและความส่องสว่างจะมากบริเวณฝั่งขวาของพื้นที่ที่พิจารณา และมีค่ามากกว่าแบบ Single Sided (Right) เพราะมีแสงจากโคมอีกฝั่งของถนนมาเพิ่ม ส่วนค่าความสม่ำเสมอรวมจะน้อย และค่าความสม่ำเสมอในแนวยาวจะน้อยบริเวณฝั่งขวาของพื้นที่ที่พิจารณา

ง. จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 5-5 จะได้ข้อสรุปดังนี้ ถ้าลักษณะการติดตั้งเป็นแบบ Opposite through Median ความสว่างและความส่องสว่างจะมากบริเวณฝั่งซ้ายของพื้นที่ที่พิจารณาโดยค่าที่ได้จะใกล้เคียงกับแบบ Single Sided (Right) เพราะมีแสงจากโคมอีกฝั่งของถนนมาเพิ่มแต่น้อยมาก เพราะฉะนั้นค่าความสม่ำเสมอรวมจึงน้อย และค่าความสม่ำเสมอในแนวยาวจะน้อยบริเวณฝั่งซ้ายของพื้นที่ที่พิจารณา

จ. จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 5-5 จะได้ข้อสรุปดังนี้ ถ้าลักษณะการติดตั้งเป็นแบบ Opposite to Median ความสว่างและความส่องสว่างจะมีค่ามากกว่าแบบ Opposite through Median เพราะมีโคมติดตั้งบริเวณเกาะกลางถนนมาเพิ่มทำให้แสงสว่างทั่วทั้งบริเวณที่พิจารณา เพราะฉะนั้นค่าความสม่ำเสมอในแนวยาวของแต่ละช่องวิ่งใกล้เคียงกัน

5.3 กรณีที่ 3 เปรียบเทียบความสว่างและความส่องสว่างของถนนเอียง

พื้นที่ที่ทดสอบ เป็นถนนทางตรงขนาดกว้าง 15 เมตร 3 เลน ติดตั้งโคมสูง 14 เมตร มุมเงย 15 องศา (ϕ -lamp = 47000 ลูเมน) ระยะระหว่างเสา 40 เมตร ถนนเป็นแบบ R3 (ข้อมูลการกระจายแสงของโคมแสดงไว้ในภาคผนวก ก) (ข้อมูลการสะท้อนแสงของพื้นถนนแสดงไว้ในภาคผนวก ข) โดยตารางที่ 5-6 แสดงค่าความสว่างและความส่องสว่างของถนนที่มีการปรับค่ามุมให้เอียงขึ้น 5 องศาเทียบกับแนวราบ โดยเริ่มเอียงที่ระยะ –100 เมตรจากจุดแรกที่พิจารณา และตารางที่ 5-7 แสดงค่าความสว่างและความส่องสว่างของถนนที่มีการปรับค่ามุมให้เอียงลง 5 องศาเทียบกับแนวราบ โดยสิ้นสุดการเอียงที่ระยะ 140 เมตรจากจุดแรกที่พิจารณา

ตารางที่ 5-5 การเปรียบเทียบแสงสว่างบนถนนที่มีลักษณะการติดตั้งโคมแตกต่างกัน

ลักษณะการติดตั้ง	Illuminance (E)					Luminance (L)			Uniformity				Glare	
	Max	Min	Average	U_0	U_1	Max	Min	Average	U_0	U_{11}	U_{12}	U_{13}	TI	G
Single Side (Right)	45.3041	12.3686	30.3837	0.407	0.273	5.2046	0.6761	2.3826	0.2838	0.718	0.675	0.523	6.42	5.31
Opposite	78.7039	40.6873	60.7675	0.670	0.517	6.7200	1.9086	4.5092	0.4233	0.579	0.675	0.579	7.53	5.58
Median	61.2749	15.4104	43.3865	0.355	0.251	7.2962	0.8464	3.3693	0.2512	0.763	0.702	0.535	7.16	5.46
Opposite through Median	49.0592	22.9496	36.3017	0.632	0.468	5.1679	1.5637	2.5899	0.6038	0.539	0.686	0.749	9.69	5.35
Opposite to Median	97.2819	46.7474	79.6882	0.587	0.481	9.2392	3.0315	5.9592	0.5087	0.637	0.695	0.607	6.93	5.70

ตารางที่ 5-6 การเปรียบเทียบแสงสว่างบนถนนเอียง $+5^{o}$

ลักษณะการติดตั้ง	Illuminance (E)					Luminance (L)			Uniformity				Glare	
	Max	Min	Average	U_0	U_1	Max	Min	average	U_0	U_{11}	U_{12}	U_{13}	TI	G
Single Side (Right)	47.9366	12.3566	30.2886	0.408	0.258	5.2400	0.7993	2.6979	0.2963	0.847	0.807	0.681	5.84	5.36
Opposite	82.7584	36.6247	60.5771	0.605	0.443	7.0226	2.2350	5.0670	0.4411	0.733	0.807	0.733	6.90	5.63
Median	67.1713	15.7723	43.2859	0.364	0.235	7.6769	0.9829	3.8753	0.2536	0.869	0.803	0.682	6.43	5.52
Opposite through Median	51.6778	23.0931	36.1582	0.639	0.447	5.2645	1.7912	2.9382	0.6096	0.698	0.814	0.843	8.80	5.40
Opposite to Median	102.412	42.9782	79.4441	0.541	0.420	9.7114	3.8381	6.8134	0.5633	0.756	0.814	0.740	6.26	5.75

ตารางที่ 5-7 การเปรียบเทียบแสงสว่างบนถนนเอียง -5^{o}

ลักษณะการติดตั้ง	Illuminance (E)					Luminance (L)			Uniformity				Glare	
	Max	Min	Average	U_0	U_1	Max	Min	Average	U_0	U_{11}	U_{12}	U_{13}	TI	G
Single Side (Right)	47.9431	12.3328	30.2439	0.408	0.257	5.0844	0.6122	2.0817	0.2941	0.624	0.494	0.370	7.19	5.25
Opposite	82.7497	36.4912	60.4878	0.603	0.441	6.9617	1.6987	3.9739	0.4275	0.466	0.494	0.466	8.38	5.53
Median	67.1614	15.7340	42.2103	0.364	0.234	7.2232	0.7836	2.9218	0.2682	0.712	0.556	0.388	8.06	5.40
Opposite through Median	51.7022	23.0452	36.0245	0.640	0.446	4.9607	1.3084	2.2748	0.5782	0.389	0.524	0.674	10.8	5.29
Opposite to Median	102.402	42.5660	79.2348	0.537	0.416	8.8655	2.4792	5.1966	0.4771	0.519	0.540	0.490	7.78	5.6

การวิเคราะห์ผล

ก. จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 5-6 และตารางที่ 5-7 จะได้ข้อสรุปดังนี้ ค่าความสว่างของถนนที่เอียงขึ้นและลงจะใกล้เคียงกันแต่จะกลับข้างกัน

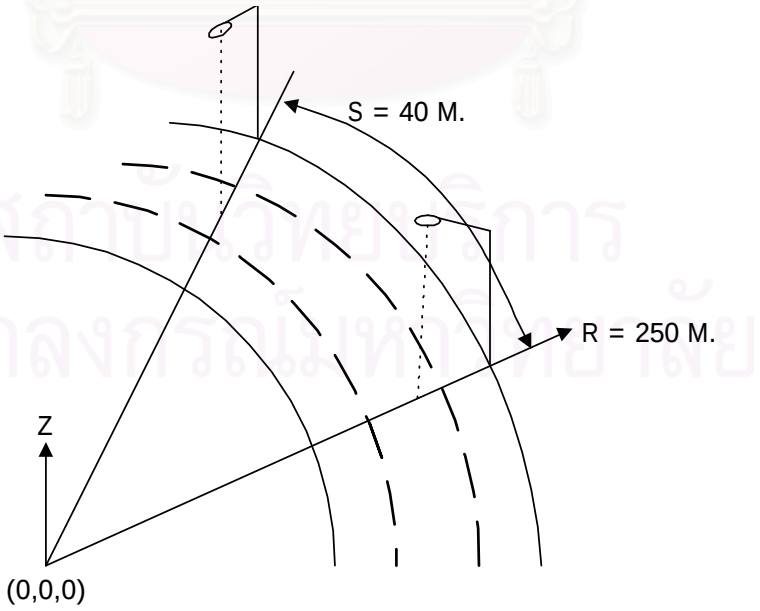
ข. จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 5-6 และตารางที่ 5-7 จะได้ข้อสรุปดังนี้ ค่าความส่องสว่างของถนนที่เอียงขึ้นและลงจะแตกต่างกัน เนื่องจากผู้สังเกตอยู่คนละตำแหน่งกัน

ค. จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 5-6 และตารางที่ 5-7 จะได้ข้อสรุปดังนี้ ขนาดของมุมγ (มุมที่ใช้ในการคำนวณความสว่าง)ที่จุดๆเดียวกัน ถนนที่เอียงขึ้นจะมากกว่าทำให้ค่าความสว่างมากกว่า บริเวณที่มืดก็จะสว่างขึ้น เพราะฉะนั้นค่าความสม่ำเสมอในแนวยาวของถนนที่เอียงขึ้นจะมากกว่าถนนที่เอียงลง แต่ลักษณะแนวโน้มของแต่ละช่องวิ่งจะเหมือนกัน

ง. จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 5-6 และตารางที่ 5-7 จะได้ข้อสรุปดังนี้ ขนาดของมุมθ (มุมที่ใช้ในการคำนวณแสงจ้า) ที่จุดๆเดียวกัน ถนนที่เอียงขึ้นจะน้อยกว่า ทำให้ระดับแสงจ้าของถนนที่เอียงลงจะมากกว่าถนนที่เอียงขึ้น

5.4 กรณีที่ 4 ตัวอย่างการให้แสงสว่างถนนโค้ง

พื้นที่ที่ทดสอบ เป็นถนนทางโค้งเลี้ยวซ้าย ขนาดกว้าง 15 เมตร 3 เลน รัศมีความโค้ง 250 เมตร ติดตั้งโคมสูง 14 เมตร มุมเงย 15 องศา (ϕ -lamp = 47000 ลูเมน) ระยะระหว่างเสา 40 เมตร ลักษณะการติดตั้งแบบ Single-Side(Right) ถนนเป็นแบบ R3 (ข้อมูลการกระจายแสงของโคมแสดงในภาคผนวก ก) (ข้อมูลการสะท้อนแสงของพื้นถนนแสดงไว้ในภาคผนวก ข)



รูปที่ 5-12 ลักษณะพื้นที่ที่ทดสอบของถนนโค้ง

ตารางที่ 5-8 ความสว่างของถนนโค้ง

S/R	235.5	236.5	237.5	238.5	239.5	240.5	241.5	242.5	243.5	244.5	245.5	246.5	247.5	248.5	249.5
40	12.3	14.8	19.0	22.6	26.7	31.2	35.9	39.7	42.5	44.2	42.8	41.3	38.7	35.2	30.0
36	12.8	15.3	18.4	22.0	27.2	31.9	36.5	41.1	44.5	47.3	45.7	42.8	38.9	34.2	30.0
32	14.1	16.1	18.6	22.3	26.4	31.7	36.6	40.5	43.3	45.2	44.4	43.9	41.9	37.0	32.0
28	14.0	16.0	18.7	22.0	25.4	29.0	32.3	35.1	37.2	38.2	35.9	35.6	33.5	30.2	28.4
24	12.8	14.9	17.2	20.0	23.7	27.9	32.5	36.2	38.9	40.3	38.4	39.1	37.6	34.9	31.6
20	12.3	14.0	16.5	19.7	23.0	27.7	31.6	35.3	37.6	39.3	37.6	38.7	37.1	35.1	32.6
16	12.8	14.9	17.2	20.0	23.7	27.9	32.5	36.2	38.9	40.3	38.4	39.1	37.6	34.9	31.6
12	14.0	16.0	18.7	22.0	25.4	29.0	32.3	35.1	37.2	38.2	35.9	35.6	33.4	30.1	28.4
8	14.0	16.0	18.5	22.2	26.3	31.6	36.6	40.4	43.2	45.2	44.3	43.9	41.8	39.9	31.9
4	12.7	15.3	18.3	21.9	27.1	31.8	36.4	41.0	44.4	**47.3**	45.6	42.8	38.8	34.1	29.9
0	**12.2**	14.7	18.9	22.5	26.6	31.1	35.8	39.6	42.4	44.1	42.7	41.2	38.6	35.1	29.9

ตารางที่ 5-9 ความส่องสว่างของถนนโค้ง

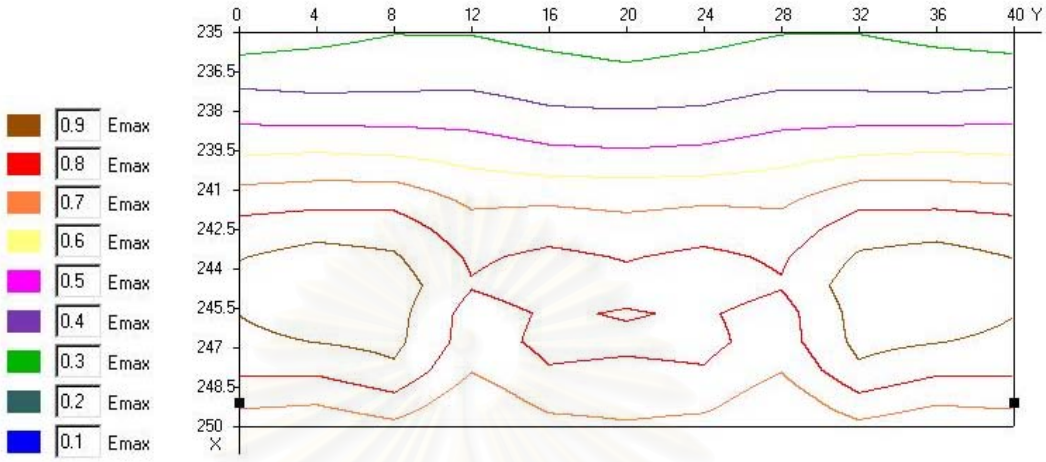
S/R	235.5	236.5	237.5	238.5	239.5	240.5	241.5	242.5	243.5	244.5	245.5	246.5	247.5	248.5	249.5
40	1.70	2.32	2.87	3.10	3.03	2.85	2.65	2.38	2.17	2.03	1.73	1.62	1.48	1.33	**1.13**
36	1.82	2.29	2.57	2.60	2.51	2.41	2.34	2.24	2.25	2.24	2.00	1.85	1.65	1.43	1.21
32	1.83	2.13	2.19	2.15	2.16	2.28	3.00	2.49	2.58	2.62	2.51	2.42	2.23	1.89	1.57
28	1.93	2.10	2.12	2.04	2.05	2.15	2.25	2.44	2.71	2.80	2.63	2.48	2.19	1.80	1.60
24	2.04	2.38	2.20	2.05	2.06	2.33	2.78	3.28	3.68	3.76	3.52	3.24	2.76	2.27	1.88
20	2.25	2.17	2.01	2.12	2.29	2.81	3.41	4.03	4.36	4.36	3.82	3.51	3.00	2.56	2.15
16	2.07	2.02	2.01	2.31	2.68	2.40	4.26	4.85	5.01	4.70	3.81	3.49	2.97	2.46	1.99
12	1.91	1.78	2.11	2.64	3.49	4.32	5.10	**5.34**	5.00	4.31	3.13	2.80	2.33	1.91	1.60
8	1.49	1.68	2.06	2.77	3.59	4.56	4.95	4.81	4.23	3.61	2.76	2.50	2.20	1.82	1.47
4	1.28	1.51	2.10	2.78	3.67	4.38	4.44	3.94	3.34	2.76	2.20	1.93	1.69	1.42	1.20
0	1.14	1.51	2.06	2.72	3.38	3.70	3.40	2.96	2.53	2.20	1.84	1.67	1.52	1.35	**1.13**

ตารางที่ 5-10 ความสม่ำเสมอของความสว่างของถนนโค้ง

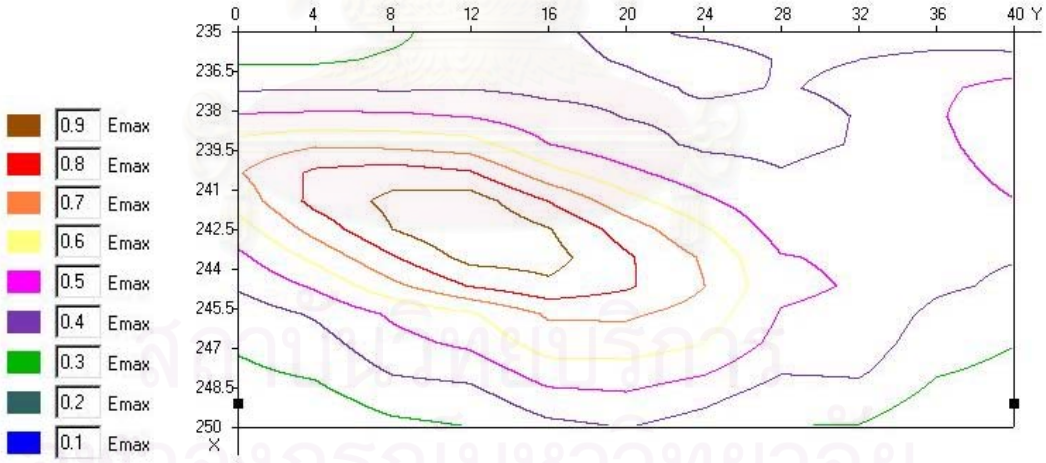
Emin (Lux)	Emax (Lux)	Eav (Lux)	Emin / Eav	Emin / Emax	TI	G
12.2	47.3	31.0	0.393	0.257	3.552	5.35

ตารางที่ 5-11 ความสม่ำเสมอของความส่องสว่างของถนนโค้ง

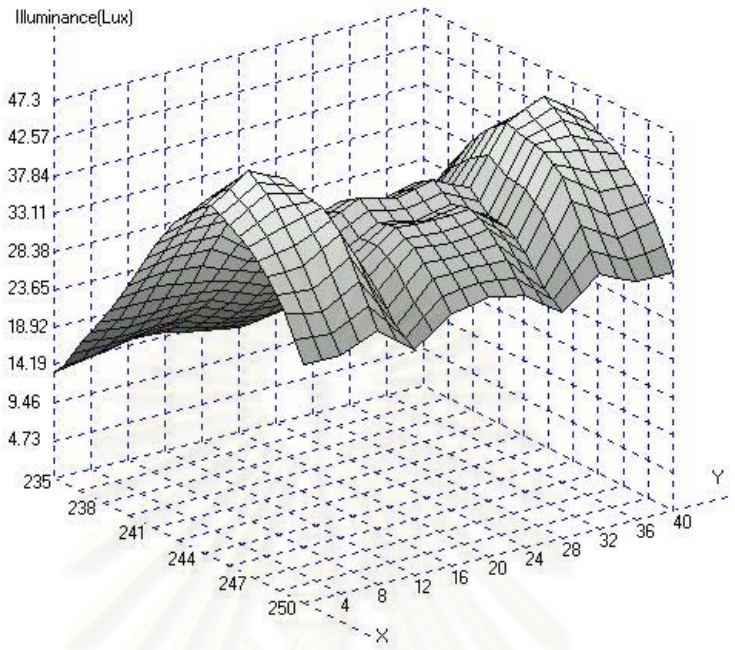
Lmin (cd/m^2)	Lmax (cd/m^2)	Lav (cd/m^2)	U_0 Lmin / Lav	U_{11}	U_{12}	U_{13}
1.13	5.34	2.59	0.434	0.408	0.46	0.646



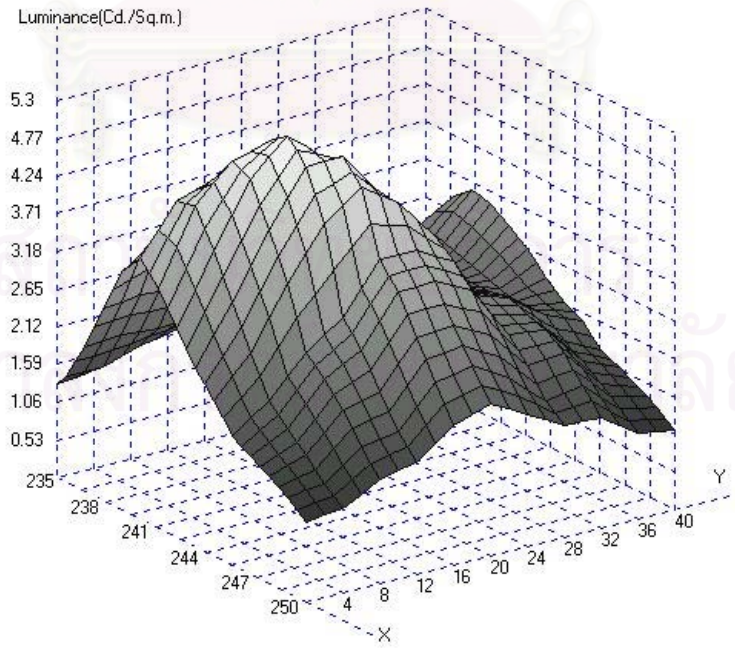
รูปที่ 5-13 ภาพลายเส้นของความสว่าง



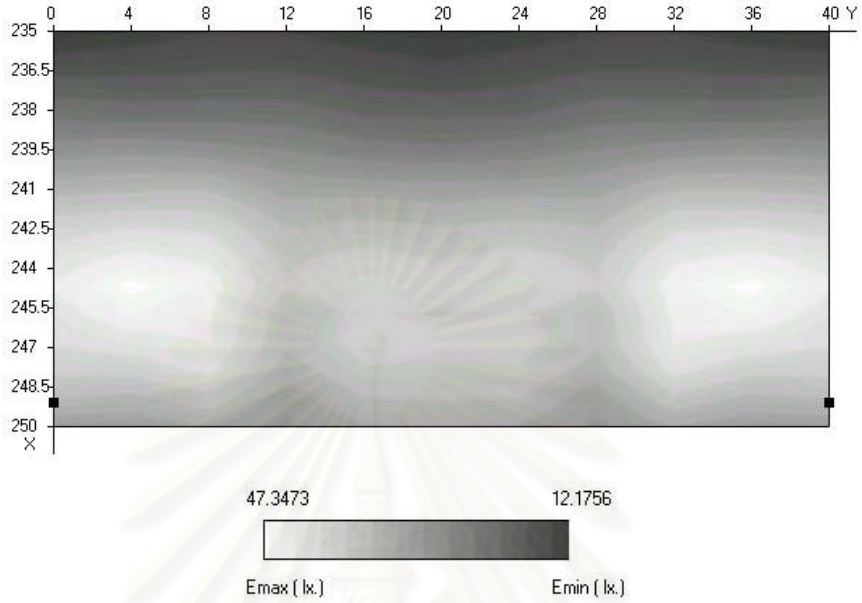
รูปที่ 5-14 ภาพลายเส้นของความส่องสว่าง



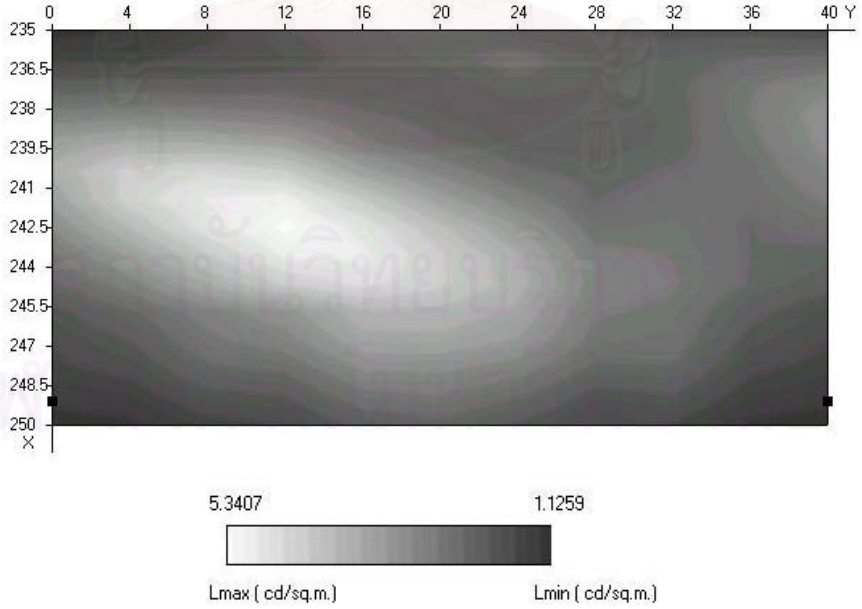
รูปที่ 5-15 ภาพสามมิติของความสว่าง



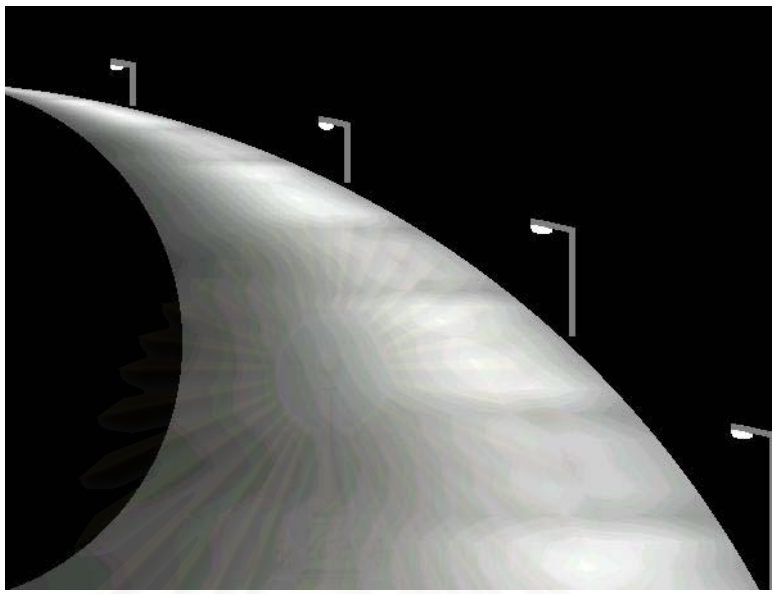
รูปที่ 5-16 ภาพสามมิติของความส่องสว่าง



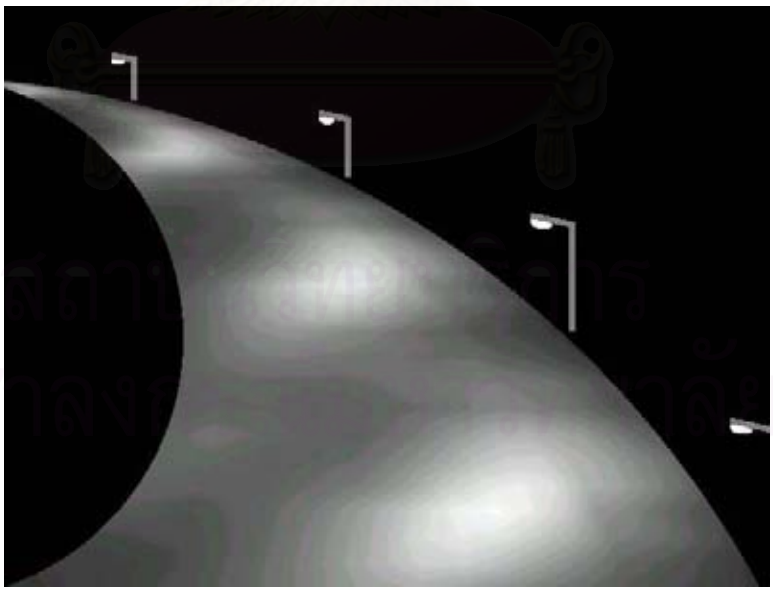
รูปที่ 5-17 ภาพแรเงาของความสว่าง



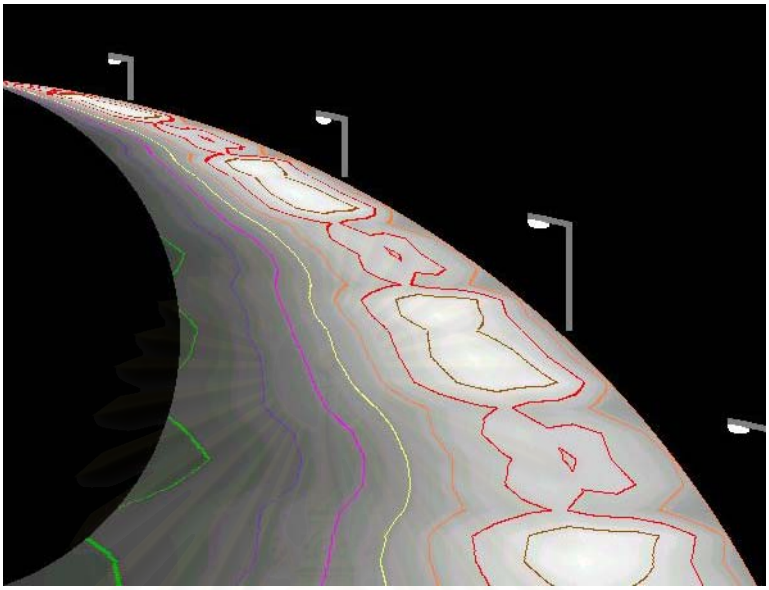
รูปที่ 5-18 ภาพแรเงาของความส่องสว่าง



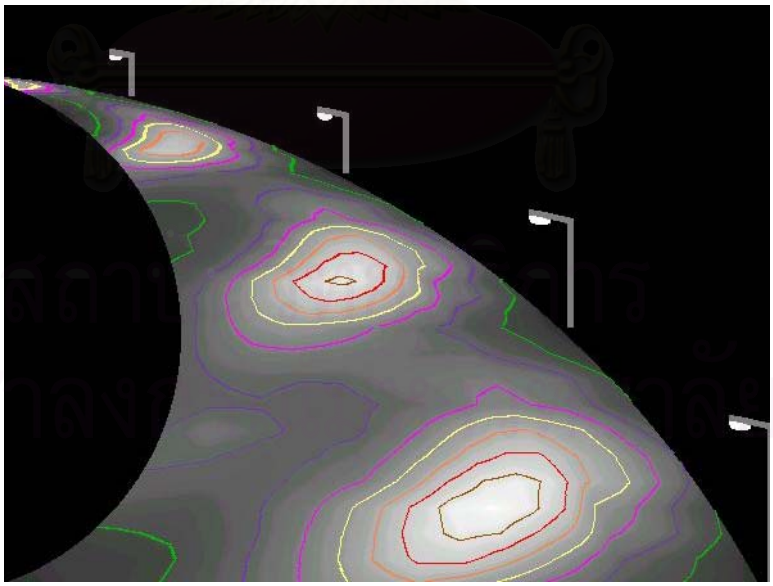
รูปที่ 5-19 ภาพ perspective ของความสว่าง



รูปที่ 5-20 ภาพ perspective ของความส่องสว่าง



รูปที่ 5-21 ภาพ perspective และลายเส้นของความสว่าง



รูปที่ 5-22 ภาพ perspective และลายเส้นของความส่องสว่าง

การวิเคราะห์ผล

ก. จากผลการคำนวณได้ความส่องสว่างเฉลี่ยบนพื้นถนน 2.59 cd/m^2 ซึ่งมาตรฐาน CIEกำหนดไว้ที่ 2 cd/m^2 จึงผ่านเงื่อนไขการให้แสงสว่าง

ข. จากผลการคำนวณได้ความสม่ำเสมอ U_0 0.434 ซึ่งมาตรฐาน CIEกำหนดไว้ที่ 0.4 cd/m^2 จึงผ่านเงื่อนไขการให้แสงสว่าง

ค. จากผลการคำนวณได้ความสม่ำเสมอ U_1 0.408 , 0.46 , 0.646 cd/m^2 ตามลำดับ ซึ่งมาตรฐาน CIE กำหนดไว้ที่ 0.5 cd/m^2 ซึ่งไม่ผ่านเงื่อนไขการให้แสงสว่าง เนื่องจากถนนเป็นถนนโค้ง ลักษณะการติดตั้งโคมเป็นแบบ Single- Side(Right) ทำให้แสงจะสว่างทางด้านขวามากกว่าด้านซ้าย อาจจะแก้ไขได้โดยเปลี่ยนลักษณะการติดตั้งโคม เปลี่ยนความสูงของเสาไฟ หรือปรับค่ามุมเงยให้มากขึ้นแต่ต้องไม่มากเกินไปเพราะจะทำให้เกิดปัญหาเรื่องแสงจ้าตามมา

ง. จากผลการคำนวณได้ค่า G 5.35 ซึ่งมาตรฐาน CIE กำหนดไว้ที่ 5 จึงผ่านเงื่อนไขการให้แสงสว่าง

จ. จากผลการคำนวณได้ค่า TI 3.55 ซึ่งมาตรฐาน CIE กำหนดไว้ที่ 10 จึงไม่ผ่านเงื่อนไขการให้แสงสว่าง

5.5 กรณีที่ 5 เปรียบเทียบชนิดของถนน

พื้นที่ที่ทดสอบ เป็นถนนทางตรงขนาดกว้าง 15 เมตร 3 เลน ติดตั้งโคมสูง 14 เมตร มุมเงย 15 องศา (ϕ -lamp = 47000 ลูเมน) ระยะระหว่างเสา 40 เมตร ลักษณะการติดตั้งแบบ Single-Side (left) แต่ใช้พื้นถนนแตกต่างกัน (ข้อมูลการกระจายแสงของโคมแสดงไว้ในภาคผนวก ก) (ข้อมูลการสะท้อนแสงของพื้นถนนแสดงไว้ในภาคผนวก ข)

การวิเคราะห์ผล

ก. จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 5-12 ได้ข้อสรุปดังนี้ ถนนที่มีคุณสมบัติการสะท้อนแสงต่างกัน ความสว่างจะไม่ต่างกัน เนื่องจากความสว่างไม่ได้ขึ้นกับชนิดถนนแต่ขึ้นกับความเข้มแสงของดวงโคม

ข. จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 5-12 ได้ข้อสรุปดังนี้ ถนนที่มีคุณสมบัติการสะท้อนแสงต่างกัน ความส่องสว่างจะต่างกัน เนื่องจากความส่องสว่างขึ้นกับผลจากการสะท้อนของผิวถนนมาเข้าสู่ตาของผู้ขับขี่

ค. จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 5-12 ได้ข้อสรุปดังนี้ ถนนประเภท W ซึ่งเป็นถนนเปียก จะมีค่าความส่องสว่างมากกว่าประเภท C , R และ N ซึ่งเป็นถนนแห้ง เนื่องจาก มีการสะท้อนแสงจากน้ำบนพื้นถนนมาเข้าสู่ตาของผู้ขับขี่

ตารางที่ 5-12 การเปรียบเทียบแสงสว่างบนถนนที่มีชนิดถนนแตกต่างกัน

ชนิดถนน	Illuminance (E)					Luminance (L)			Uniformity				Glare	
	Max	Min	Average	U_0	U_1	Max	Min	average	U_0	U_{11}	U_{12}	U_{13}	TI	G
C1	45.3041	12.3686	30.3837	0.407	0.273	4.8642	1.1748	3.0979	0.3792	0.742	0.841	0.883	6.26	5.42
C2	45.3041	12.3686	30.3837	0.407	0.273	5.0133	0.6394	2.1922	0.2917	0.537	0.707	0.826	8.25	5.28
R1	45.3041	12.3686	30.3837	0.407	0.273	4.4091	1.2261	2.9733	0.4124	0.754	0.851	0.898	6.47	5.40
R2	45.3041	12.3686	30.3837	0.407	0.273	4.1080	0.7242	2.1853	0.3314	0.641	0.730	0.799	8.27	5.27
R3	45.3041	12.3686	30.3837	0.407	0.273	4.9831	0.6164	2.1259	0.2899	0.523	0.675	0.718	8.46	5.26
R4	45.3041	12.3686	30.3837	0.407	0.273	6.0083	0.5719	2.3196	0.2466	0.540	0.678	0.687	7.89	5.30
N1	45.3041	12.3686	30.3837	0.407	0.273	4.5937	1.2600	3.0920	0.4075	0.791	0.869	0.831	6.27	5.42
N2	45.3041	12.3686	30.3837	0.407	0.273	3.9639	0.7678	2.2152	0.3466	0.666	0.792	0.891	8.19	5.28
N3	45.3041	12.3686	30.3837	0.407	0.273	5.0110	0.6276	2.2125	0.2836	0.553	0.721	0.789	8.19	5.28
N4	45.3041	12.3686	30.3837	0.407	0.273	6.5829	0.5922	2.4317	0.2435	0.510	0.659	0.724	7.60	5.32
W1	45.3041	12.3686	30.3837	0.407	0.273	14.777	0.5920	4.1437	0.1429	0.386	0.571	0.696	4.96	5.54
W2	45.3041	12.3686	30.3837	0.407	0.273	23.340	0.5064	5.5442	0.0913	0.348	0.538	0.684	3.93	5.67
W3	45.3041	12.3686	30.3837	0.407	0.273	33.134	0.4591	7.0020	0.0656	0.334	0.545	0.701	3.26	5.77
W4	45.3041	12.3686	30.3837	0.407	0.273	38.782	0.4171	7.4984	0.0556	0.364	0.612	0.709	3.09	5.79

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.6 กรณีที่ 6 เปรียบเทียบการติดตั้งในระบบเสาธรรมดาและระบบเสาสูง

กรณีนี้จะกำหนดให้พื้นที่ที่ทดสอบ เป็นถนนทางตรงขนาดกว้าง 15 เมตร 3 เลน ถนนเป็นแบบ R3 ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยประมาณ 2.3 cd/m^2 แล้วทำการปรับเปลี่ยนลักษณะการติดตั้งทั้งในระบบเสาธรรมดาและระบบเสาสูง เพื่อให้ได้ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตามที่ต้องการ ซึ่งจะได้ผลดังนี้

ระบบเสาธรรมดา

การกระจายแสงของโคมแสดงไว้ในตาราง I1 (ϕ -lamp = 45500 ลูเมน) ระยะระหว่างเสา 40 เมตร ลักษณะการติดตั้งเป็นแบบ Single-Side (Right) และมุมเงยเท่ากับ 15 องศา

ระบบเสาสูง

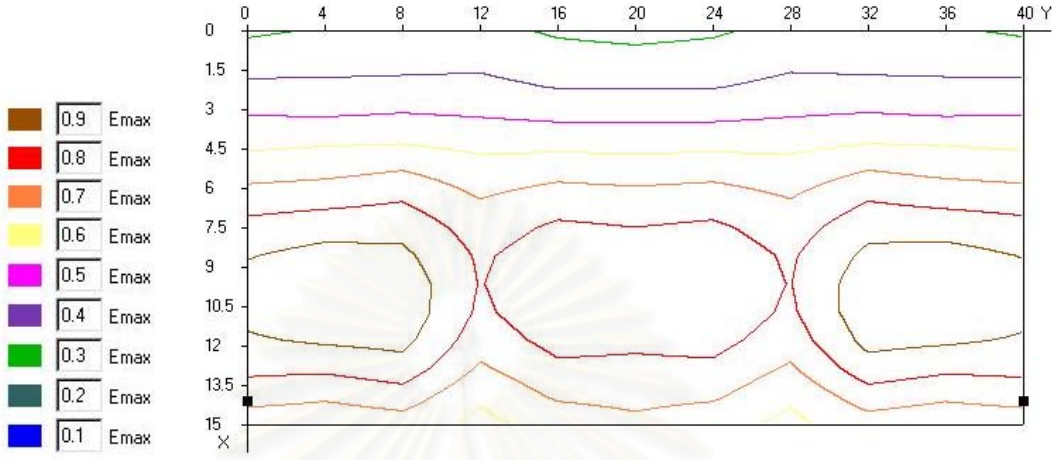
การกระจายแสงของโคมแสดงไว้ในตาราง I2 (ϕ -lamp = 70000 ลูเมน) ระยะระหว่างเสา 80 เมตร

ตารางที่ 5-13 ข้อมูลการติดตั้งโคมระบบเสาสูง

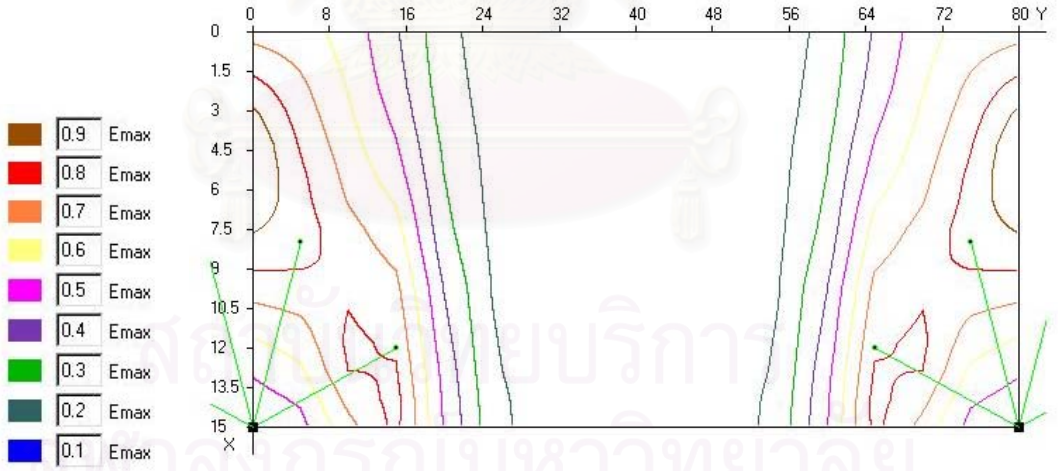
No.	Code	Lumen	Luminaire Position			Aiming Position			Rotate	Tilt
			X	Y	Z	X	Y	Z		
1	I2	70000	15	0	35	12	15	0	101.31	23.61
2	I2	70000	15	0	35	8	5	0	144.46	13.81
3	I2	70000	15	0	35	8	-5	0	-144.46	13.81
4	I2	70000	15	0	35	12	-15	0	-101.31	23.61

ตารางที่ 5-14 การเปรียบเทียบความสว่างและความส่องสว่างทั้ง 2 ระบบ

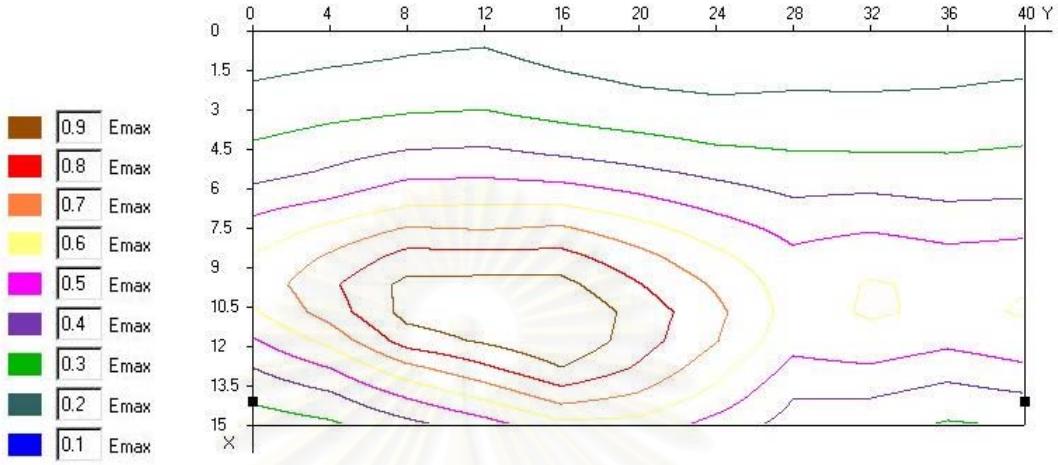
	ระบบเสาธรรมดา	ระบบเสาสูง
Emin (Lux)	11.9739	13.8629
Emax (Lux)	43.8582	131.744
Eav (Lux)	29.4140	56.4779
Emin / Eav	0.407	0.245
Emin / Emax	0.273	0.105
Lmin (cd/m^2)	0.6545	0.8357
Lmax (cd/m^2)	5.0385	5.0990
Lav (cd/m^2)	**2.3066**	**2.3089**
U_0(Lmin / Lav)	0.2838	0.3619
U_{11}	0.718	0.289
U_{12}	0.675	0.313
U_{13}	0.523	0.265



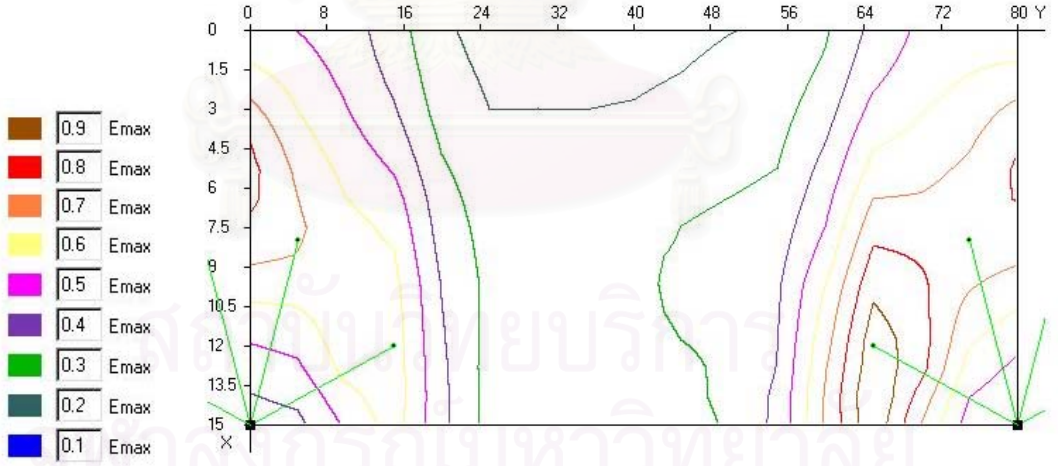
รูปที่ 5-23 ภาพลายเส้นของความสว่างระบบเสาธรรมดา



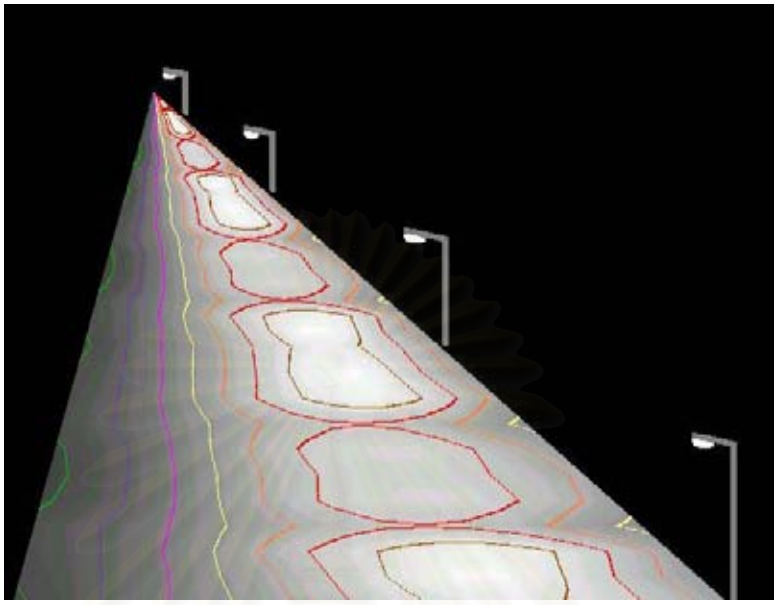
รูปที่ 5-24 ภาพลายเส้นของความสว่างระบบเสาสูง



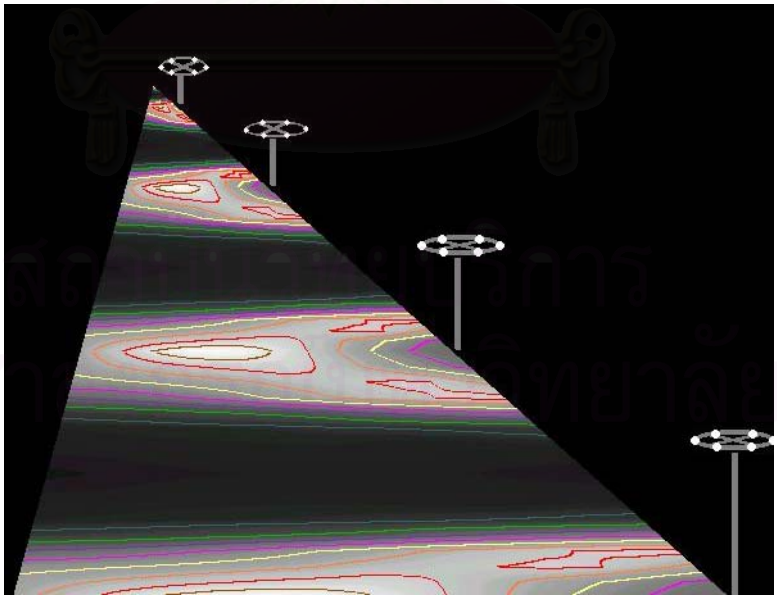
รูปที่ 5-25 ภาพลายเส้นของความส่องสว่างระบบเสาธรรมดา



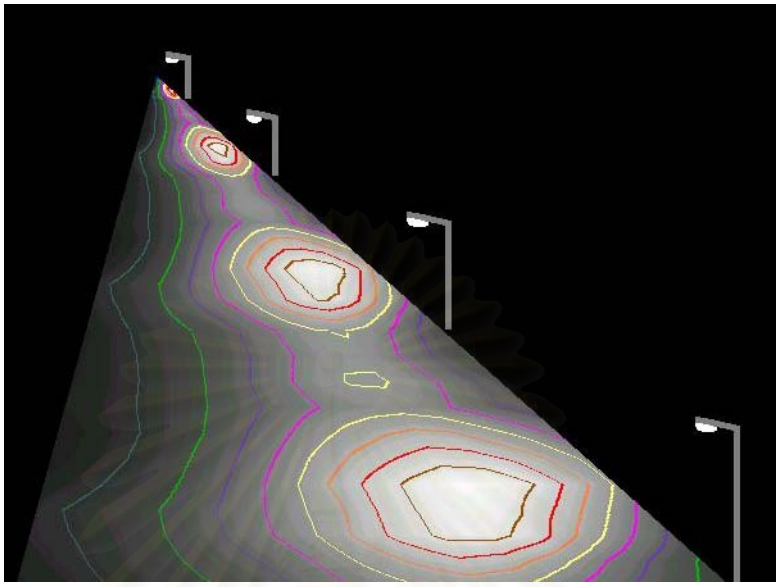
รูปที่ 5-26 ภาพลายเส้นของความส่องสว่างระบบเสาสูง



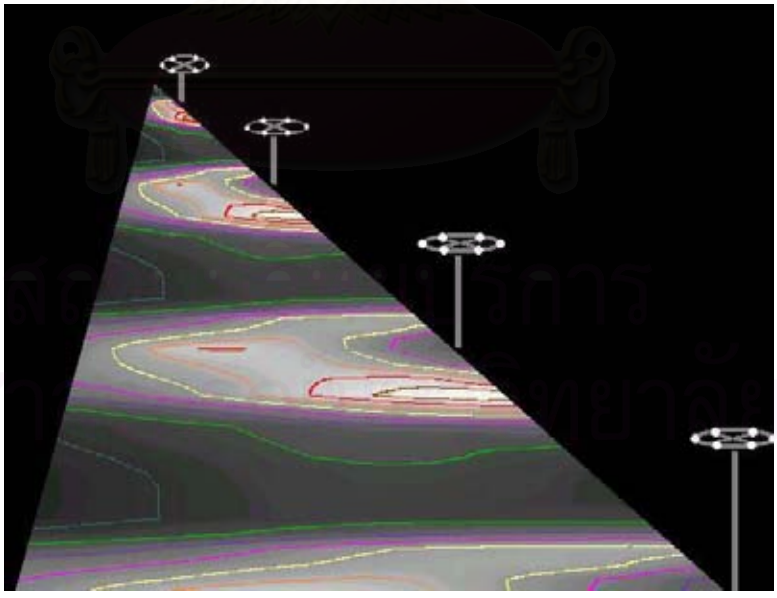
รูปที่ 5-27 ภาพ perspective และลายเส้นของความสว่างระบบเสาธรรมดา



รูปที่ 5-28 ภาพ perspective และลายเส้นของความสว่างระบบเสาสูง



รูปที่ 5-29 ภาพ perspective และลายเส้นของความส่องสว่างระบบเสาธรรมดา



รูปที่ 5-30 ภาพ perspective และลายเส้นของความส่องสว่างระบบเสาสูง

การวิเคราะห์ผล

ก. ถ้าต้องการความส่องสว่างให้ใกล้เคียงกัน ระบบเสาสูงต้องใช้โคมที่มี ϕ -lamp เท่ากับ 70000 ลูเมน ซึ่งสูงกว่าระบบเสาธรรมดาที่มี ϕ -lamp เท่ากับ 45500 ลูเมน เนื่องจากติดตั้งโคมที่ความสูงสูงกว่า

ข. เนื่องจากระบบเสาสูงติดตั้งโคมที่ความสูงสูงกว่า ดังนั้นสามารถติดตั้งระยะห่างระหว่างเสาได้มากกว่าคือที่ 80 เมตร ในขณะที่ระบบเสาธรรมดาติดตั้งที่ 40 เมตร ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย

ค. ระบบเสาสูงสามารถเลือกตำแหน่งจุดเล็งของดวงโคมแต่ละดวงได้ ดังนั้นจึงสามารถเพิ่มความสว่างที่จุดใดๆได้ตามต้องการ แต่ระบบเสาสูงจะใช้จำนวนดวงโคมต่อ 1 เสาคือ 4 ดวงซึ่งมากกว่าระบบเสาธรรมดาที่ใช้เพียง 1 ดวง ต่อ 1 เสา

ง. เนื่องจากการกระจายแสงของโคมในระบบเสาสูงจะมีลำแสงส่วนใหญ่ไปในแนวตั้งฉากกับดวงโคม เพราะฉะนั้นความสม่ำเสมอในแนวยาวจะมีค่าน้อย เสมือนเป็นทางม้าลาย เมื่อเทียบกับดวงโคมในระบบเสาธรรมดาที่มีลำแสงส่วนใหญ่ในแนวขนานกับดวงโคม ความสม่ำเสมอในแนวยาวจะมีค่ามากกว่า

จ. ข้อสรุปดังกล่าวข้างต้นไม่ใช่ข้อตัดสินว่าระบบใดดีกว่าหรือด้อยกว่า ผลการวิเคราะห์ในหัวข้อนี้ เพื่อต้องการแสดงให้เห็นว่า โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาสามารถใช้วิเคราะห์ผลของการให้แสงในระบบเสาธรรมดาและระบบเสาสูงได้ และสามารถนำผลมาเปรียบเทียบกันได้ การที่จะตัดสินใจว่าาจะเลือกใช้ระบบใด ต้องทำการวิเคราะห์ผลมากกว่าที่แสดงในหัวข้อนี้ เช่น ต้องทดลองเปลี่ยนชนิดของดวงโคม Floodlight ที่มีลักษณะการกระจายแสงแบบต่างๆด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอวิธีการประเมินคุณภาพการให้แสงสว่างถนน ด้วยวิธีจุดต่อจุด เป็นวิธีที่ใช้หาค่าความสว่าง ณ จุดใดๆบนพื้นถนนได้ ซึ่งวิธีจุดต่อจุดนี้ ถ้าคิดด้วยมือจะต้องใช้เวลานานและมีโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดได้ง่าย ด้วยเหตุนี้จึงได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์โดยใช้ภาษาเดลไฟล์ 5 ซึ่งเป็นภาษาที่ง่ายต่อการออกแบบและสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้ได้อย่างสะดวก ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าที่ใช้ในการคำนวณโปรแกรมก็สามารถคำนวณค่าต่างๆใหม่ได้ในเวลารวดเร็ว ทำให้สะดวก ใช้เวลาในการคำนวณน้อยและมีความแม่นยำสูง

นอกจากนี้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ยังสามารถหาค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ของความสว่าง และความส่องสว่าง ความสม่ำเสมอรวม ความสม่ำเสมอในแนวยาว ตลอดจนระดับของแสงจ้าตามมาตรฐาน CIE (International Commission on Illumination)ได้อีกด้วย โปรแกรมนี้สามารถคำนวณได้ทั้งถนนตรงและถนนโค้งที่ติดตั้งในระบบเสาธรรมดาและระบบเสาสูง ซึ่งการแสดงผลสามารถแสดงได้ในหลายรูปแบบ ทั้งรูปแบบของตารางข้อมูลภาพแรเงา ภาพลายเส้น ภาพ 3 มิติ และภาพเสมือนจริงของความสว่างและความส่องสว่าง ทำให้ผู้ใช้มองเห็นภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้น เนื่องจากการแสดงผลเป็นรูปภาพจะสามารถสื่อสารให้เข้าใจได้ง่ายและถูกต้องกว่า

การพัฒนาโปรแกรมนี้นอกจากจะได้ประโยชน์ดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังเป็นการชักชวนให้ผู้ออกแบบไฟถนนในประเทศไทยหันมาออกแบบโดยพิจารณาค่าความส่องสว่าง และระดับแสงจ้ามากขึ้น เนื่องจากค่าความส่องสว่างและระดับแสงจ้าเป็นเรื่องที่ซับซ้อนยุ่งยาก การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะทำให้การพิจารณาค่าดังกล่าวง่ายยิ่งขึ้น ผลที่ตามมาคือจะทำให้ผู้ขับขี่ยวดยานบนท้องถนนมีการมองเห็นที่มีคุณภาพสูงขึ้น และช่วยลดอุบัติเหตุที่อาจจะเกิดขึ้นได้อีกด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.2 ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาโปรแกรมในวิทยานิพนธ์นี้เป็นเพียงการเริ่มต้นของการพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ในการออกแบบไฟถนนเพื่อใช้งานในประเทศ สามารถคำนวณได้ทั้งถนนตรงและถนนโค้งที่ติดตั้งในระบบเสาธรรมดาหรือระบบเสาสูงอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น แต่ลักษณะการใช้งานจริงอาจจะมีการผสมระหว่างการติดตั้งทั้งสองระบบ ซึ่งควรจะมีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังมีถนนลักษณะอื่นๆอีก เช่น ทางแยก วงเวียน ฯลฯ ซึ่งต้องใช้การคำนวณที่ซับซ้อน แต่เป็นลักษณะถนนที่มีอยู่ในปัจจุบัน ฉะนั้นจึงควรจะมีการพัฒนาโปรแกรมที่สามารถคำนวณการให้แสงสว่างถนนลักษณะดังกล่าวด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. International Commission on Illumination, CIE Publication No. 30, 1976.
2. Ir.W.J.M. van Bommel , Prof.J.B.de Boer . Road Lighting . Philips technical Library , 1980.
3. IES Lighting handbook ,application volume, 1981.
4. นพดล ปิ่นสุภา. การออกแบบไฟถนนด้วยวิธี ซีไออี โดยใช้คอมพิวเตอร์.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532.
5. ไชยะ แช่มช้อย . พื้นฐานวิศวกรรมการส่องสว่าง . เล่ม 1,บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด , 2544.
6. ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. Lighting System Design . กลุ่มบริษัท แสงมิตร กรุ๊ป , 2544.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตาราง I1

มม γ	ระนาบ C															
(องศา)	0°	15°	25°	35°	45°	55°	65°	70°	75°	77.5°	80°	82°	84°	86°	88°	90°
0.0	1290	1290	1290	1290	1290	1290	1290	1290	1290	1290	1290	1290	1290	1290	1290	1290
5.0	1197	1179	1153	1030	988	953	930	920	910	905	900	895	893	891	889	889
10.0	1070	972	835	746	647	526	479	450	423	421	416	413	412	412	411	412
15.0	936	749	613	462	345	280	234	225	217	213	210	210	209	208	206	205
20.0	853	634	451	303	220	185	212	218	221	223	224	225	225	224	223	223
25.0	757	537	353	226	205	196	192	189	193	195	201	203	203	206	208	209
30.0	591	372	229	232	211	195	175	171	172	169	168	167	165	162	162	164
35.0	442	220	181	214	202	196	162	139	126	122	118	118	117	115	115	115
40.0	205	129	145	162	176	159	146	130	118	122	121	119	118	116	116	117
45.0	89	96	120	135	148	150	158	137	121	113	107	104	101	98	98	98
50.0	76	82	103	117	129	135	129	130	122	117	117	115	113	110	108	108
55.0	56	65	86	110	107	104	106	105	104	102	99	98	97	96	95	95
60.0	39	42	66	80	74	82	85	85	92	92	92	90	92	90	90	87
65.0	21	18	44	43	45	62	68	63	49	55	67	62	69	70	71	82
70.0	8	4	17	13	21	27	21	12	18	16	18	15	10	7	9	9
75.0	3	4	4	3	6	4	7	8	4	4	2	3	3	2	2	2
80.0	2	2	2	2	3	3	5	4	1	1	1	1	1	1	1	1
85.0	1	2	1	1	1	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0
90.0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
95.0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100.0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
105.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
110.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
115.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
125.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
130.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
135.0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
140.0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
145.0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150.0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
155.0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
160.0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
165.0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
170.0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
175.0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
180.0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง I2

มุม γ	ระนาบ C																										
(องศา)	270°	285°	300°	310°	315°	320°	325°	330°	335°	340°	345°	350°	355°	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	75°	90°
0.0	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172
10.0	136	135	142	151	155	160	164	169	175	182	185	194	200	201	207	215	209	209	208	208	204	203	201	196	186	175	176
20.0	94	95	103	115	121	129	137	148	157	170	182	192	202	208	212	213	212	210	205	200	192	185	177	171	158	138	137
30.0	69	72	88	103	110	120	129	139	162	184	207	221	236	244	248	247	244	235	223	203	177	157	137	127	107	79	75
35.0	56	60	78	95	103	115	128	140	160	181	201	220	239	251	256	254	247	233	219	196	165	143	121	113	97	71	67
40.0	57	60	75	94	104	115	127	138	143	159	169	195	221	241	253	252	238	216	189	162	141	124	107	100	86	52	54
45.0	75	71	80	99	109	117	125	135	150	168	185	230	276	320	336	327	295	239	176	143	128	117	106	95	73	45	39
47.5	90	81	83	99	107	114	122	129	153	182	201	251	302	346	359	352	310	241	175	141	122	111	100	89	67	44	40
50.0	105	91	87	100	106	112	119	125	156	187	218	273	329	373	383	377	325	244	176	140	117	106	95	84	61	43	42
52.5	116	97	89	96	100	110	122	132	169	205	241	302	363	412	431	416	352	267	196	152	121	106	91	80	57	49	57
55.0	128	103	92	93	94	109	125	140	182	223	265	331	397	451	480	455	380	291	217	165	125	106	87	76	53	55	73
57.5	126	101	88	92	94	124	154	184	220	255	290	369	448	504	543	520	434	330	246	189	134	108	81	73	56	61	81
60.0	125	100	85	91	94	139	184	229	258	287	316	407	499	558	611	585	488	369	275	214	144	110	76	70	59	68	90
62.5	114	91	76	84	88	101	134	157	194	231	268	370	473	546	586	567	451	323	241	188	131	100	69	65	57	69	91
65.0	104	82	68	77	82	83	84	85	130	176	221	334	448	535	561	550	414	278	207	163	118	90	62	60	55	71	93
67.5	89	68	56	70	70	70	71	71	113	156	198	276	356	416	447	453	352	243	174	135	99	79	59	56	50	68	86
70.0	74	54	44	63	58	58	58	58	97	136	175	219	264	298	333	356	290	209	141	107	81	69	56	53	46	66	79
72.5	52	38	32	43	41	42	43	45	68	100	127	151	174	195	215	228	403	148	97	76	60	52	44	42	37	52	62
75.0	29	23	21	23	24	27	29	32	40	64	80	83	85	93	98	101	117	88	54	45	39	36	32	31	28	39	45
77.5	18	16	15	17	18	20	23	25	30	53	59	66	72	80	84	83	90	76	45	37	32	28	24	23	20	26	30
80.0	10	10	10	11	12	14	17	19	20	32	38	49	60	67	68	65	63	64	36	30	25	21	16	15	12	13	15
82.5	8	8	8	9	10	12	14	15	18	25	30	38	46	51	54	50	47	46	29	24	20	17	13	12	10	10	11
85.0	7	7	7	8	9	10	11	12	16	19	22	27	32	35	36	35	32	28	22	18	15	13	10	9	8	8	8
87.5	6	6	6	7	8	9	10	11	14	16	18	22	26	28	29	28	26	22	19	16	14	12	9	8	7	7	7
90.0	6	6	6	7	8	9	9	10	12	13	15	18	20	22	23	21	20	17	16	14	13	11	9	8	7	7	7
92.5	5	5	5	6	7	8	8	9	10	11	12	14	16	18	19	17	16	13	13	12	11	10	8	7	6	6	6
95.0	5	5	5	6	7	7	8	8	9	9	10	11	13	15	15	14	12	10	10	10	19	9	8	7	6	6	5
97.5	4	4	4	5	6	6	7	7	7	8	9	10	12	13	13	12	11	9	9	9	9	8	7	6	5	5	4
100.0	3	3	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	11	12	12	11	10	9	9	9	8	7	6	6	5	4	4
102.5	2	2	3	4	4	5	5	6	7	7	8	9	10	11	11	10	9	8	8	8	7	6	5	5	4	3	3
105.0	1	1	3	4	4	5	5	6	7	7	8	9	10	10	10	10	8	7	7	6	6	6	5	5	4	3	3
120.0	0	0	1	2	3	4	6	7	8	8	9	12	14	15	15	11	8	6	5	4	3	3	3	3	2	1	0
135.0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2	3	4	4	4	4	3	2	1	1	1	1	1	0	0	0
150.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
165.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข ROADSURFACE STANDARD C1

Tanγ	Beta																			
	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0.00	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770
0.25	710	708	703	710	712	710	708	708	707	704	702	708	698	702	704	714	708	724	719	723
0.50	586	582	587	581	581	576	570	567	564	556	548	541	531	544	546	562	566	587	581	589
0.75	468	467	465	455	457	446	430	420	410	399	389	383	373	384	391	412	419	437	438	445
1.00	378	372	373	363	347	331	314	299	285	273	263	260	250	265	278	295	305	318	323	329
1.25	308	304	305	285	270	244	218	203	193	185	179	173	173	183	194	207	224	237	238	245
1.50	258	254	251	229	203	178	157	143	134	128	124	120	120	132	140	155	163	177	179	184
1.75	217	214	205	182	153	129	110	100	95	90	87	84	88	98	103	116	123	134	137	138
2.00	188	181	174	142	116	95	80	73	69	64	62	64	64	72	78	88	95	105	108	109
2.50	145	136	121	90	66	53	46	41	39	37	36	36	39	44	50	55	60	66	69	71
3.00	118	108	87	57	41	32	28	26	25	23	22	23	25	28	31	37	41	45	47	51
3.50	97	87	64	39	26	20	18	17	16	15	15	16	17	19	23	27	30	33	35	37
4.00	80	69	50	29	17	14	13	12	11	11	11	11	13	15	17	19	22	26	27	29
4.50	70	58	37	21	13	10	9	8	8	8	8	9	10	12	14	16	17	20	21	22
5.00	60	51	29	15	9	7	7	6	6	6	6	7	7	9	10	12	14	17	17	18
5.50	52	41	23	12	7	6	6	6	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.00	48	36	19	8	6	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.50	44	32	17	7	6	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.00	41	28	14	6	5	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.50	37	26	12	6	4	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.00	34	23	11	5	4	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.50	32	21	9	5	4	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.00	29	19	8	4	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.50	27	17	7	4	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.0	26	16	6	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.5	25	16	6	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.0	23	15	6	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.5	22	14	6	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12.0	21	14	5	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ROADSURFACE STANDARD C2

Tanγ	Beta																			
	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0.00	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329
0.25	362	358	371	364	371	369	362	357	351	349	348	340	328	312	299	294	298	288	292	281
0.50	379	368	375	373	367	359	350	340	328	317	306	280	266	249	237	237	231	231	227	235
0.75	380	375	378	365	351	334	315	295	275	256	239	218	198	178	175	176	176	169	175	176
1.00	372	375	372	354	315	277	243	221	205	192	181	152	134	130	125	124	125	129	128	128
1.25	375	373	352	318	265	221	189	166	150	136	125	107	91	93	91	91	88	94	97	97
1.50	354	352	336	271	213	170	140	121	109	97	87	76	67	65	66	66	67	68	71	71
1.75	333	327	302	222	166	129	104	90	75	68	63	53	51	49	49	47	52	51	53	54
2.00	318	310	266	180	121	90	75	62	54	50	48	40	40	38	38	38	41	41	43	45
2.50	268	262	205	119	72	50	41	36	33	29	26	25	23	24	25	24	26	27	29	28
3.00	227	217	147	74	42	29	25	23	21	19	18	16	16	17	18	17	19	21	21	23
3.50	194	168	106	47	30	22	17	14	13	12	12	11	10	11	12	13	15	14	15	14
4.00	168	136	76	34	19	14	13	11	10	10	10	8	8	9	10	9	11	12	11	13
4.50	141	111	54	21	14	11	9	8	8	8	8	7	7	8	8	8	8	10	10	11
5.00	126	90	43	17	10	8	8	7	6	6	7	6	7	6	6	7	8	8	8	9
5.50	107	79	32	12	8	7	7	7	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.00	94	65	26	10	7	6	6	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.50	86	56	21	8	7	6	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.00	78	50	17	7	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.50	70	41	14	7	4	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.00	63	37	11	5	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.50	60	37	10	5	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.00	56	32	9	5	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.50	53	28	9	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.0	52	27	7	5	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.5	45	23	7	4	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.0	43	22	7	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.5	53	22	7	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12.0	42	20	7	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ROADSURFACE STANDARD R1

Tanγ	Beta																			
	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0.00	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655
0.25	619	619	619	619	610	610	610	610	610	610	610	610	610	601	601	601	601	601	601	601
0.50	539	539	539	539	539	539	521	521	521	521	521	503	503	503	503	503	503	503	503	503
0.75	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	395	386	371	371	371	371	371	386	395	395
1.00	341	341	341	341	323	323	305	296	287	287	278	269	269	269	269	269	269	278	278	278
1.25	269	269	269	260	251	242	224	207	198	189	189	180	180	180	180	180	189	198	207	224
1.50	224	224	224	215	198	180	171	162	153	148	144	144	139	139	139	144	148	153	162	180
1.75	189	189	189	171	153	139	130	121	117	112	108	103	99	99	103	108	112	121	130	139
2.00	162	162	157	135	117	108	99	94	90	85	85	83	84	84	86	90	94	99	103	111
2.50	121	121	117	95	79	66	60	57	54	52	51	50	51	52	54	58	61	65	69	75
3.00	94	94	86	66	49	41	38	36	34	33	32	31	31	33	35	38	40	43	47	51
3.50	81	80	66	46	33	28	25	23	22	22	21	21	22	22	24	27	29	31	34	38
4.00	71	69	55	32	23	20	18	16	15	14	14	14	15	17	19	20	22	23	25	27
4.50	63	59	43	24	17	14	13	12	12	11	11	11	12	13	14	14	16	17	19	21
5.00	57	52	36	19	14	12	10	9	9	9	9	9	9	10	11	13	14	15	16	16
5.50	51	47	31	15	11	9	8	8	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.00	47	42	25	12	9	7	7	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.50	43	38	22	10	7	6	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.00	40	34	18	8	6	5	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.50	37	31	15	7	5	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.00	35	28	14	6	4	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.50	33	25	12	5	4	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.00	31	23	10	4	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.50	30	22	9	4	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.0	29	20	8	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.5	28	18	7	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.0	27	16	7	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.5	26	15	6	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12.0	25	14	6	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ROADSURFACE STANDARD R2

Tanγ	Beta																			
	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0.00	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390
0.25	411	411	411	411	411	411	411	411	411	411	379	368	357	357	346	346	346	335	335	335
0.50	411	411	411	411	403	403	384	379	370	346	325	303	281	281	271	271	271	260	260	260
0.75	379	379	379	368	357	346	325	303	281	260	238	216	206	206	206	206	206	206	206	206
1.00	335	335	335	325	292	291	260	238	216	195	173	152	152	152	152	152	141	141	141	141
1.25	303	303	292	271	238	206	184	152	130	119	108	100	103	106	108	108	114	114	119	119
1.50	271	271	260	227	179	152	141	119	108	93	80	76	76	80	84	87	89	91	93	95
1.75	249	238	227	195	152	124	106	91	78	67	61	52	54	58	63	67	69	71	73	74
2.00	227	216	195	152	117	95	80	67	61	52	45	40	41	45	49	52	54	56	57	58
2.50	195	190	146	110	74	58	48	40	35	30	27	24	26	28	30	33	35	38	40	41
3.00	160	155	115	67	43	33	26	21	18	17	16	16	17	17	18	21	22	24	26	27
3.50	146	131	87	41	25	18	15	13	12	11	11	11	11	11	12	14	15	17	18	21
4.00	132	113	67	27	15	12	10	9	9	8	8	8	8	9	10	11	12	13	15	17
4.50	118	95	50	20	12	9	7	7	6	6	6	6	6	6	7	8	10	12	13	14
5.00	106	81	38	14	8	6	5	5	5	5	5	4	5	5	6	7	9	10	10	11
5.50	96	69	29	11	6	5	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.00	87	58	22	8	5	4	4	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.50	78	50	17	6	4	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.00	71	43	14	5	3	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.50	67	38	12	4	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.00	63	33	10	3	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.50	58	28	9	3	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.00	55	25	7	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.50	52	23	7	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.0	49	21	6	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.5	47	18	5	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.0	44	16	4	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.5	42	14	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12.0	41	13	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ROADSURFACE STANDARD R3

Tanγ	Beta																			
	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0.00	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294
0.25	326	326	321	321	317	312	308	308	303	298	294	280	271	262	258	253	249	244	240	240
0.50	344	344	339	339	326	317	308	298	289	276	262	235	217	204	199	199	199	199	194	194
0.75	357	353	353	339	321	303	285	267	244	222	204	176	158	149	149	149	145	136	136	140
1.00	362	362	352	326	276	249	226	204	181	158	140	118	104	100	100	100	100	100	100	100
1.25	357	357	348	298	244	208	176	154	136	118	104	83	73	70	71	74	77	77	77	78
1.50	353	348	326	267	217	176	145	117	100	86	78	72	60	57	58	60	60	60	61	62
1.75	339	335	303	231	172	127	104	89	79	70	62	51	45	44	45	46	45	45	46	47
2.00	326	321	280	190	136	100	82	71	62	54	48	39	34	34	34	35	36	36	37	38
2.50	289	280	222	127	86	65	54	44	38	34	25	23	22	23	24	24	24	24	24	25
3.00	253	235	163	85	53	38	31	25	23	20	18	15	15	14	15	15	16	16	17	17
3.50	217	194	122	60	35	25	22	19	16	15	13	10	9	9	10	11	11	12	12	13
4.00	190	163	90	43	26	20	16	14	12	10	9	7	7	7	8	8	9	9	9	10
4.50	163	136	73	31	20	15	12	10	9	8	8	5	5	5	5	6	7	8	8	9
5.00	145	109	60	24	16	12	9	8	8	7	6	4	3	3	4	4	5	7	7	7
5.50	127	94	47	18	14	10	8	7	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.00	113	77	36	15	11	9	8	7	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.50	104	68	30	11	8	6	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.00	95	60	24	9	7	5	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.50	87	53	21	7	5	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.00	83	47	17	6	4	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.50	78	42	15	5	4	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.00	73	38	12	4	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.50	69	34	10	4	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.0	65	32	9	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.5	62	29	8	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.0	59	26	7	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.5	56	24	6	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12.0	53	22	6	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ROADSURFACE STANDARD R4

Tanγ	Beta																			
	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0.00	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264
0.25	297	317	317	317	317	310	304	290	284	277	271	244	231	224	224	218	218	211	211	211
0.50	330	343	343	343	330	310	297	284	277	264	251	218	198	185	178	172	172	165	165	165
0.75	376	383	370	350	330	304	277	251	231	211	198	165	139	132	132	125	125	125	119	119
1.00	396	396	396	330	290	251	218	198	185	165	145	112	86	86	86	86	86	87	87	87
1.25	403	409	370	310	251	211	178	152	132	115	103	77	66	65	65	63	65	66	67	68
1.50	409	396	356	284	218	172	139	115	100	88	79	61	50	50	50	50	52	55	55	55
1.75	409	396	343	251	178	139	108	88	75	66	59	44	37	37	37	38	40	41	42	45
2.00	409	383	317	224	145	106	86	71	59	53	45	33	29	29	29	30	32	33	34	37
2.50	396	356	264	152	100	73	55	45	37	32	28	21	20	20	20	21	22	24	25	26
3.00	370	304	211	95	63	44	30	25	21	17	16	13	12	12	13	13	15	16	17	19
3.50	343	271	165	63	40	26	19	15	13	12	11	10	9	9	9	9	11	12	13	15
4.00	317	238	132	45	24	16	13	11	10	9	8	8	7	7	8	8	9	9	11	12
4.50	297	211	106	33	17	11	9	8	7	7	6	6	6	6	7	7	7	8	9	10
5.00	277	185	79	24	13	8	7	6	6	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	8
5.50	257	161	59	19	10	7	6	5	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.00	244	140	46	13	8	6	5	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.50	231	122	37	11	6	5	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.00	218	106	32	9	5	4	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.50	205	94	26	8	4	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.00	193	82	22	6	4	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.50	184	74	19	5	3	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.00	174	66	16	5	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.50	169	59	13	4	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.0	164	53	12	4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.5	158	49	11	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.0	153	45	10	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.5	149	41	8	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12.0	145	37	8	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ROADSURFACE STANDARD N1

Tanγ	Beta																			
	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0.00	768	768	768	768	768	768	768	768	768	768	768	768	768	768	768	768	768	768	768	768
0.25	694	694	694	694	694	693	693	693	693	693	695	699	702	714	720	734	741	751	753	757
0.50	557	557	557	555	554	550	546	544	544	543	543	542	547	564	577	600	615	633	640	646
0.75	424	424	424	417	415	406	397	392	388	382	378	381	388	407	425	450	469	489	497	505
1.00	323	322	321	310	302	289	278	271	266	261	257	259	266	284	303	328	346	368	375	381
1.25	252	250	247	234	220	206	193	186	180	176	173	175	183	200	216	237	254	271	279	285
1.50	202	198	193	177	160	147	135	128	124	121	119	122	129	142	157	175	189	204	212	216
1.75	164	162	154	134	117	104	94	89	87	84	84	86	93	104	116	131	144	155	162	166
2.00	138	136	126	104	88	76	69	65	63	61	61	63	69	78	88	101	111	121	127	131
2.50	103	100	86	64	51	43	38	36	35	35	35	37	41	48	55	64	71	79	84	86
3.00	80	75	61	41	31	26	24	22	21	21	21	23	26	31	36	42	48	55	58	60
3.50	65	60	45	28	21	17	15	15	15	15	15	18	18	21	25	31	35	39	42	44
4.00	55	48	34	20	14	12	11	10	10	10	10	12	13	16	19	23	26	30	32	34
4.50	47	40	26	14	11	8	8	8	8	8	8	8	10	12	15	18	20	23	25	27
5.00	40	34	20	11	8	6	6	5	5	5	6	6	8	10	12	14	18	18	21	21
5.50	35	28	15	8	6	5	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.00	31	25	13	7	5	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.50	28	21	11	5	4	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.00	25	19	9	5	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.50	23	17	8	4	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.00	21	15	7	4	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.50	19	14	6	3	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.00	18	13	5	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.50	17	12	5	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.0	16	11	4	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.5	15	10	4	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.0	15	9	4	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.5	14	9	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12.0	14	8	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ROADSURFACE STANDARD N2

Tanγ	Beta																			
	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0.00	474	474	474	474	474	474	474	474	474	474	474	474	474	474	474	474	474	474	474	474
0.25	472	471	471	470	470	468	466	464	463	459	450	450	443	439	436	434	434	435	436	436
0.50	427	426	426	422	418	413	408	399	390	382	375	359	347	343	341	344	348	352	353	356
0.75	374	372	370	361	349	336	321	309	297	285	275	255	245	244	245	253	256	262	265	268
1.00	326	323	319	303	284	263	243	227	213	202	193	177	170	170	174	180	186	192	196	199
1.25	284	281	275	251	224	198	176	161	149	139	132	121	117	119	123	129	135	141	145	147
1.50	249	246	235	203	172	146	127	113	104	97	92	84	83	85	89	94	99	105	108	110
1.75	219	216	201	162	129	106	91	81	73	68	64	60	59	62	65	70	74	79	82	84
2.00	194	190	171	128	97	78	65	57	53	48	46	44	44	46	49	53	57	61	64	65
2.50	157	150	124	82	57	44	37	32	30	28	27	26	26	28	30	33	37	40	42	43
3.00	130	120	90	52	35	26	22	19	18	17	17	16	17	18	20	22	24	27	28	29
3.50	110	98	65	34	22	16	14	13	12	11	11	11	11	12	14	16	18	19	21	21
4.00	94	80	48	23	15	11	9	9	8	8	8	8	8	9	10	12	13	15	16	16
4.50	80	65	36	17	10	8	7	6	6	6	6	6	6	7	8	9	10	11	12	13
5.00	70	55	28	12	8	6	5	5	4	4	4	4	5	5	6	7	8	9	10	10
5.50	61	46	22	9	6	4	4	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.00	54	39	18	7	5	4	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.50	48	34	14	6	4	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.00	43	30	12	5	3	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.50	39	27	10	4	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.00	36	23	9	3	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.50	33	21	7	3	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.00	30	18	6	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.50	28	17	5	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.0	26	16	5	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.5	25	14	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.0	23	13	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.5	22	12	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12.0	21	12	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ROADSURFACE STANDARD N3

Tanγ	Beta																			
	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0.00	354	354	354	354	354	354	354	354	354	354	354	354	354	354	354	354	354	354	354	354
0.25	391	391	390	389	388	385	381	378	373	369	365	351	338	328	319	313	308	306	304	304
0.50	406	404	403	397	390	379	366	355	343	330	318	291	268	256	247	242	240	240	240	240
0.75	405	403	399	384	365	342	319	298	278	260	244	213	192	182	176	175	175	176	177	177
1.00	396	392	384	357	322	287	254	228	207	189	175	147	133	126	124	123	125	127	129	130
1.25	383	374	360	317	269	227	193	168	149	134	123	103	93	89	87	89	91	94	95	96
1.50	360	351	328	270	215	172	141	119	105	94	86	72	66	63	63	64	67	69	71	72
1.75	335	325	294	224	165	127	102	86	75	67	61	52	47	46	47	48	50	52	54	55
2.00	312	298	259	182	126	94	75	63	56	50	45	38	35	35	35	37	38	40	42	43
2.50	270	250	199	120	76	53	43	35	32	28	26	23	22	21	22	23	24	27	28	28
3.00	233	206	148	78	46	31	26	21	19	18	17	15	14	14	15	16	17	18	19	20
3.50	202	171	109	51	29	20	17	14	13	12	11	10	10	10	11	11	12	13	14	15
4.00	177	142	82	35	20	13	11	10	9	9	8	7	7	7	8	8	9	10	11	11
4.50	155	118	61	24	14	10	8	7	7	6	6	5	5	6	6	6	7	8	9	9
5.00	137	100	47	18	10	7	6	6	5	5	5	4	4	5	5	5	6	6	7	7
5.50	121	84	37	13	8	6	5	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.00	108	72	29	11	6	5	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.50	97	62	24	9	5	4	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.00	89	55	20	7	4	3	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.50	81	49	17	6	4	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.00	74	43	15	5	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.50	68	38	12	4	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.00	63	34	11	4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.50	58	31	9	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.0	54	28	8	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.5	51	26	7	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.0	48	24	6	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.5	45	22	6	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12.0	43	21	5	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ROADSURFACE STANDARD N4

Tanγ	Beta																			
	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0.00	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282
0.25	332	332	331	328	328	324	319	315	311	303	295	280	262	253	247	241	237	231	230	228
0.50	375	374	373	367	358	345	331	318	305	287	271	242	209	196	189	184	180	177	176	175
0.75	412	411	406	388	361	337	314	284	256	235	218	182	153	142	138	135	132	130	130	130
1.00	441	438	426	385	341	294	251	220	196	174	156	126	106	97	94	94	93	94	94	95
1.25	459	453	430	365	299	243	198	168	146	128	115	91	76	71	68	69	69	70	71	72
1.50	466	456	417	326	246	189	149	122	105	92	83	67	56	53	52	52	53	54	55	55
1.75	464	449	392	284	199	146	114	92	79	69	63	50	42	40	39	40	41	42	43	44
2.00	453	431	356	234	153	108	85	69	60	52	46	37	32	30	30	30	31	32	33	34
2.50	425	387	283	152	93	64	50	41	36	31	28	23	20	19	19	19	20	21	23	23
3.00	385	333	211	98	57	38	30	25	22	19	17	14	13	12	12	13	14	14	15	16
3.50	349	286	158	66	37	25	20	17	15	13	12	10	9	8	9	9	10	10	12	12
4.00	316	245	117	47	27	18	14	12	11	10	9	7	6	6	6	7	8	8	9	9
4.50	286	207	88	33	20	14	11	9	8	7	7	6	6	5	5	6	6	7	7	8
5.00	260	175	69	24	15	10	8	7	6	6	5	5	5	4	4	5	5	5	6	6
5.50	237	147	54	19	12	8	6	6	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.00	217	162	43	15	9	6	5	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.50	198	108	35	12	7	5	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.00	184	95	28	9	6	5	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.50	169	85	23	8	5	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.00	158	75	20	7	4	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.50	148	68	17	6	4	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.00	138	61	14	5	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.50	131	55	12	4	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.0	126	50	11	4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.5	118	46	10	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.0	110	42	8	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.5	103	39	8	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12.0	98	36	7	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ROADSURFACE STANDARD W1

Tanγ	Beta																			
	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0.00	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380
0.25	411	411	411	410	408	403	398	395	391	384	377	364	350	343	339	338	336	338	338	340
0.50	483	481	477	464	443	420	398	375	354	334	314	282	262	257	255	260	263	269	272	274
0.75	625	618	600	556	494	428	371	327	288	258	231	191	177	177	180	188	193	202	204	208
1.00	804	789	746	628	505	397	312	253	204	177	152	124	117	120	125	133	140	147	150	153
1.25	971	942	851	652	467	331	234	180	140	117	98	81	78	82	88	95	101	108	111	113
1.50	1098	1046	897	612	388	256	169	124	92	76	64	54	54	58	63	69	74	80	83	85
1.75	1175	1101	902	534	306	187	115	84	61	51	43	38	38	42	46	51	56	61	63	65
2.00	1198	1103	846	444	234	137	80	58	41	36	30	27	28	31	35	40	43	46	49	51
2.50	1142	1005	671	283	133	72	40	29	21	18	16	15	16	19	21	25	27	30	33	34
3.00	1020	845	476	172	71	39	21	16	13	11	10	10	11	13	15	16	18	21	22	23
3.50	882	685	328	101	40	22	13	10	8	7	7	7	8	9	11	12	14	15	16	17
4.00	743	529	222	63	21	13	8	7	6	5	5	5	6	7	8	9	11	12	13	13
4.50	605	397	150	39	14	9	6	5	4	4	4	4	4	5	6	7	8	9	10	11
5.00	490	304	105	25	9	6	4	4	3	3	3	3	4	4	5	6	7	7	8	9
5.50	399	232	72	16	6	5	4	3	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.00	325	180	52	12	5	4	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.50	268	143	38	9	4	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.00	226	115	30	7	3	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.50	192	95	23	6	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.00	164	77	18	4	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.50	140	64	15	4	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.00	122	54	13	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.50	107	46	11	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.0	95	40	9	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.5	84	36	7	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.0	75	33	7	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.5	69	29	6	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12.0	63	27	5	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ROADSURFACE STANDARD W2

Tanγ	Beta																			
	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0.00	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341
0.25	366	365	365	362	361	356	352	348	344	339	333	321	309	305	301	303	304	307	306	307
0.50	434	431	426	416	400	378	357	335	314	298	282	252	232	231	232	237	240	246	247	250
0.75	619	616	599	547	478	408	347	299	257	229	204	171	161	162	165	171	176	185	186	189
1.00	899	898	845	705	538	397	292	229	179	153	130	110	107	111	115	122	127	134	137	140
1.25	1244	1222	1107	787	529	341	219	159	115	98	83	72	71	76	80	86	91	98	100	102
1.50	1551	1491	1254	785	443	257	149	106	75	64	54	48	49	53	57	63	67	72	74	77
1.75	1793	1684	1319	695	351	189	102	71	49	42	36	34	35	39	42	46	50	54	56	58
2.00	1951	1787	1282	575	259	132	67	47	34	29	26	24	26	28	31	36	38	42	44	45
2.50	2064	1757	1082	375	128	65	33	24	18	16	14	14	15	17	19	22	24	27	28	29
3.00	1997	1585	804	215	65	32	16	13	10	9	9	9	10	11	13	15	16	18	19	20
3.50	1812	1336	563	125	34	18	9	7	6	5	5	6	6	8	9	11	12	13	14	15
4.00	1572	1084	382	71	20	11	6	5	4	4	4	4	5	6	6	8	9	10	11	11
4.50	1313	837	242	40	12	7	4	3	3	3	3	3	4	4	5	6	7	8	9	9
5.00	1080	643	161	25	8	5	3	3	2	2	2	3	3	3	4	5	5	6	7	7
5.50	883	488	110	16	5	4	3	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.00	735	381	77	11	4	3	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.50	615	300	55	8	3	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.00	513	238	40	6	3	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.50	431	190	31	4	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.00	366	155	24	4	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.50	311	125	18	3	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.00	266	103	14	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.50	229	87	11	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.0	197	73	10	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.5	173	63	8	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.0	153	55	7	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.5	136	49	6	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12.0	123	44	5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ROADSURFACE STANDARD W3

Tanγ	Beta																			
	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0.00	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
0.25	332	333	332	331	329	324	320	317	313	310	306	297	290	288	286	288	287	289	289	290
0.50	409	410	405	392	378	351	326	306	287	271	256	231	221	221	221	227	229	235	235	237
0.75	637	635	610	546	472	393	328	273	229	204	183	160	154	156	159	165	169	175	178	181
1.00	1014	996	943	767	556	384	265	205	158	136	116	104	103	107	111	117	121	128	130	132
1.25	1505	1467	1298	919	547	322	190	136	98	85	74	69	69	74	78	84	87	93	95	97
1.50	1974	1877	1561	912	451	231	117	84	60	53	48	47	48	52	56	60	63	68	70	72
1.75	2388	2280	1705	807	335	160	77	54	39	36	32	33	35	38	41	45	47	51	53	54
2.00	2721	2485	1704	672	232	104	47	35	27	24	23	23	26	28	31	34	37	40	41	43
2.50	3110	2615	1407	398	111	49	21	17	14	14	13	14	15	16	18	20	23	26	27	28
3.00	3142	2430	1057	224	53	23	10	10	9	9	8	9	9	11	12	14	15	17	18	19
3.50	2966	2076	740	118	29	14	7	6	5	6	6	6	6	8	9	10	11	12	13	14
4.00	2692	1721	502	66	14	8	5	4	4	4	4	4	5	6	6	7	8	9	10	10
4.50	2307	1364	319	37	9	6	4	3	3	3	3	3	4	4	5	6	6	7	8	8
5.00	1961	1054	207	22	6	4	3	2	2	2	2	2	3	3	4	4	5	6	6	7
5.50	1615	808	135	14	4	3	3	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.00	1342	642	94	10	3	3	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.50	1122	514	67	7	3	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.00	957	415	49	6	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.50	814	333	37	4	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.00	696	271	29	4	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.50	594	220	21	3	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.00	510	180	17	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.50	437	150	13	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.0	378	127	11	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.5	330	108	10	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.0	290	93	8	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.5	256	83	7	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12.0	231	73	6	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ROADSURFACE STANDARD W4

Tanγ	Beta																			
	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0.00	287	287	287	287	287	287	287	287	287	287	287	287	287	287	287	287	287	287	287	287
0.25	279	279	279	280	282	281	279	278	278	276	274	271	266	265	264	267	268	269	270	270
0.50	302	305	302	293	289	272	257	247	237	229	221	213	205	207	208	214	216	220	222	223
0.75	444	442	442	423	357	286	229	202	178	168	158	147	144	147	150	155	159	164	167	169
1.00	816	798	743	585	406	269	178	146	119	109	101	96	97	101	104	110	112	120	122	124
1.25	1386	1316	1082	694	364	208	119	94	75	70	66	65	66	69	73	78	81	86	88	91
1.50	2026	1850	1345	697	284	146	74	61	50	47	44	44	46	50	52	56	59	63	65	67
1.75	2631	2303	1536	654	214	101	48	40	34	31	30	30	31	36	38	42	44	48	49	51
2.00	3115	2700	1618	529	163	70	30	27	24	22	21	22	23	26	28	31	34	37	38	40
2.50	3946	3056	1381	278	67	34	17	15	13	12	12	13	13	16	17	19	21	23	24	25
3.00	4248	3011	1068	153	26	15	9	8	8	8	8	8	9	10	11	13	14	16	17	18
3.50	4271	2742	732	73	14	8	5	5	4	5	6	6	6	7	8	9	10	12	12	13
4.00	4160	2405	507	37	8	5	4	3	3	3	4	4	4	5	6	7	8	9	9	10
4.50	3757	1963	328	19	6	4	3	3	3	3	3	3	3	4	5	6	6	7	7	8
5.00	3324	1577	191	12	4	3	2	2	2	2	3	3	3	3	4	5	5	6	6	7
5.50	2874	1245	127	7	3	3	3	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.00	2528	978	76	5	3	3	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.50	2237	772	52	4	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.00	1908	606	36	4	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.50	1650	477	25	3	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.00	1415	377	20	3	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.50	1203	304	15	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.00	1036	252	12	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.50	902	213	10	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.0	793	178	8	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.5	694	153	7	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.0	606	133	6	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.5	538	116	5	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12.0	485	104	5	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ประวัติผู้เขียน

นางสาว สุวิชญาน์ อินนัดดา เกิดวันที่ 17 กรกฎาคม พ.ศ. 2519 ที่อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปี 2541 และได้เข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า (ไฟฟ้ากำลัง) ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี 2542

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย