การศึกษาเกี่ยวกับไฟถนนบนผิวถนนคอนกรีตและแอสฟัลท์

นายเรืองยศ ตั้งชีวินศิริกุล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2527

ISBN 974-563-894-3

009402

I 17139028

A Study of Road Lighting on Concrete and Asphaltic Road Surfaces

Mr. Ruangyot Tangshewinsirikul

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirments

for the Degree of Master of Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1984

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษา เกี่ยวกับไฟถนนบนผิวถนนคอนกรีตและแอสฟัลท์
โดย	นาย เรืองยศ ตั้งชีวินศิริกุล
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ประโมทย์ อุณห์ไวทยะ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ดร. ประสาท จันทราทิพย์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประโมทย์ อุณห์ไวทยะ)

..... กรรมการ

(หม่อมหลวง ปิยพงศ์ นวรัตน์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.เทียนชัย ประดิสถายน)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาเกี่ยวกับไฟถนนบนผิวถนนคอนกรีตและแอสฟัลท์

ชื่อ นายเรืองยศ ตั้งชีวินศิริกุล

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ประโมทย์ อุณหไวทยะ

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2527

บทคัดย่อ

การออกแบบติดตั้งไฟถนนในประเทศไทยปัจจุบันนี้ ได้จากการคำนวณค่าความสว่างบนผิวถนน แต่ปัจจุบันในต่างประเทศเริ่มใช้การคำนวณค่าความส่องสว่างบนผิวถนน ดังนั้นวิทยานิพนธ์เรื่องนี้จึงได้ศึกษาการติดตั้งไฟถนนโดยคิดจากทั้งความสว่างบนผิวถนนและความส่องสว่างของผิวถนน ซึ่งเน้นศึกษากับผิวถนนที่เป็นคอนกรีตและแอสฟัลท์ ทั้งนี้เพราะเป็นผิวถนนที่ใช้งานเป็นส่วนมากกับถนนสายหลัก ๆ ในประเทศไทย ในการศึกษาได้เลือกตัวอย่างการติดตั้งไฟถนนที่เป็นทางตรงและผิวถนนแห้ง 4 แห่งคือ ถนนรัชดาภิเษกช่วงที่มีผิวถนนเป็นคอนกรีตและช่วงที่มีผิวถนนเป็นแอสฟัลท์ ทางด่วนดินแดง-บางนา ช่วงถนนเพชรบุรีตัดใหม่ถึงท่าเรือ ซึ่งมีผิวถนนเป็นแอสฟัลท์ และแห่งสุดท้ายคือถนนมุขมนตรี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งมีผิวถนนเป็นแอสฟัลท์เช่นกัน การคำนวณค่าความสว่างและความส่องสว่างแต่ละจุดบนผิวถนนได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้าช่วย จากนั้นได้ใช้ลูมิแนนซ์มิเตอร์วัดค่าความส่องสว่างในสนามและถ่ายภาพสไลด์สีเพื่อวัดเทียบหาค่าความส่องสว่างจุดอื่น ๆ ตามต้องการ จากการคำนวณจะได้ว่าเมื่อมีการติดตั้งไฟถนนแบบเดียวกัน และสภาพถนนเหมือนกันต่างกันเฉพาะที่มีผิวถนนเป็นคอนกรีตและแอสฟัลท์เท่านั้น ดังที่ถนนรัชดาภิเษก ผลค่าความสว่างจะมีค่าเท่ากันและอยู่ในพิกัดมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมไฟฟ้าแสงสว่าง (IES) แต่ผลค่าความส่องสว่างและคุณลักษณะความส่องสว่างของผิวถนนคอนกรีตจะอยู่ในพิกัดตามคำแนะนำของคณะกรรมการวิศวกรรมไฟฟ้าแสงสว่าง (CIE) ส่วนผิวถนนแอสฟัลท์จะได้ค่าความสม่ำเสมอทั้งหมด ความสม่ำเสมอตามแนวยาวของถนนและค่า discomfort glare ต่ำกว่าพิกัดเล็กน้อย ส่วนทางด่วนดินแดง-บางนา จะมีเฉพาะค่า discomfort glare เท่านั้นที่ต่ำกว่าพิกัดเล็กน้อย และสำหรับที่ถนนมุขมนตรีก็จะได้ว่าค่าความสม่ำเสมอทั้งหมด disability

glare และ discomfort glare ต่ำกว่าพิกัดเล็กน้อย

จากการวัดค่าความส่องสว่างของผิวถนนตัวอย่างทั้ง 4 แห่ง เมื่อถนนผ่านการใช้งานแล้วระยะหนึ่ง จะได้ผลว่าคุณลักษณะความส่องสว่างของผิวถนนคอนกรีตยังคงอยู่ในพิกัด ส่วนผิวถนนแอสฟัลท์ทั้งหมดจะมีค่าความสม่ำเสมอลดลงอย่างมาก แต่ค่า disability glare และ discomfort glare จะดีขึ้นอย่างมาก ซึ่งจะเป็นผลให้การสังเกตเห็นวัตถุหรือคนเดินเท้าขณะขับขี่ยวดยานไปบนถนนยังคงเป็นไปได้ด้วยดี และหากต้องการปรับปรุงให้ค่าความสม่ำเสมอทั้งหมดของความส่องสว่างดีขึ้น ก็อาจใช้หินละเอียดโรยบนผิวหน้าของถนนแอสฟัลท์ก็ได้ ในตอนสุดท้ายได้คำนวณวิเคราะห์ผลว่า ถ้าต้องการคำนวณออกแบบไฟถนนทั้ง 4 แห่ง โดยคิดจากค่าความส่องสว่างแล้ว การติดตั้งควรจะเป็นอย่างไร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Thesis Title	A Study of Road Lighting on Concrete and Asphaltic Road Surfaces
Name	Mr. Ruangyot Tangshewinsirikul
Thesis Advisor	Dr. Pramoht Unhavaithaya
Department	Electrical Engineering
Academic year	1984

ABSTRACT

The design of street lights in Thailand, at the present time, uses the illuminance method, but other countries use the luminance of the road surface. This thesis is a study of road lighting installations by considering both the illuminance and the luminance value. The emphasis is put on concrete and asphalt surfaces since they are widely used on the main roads of Thailand.

Four sections of dry straight roads were chosen as samples for the study. They are: two stretches of Ratchadapisek Road (at both its concrete and asphalt sections); an asphalt section of Din Dang-Bang Na Express Way from New Petchaburi Road to the Sea Port; and an asphalt section of Mukamontri Road in Nakornrajasima Province. The calculation of illuminance and luminance was made by using a computer. For field measurements, a luminance meter was used and colour slides were taken. The studies show that the same design of street lights on roads in the same condition but with different surfaces (as of the cencrete and asphalt sections of Rajadapisek Road) have the same illuminance value and this value is in accordance with the limits of IES standard. However, although the luminance values and quality

characteristics of luminance on the cencrete surfaces are within the limits of CIE recommendation, the asphalt surfaces show an overall uniformity, longitudinal uniformity and discomfort glare which are only a little bit lower than the recommended levels. For the Din Dang-Bang Na Express Way only the discomfort glare is a little bit lower and at the Mukamontri Road, the overall uniformity, disadility glare and discomfort glare are a little bit lower than the recommendation.

After the sample roads have been used for a certain period of time, the luminance of the concrete surface is still within the limit. However, the overall uniformity of the asphalt surface becomes much lower, while the disability glare as well as discomfort glare are much better. This yields benefits for drivers. To improve the overall uniformity values, pebbles can be used on the asphalt surfaces. This thesis also concludes how the design of street lights on the four sample roads should be, if the calculations of luminance values are taken into consideration.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความกรุณาอย่างสูงจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ประโมทย์ อุณหไวทยะ ซึ่งท่านเป็นผู้สอนวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าแสงสว่างให้แก่ผู้วิจัยตั้งแต่เริ่มเรียนวิชานี้ และในการทำวิจัยนี้ยังได้กรุณาให้คำแนะนำ ปรึกษา และเอกสารอ้างอิงต่าง ๆ อีกทั้งกรุณาให้ใช้ห้องทดลองเกี่ยวกับแสงสว่างที่บ้านของท่านอีกด้วย ซึ่งผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง ณ. โอกาสนี้ด้วย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณต่อ ดร.ประสาท จันทราทิพย์ ที่ได้กรุณาให้ข้อมูลเกี่ยวกับการติดตั้งไฟถนนทางด่วนดินแดง-บางนา และให้ข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยนี้อย่างมาก ขอขอบพระคุณ หม่อมหลวง ปิยพงศ์ นวรัตน์ หัวหน้าแผนกไฟฟ้าสาธารณะการไฟฟ้านครหลวง ที่ได้กรุณาให้ยืมลูมิแนนซ์มิเตอร์ และให้ข้อมูลเกี่ยวกับการติดตั้งไฟถนนรัชดาภิเษก อีกทั้งได้แนะนำและให้ข้อคิดเห็นเกี่ยวกับการทำวิจัยนี้หลายประการ ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เทียนชัย ประดิสถายน และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะ อันเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ศักดา ศิริพันธ์ อาจารย์แผนกถ่ายภาพและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำการใช้ฟิล์มสไลด์ การถ่ายภาพและการใช้ เดนซิโตมิเตอร์ และต้องขอขอบคุณ พี่ เพื่อน และน้องอีกหลายท่านที่ไม่ได้กล่าวนามในที่นี้ ซึ่งได้ช่วยงานวิจัยอีกหลายอย่าง จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

รายการรูปกราฟและตารางประกอบ ..... ฎ

รายการรูปประกอบ ..... ฒ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาของปัญหา 1

1.2 ความสำคัญของปัญหา 1

1.3 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 การดำเนินการวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย 8

1.6 นิยามของคำต่าง ๆ 9

2 ไฟถนนและสภาพการมองเห็นวัตถุบนถนน 11

2.1 การมองเห็น 11

2.2 การมองเห็นแล้วสบายตา 19

2.3 ชนิดของถนนและค่าทางแสงสว่างของไฟถนน 22

3 หลอดไฟ โคมไฟ และการติดตั้งไฟถนน 26

3.1 หลอดไฟ 26

3.2 โคมไฟ 38

บทที่ หน้า

3.3 เสา โคม และหลอดไฟฟ้าที่ใช้เป็นตัวอย่างในการวิจัย 43

3.4 การติดตั้งไฟถนน 45

4 ผิวถนน 50

4.1 การหาค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างของผิวถนน 50

4.2 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างเฉลี่ย 54

4.3 ความมันผิวถนน 57

4.4 การจัดประเภทของผิวถนนในสภาพแห้ง 58

5 ทฤษฎี และการคำนวณเกี่ยวกับค่าแสงสว่างไฟถนน 64

5.1 การคำนวณค่าความสว่างและความส่องสว่างของไฟถนน 64

5.2 Discomfort glare 69

5.3 Disability glare 71

6 การใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณค่าแสงสว่างไฟถนน 75

6.1 การกำหนดค่าการกระจายความเข้มแห่งการส่องสว่าง 75

6.2 การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของผิวถนน 76

6.3 การคำนวณค่าความสว่างและความส่องสว่างโดยใช้คอมพิวเตอร์ 77

6.4 คุณลักษณะความส่องสว่าง 81

6.5 Disability glare 83

6.6 Discomfort glare 84

6.7 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 84

7 ผลการคำนวณและการวัดค่าแสงสว่างของไฟถนนตัวอย่าง 89

7.1 ผลการคำนวณ 89

7.2 หลักการวัดความส่องสว่างไฟถนน 112

7.3 ผลการวัดความส่องสว่างไฟถนน 113

บทที่ หน้า

8 สรุป วิเคราะห์ และวิจารณ์ผลการทดลอง 136

8.1 สรุปผลของการคำนวณและการวัด 136

8.2 วิเคราะห์และวิจารณ์ผลการทดลอง 140

8.3 เปรียบเทียบผลการคำนวณค่าความสว่างและความส่องสว่าง ของไฟถนน ที่ถนนรัชดาภิเษกช่วงที่มีผิวถนนเป็นคอนกรีตและ แอสฟัลท์ 147

8.4 วิเคราะห์การคำนวณไฟถนนทั้ง 4 แห่ง โดยใช้ค่าความส่องสว่าง .. 147

8.5 ปัญหาและข้อเสนอแนะ 152

หนังสืออ้างอิง 154

ภาคผนวก 155

1. ตาราง R1 155

2. ตาราง R2 156

3. ตาราง R3 157

4. ตาราง R4 158

5. ตาราง N1 159

6. ตาราง N2 160

7. ตาราง N3 161

8. ตาราง N4 162

9. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 163

10. ตารางการกระจายความเข้มแห่งการส่องสว่างของโคมไฟ ถนนรัชดาภิเษก 192

11. ตารางการกระจายความเข้มแห่งการส่องสว่างของโคมไฟ ถนนทางด่วนดินแดง-บางนา 193

12. ตารางการกระจายความเข้มแห่งการส่องสว่างของโคมไฟ ถนนมุขมนตรี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 194

บทที่ หน้า

13. แสดงค่า $q(\alpha, \beta)$ จากการวัดผิวตัวอย่างคอนกรีตขณะเปียก 195

14. แสดงค่า $q(\alpha, \beta)$ จากการวัดผิวตัวอย่างแอสฟัลท์ขณะเปียก 196

ประวัติ 197

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการรูปกราฟและตารางประกอบ

หน้า

ตาราง 2.1 ประเภทถนนตามคำแนะนำของ ซี ไอ อี 24

ตาราง 2.2 คำแนะนำค่าแสงสว่างไฟถนนของ ซี ไอ อี 25

ตาราง 3.1 แสดงขนาดและค่าใช้งานต่าง ๆ ของหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ ที่มีกำลังไฟฟ้าต่าง ๆ กัน 30

ตาราง 3.2 หลอดโซเดียมความดันไอสูง กำลังไฟฟ้า แบบ ขนาด และค่าใช้งานต่าง ๆ 33

ตาราง 3.3 หลอดแสงจันทร์แบบฉาบด้วยฟอสเฟอร์ กำลังไฟฟ้า ขนาด และค่าใช้งานต่าง ๆ 37

ตาราง 3.4 การแบ่งประเภทของโคมไฟตามมาตรฐาน ซี ไอ อี ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1965 42

ตาราง 3.5 การแบ่งประเภทของโคมไฟตามมาตรฐาน ซี ไอ อี ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1977 43

ตาราง 4.1 ตาราง Weighting factor 56

ตาราง 4.2 การจัดประเภทของผิวถนนในสภาพแห้งของ ซี ไอ อี 60

กราฟ 4.1 เปรียบเทียบค่า r ของตาราง R_1 และ R_4 ที่ $\beta = 0^\circ$ และ tan δ ต่าง ๆ 62

กราฟ 4.2 เปรียบเทียบค่า r ของตาราง R_1 และ R_4 ที่ $\beta = 45^\circ$ และ tan δ ต่าง ๆ 63

ตาราง 6.1 Input data 86

กราฟ 7.1 การสอบเทียบค่าลูมิแนนซ์มิเตอร์กับค่ามาตรฐาน V_λ -curve ของแสงไฟจากหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ 135 วัตต์ และหลอดโซเดียมความดันไอสูง 400 วัตต์ 115

หน้า

ตาราง 7.1 ผลการวัดและการสอบเทียบค่าความส่องสว่างถนนรัชดาภิเษก ช่วงผิวถนนคอนกรีต 118

ตาราง 7.2 ผลการวัดและการสอบเทียบค่าความส่องสว่างถนนรัชดาภิเษก ช่วงผิวถนนแอสฟัลท์ 122

ตาราง 7.3 ผลการวัดและการสอบเทียบค่าความส่องสว่างทางด่วนดินแดง- บางนา. 127

ตาราง 7.4 ผลการวัดและการสอบเทียบค่าความส่องสว่างถนนมุขมนตรี 131

กราฟ 7.2 การสอบเทียบค่าความส่องสว่างของผิวถนนจาก Densitometer 135

ตาราง 8.1 สรุปผลการคำนวณและการวัดความส่องสว่างถนนรัชดาภิเษก ช่วงผิวถนนคอนกรีต 136

ตาราง 8.2 สรุปผลการคำนวณและการวัดความส่องสว่างถนนรัชดาภิเษก ช่วงผิวถนนแอสฟัลท์ 137

ตาราง 8.3 สรุปผลการคำนวณและการวัดความส่องสว่างทางด่วนดินแดง-บางนา .. 138

ตาราง 8.4 สรุปผลการคำนวณและการวัดความส่องสว่างถนนมุขมนตรี 139

ตาราง 8.5 ผลความส่องสว่างของการคำนวณผิวถนนแห้ง การวัดและการคำนวณผิวถนนเปียก ของถนนรัชดาภิเษกช่วงผิวถนนคอนกรีต 141

ตาราง 8.6 ผลความส่องสว่างของการคำนวณผิวถนนแห้ง การวัดและการคำนวณผิวถนนเปียก ของถนนรัชดาภิเษกช่วงผิวถนนแอสฟัลท์ 141

ตาราง 8.7 ผลความส่องสว่างของการคำนวณผิวถนนแห้ง การวัดและการคำนวณผิวถนนเปียกของทางด่วนดินแดง-บางนา 142

ตาราง 8.8 ผลความส่องสว่างของการคำนวณผิวถนนแห้ง การวัดและการคำนวณผิวถนนเปียก ของถนนมุขมนตรี 142

หน้า

ตาราง 8.9 เปรียบเทียบคุณลักษณะความส่องสว่างจากการวัดกับคำแนะนำของ ซี ไอ อี ของถนนรัชดาภิเษกช่วงผิวถนนคอนกรีต 144

ตาราง 8.10 เปรียบเทียบคุณลักษณะความส่องสว่างจากการวัดกับคำแนะนำของ ซี ไอ อี ของถนนรัชดาภิเษกช่วงผิวถนนแอสฟัลท์ 145

ตาราง 8.11 เปรียบเทียบคุณลักษณะความส่องสว่างจากการวัดกับคำแนะนำของ ซี ไอ อี ของทางด่วนดินแดง-บางนา 146

ตาราง 8.12 เปรียบเทียบคุณลักษณะความส่องสว่างจากการวัดกับคำแนะนำของ ซี ไอ อี ของถนนมุขมนตรี 147

ตาราง 8.13 คุณลักษณะของความส่องสว่างถนนรัชดาภิเษกช่วงผิวถนนคอนกรีต เมื่อเปลี่ยนระยะห่างของเสาไฟและ tilt angle 148

ตาราง 8.14 คุณลักษณะของความส่องสว่างถนนรัชดาภิเษกช่วงผิวถนนแอสฟัลท์ เมื่อเปลี่ยนระยะห่างของเสาไฟและ tilt angle 149

ตาราง 8.15 คุณลักษณะของความส่องสว่างทางด่วนดินแดง-บางนา เมื่อเปลี่ยน ระยะห่างของเสาไฟและความสูงของโคมไฟ 150

ตาราง 8.16 คุณลักษณะของความส่องสว่างถนนมุขมนตรี เมื่อเปลี่ยนระยะห่าง ของเสาไฟและความสูงของโคมไฟ 151

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
1.1	ถนนรัชดาภิเษก ช่วงที่มีพื้นผิวเป็นคอนกรีต ตอนกลางวัน	4
1.2	ถนนรัชดาภิเษก ช่วงที่มีพื้นผิวเป็นแอสฟัลท์ ตอนกลางวัน	5
1.3	ทางด่วนดินแดง-บางนา ช่วงถนนเพชรบุรีตัดใหม่ถึงท่าเรือ ตอนกลางวัน	6
1.4	ถนนมุขมนตรี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ตอนกลางวัน	8
1.5	แสดงการหาค่าความส่องสว่าง	10
2.1	แสดงค่า threshold contrast และความส่องสว่างบริเวณที่มอง ...	12
2.2	แสดงการสังเกตเห็นวัตถุหรือคนเดินเท้าบนถนนด้วย luminance contrast บวก (P) และลบ (n)	13
2.3	แสดงระยะทางที่เริ่มสังเกตเห็นวัตถุบนถนน (d) เมื่อผิวถนนมีความส่องสว่างเฉลี่ย (L_{av}) เปลี่ยนไป เมื่อวัตถุมีค่า C ต่าง ๆ กัน	14
2.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสม่ำเสมอทั้งหมด (U_o) กับความส่องสว่างเฉลี่ยของผิวถนน (L_{av}) เพื่อให้การสังเกตเห็นวัตถุสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาด 20 เซนติเมตร ได้ 75 เปอร์เซนต์ เมื่อวางวัตถุไว้ที่จุดมืดที่สุดของผิวถนน	15
2.5	แสดงการมองวัตถุแล้วมีแสงเข้าตาทำให้เกิดแกล์	16
2.6	แสดงค่า revealing power (RP) เมื่อความส่องสว่างเฉลี่ย (L_{av}) ของผิวถนนเปลี่ยนไป ที่ U_o และ TI ต่าง ๆ กัน	18
2.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง visual acuity กับความส่องสว่างของผิวถนน	19

รูปที่ (ต่อ) หน้า

2.8 แสดงค่า discomfort glare control mark (G) กับความส่องสว่างเฉลี่ย (L_{av}) ของผิวถนน 21

3.1 แสดงกระแสใช้งาน (I) และฟลักซ์การส่องสว่าง (ø) ของหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ ตั้งแต่เริ่มจุดหลอดใช้งาน 27

3.2 หลอดโซเดียมความดันไอต่ำ 28

3.3 ความแรงรังสีทางสเปคตรัมของหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ 29

3.4 กระแสใช้งาน (I) กำลังไฟฟ้า (P) และฟลักซ์การส่องสว่าง (ø) ที่แรงดันไฟฟ้าต่าง ๆ ของหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ 29

3.5 หลอดโซเดียมความดันไอสูง 31

3.6 ความแรงรังสีสเปคตรัมของหลอดโซเดียมความดันไอสูง 32

3.7 กระแสใช้งาน (I) กำลังไฟฟ้า (P) และฟลักซ์การส่องสว่าง (ø) ของหลอดโซเดียมความดันไอสูง ตั้งแต่เริ่มจุดหลอดใช้งาน 32

3.8 กระแสใช้งาน (I) กำลังไฟฟ้า (P) และฟลักซ์การส่องสว่าง (ø) ที่แรงดันไฟฟ้าต่าง ๆ ของหลอดโซเดียมความดันไอสูง 33

3.9 หลอดแสงจันทร์ 34

3.10 ความแรงรังสีทางสเปคตรัมของหลอดแสงจันทร์ 35

3.11 กระแสใช้งาน (I) กำลังไฟฟ้า (P) และฟลักซ์การส่องสว่าง (ø) ของหลอดแสงจันทร์ตั้งแต่เริ่มจุดหลอดใช้งาน 35

3.12 กระแสใช้งาน (I) กำลังไฟฟ้า (P) และฟลักซ์การส่องสว่าง (ø) ที่แรงดันไฟฟ้าต่าง ๆ ของหลอดแสงจันทร์ 36

3.13 C-γ plane system 38

รูปที่ (ต่อ) หน้า

3.14 การแสดงตารางความเข้มแห่งการส่องสว่างของโคมไฟจากระนาบ C_{270} ถึง C_{90} และจากระนาบ C_{90} ถึง C_{270} 39

3.15 ไอโซแคนเดลล่าไคอะแกรมของโคมไฟจากระนาบ C_{270} ถึง C_{90} ... 40

3.16 โพลาไดอะแกรมของโคมไฟทั้ง 4 ระนาบ 41

3.17 แสดงลักษณะของ throw และ spread 42

3.18 ขนาดของควงโคมและของเสาที่ใช้ติดตั้งโคมไฟถนน ชนิดหลอดโซเดียม ความดันไอต่ำ 44

3.19 ขนาดของควงโคมและของเสาที่ใช้ติดตั้งโคมไฟถนนชนิดหลอดโซเดียม ความดันไอสูง 45

3.20 คำจำกัดความของการติดตั้งโคมไฟถนน 46

3.21 แสดงการติดตั้งโคมไฟถนนแบบต่าง ๆ 47

4.1 การติดตั้งโคมไฟถนนและการมองความส่องสว่างของผิวถนน 50

4.2 การกำหนดค่ามุมของแนวที่มองกับแนวระดับ (α)ของ ซี ไอ อี 51

4.3 การกำหนดค่ามุมเชิงของแข็ง (Ω_o) ของโคมไฟที่ส่องแสงลงบนผิวถนนช่วงที่พิจารณาความส่องสว่างของผิวถนน 53

4.4 การหาค่า Q_o โดยการ integrate รอบพื้นที่ของผิวถนนช่วงที่พิจารณาความส่องสว่างในเทอมของ tan γ และ β 54

4.5 แสดงค่า r ในลักษณะกราฟ 3 มิติที่ค่า tan γ และ β ต่าง ๆ 57

4.6 แสดงลักษณะค่า r ของผิวถนนแห้งเมื่อ (a) เป็นผิวถนนที่มีความมันสูง (b) เป็นผิวถนนที่มีการสะท้อนแสงสม่ำเสมอ 57

4.7 แสดงลักษณะค่า r ของผิวถนนแห้ง 2 ชนิดที่มีความมันเท่ากัน แต่ (c) มีความส่องสว่างมากกว่า (d) 58

รูปที่ (ต่อ) หน้า

4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า S_1 และ S_2 58

5.1 แสดงการคำนวณค่าทางแสงสว่างของโคมไฟที่มีการกระจายความเข้มแห่งการส่องสว่างแบบ rotation symmetry 65

5.2 แสดงการคำนวณค่าทางแสงสว่างของโคมไฟที่มีการกระจายความเข้มแห่งการส่องสว่างไม่เป็นแบบ rotation symmetry 66

5.3 แสดงการหาค่า Glare control mark (G) โดยวิธีกราฟ 70

5.4 การหาค่า equivalent veiling luminance (L_v) โดยวิธีกราฟ .. 73

5.5 การหาค่า threshold increment (TI) จากค่า L_v และความส่องสว่างเฉลี่ยของผิวถนนโดยวิธีกราฟ 74

6.1 แสดงตารางการกระจายความเข้มแห่งการส่องสว่างของโคมไฟจากระนาบ C_{270} ถึง C_{90} และ C_{90} ถึง C_{270} 76

6.2 แสดงตัวอย่างการประมาณค่าโดยใช้ quadratic interpolation ของค่า I 78

6.3 แสดงการใช้ quadratic interpolation ของ curve A จากรูป 6.2 79

6.4 แสดงจุดที่ต้องคำนวณภายในพื้นที่ที่ต้องคำนวณ 81

6.5 แสดงจุดสังเกตของการคำนวณค่า L_{av}, U_o และ U_1 82

6.6 แสดง flow diagram ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 88

7.1 สภาพการติดตั้งไฟถนนเวลากลางวันของถนนรัชดาภิเษก ช่วงที่มีผิวถนนเป็นคอนกรีต 90

7.2 สภาพการติดตั้งไฟถนนเวลากลางวันของถนนรัชดาภิเษก ช่วงที่มีผิวถนนเป็นแอสฟัลท์ 95

รูปที่ (ต่อ) หน้า

7.3 สภาพการติดตั้งไฟถนน เวลากลางวันของทางด่วนดินแดง-บางนา 101

7.4 สภาพการติดตั้งไฟถนน เวลากลางวันของถนนมุขมนตรี 107

7.5 จุดที่ต้องวัด 112

7.6 ภาพสไลด์การวัดค่า L_{av} และ U_o ของไฟถนน ถนนรัชดาภิเษก ช่วงที่มีผิวถนนเป็นคอนกรีต 119

7.7 ภาพสไลด์การวัดค่า U_1 ช่องวิ่งที่ 1 ของไฟถนน ถนนรัชดาภิเษก ช่วงที่มีผิวถนนเป็นคอนกรีต 119

7.8 ภาพสไลด์การวัดค่า U_1 ช่องวิ่งที่ 2 ของไฟถนน ถนนรัชดาภิเษก ช่วงที่มีผิวถนนเป็นคอนกรีต 120

7.9 ภาพสไลด์การวัดค่า U_1 ช่องวิ่งที่ 3 ของไฟถนน ถนนรัชดาภิเษก ช่วงที่มีผิวถนนเป็นคอนกรีต 120

7.10 ภาพสไลด์การวัดค่า U_1 ช่องวิ่งที่ 4 ของไฟถนน ถนนรัชดาภิเษก ช่วงที่มีผิวถนนเป็นคอนกรีต 121

7.11 ภาพสไลด์การวัดค่า L_{av} และ U_o ของไฟถนน ถนนรัชดาภิเษก ช่วงที่มีผิวถนนเป็นแอสฟัลท์ 123

7.12 ภาพสไลด์การวัดค่า U_1 ช่องวิ่งที่ 1 ของไฟถนน ถนนรัชดาภิเษก ช่วงที่มีผิวถนนเป็นแอสฟัลท์ 124

7.13 ภาพสไลด์การวัดค่า U_1 ช่องวิ่งที่ 2 ของไฟถนน ถนนรัชดาภิเษก ช่วงที่มีผิวถนนเป็นแอสฟัลท์ 124

7.14 ภาพสไลด์การวัดค่า U_1 ช่องวิ่งที่ 3 ของไฟถนน ถนนรัชดาภิเษก ช่วงที่มีผิวถนนเป็นแอสฟัลท์ 125

7.15 ภาพสไลด์การวัดค่า U_1 ช่องวิ่งที่ 4 ของไฟถนน ถนนรัชดาภิเษก ช่วงที่มีผิวถนนเป็นแอสฟัลท์ 125

รูปที่ (ต่อ) หน้า

7.16 ภาพสไลด์การวัดค่า L_{av} และ U_o ของไฟถนน ทางด่วนดินแดง-บางนา . 128

7.17 ภาพสไลด์การวัดค่า U_l ช่องวิ่งที่ 1 ของไฟถนน ทางด่วนดินแดง-บางนา .. 128

7.18 ภาพสไลด์การวัดค่า U_l ช่องวิ่งที่ 2 ของไฟถนน ทางด่วนดินแดง-บางนา .. 129

7.19 ภาพสไลด์การวัดค่า U_l ช่องวิ่งที่ 3 ของไฟถนน ทางด่วนดินแดง-บางนา .. 129

7.20 ภาพสไลด์การวัดค่า L_{av} และ U_o ของไฟถนน ถนนมุขมนตรี 132

7.21 ภาพสไลด์การวัดค่า U_l ช่องวิ่งที่ 1 ของไฟถนน ถนนมุขมนตรี 132

7.22 ภาพสไลด์การวัดค่า U_l ช่องวิ่งที่ 2 ของไฟถนน ถนนมุขมนตรี 133

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย