

การประเมินคุณภาพของการส่องสว่างด้านแสงจ้าแยงตาและการเกิดเงา

นางสาวรุจิพรรณ สัมปโน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-346-439-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

19450813

QUALITY EVALUATION IN ILLUMINATION: GLARE AND SHADOW

Miss Rujipan Sampanna

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

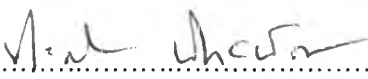
ISBN 974-346-439-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประเมินคุณภาพของการส่องสว่างด้านแสงจ้าแยงตาและการเกิดเงา
โดย นางสาวรุจิพรรณ สัมปันณา
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ไชยะ แซ่มซ้อย


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

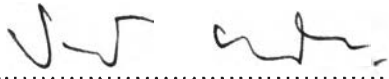

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ไชยะ แซ่มซ้อย)


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


..... กรรมการ
(นายประกรณ์ เมฆจำเริญ)

รุจิพรรณ สัมปันณา : การประเมินคุณภาพของการส่องสว่างด้านแสงจ้าแยงตาและการเกิดเงา. (QUALITY EVALUATION IN ILLUMINATION: GLARE AND SHADOW) อ. ที่ปรึกษา : อ. ไชยะ แซ่มซ้อย, 173 หน้า. ISBN 974-346-439-5.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการประเมินระดับคุณภาพของการให้แสงสว่างทางด้านแสงจ้าแยงตาและผลของเงา ในพื้นที่ขนาดใหญ่กลางแจ้ง วิธีการหลักที่ใช้ประเมินจะใช้วิธีการคำนวณแบบคิดทีละจุด ซอฟต์แวร์สำหรับประเมินคุณภาพการส่องสว่างได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อเป็นเครื่องมือช่วยในการออกแบบและประเมินการให้แสงสว่างนอกอาคาร

ซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาสามารถคำนวณความสว่างทั้งในระนาบนอน ระนาบตั้ง และระนาบเอียง ความสม่ำเสมอของความสว่าง ระดับแสงจ้าแยงตา ตลอดจนวิเคราะห์ผลกระทบจากการเกิดเงา ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำเสนอในรูปแบบของตารางข้อมูล ภาพกราฟิก 3 มิติ ภาพลายเส้น และภาพแรเงา วิศวกรไฟฟ้าแสงสว่างสามารถประเมินสมรรถนะของระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่นำเสนอได้ด้วยการเปรียบเทียบกับมาตรฐานสากลเช่น มาตรฐาน CIE

ภาควิชา _____ วิศวกรรมไฟฟ้า _____
 สาขาวิชา _____ วิศวกรรมไฟฟ้า _____
 ปีการศึกษา _____ 2543 _____

ลายมือชื่อนิสิต _____ 5 ๕๕๕๕๕๕๕๕ ลัยตั้งเอก _____
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

4170484821 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORD : GLARE / SHADOW

RUJIPAN SAMPANNA : QUALITY EVALUATION IN ILLUMINATION: GLARE AND SHADOW. THESIS ADVISOR : CHAIYA CHAMCHOY 173 pp. ISBN 974-346-439-5

Quality evaluation in illumination, glare and shadow, in outdoor large area lighting is presented in this thesis. Principal evaluation algorithm used in this research is the point-by-point calculation method. Quality evaluation software is developed as a tool for outdoor lighting design and assessment.

The developed software can calculate illuminance values on horizontal, vertical and inclined planes. glare rating (GR) and analyze shadow effect. The results will be presented in the form of data tables, 3-D graphics, contour lines and shaded pictures. Lighting engineers can evaluate the performance of the proposed lighting system by comparing the results with the CIE international standard.

Department Electrical engineering

Field of study Electrical engineering

Academic year 2000

Student's signature SAMPANNA RUJIPAN

Advisor's signature Ch. Chamchoy

Co-advisor's signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อาจารย์ไชยะ แซ่มซ้อย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้แนะแนวทางปฏิบัติให้ความคิดเห็นและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ตลอดจนชี้ให้เห็นถึงข้อบกพร่องและแนวทางแก้ไขต่างๆ นับตั้งแต่เริ่มต้นในการทำวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

นอกจากนั้น ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้กรุณาให้ข้อมูลเป็นแนวทางและให้โอกาสจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้มีการเริ่มต้น รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ คุณประกรณ์ เมฆจำเริญ ผู้จัดการกลุ่มธุรกิจคอมพิวเตอร์ บริษัทฟิลิปส์ อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา – มารดาที่ได้ให้กำลังใจเสมอมา และทุก ๆ ท่านที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

รุจิพรรณ สัมปันณา

1 กันยายน 2543

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฏ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ประวัติความเป็นมาและแนวเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์	2
2. ทฤษฎีการคำนวณความสว่างภายนอกอาคาร	3
2.1 โคมฉาย	3
2.1.1 ข้อมูลการกระจายแสงของโคมฉาย	4
2.1.2 ลักษณะการติดตั้งโคมฉาย	5
2.2 การคำนวณค่าความสว่างด้วยวิธีลูเมน	5
2.3 การคำนวณค่าความสว่างด้วยวิธีคิดที่ละเอียด	6
2.4 การคำนวณในระบบ H-V	11
2.4.1 กรณีที่มุมหัน (T) เป็นศูนย์	11
2.4.2 กรณีที่มุมหัน (T) ไม่เป็นศูนย์	13
2.5 การคำนวณในระบบ C- γ	14
2.5.1 กรณีที่มุมหัน (T) เป็นศูนย์	14
2.5.2 กรณีที่มุมหัน (T) ไม่เป็นศูนย์	16
3. การประเมินคุณภาพการส่องสว่างในเรื่องของแสงจ้าแยงตาและเงา	17
3.1 ความสม่ำเสมอ	17

3.2	พิกัดแสงจ้าแยงตา	18
3.3	การคำนวณเงาที่เกิดจากวัตถุ	19
3.3.1	การคำนวณหาลักษณะเงาของวัตถุที่กระทำกับพื้น	19
3.3.2	การตรวจสอบตำแหน่งของจุดที่อยู่ภายในบริเวณที่เกิดเงา	21
4.	โปรแกรมออกแบบแสงสว่างภายนอกอาคาร	25
4.1	โครงสร้างการทำงานของโปรแกรม	25
4.2	ส่วนรับข้อมูล	28
4.2.1	ส่วนรับข้อมูลของระนาบนอน	28
4.2.2	ส่วนรับข้อมูลของระนาบเอียง	32
4.3	ส่วนประมวลผล	35
4.3.1	ส่วนจัดเก็บข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคม	35
4.3.2	ส่วนคำนวณผลลัพธ์	36
4.4	ส่วนแสดงผล	44
4.4.1	การแสดงผลของระนาบนอนและระนาบเอียง	44
4.4.2	การแสดงผลของการเกิดเงา	50
5.	ตัวอย่างการประเมินคุณภาพการส่องสว่าง	53
5.1	กรณีที่ 1 การให้แสงสว่างในสนามกีฬาขนาดใหญ่	53
5.1.1	การให้แสงสว่างในสนามกีฬาสำหรับฝึกซ้อม	53
5.1.2	การให้แสงสว่างในสนามกีฬาสำหรับการแข่งขันระดับชาติ	55
5.1.3	การให้แสงสว่างในสนามกีฬาสำหรับการแข่งขันระดับนานาชาติ จากดวงโคมที่มีข้อมูลการกระจายแสงในระบบ H-V	57
5.1.4	การให้แสงสว่างในสนามกีฬาสำหรับการแข่งขันระดับนานาชาติ จากดวงโคมที่มีข้อมูลการกระจายแสงในระบบ C-γ	61
5.2	กรณีที่ 2 พิจารณาการเกิดเงาบนพื้นที่คำนวณ	66
5.2.1	วัตถุรูปสามเหลี่ยมและรูปสี่เหลี่ยม	66
5.2.2	พิจารณาการจำลองวัตถุเป็นคู่สินค้า	76
5.2.3	การออกแบบไฟแสงสว่างโดยใช้ฉากบังแสง (การประยุกต์เรื่องเงา) ...	84
5.2.4	การบังแสงของหลังคาอิมจันทร์	91
5.3	กรณีที่ 3 การให้แสงสว่างบนระนาบเอียง	94
6.	สรุปและข้อเสนอแนะ	100
6.1	สรุปผลการดำเนินงาน	100
6.2	ข้อเสนอแนะ	101

รายการอ้างอิง	102
ภาคผนวก	
ก. ข้อมูลการกระจายแสงของโคมในระบบ H-V	103
ข. ข้อมูลการกระจายแสงของโคมในระบบ C- γ	104
ค. ข้อมูลการกระจายแสงของโคมในระบบ C- γ	112
ง. ผลการคำนวณการให้แสงสว่างในกรณีต่างๆ	113
ประวัติผู้เขียน	173

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3-1	รูปภาพแสดงการประยุกต์ใช้งานกับวัตถุที่มีรูปร่างต่าง ๆ 24
5-1	ข้อมูลของการติดตั้งโคมของสนามกีฬาสำหรับฝึกซ้อม 54
5-2	ข้อมูลของพื้นที่คำนวณของสนามกีฬาสำหรับฝึกซ้อม..... 54
5-3	ผลการวิเคราะห์ค่าความสว่างและความสม่ำเสมอของความสว่าง บนระนาบนอนของสนามกีฬาสำหรับฝึกซ้อม 55
5-4	ข้อมูลของการติดตั้งโคมของสนามกีฬาสำหรับการแข่งขันระดับชาติ..... 56
5-5	ข้อมูลของพื้นที่คำนวณของสนามกีฬาสำหรับการแข่งขันระดับชาติ 56
5-6	ผลการวิเคราะห์ค่าความสว่างและความสม่ำเสมอของความสว่าง บนระนาบนอนของสนามกีฬาสำหรับการแข่งขันระดับชาติ..... 57
5-7	ข้อมูลของการติดตั้งโคมของสนามกีฬาสำหรับ การแข่งขันระดับนานาชาติ 58
5-8	ข้อมูลของการติดตั้งกล้องของสนามกีฬา สำหรับการแข่งขันระดับนานาชาติ 60
5-9	ข้อมูลของพื้นที่คำนวณของสนามกีฬา สำหรับการแข่งขันระดับนานาชาติ 60
5-10	ผลการวิเคราะห์การให้แสงสว่างบนสนามกีฬา สำหรับการแข่งขันระดับนานาชาติ 60
5-11	ผลการวิเคราะห์การเกิดแสงจ้าแยงตาจากการให้แสงสว่าง บนสนามกีฬาสำหรับการแข่งขันระดับนานาชาติ 61
5-12	ข้อมูลของการติดตั้งโคม 63
5-13	ข้อมูลของการติดตั้งกล้อง 64
5-14	ข้อมูลของพื้นที่คำนวณ 65
5-15	ผลการวิเคราะห์การให้แสงสว่างบนสนามกีฬา สำหรับการแข่งขันระดับนานาชาติ..... 65
5-16	ผลการวิเคราะห์การเกิดแสงจ้าแยงตาจากการให้แสงสว่าง บนสนามกีฬาสำหรับการแข่งขันระดับนานาชาติ 65
5-17	ข้อมูลของการติดตั้งโคม 67

5-18	ข้อมูลของพื้นที่คำนวณ	67
5-19	ข้อมูลของวัตถุในตำแหน่งที่ 1	68
5-20	ข้อมูลของวัตถุในตำแหน่งที่ 2	68
5-21	ผลการวิเคราะห์ค่าความสว่างและความสม่ำเสมอของความสว่าง บนระนาบนอนในกรณีที่ 1	69
5-22	ผลการวิเคราะห์ค่าความสว่างและความสม่ำเสมอของความสว่าง บนระนาบนอนในกรณีที่ 2	71
5-23	ผลการวิเคราะห์ค่าความสว่างและความสม่ำเสมอของความสว่าง บนระนาบนอนในกรณีที่ 3	73
5-24	ข้อมูลของการติดตั้ง โคม	77
5-25	ข้อมูลของพื้นที่คำนวณ	78
5-26	ผลของความสว่างบนระนาบนอนในแต่ละพื้นที่	78
5-27	ข้อมูลของการติดตั้ง โคม	85
5-28	ข้อมูลของพื้นที่คำนวณ	86
5-29	ความสว่างบนระนาบนอนในกรณีไม่มีฉากบังแสง	86
5-30	ค่าความสม่ำเสมอของความสว่างบนระนาบนอนในกรณีไม่มีฉากบังแสง	87
5-31	ความสว่างบนระนาบนอนในกรณีที่มีฉากบังแสง	88
5-32	ค่าความสม่ำเสมอของความสว่างบนระนาบนอนในกรณีที่มีฉากบังแสง	88
5-33	ข้อมูลตำแหน่งหลังคาอ้อมจันทร์	91
5-34	ผลการวิเคราะห์ค่าความสว่างบนระนาบนอนบนพื้นสนาม	91
5-35	ค่าความสม่ำเสมอของความสว่างบนระนาบนอน	92
5-36	ข้อมูลของการติดตั้ง โคมของการให้แสงสว่างบนระนาบเอียง	95
5-37	ข้อมูลของพื้นที่คำนวณของการให้แสงสว่างบนระนาบเอียง	96
5-38	ผลการวิเคราะห์ค่าความสว่างบนระนาบเอียง	97
5-39	ค่าความสม่ำเสมอของความสว่างบนระนาบเอียง	97
ง-1	ความสว่างและความสม่ำเสมอของความสว่างบนระนาบนอน ของสนามกีฬาสำหรับฝึกซ้อม	114
ง-2	ความสว่างและความสม่ำเสมอของความสว่างบนระนาบนอน ของสนามกีฬาสำหรับการแข่งขันระดับชาติ	117
ง-3	ความสว่างและความสม่ำเสมอของความสว่างบนระนาบนอน ของสนามกีฬาสำหรับการแข่งขันระดับนานาชาติ	120

ง-23	ความสว่างและความสม่ำเสมอของความสว่างบนระนาบนอนในพื้นที่ 1	164
ง-24	ความสว่างและความสม่ำเสมอของความสว่างบนระนาบนอนในพื้นที่ 2	166
ง-25	ความสว่างและความสม่ำเสมอของความสว่างบนระนาบนอนในพื้นที่ 3	168
ง-26	ความสว่างและความสม่ำเสมอของความสว่างบนระนาบนอนในพื้นที่ 4	170

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่

2-1	ระนาบมุมในระบบ H-V	4
2-2	ระนาบมุมในระบบ C- γ	5
2-3	การปรับตั้ง โคมฉายโดยอาศัยมุมเงย (δ) และ มุมหัน (τ).....	5
2-4	การคำนวณค่าความสว่างแบบคิดทีละจุด.....	6
2-5	การคำนวณค่าความสว่างที่ผู้สังเกตการณ์มองเห็น.....	8
2-6	รูปประกอบการคำนวณความสว่างบนระนาบเอียง.....	9
2-7	รูปประกอบการคำนวณพิสัยของจุด R.....	9
2-8	รูปประกอบการคำนวณพิสัยของจุด R ในกรณีที่มีพื้นเอียงมีทิศทางหันซ้ายหรือขวา.....	10
2-9	การคำนวณหาค่ามุม H และมุม V กรณีมุมหันเป็นศูนย์.....	11
2-10	แสดงการหามุม V.....	12
2-11	การคำนวณหาค่ามุม H และมุม V กรณีมุมหันไม่เป็นศูนย์.....	13
2-12	การคำนวณมุม γ ในกรณีมุมหันเท่ากับศูนย์.....	14
2-13	การคำนวณมุม C ในกรณีมุมหันเท่ากับศูนย์.....	15
2-14	การคำนวณมุม C และมุม γ ในกรณีมุมหันไม่เท่ากับศูนย์.....	16
3-1	การคำนวณแสงจ้าแยงตา.....	18
3-2	การเกิดเงาของวัตถุรูปสี่เหลี่ยมใดๆ.....	19
3-3	การคำนวณหาจุดที่ตกลงบนพื้นโดยพิจารณาวัตถุที่จุดๆ เดียว.....	20
3-4	มุมมองด้านบน (Top view) ของรูปที่ 3-3.....	20
3-5	การตรวจสอบตำแหน่งของจุดที่อยู่ภายในบริเวณที่เกิดเงาเป็นรูปสี่เหลี่ยม.....	22
3-6	การตรวจสอบตำแหน่งของจุดที่อยู่ภายในบริเวณที่เกิดเงาเป็นรูปสามเหลี่ยม....	23
4-1	โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (คำนวณบนระนาบนอนและระนาบตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์)	26
4-2	โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (คำนวณบนระนาบเอียง).....	27
4-3	ส่วนประกอบต่างๆ ที่ใช้ในการป้อนข้อมูลของพื้นที่.....	28
4-4	ส่วนรับข้อมูลรายละเอียดของพื้นที่คำนวณ.....	28
4-5	ส่วนประกอบต่างๆ ที่ใช้ในการป้อนข้อมูลของโคมไฟ.....	29

4-6	ส่วนรับข้อมูลรายละเอียดของโคมไฟ.....	29
4-7	ส่วนประกอบต่างๆ ที่ใช้ในการป้อนข้อมูล ของตำแหน่งกล้องหรือผู้สังเกตการณ์.....	30
4-8	ส่วนรับข้อมูลรายละเอียดของตำแหน่ง ติดตั้งกล้องหรือผู้สังเกตการณ์	30
4-9	ส่วนประกอบต่างๆ ที่ใช้ในการป้อนข้อมูลของวัตถุ.....	31
4-10	ส่วนรับข้อมูลลักษณะของวัตถุรูปสามเหลี่ยมและรูปสี่เหลี่ยม	31
4-11	ส่วนประกอบต่างๆ ที่ใช้ในการป้อนข้อมูลของพื้นที่	32
4-12	ส่วนรับข้อมูลรายละเอียดของพื้นที่คำนวณ	32
4-13	ส่วนประกอบต่างๆ ที่ใช้ในการป้อนข้อมูลของโคมไฟ.....	33
4-14	ส่วนรับข้อมูลรายละเอียดของโคมไฟ	33
4-15	ส่วนประกอบต่างๆ ที่ใช้ในการป้อนข้อมูล ของตำแหน่งกล้องหรือผู้สังเกตการณ์	34
4-16	ส่วนรับข้อมูลรายละเอียดของตำแหน่ง ติดตั้งกล้องหรือผู้สังเกตการณ์	34
4-17	หน้าจอการรับข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคม	35
4-18	แผนภาพแสดงการคำนวณความสว่างบนระนาบนอน (E_h)	36
4-19	แผนภาพแสดงการคำนวณความสว่างบนระนาบ ที่เอียงตั้งฉากกับแนวมองของผู้สังเกตการณ์ (E_{tv})	38
4-20	แผนภาพแสดงการคำนวณแสงจ้า ($Glare$)	40
4-21	แผนภาพแสดงการคำนวณความสว่างบนพื้นเอียง	42
4-22	หน้าจอแสดงผลของความสว่างบนระนาบนอนในรูปของตารางตัวเลข	44
4-23	หน้าจอแสดงผลของความสว่างบนระนาบนอนในรูปของภาพสามมิติ	45
4-24	หน้าจอแสดงผลของความสว่างบนระนาบนอนในรูปของภาพลายเส้น	45
4-25	หน้าจอแสดงผลของความสว่างบนระนาบนอนในรูปของภาพแรเงา	46
4-26	หน้าจอแสดงผลของความสว่างบนระนาบที่ตั้งฉาก กับแนวมองของผู้สังเกตการณ์ในรูปของตารางตัวเลข	46
4-27	หน้าจอแสดงผลของความสว่างบนระนาบที่ตั้งฉาก กับแนวมองของผู้สังเกตการณ์ในรูปของภาพสามมิติ	47
4-28	หน้าจอแสดงผลของความสว่างบนระนาบที่ตั้งฉาก กับแนวมองของผู้สังเกตการณ์ในรูปของภาพลายเส้น	47

4-29	หน้าจอแสดงผลของความสว่างบนระนาบที่ตั้งฉากกับแนวมองของผู้สังเกตการณ์ในรูปของภาพเรเงา	48
4-30	หน้าจอแสดงผลของแสงจ้าแยงตาในรูปของตารางตัวเลข	48
4-31	หน้าจอแสดงผลของแสงจ้าแยงตาในรูปของภาพสามมิติ	49
4-32	หน้าจอแสดงผลของแสงจ้าแยงตาในรูปของภาพลายเส้น	49
4-33	หน้าจอแสดงผลของแสงจ้าแยงตาในรูปของภาพเรเงา	50
4-34	หน้าจอแสดงผลของความสว่างบนระนาบนอนในรูปของตารางตัวเลข	51
4-35	หน้าจอแสดงผลของความสว่างบนระนาบนอนในรูปของภาพสามมิติ	51
4-36	หน้าจอแสดงผลของความสว่างบนระนาบนอนในรูปของภาพลายเส้น	52
4-37	หน้าจอแสดงผลของความสว่างบนระนาบนอนในรูปของภาพเรเงา	52
5-1	ลักษณะของพื้นที่คำนวณของสนามกีฬาสำหรับฝึกซ้อม	54
5-2	ลักษณะของพื้นที่คำนวณของสนามกีฬาสำหรับการแข่งขันระดับชาติ	55
5-3	ลักษณะของพื้นที่คำนวณของการแข่งขันระดับนานาชาติ	58
5-4	ลักษณะของพื้นที่คำนวณของการแข่งขันระดับนานาชาติ	62
5-5	ลักษณะของพื้นที่คำนวณ	66
5-6	ลักษณะของวัตถุ	67
5-7	ลักษณะการติดตั้งดวงโคมบนพื้นที่คำนวณในกรณีที่ 1	69
5-8	ภาพเรเงาของความสว่างบนระนาบนอนเมื่อไม่มีวัตถุในสนาม	70
5-9	ภาพเรเงาของความสว่างบนระนาบนอนเมื่อวัตถุอยู่ในตำแหน่งที่ 1	70
5-10	ภาพเรเงาของความสว่างบนระนาบนอนเมื่อวัตถุอยู่ในตำแหน่งที่ 2	70
5-11	ลักษณะการติดตั้งดวงโคมบนพื้นที่คำนวณในกรณีที่ 2	71
5-12	ภาพเรเงาของความสว่างบนระนาบนอนเมื่อไม่มีวัตถุในสนาม	72
5-13	ภาพเรเงาของความสว่างบนระนาบนอนเมื่อวัตถุอยู่ในตำแหน่งที่ 1	72
5-14	ภาพเรเงาของความสว่างบนระนาบนอนเมื่อวัตถุอยู่ในตำแหน่งที่ 2	72
5-15	ลักษณะการติดตั้งดวงโคมบนพื้นที่คำนวณในกรณีที่ 3	73
5-16	ภาพเรเงาของความสว่างบนระนาบนอนเมื่อไม่มีวัตถุในสนาม	74
5-17	ภาพเรเงาของความสว่างบนระนาบนอนเมื่อวัตถุอยู่ในตำแหน่งที่ 1	74
5-18	ภาพเรเงาของความสว่างบนระนาบนอนเมื่อวัตถุอยู่ในตำแหน่งที่ 2	74
5-19	ลักษณะของพื้นที่ที่พิจารณาการจำลองวัตถุเป็นคู่สินค้า	76
5-20	ลักษณะของคู่สินค้า	77
5-21	ภาพเรเงาของความสว่างบนระนาบนอนในพื้นที่ 1 กรณีไม่มีวัตถุ	79
5-22	ภาพเรเงาของความสว่างบนระนาบนอนในพื้นที่ 1 กรณีมีวัตถุ	79

5-23	ภาพแรงเงาของความสว่างบนระนาบนอนในพื้นที่ 2 กรณีไม่มีวัตถุ	80
5-24	ภาพแรงเงาของความสว่างบนระนาบนอนในพื้นที่ 2 กรณีมีวัตถุ	80
5-25	ภาพแรงเงาของความสว่างบนระนาบนอนในพื้นที่ 3 กรณีไม่มีวัตถุ	81
5-26	ภาพแรงเงาของความสว่างบนระนาบนอนในพื้นที่ 3 กรณีมีวัตถุ	81
5-27	ภาพแรงเงาของความสว่างบนระนาบนอนในพื้นที่ 4 กรณีไม่มีวัตถุ	82
5-28	ภาพแรงเงาของความสว่างบนระนาบนอนในพื้นที่ 4 กรณีมีวัตถุ	82
5-29	ลักษณะการจัดวางดวง โคมและการติดตั้งฉากบังแสง	84
5-30	ลักษณะของฉากบังแสง	85
5-31	ภาพสามมิติของความสว่างบนระนาบนอนในกรณีไม่มีฉากบังแสง	87
5-32	ภาพลายเส้นของความสว่างบนระนาบนอนในกรณีไม่มีฉากบังแสง	87
5-33	ภาพแรงเงาของความสว่างบนระนาบนอนในกรณีไม่มีฉากบังแสง	88
5-34	ภาพสามมิติของความสว่างบนระนาบนอนในกรณีที่มีฉากบังแสง	89
5-35	ภาพลายเส้นของความสว่างบนระนาบนอนในกรณีที่มีฉากบังแสง	89
5-36	ภาพแรงเงาของความสว่างบนระนาบนอนในกรณีที่มีฉากบังแสง	90
5-37	ตำแหน่งหลังคาอัมจันทร์	91
5-38	ภาพสามมิติของความสว่างบนระนาบนอน	92
5-39	ภาพลายเส้นของความสว่างบนระนาบนอน	92
5-40	ภาพแรงเงาของความสว่างบนระนาบนอน	93
5-41	ลักษณะของพื้นที่คำนวณของการให้แสงสว่างบนระนาบเอียง	94
5-42	ภาพสามมิติของความสว่างบนระนาบเอียง	98
5-43	ภาพลายเส้นของความสว่างบนระนาบเอียง	98
5-44	ภาพแรงเงาของความสว่างบนระนาบเอียง	99
ง-1	ลักษณะของพื้นที่คำนวณของสนามกีฬาสำหรับฝึกซ้อม	113
ง-2	ภาพสามมิติของความสว่างบนระนาบนอนของสนามกีฬาสำหรับฝึกซ้อม	114
ง-3	ภาพลายเส้นของความสว่างบนระนาบนอนของสนามกีฬาสำหรับฝึกซ้อม	115
ง-4	ภาพแรงเงาของความสว่างบนระนาบนอนของสนามกีฬาสำหรับฝึกซ้อม	115
ง-5	ลักษณะของพื้นที่คำนวณของสนามกีฬาสำหรับการแข่งขันระดับชาติ	116
ง-6	ภาพสามมิติของความสว่างบนระนาบนอนของ สนามกีฬาสำหรับการแข่งขันระดับชาติ	117
ง-7	ภาพลายเส้นของความสว่างบนระนาบนอนของ สนามกีฬาสำหรับการแข่งขันระดับชาติ	118

ง-8	ภาพเรเงาของความสว่างบนระนาบนอนของ สนามกีฬาสำหรับการแข่งขันระดับชาติ	118
ง-9	ลักษณะของพื้นที่คำนวณของการแข่งขันระดับนานาชาติ	119
ง-10	ภาพสามมิติของความสว่างบนระนาบนอนของ สนามกีฬาสำหรับการแข่งขันระดับนานาชาติ	120
ง-11	ภาพลายเส้นของความสว่างบนระนาบนอนของ สนามกีฬาสำหรับการแข่งขันระดับนานาชาติ	121
ง-12	ภาพเรเงาของความสว่างบนระนาบนอนของ สนามกีฬาสำหรับการแข่งขันระดับนานาชาติ	121
ง-13	ภาพสามมิติของความสว่างบนระนาบที่ตั้งฉาก กับแนวสังเกตการณ์ของกล้องตัวที่ 1	122
ง-14	ภาพลายเส้นของความสว่างบนระนาบที่ตั้งฉาก กับแนวสังเกตการณ์ของกล้องตัวที่ 1	123
ง-15	ภาพเรเงาของความสว่างบนระนาบที่ตั้งฉาก กับแนวสังเกตการณ์ของกล้องตัวที่ 1	123
ง-16	ภาพสามมิติของความสว่างบนระนาบที่ตั้งฉาก กับแนวสังเกตการณ์ของกล้องตัวที่ 2	124
ง-17	ภาพลายเส้นของความสว่างบนระนาบที่ตั้งฉาก กับแนวสังเกตการณ์ของกล้องตัวที่ 2	125
ง-18	ภาพเรเงาของความสว่างบนระนาบที่ตั้งฉาก กับแนวสังเกตการณ์ของกล้องตัวที่ 2	125
ง-19	ภาพสามมิติของความสว่างบนระนาบที่ตั้งฉาก กับแนวสังเกตการณ์ของกล้องตัวที่ 3	126
ง-20	ภาพลายเส้นของความสว่างบนระนาบที่ตั้งฉาก กับแนวสังเกตการณ์ของกล้องตัวที่ 3	127
ง-21	ภาพเรเงาของความสว่างบนระนาบที่ตั้งฉาก กับแนวสังเกตการณ์ของกล้องตัวที่ 3	127
ง-22	ภาพสามมิติของปริมาณของแสงจ้าแยงตาของกล้องตัวที่ 1	128
ง-23	ภาพลายเส้นของแสงจ้าแยงตาของกล้องตัวที่ 1	129
ง-24	ภาพเรเงาของแสงจ้าแยงตาของกล้องตัวที่ 1	129
ง-25	ภาพสามมิติของปริมาณของแสงจ้าแยงตาของกล้องตัวที่ 2	130
ง-26	ภาพลายเส้นของแสงจ้าแยงตาของกล้องตัวที่ 2	131

ง-27	ภาพเรเงาของแสงจ้าแรงแตาของกล้องตัวที่ 2	131
ง-28	ภาพสามมิติของปริมาณของแสงจ้าแรงแตาของกล้องตัวที่ 3	132
ง-29	ภาพลายเส้นของแสงจ้าแรงแตาของกล้องตัวที่ 3	133
ง-30	ภาพเรเงาของแสงจ้าแรงแตาของกล้องตัวที่ 3	133
ง-31	ลักษณะของพื้นที่คำนวณของการแข่งขันระดับนานาชาติ	134
ง-32	ภาพสามมิติของความสว่างบนระนาบนอน	135
ง-33	ภาพลายเส้นของความสว่างบนระนาบนอน	136
ง-34	ภาพเรเงาของความสว่างบนระนาบนอน	136
ง-35	ภาพสามมิติของความสว่างบนระนาบที่ตั้งฉาก กับแนวสังเกตการณ์ของกล้องตัวที่ 1	137
ง-36	ภาพลายเส้นของความสว่างบนระนาบที่ตั้งฉาก กับแนวสังเกตการณ์ของกล้องตัวที่ 1	138
ง-37	ภาพเรเงาของความสว่างบนระนาบที่ตั้งฉาก กับแนวสังเกตการณ์ของกล้องตัวที่ 1	138
ง-38	ภาพสามมิติของความสว่างบนระนาบที่ตั้งฉาก กับแนวสังเกตการณ์ของกล้องตัวที่ 2	139
ง-39	ภาพลายเส้นของความสว่างบนระนาบที่ตั้งฉาก กับแนวสังเกตการณ์ของกล้องตัวที่ 2	140
ง-40	ภาพเรเงาของความสว่างบนระนาบที่ตั้งฉาก กับแนวสังเกตการณ์ของกล้องตัวที่ 2	140
ง-41	ภาพสามมิติของความสว่างบนระนาบที่ตั้งฉาก กับแนวสังเกตการณ์ของกล้องตัวที่ 3	141
ง-42	ภาพลายเส้นของความสว่างบนระนาบที่ตั้งฉาก กับแนวสังเกตการณ์ของกล้องตัวที่ 3	142
ง-43	ภาพเรเงาของความสว่างบนระนาบที่ตั้งฉาก กับแนวสังเกตการณ์ของกล้องตัวที่ 3	142
ง-44	ภาพสามมิติของปริมาณของแสงจ้าแรงแตาของกล้องตัวที่ 1	143
ง-45	ภาพลายเส้นของแสงจ้าแรงแตาของกล้องตัวที่ 1	144
ง-46	ภาพเรเงาของแสงจ้าแรงแตาของกล้องตัวที่ 1	144
ง-47	ภาพสามมิติของปริมาณของแสงจ้าแรงแตาของกล้องตัวที่ 2	145
ง-48	ภาพลายเส้นของแสงจ้าแรงแตาของกล้องตัวที่ 2	146
ง-49	ภาพเรเงาของแสงจ้าแรงแตาของกล้องตัวที่ 2	146

ง-82	ภาพสามมิติของควมสว่างบนระนาบนอนในพื้นที่ 3	169
ง-83	ภาพลายเส้นของควมสว่างบนระนาบนอนในพื้นที่ 3	169
ง-84	ภาพแรเงาของควมสว่างบนระนาบนอนในพื้นที่ 3	170
ง-85	ภาพสามมิติของควมสว่างบนระนาบนอนในพื้นที่ 4	171
ง-86	ภาพลายเส้นของควมสว่างบนระนาบนอนในพื้นที่ 4	171
ง-87	ภาพแรเงาของควมสว่างบนระนาบนอนในพื้นที่ 4	172