สำนักหอสมุดกลาง - พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณและออกแบบที่เหมาะสมที่สุดของไฟสนามเทนนิส

COMPUTER AIDED IN CALCULATION AND OPTIMUM DESIGN FOR OUTDOOR SPORT LIGHTING

T049413

นวลวรรณ จิรวิวัฒนา

NUALWAN JIRAVIWATANA

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 49413
วัน, เดือน, ปี 20 ก.พ. 2547

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2546

ISBN 974-324-934-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPUTER AIDED IN CALCULATION AND OPTIMUM DESIGN FOR OUTDOOR SPORT LIGHTING

NUALWAN JIRAVIWATANA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2003

ISBN 974-324-934-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เ ระโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	**การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณและออกแบบที่เหมาะสมที่สุดของไฟสนามเทนนิส**
นักศึกษา	**นางสาวนวลวรรณ จิรวิวัฒนา**
รหัสประจำตัว	41061189
ปริญญา	**วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต**
สาขาวิชา	**วิศวกรรมไฟฟ้า**
พ.ศ.	2546
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	**รศ.จงรักษ์ บุญเสิ่ง**

บทคัดย่อ

การออกแบบในระบบส่องสว่างโดยทั่วไป มีสิ่งที่ต้องคำนึงถึงหลายประการด้วยกันคือ ปริมาณของแสง คุณภาพของแสง และค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการคำนวณและออกแบบไฟส่องสว่างที่เหมาะสมของสนามเทนนิส โดยคำนึงถึงปัจจัยทั้ง 3 ในส่วนของการออกแบบจะใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) มาช่วยในการหาแบบ, จำนวนของโคมไฟ ที่จะทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้งน้อยที่สุด และหาตำแหน่งของจุดเล็งที่เหมาะสมที่สุด ที่จะได้ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยสูงที่สุด โดยที่ค่าพิกัดแสงจ้าแยงตา และค่าความสม่ำเสมออยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ในส่วนของการคำนวณจะใช้วิธีการคำนวณแบบจุด คำนวณค่าความเข้มแสง และยังคำนึงถึงคุณภาพของแสง โดยคำนวณค่าพิกัดแสงจ้าแยงตา และความสม่ำเสมอของค่าความเข้มแสง ในส่วนของการแสดงผลจะนำเสนอในรูปของตารางตัวเลข กราฟ 3 มิติ (3D) กราฟคอนทัวร์ (Contour) และรูปแรเงา (Shading pictures) เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Computer Aided in Calculation and Optimum Design for Outdoor Sport Lighting
Student	Miss Nualwan Jiraviwatana
Student ID.	41061189
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2003
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Chongrag Boonseng

ABSTRACT

In general lighting design must be concern about quantity of lighting, quality of lighting and cost. This research presents the computer software development for tennis court calculation and optimum design. For design, this program can use for the selection of floodlights for the highest value of average illuminances and also to determine the optimum aiming points by optimization technique for the lowest cost , glare rating value and uniformity value is in the normal range. For calculation, using point by point method for calculate illuminances, glare rating and uniformity. The results are presented in the form of 3D, contour lines and shading pictures.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำจาก รศ.จงรักษ์ บุญเสิ่ง ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่าน และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ศุลี บรรจงจิตร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำในทุกๆด้าน

ขอกราบขอบพระคุณกรรมการผู้สอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน สำหรับคำแนะนำ และข้อเสนอแนะในทุกๆ ด้าน

ขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และมหาวิทยาลัยชินวัตร ที่เอื้อเฟื้อสนามเทนนิสในการทดสอบ

ขอขอบพระคุณบริษัทฟิลิปส์และบริษัทวีนิค สำหรับข้อมูลทางแสงของโคมฉาย

ขอขอบพระคุณบริษัทเคแอนด์อีสำหรับข้อมูลการออกแบบสนามเทนนิส

ขอขอบคุณคุณกิตติไกร ลีละพันธ์ สำหรับคำแนะนำด้านการเขียนโปรแกรม

ขอขอบคุณเพื่อนๆพี่ๆน้องๆ ทุกท่านที่ให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่ให้กำลังใจและสนับสนุนด้วยดีเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นวลวรรณ จิรวิวัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VIII

สารบัญภาพ.....X

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....2

1.3 ขั้นตอนการทำวิจัย.....3

บทที่ 2 ทฤษฎีการส่องสว่างของไฟนอกอาคาร.....4

2.1 บทนำ.....4

2.2 ข้อมูลการกระจายแสง.....4

2.1.1 ระบบแกนอ้างอิง.....4

2.3 หลอดไฟและโคมไฟส่อง.....7

2.3.1 หลอดไฟ.....7

2.3.1.1 หลอดฟลูออเรสเซนต์.....7

2.3.1.2 หลอดเมทัลฮาไลด์.....7

2.3.1.3 หลอดโซเดียมความดันสูง.....8

2.3.2 โคมไฟส่อง.....8

2.3.2.1 Circular Floodlights.....8

2.3.2.2 Rectangular Floodlights.....9

2.4 IES Files.....11

2.4.1 การจัดประเภทความกว้างของลำแสงตามระบบ IES/NEMA.....11

2.4.2 ลักษณะของแฟ้มข้อมูลแบบ IES.....11

2.4.2.1 ความเป็นมา.....11

2.4.2.2 รูปแบบแฟ้มข้อมูล IES.....12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.2.3 รายละเอียดแฟ้มข้อมูล IES.....15
2.5 การคำนวณค่าความเข้มแสงด้วยวิธีคิดทีละจุด (Point By Point).....22
2.6 การคำนวณมุม H-V.....25
2.6.1 การหามุม H,V ในกรณีมุมหัน (τ) เป็นศูนย์.....26
2.6.2 การหามุม H,V ในกรณีมุมหัน (τ) ไม่เป็นศูนย์.....27
2.7 ความสม่ำเสมอของค่าความเข้มแสง.....30
2.8 พิกัดแสงจ้าแยงตา.....30
2.9 บทสรุป.....32

บทที่ 3 การออกแบบแสงสว่างสนามกีฬา.....33
3.1 บทนำ.....33
3.2 ความต้องการพื้นฐาน.....33
3.3 ข้อกำหนดในการให้แสงสว่าง.....34
3.4 ข้อแนะนำระดับความเข้มแสงมาตรฐานของไฟสนามกีฬา.....37
3.5 บทสรุป.....45

บทที่ 4 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization).....46
4.1 บทนำ.....46
4.2 จีเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms).....46
4.3 การประยุกต์ใช้จีเนติกอัลกอริทึมกับการออกแบบระบบส่องสว่างของสนามเทนนิส.....65
4.4 บทสรุป.....68

บทที่ 5 โปรแกรมการคำนวณและออกแบบ.....69
5.1 บทนำ.....69
5.2 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรม.....69
5.3 การทำงานของโปรแกรมในส่วนของการคำนวณ.....73
5.3.1 ส่วนรับข้อมูล.....73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.3.2 ส่วนประมวลผล....78
5.3.3 ส่วนแสดงผล....80
5.4 การทำงานของโปรแกรมในส่วนของการออกแบบ....84
5.4.1 ส่วนรับข้อมูล....84
5.4.2 ส่วนประมวลผล....89
5.4.3 ส่วนแสดงผล....90
5.5 บทสรุป....91

บทที่ 6 ผลการทดสอบโปรแกรม....92
6.1 บทนำ....92
6.2 การทดสอบโปรแกรมในส่วนของการคำนวณ....92
6.2.1 การทดสอบสนามเทนนิสแบบ 1 สนาม....92
6.2.1.1 ความเข้มแสงในแนวราบจากโปรแกรมการคำนวณ....95
6.2.1.2 ความเข้มแสงในแนวราบจากการวัดจริงด้วยลักซ์มิเตอร์....97
6.2.1.3 ความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์....99
6.2.1.3.1 ความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่ 1 (กล้องตัวที่ 1)....99
6.2.1.3.2 ความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่ 2 (กล้องตัวที่ 2)....101
6.2.1.3.3 ความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่ 3 (กล้องตัวที่ 3)....104
6.2.1.3.4 ความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่ 4 (กล้องตัวที่ 4)....106
6.2.1.4 พิกัดแสงจ้าแยงตา....109
6.2.1.4.1 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่ 1 (กล้องตัวที่ 1)....109
6.2.1.4.2 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่ 2 (กล้องตัวที่ 2)....111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6.2.1.4.3 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่ 3 (กล้องตัวที่ 3).....113
6.2.1.4.4 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่ 4 (กล้องตัวที่ 4).....115
6.2.2 การทดสอบสนามเทนนิสแบบ 2 สนาม.....117
6.2.2.1 ความเข้มแสงในแนวราบจากโปรแกรมการคำนวณ.....120
6.2.2.2 ความเข้มแสงในแนวราบจากการวัดจริงด้วยลักซ์มิเตอร์.....122
6.2.2.3 ความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์.....125
6.2.2.3.1 ความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่ 1 (กล้องตัวที่ 1).....125
6.2.2.3.2 ความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่ 2 (กล้องตัวที่ 2).....127
6.2.2.3.3 ความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่ 3 (กล้องตัวที่ 3).....130
6.2.2.3.4 ความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่ 4 (กล้องตัวที่ 4).....132
6.2.2.4 พิกัดแสงจ้าแยงตา.....135
6.2.2.4.1 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่ 1 (กล้องตัวที่ 1).....135
6.2.2.4.2 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่ 2 (กล้องตัวที่ 2).....137
6.2.2.4.3 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่ 3 (กล้องตัวที่ 3).....139
6.2.2.4.4 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่ 4 (กล้องตัวที่ 4).....141
6.3 การทดสอบโปรแกรมในส่วนของการออกแบบ.....144
6.4 บทสรุป.....155

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ....156
7.1 สรุปผลการวิจัย....156
7.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการดำเนินการต่อไป....157

เอกสารอ้างอิง....158

ภาคผนวก ก ข้อมูลการกระจายแสงของโคมไฟ....159

ภาคผนวก ข วิธีใช้งานโปรแกรม....191

ภาคผนวก ค เครื่องมือที่ใช้ทำการวัดค่าความเข้มแสง....201

ภาคผนวก ง บทความที่ได้รับการตีพิมพ์....207

ประวัติผู้เขียน....221

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 การจัดประเภทความกว้างของลำแสงตามมาตรฐาน IES/NEMA....11

3.1 ระดับความเข้มแสงและพิกัดแสงจ้าแยงตามมาตรฐานของไฟสนามกีฬา....37

3.2 พิกัดแสงจ้าแยงมาตรฐานสูงสุดสำหรับสนามกีฬา....44

3.3 Summary of recommended minimum lighting parameters……....45

4.1 คำศัพท์ทางพันธุศาสตร์ กับทางจีเนติกอัลกอริทึม....57

6.1 ข้อมูลการติดตั้งโคม....93

6.2 ข้อมูลการติดตั้งกล้องถ่ายโทรทัศน์ (จุดสังเกตการณ์)....94

6.3 ผลการคำนวณค่าความเข้มแสงในแนวราบจากโปรแกรมการคำนวณ....95

6.4 ค่าความเข้มแสงในแนวราบจากการวัดจริง....97

6.5 ผลการคำนวณค่าความเข้มแสงในแนวราบ....99

6.6 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1)....99

6.7 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่ 1 (กล้องตัวที่1)....99

6.8 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2)....101

6.9 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2)....102

6.10 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3)....104

6.11 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3)....104

6.12 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4)....106

6.13 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4)....107

6.14 ผลการคำนวณพิกัดแสงจ้าแยงตา....109

6.15 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1)....109

6.16 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2)....111

6.17 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3)....113

6.18 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4)....115

6.19 ข้อมูลการติดตั้งโคมไฟ....119

6.20 ข้อมูลการติดตั้งกล้องถ่ายโทรทัศน์ (จุดสังเกตการณ์)....120

6.21 ค่าความเข้มแสงในแนวราบจากโปรแกรมการคำนวณ....120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

6.22 ค่าความเข้มแสงในแนวราบจากการวัดจริง....122

6.23 ผลการคำนวณค่าความเข้มแสงในแนวราบ....124

6.24 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1)....125

6.25 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1)....125

6.26 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2)....127

6.27 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2)....128

6.28 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3)....130

6.29 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3)....131

6.30 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4)....132

6.31 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4)....133

6.32 ผลการคำนวณพิกัดแสงจ้าแยงตา....135

6.33 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1)....135

6.34 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2)....137

6.35 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3)....139

6.36 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4)....141

6.37 แบบและราคาของโคมฉายที่ให้เลือก....145

6.38 ข้อมูลเสาและจุดเล็งอ้างอิงของแต่ละเสา....145

6.39 ผลการคำนวณแบบและจำนวนโคมจากโปรแกรมการออกแบบ....145

6.40 ผลการคำนวณ จุดเล็งของโคมแต่ละโคม....146

6.41 ค่าความเข้มแสง....147

6.42 ผลการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากสนามออกแบบและค่าที่ได้จากสนามจริง....149

6.43 พิกัดจุดเล็งของโคมแต่ละโคมที่คำนวณได้....151

6.44 ค่าความเข้มแสง....152

6.45 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการออกแบบจุดเล็งใหม่ กับค่าที่ได้จากจุดเล็งเก่าที่มีการติดตั้งโคมไว้แล้ว....154

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 ระบบ A-α....5
2.2 ระบบ B-β....5
2.3 ระบบ C-γ....6
2.4 ระนาบอ้างอิงในระบบ C-γ สำหรับโคมไฟถนน....6
2.5 Circular Floodlights ทั้ง 2 แบบ....8
2.6 Rectangular Floodlights ทั้ง 2 แบบ....9
2.7 ข้อดีของ Rectangular Floodlights เมื่อติดตั้งที่ด้านข้างสนามกีฬา....10
2.8 ข้อดีของ Circular Floodlights เมื่อติดตั้งที่มุมทั้ง 4 ของสนามกีฬา....10
2.9 การคำนวณค่าความเข้มแสงแบบคิดทีละจุด....22
2.10 การคำนวณค่าความเข้มแสงบนระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์....24
2.11 การคำนวณหาค่ามุม H และมุม V....25
2.12 การคำนวณหาค่ามุม H และมุม V กรณีที่มุมหันเป็น 0....26
2.13 การหามุม V....26
2.14 การคำนวณหาค่ามุม H และมุม V กรณีที่มุมหันไม่เป็น 0....28
2.15 การหาค่ามุม H และ V กรณีที่มุมหันไม่เป็น 0....28
2.16 การคำนวณพิกัดแสงจ้าแยงตา....31
4.1 แสดงโครโมโซมทางพันธุศาสตร์....47
4.2 การแบ่งตัวของเซลทางพันธุศาสตร์....48
4.3 การครอสโอเวอร์ทางพันธุศาสตร์....49
4.4 การมิวเตชันทางพันธุศาสตร์....50
4.5 หลักการเบื้องต้นของ GA....51
4.6 วัฏจักรจีเนติกอัลกอริทึม....54
4.7 รายละเอียดทางพันธุศาสตร์กับจีเนติกอัลกอริทึม....56
4.8 ไดอะแกรมการทำงานของจีเนติกอัลกอริทึมแบบง่าย....58
4.9 ครอสโอเวอร์แบบ 1 จุด....62
4.10 ไบนารีมิวเตชัน....63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

5.1 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในส่วนของการคำนวณ....70

5.2 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในส่วนของการออกแบบ....71

5.3 หน้าจอหลักการทำงานของโปรแกรม....72

5.4 หน้าจอเลือกการทำงานในส่วนของการคำนวณหรือในส่วนของออกแบบ....72

5.5 ส่วนประกอบต่างๆที่ใช้ในการป้อนข้อมูลพื้นที่....73

5.6 หน้าจอรับข้อมูลพื้นที่การคำนวณ....73

5.7 หน้าจอข้อมูลพื้นที่....74

5.8 ส่วนประกอบต่างๆ ที่ใช้ในการป้อนข้อมูลโคมไฟ....74

5.9 หน้าจอรับข้อมูล แบบ ตำแหน่ง และจุดเล็งของโคมไฟ....75

5.10 หน้าจอเลือกแบบของโคมไฟจาก IES FILES....75

5.11 หน้าจอข้อมูลแบบ ตำแหน่ง และจุดเล็งของโคมไฟ....76

5.12 ส่วนประกอบต่างๆ ที่ใช้ในการป้อนข้อมูลตำแหน่งกล้อง (จุดสังเกตการณ์)....76

5.13 หน้าจอส่วนรับข้อมูลจุดสังเกตการณ์ (กล้องถ่ายโทรทัศน์)....77

5.14 หน้าจอข้อมูลตำแหน่งจุดสังเกตการณ์ (กล้องถ่ายโทรทัศน์)....77

5.15 แผนภาพแสดงการคำนวณ....78

5.15 (ต่อ) แผนภาพแสดงการคำนวณ....79

5.16 หน้าจอแสดงผลค่าความเข้มแสงในแนวราบ , ในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ และพิกัดแสงจ้าแยงตา....80

5.17 หน้าจอผลการคำนวณค่าความเข้มแสงในแนวราบ (ข้อมูล)....81

5.18 หน้าจอผลการคำนวณค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ (ข้อมูล)....81

5.19 หน้าจอผลการคำนวณพิกัดแสงจ้าแยงตา (ข้อมูล)....82

5.20 หน้าจอแสดงผลภาพลายเส้น....82

5.21 หน้าจอแสดงผลภาพแรเงา....83

5.22 หน้าจอแสดงผลภาพ 3 มิติ....83

5.23 ส่วนประกอบต่างๆที่ใช้ในการป้อนข้อมูลพื้นที่ออกแบบ....84

5.24 หน้าจอรับข้อมูลพื้นที่การออกแบบ....84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

5.25 ส่วนประกอบต่างๆ ที่ใช้ในการป้อนข้อมูลโคมไฟและเสาไฟ....85

5.26 หน้าจอรับข้อมูลแบบและราคาของโคมไฟ....85

5.27 หน้าจอเลือกแบบของโคมไฟจาก IES FILES....86

5.28 หน้าจอข้อมูลแบบและราคาของโคมไฟ....86

5.29 หน้าจอรับข้อมูลตำแหน่งเสาไฟและจุดเล็งอ้างอิงของแต่ละเสา....87

5.30 หน้าจอข้อมูลตำแหน่งการติดตั้งเสาไฟ....87

5.31 หน้าจอรับค่าความสม่ำเสมอมาตรฐาน และพิกัดแสงจ้ามาตรฐาน, ตำแหน่งกล้องถ่ายโทรทัศน์ (จุดสังเกตการณ์)....88

5.32 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมการออกแบบในส่วนประมวลผล....89

5.33 หน้าจอแสดงผลการคำนวณจำนวนโคมไฟ....90

5.34 หน้าจอแสดงผลตำแหน่งจุดเล็งของแต่ละโคมไฟ....91

6.1 พื้นที่สนามเทนนิสแบบ 1 สนาม การจัดวางตำแหน่งโคม และตำแหน่งจุดที่ทำการคำนวณ....93

6.2 ภาพถ่ายสนามเทนนิสแบบ 1 สนามของมหาวิทยาลัยชินวัตร....94

6.3 ภาพลายเส้นของค่าความเข้มแสงในแนวระนาบจากโปรแกรมการคำนวณ....95

6.4 ภาพแรเงาของค่าความเข้มแสงในแนวระนาบจากโปรแกรมการคำนวณ....96

6.5 ภาพ 3 มิติของค่าความเข้มแสงในแนวระนาบจากโปรแกรมการคำนวณ....96

6.6 ภาพลายเส้นของค่าความเข้มแสงในแนวระนาบจากการวัดจริง....97

6.7 ภาพแรเงาของค่าความเข้มแสงในแนวระนาบจากการวัดจริง....98

6.8 ภาพ 3 มิติของค่าความเข้มแสงในแนวระนาบจากการวัดจริง....98

6.9 ภาพลายเส้นของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1)....100

6.10 ภาพแรเงาของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1)....100

6.11 ภาพ 3 มิติของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1)....101

6.12 ภาพลายเส้นค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2)....102

6.13 ภาพแรเงาของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2)....103

6.14 ภาพ 3 มิติของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2)....103

6.15 ภาพลายเส้นค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3)....105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

6.16 ภาพแรเงาของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3).....105

6.17 ภาพ 3 มิติของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3).....106

6.18 ภาพลายเส้นค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4).....107

6.19 ภาพแรเงาของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4).....108

6.20 ภาพ 3 มิติของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4).....108

6.21 ภาพลายเส้นของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1).....110

6.22 ภาพแรเงาของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1).....110

6.23 ภาพ 3 มิติของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1).....111

6.24 ภาพลายเส้นของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2).....112

6.25 ภาพแรเงาของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2).....112

6.26 ภาพ 3 มิติของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2).....113

6.27 ภาพลายเส้นของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3).....114

6.28 ภาพแรเงาของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3).....114

6.29 ภาพ 3 มิติของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3).....115

6.30 ภาพลายเส้นของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4).....116

6.31 ภาพแรเงาของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4).....116

6.32 ภาพ 3 มิติของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4).....117

6.33 พื้นที่สนามเทนนิสแบบ 2 สนาม การจัดวางตำแหน่งโคม และตำแหน่งจุดที่ทำการคำนวณ.....118

6.34 ภาพถ่ายสนามเทนนิสแบบ 2 สนามของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.....118

6.35 ภาพลายเส้นของค่าความเข้มแสงในแนวระนาบจากโปรแกรมการคำนวณ.....121

6.36 ภาพแรเงาของค่าความเข้มแสงในแนวระนาบจากโปรแกรมการคำนวณ.....121

6.37 ภาพ 3 มิติของค่าความเข้มแสงในแนวระนาบจากโปรแกรมการคำนวณ.....122

6.38 ภาพลายเส้นของค่าความเข้มแสงในแนวระนาบจากการวัดจริง.....123

6.39 ภาพแรเงาของค่าความเข้มแสงในแนวระนาบจากวัดจริง.....123

6.40 ภาพ 3 มิติของค่าความเข้มแสงในแนวระนาบจากการวัดจริง.....124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

6.41 ภาพลายเส้นค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1).....126

6.42 ภาพแรเงาของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1).....126

6.43 ภาพ 3 มิติของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1).....127

6.44 ภาพลายเส้นค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2).....128

6.45 ภาพแรเงาของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2).....129

6.46 ภาพ 3 มิติของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับจุดสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2).....129

6.47 ภาพลายเส้นค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3).....131

6.48 ภาพแรเงาของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3).....132

6.49 ภาพ 3 มิติของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับจุดสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3).....132

6.50 ภาพลายเส้นค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4).....133

6.51 ภาพแรเงาของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4).....134

6.52 ภาพ 3 มิติของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4).....134

6.53 ภาพลายเส้นของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1).....136

6.54 ภาพแรเงาของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1).....136

6.55 ภาพ 3 มิติของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1).....137

6.56 ภาพลายเส้นของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2).....138

6.57 ภาพแรเงาของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2).....138

6.58 ภาพ 3 มิติของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2).....139

6.59 ภาพลายเส้นของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3).....140

6.60 ภาพแรเงาของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3).....140

6.61 ภาพ 3 มิติของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3).....141

6.62 ภาพลายเส้นของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4).....142

6.63 ภาพแรเงาของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4).....142

6.64 ภาพ 3 มิติของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4).....143

6.65 สนามเทนนิสแบบ 2 สนาม และการตำแหน่งการติดตั้งโคมและกล้องถ่ายโทรทัศน์.....144

6.66 ภาพการเล็งของโคมแต่ละโคมที่คำนวณได้.....147

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

6.67 ภาพลายเส้นค่าความเข้มแสงในแนวราบ....148

6.68 ภาพแรเงาค่าความเข้มแสงในแนวราบ....148

6.69 ภาพสามมิติค่าความเข้มแสงในแนวราบ....149

6.70 ภาพสนามเทนนิสแบบ 2 สนามที่ได้มีการติดตั้งโคมฉายไว้แล้ว....150

6.71 ภาพการเล็งของโคมแต่ละโคมที่คำนวณได้....152

6.72 ภาพลายเส้นค่าความเข้มแสงในแนวราบ....153

6.73 ภาพแรเงาค่าความเข้มแสงในแนวราบ....153

6.74 ภาพสามมิติค่าความเข้มแสงในแนวราบ....154

ข.1 หน้าจอเข้าโปรแกรมการคำนวณหรือออกแบบ....191

ข.2 หน้าจอการป้อนข้อมูลพื้นที่การคำนวณ....192

ข.3 หน้าจอการเลือก IES FILES....193

ข.4 หน้าจอการเพิ่ม IES FILES....193

ข.5 หน้าจอการป้อนข้อมูลโคม....194

ข.6 หน้าจอการป้อนตำแหน่งการติดตั้งกล้องถ่ายโทรทัศน์....195

ข.7 หน้าจอการแสดงผล หลังจากกดปุ่มคำนวณ....195

ข.8 หน้าจอการป้อนข้อมูลพื้นที่การออกแบบ....196

ข.9 หน้าจอการเลือก IES FILES....197

ข.10 หน้าจอการเพิ่ม IES FILES....197

ข.11 หน้าจอการเลือกแบบและป้อนราคาโคม....198

ข.12 หน้าจอการป้อนพิกัดตำแหน่งเสาไฟและจุดเล็งอ้างอิง....199

ข.13 ปุ่มคำนวณ และหน้าจอแสดงผลจำนวนของโคมในแต่ละแบบ....199

ข.14 หน้าจอการป้อนค่ามาตรฐาน และปุ่มคำนวณ....200

ข.15 หน้าจอแสดงพิกัดตำแหน่งจุดเล็งของแต่ละโคม และค่า Eave, U0, U1, GR....200

ค.1 เครื่องมือวัดค่าความเข้มแสงยี่ห้อ Extech....201

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการออกแบบระบบส่องสว่างสำหรับสนามเทนนิสโดยทั่วไป ส่วนใหญ่จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อหาจำนวนของโคมไฟที่จะติดตั้ง และจะต้องมีการทดลองกำหนดจุดเล็งของโคมไฟแต่ละโคม แล้วจึงให้โปรแกรมคำนวณค่าความเข้มแสงเฉลี่ย ค่าความสม่ำเสมอของค่าความเข้มแสง และพิกัดแสงจ้าแยงตาว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่ ซึ่งจะทำให้เสียเวลาในการออกแบบและค่าที่ได้หลังจากการทดลองกำหนดจุดเล็งอาจจะไม่ใช่ค่าที่ดีที่สุดก็ได้

ในงานด้านออกแบบระบบส่องสว่างของสนามเทนนิส มีปัจจัยหลายประการที่ต้องคำนึงถึง คือปริมาณของแสง คุณภาพของแสง และค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง โดยการออกแบบจะต้องออกแบบให้มีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยและคุณภาพของแสง (พิกัดแสงจ้าแยงตา และความสม่ำเสมอของค่าความเข้มแสง) อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งถ้าออกแบบให้ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยและคุณภาพของแสงมีค่าสูงมาก ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งก็จะมากตามไปด้วย แต่ถ้าออกแบบให้ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งต่ำ ก็จะทำให้ปริมาณของแสง และคุณภาพของแสงมีค่าต่ำหรืออาจจะต่ำกว่ามาตรฐาน ดังนั้นการออกแบบที่เหมาะสม โดยคำนึงถึงปัจจัยทั้ง 3 คือ ปริมาณของแสง คุณภาพของแสง และค่าใช้จ่ายในการติดตั้งให้มีค่าที่เหมาะสม จึงเป็นสิ่งที่จำเป็น ซึ่งจะต้องหาชนิดของโคมไฟ และจำนวนของโคมไฟที่เหมาะสม เพื่อให้เสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้งต่ำที่สุด โดยจะต้องมีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยไม่ต่ำกว่าที่กำหนดด้วย และจำต้องหาตำแหน่งของจุดเล็งของโคมไฟที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยสูงสุด และความสม่ำเสมอของค่าความเข้มแสงไม่ต่ำกว่าที่กำหนดด้วย ดังนั้นการนำเอาเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) เข้ามาช่วยในการออกแบบระบบไฟฟ้าส่องสว่าง จะทำให้ได้การออกแบบที่เหมาะสม

ในการคำนวณด้านส่องสว่าง จะต้องใช้เวลาในการคำนวณมาก เนื่องจากเป็นการคำนวณแบบซ้ำๆ อีกทั้งยังต้องมีการ interpolation ในขั้นตอนการคำนวณอีกด้วย ดังนั้นการคำนวณด้วยมือจะได้การคำนวณที่ไม่ละเอียดพอในแต่ละจุด การนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการออกแบบและคำนวณด้านส่องสว่าง จะทำให้สามารถคำนวณและออกแบบได้อย่างรวดเร็ว ละเอียดเหมาะสม และยังสามารถคาดคะเนปริมาณและคุณภาพของแสงหลังการติดตั้งได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี 2538 มีการศึกษาเกี่ยวกับการนำเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) มาช่วยในงานออกแบบระบบไฟส่องสว่างพื้นที่ โดยใช้วิธี Simplex และ Rosenbrock ซึ่งการศึกษานี้ ต้องทำการป้อนค่าข้อมูลการกระจายแสงของโคมเอง, การหาจำนวนของโคมฉายในแต่ละแบบด้วยวิธี Simplex ต้องมีการปัดค่าให้เป็นจำนวนเต็ม และในส่วนการคำนวณไม่มีการแสดงผลลัพธ์เป็นภาพกราฟฟิค ทำให้ไม่สามารถคาดคะเนลักษณะการกระจายแสงหลังการออกแบบได้ [2] ในปี 2543 มีการศึกษาการประเมินคุณภาพของการส่องสว่างด้านแสงจ้าแยงตาและการเกิดเงา โดยหลังจากคอมพิวเตอร์ประเมินคุณภาพของการส่องสว่างว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่แล้ว หากค่าที่ได้ต่ำกว่ามาตรฐาน ก็ไม่มีสามารถปรับปรุงคุณภาพการส่องสว่างให้ดีขึ้นได้ เนื่องจากไม่มีส่วนของการออกแบบจุดเล็งที่เหมาะสม [4] และในปีเดียวกัน ได้มีการศึกษาโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณและออกแบบไฟส่องสว่างของสนามกีฬาและป้ายโฆษณา การออกแบบของการศึกษานี้เป็นการออกแบบตามรูปแบบมาตรฐานของสนามกีฬาต่างๆ โดยทั่วไป แต่ไม่มีการนำเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมเข้ามาช่วยในการออกแบบ [5]

ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีแนวความคิดที่จะนำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ด้วยวิธีจีเนติกอัลกอริทึม เข้ามาช่วยในการออกแบบ และปรับปรุงคุณภาพการส่องสว่างของไฟสนามเทนนิส โดยคำนึงถึงปริมาณของแสง และคุณภาพของแสงให้อยู่เกณฑ์มาตรฐาน

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเทคนิคของการส่องสว่าง และการประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด เพื่อช่วยในการออกแบบระบบไฟส่องสว่างของสนามเทนนิส และพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับใช้งานกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้จะช่วยให้ผู้ออกแบบมีคล่องตัวในการทำงาน และประหยัดเวลาในการคำนวณ และออกแบบ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมนี้จะทำให้ได้การออกแบบที่เหมาะสม คือเสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้งน้อยที่สุด และมีคุณภาพของการส่องสว่างที่ดีที่สุด คือมีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยมากที่สุด และมีค่าความสม่ำเสมอของค่าความเข้มแสง และพิกัดแสงจ้าแยงตา อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้

1.3 ขั้นตอนการทำวิจัย

1. ศึกษาเทคนิคการส่องสว่าง และเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด
2. ศึกษาวิธีการคำนวณและออกแบบระบบส่องสว่างของไฟสนามเทนนิส
3. ศึกษารูปแบบข้อมูลทางแสงของโคมไฟ ตามมาตรฐานไออีเอส (IES FILES)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ศึกษาการเอาเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมาประยุกต์ใช้กับการออกแบบที่เหมาะสมของไฟส่องสว่างสนามเทนนิส
5. ออกแบบโครงสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์
6. พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาวิชวลเบสิค
7. สรุปและเสนอข้อคิดเห็น เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการออกแบบระบบไฟส่องสว่างสนามเทนนิสต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีการส่องสว่างของไฟนอกอาคาร

2.1 บทนำ

การคำนวณค่าความเข้มแสงบนพื้นสนาม ด้วยวิธีจุดต่อจุดจะต้องอาศัยข้อมูลที่สำคัญหลายตัวคือข้อมูลการกระจายแสงของโคม, ฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดไฟที่ใช้, ความสัมพันธ์เชิงเรขาคณิตของตำแหน่งของโคมไฟส่องและจุดที่ต้องการคำนวณ และรายละเอียดของระนาบ เป็นต้น

2.2 ข้อมูลการกระจายแสง

การกระจายความเข้มส่องสว่าง (Luminous Intensity Distribution) ของดวงโคมเป็นข้อมูลที่จะบอกให้ทราบว่า ดวงโคมมีการกระจายแสงอย่างไร มีลำแสงกว้างมากน้อยแค่ไหน การกระจายแสงมีลักษณะสมมาตรหรือไม่ เป็นต้น การกระจายความเข้มส่องสว่างของดวงโคมจะวัดได้โดยใช้อุปกรณ์วัดการกระจายแสง (Distribution Photometer) ซึ่งประกอบด้วยที่จับยึดดวงโคมและหัววัดความเข้มแสง ซึ่งได้รับการปรับแต่งให้ไวต่อแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ตามความไวแสงของลูกนัยน์ตา

การวัดการกระจายความเข้มส่องสว่าง จะใช้การวัดค่าความเข้มแสงด้วยหัววัดความเข้มแสง แล้วแปลงกลับเป็นค่าความเข้มส่องสว่าง โดยกฎกำลังสองผกผันคือ $I = E.d^2$ โดยระยะห่าง (d) ที่ใช้ในการวัดจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า5 เท่าของขนาดที่โตที่สุดของส่วนที่ให้แสงของดวงโคม เพื่อลดความผิดพลาดจากการใช้กฎกำลังสองผกผัน

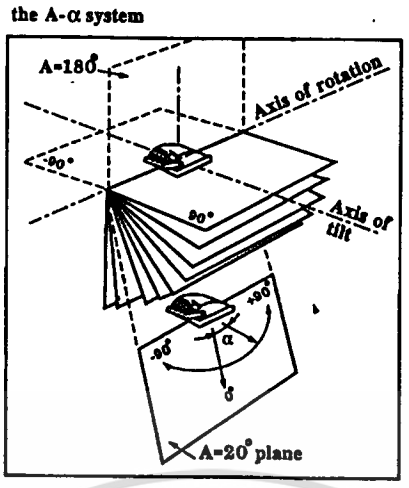
2.2.1 ระบบแกนอ้างอิง (Coordinate)

ระบบแกนอ้างอิงที่ใช้ในการแสดงค่าการกระจายแสงของโคมไฟฟ้ามี 3 ระบบได้แก่

1. ระบบ A-α

เป็นระบบเดิมที่เคยใช้สำหรับโคมไฟถนนและโคมไฟส่อง ซึ่งปัจจุบันมีใช้น้อยมาก ระบบ A-α มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

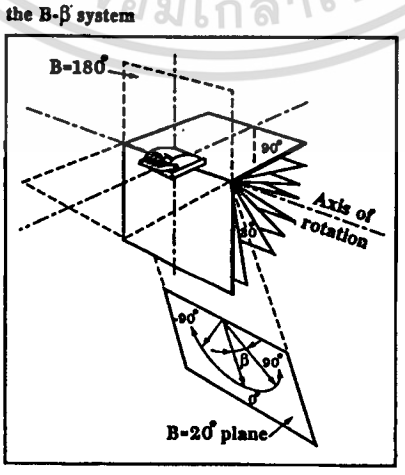


รูปที่ 2.1 ระบบ A-α

ตำแหน่งของระนาบจะแสดงโดยมุม A ตั้งแต่ 0° ถึง +180°หรือ -180° โดยระนาบ A = 0 เป็นระนาบอ้างอิง การกระจายความเข้มการส่องสว่างในระนาบ A จะแสดงโดยมุม α ซึ่งมีค่าตั้งแต่ +90° ถึง -90°

2. ระบบ B-β

ระบบนี้เป็นระบบที่ใช้กับโคมไฟส่อง มีลักษณะดังแสดงในรูป 2.2 ตำแหน่งของระนาบ B จะสัมพันธ์กับแกนหมุนของโคม ตำแหน่งของระนาบจะแสดงโดยมุม B ตั้งแต่ 0° ถึง +180 °หรือ -180° โดยระนาบ B = 0 เป็นระนาบอ้างอิง การกระจายความเข้มการส่องสว่างในระนาบ B จะแสดงโดยมุม β ซึ่งมีค่าตั้งแต่ +90° ถึง -90°

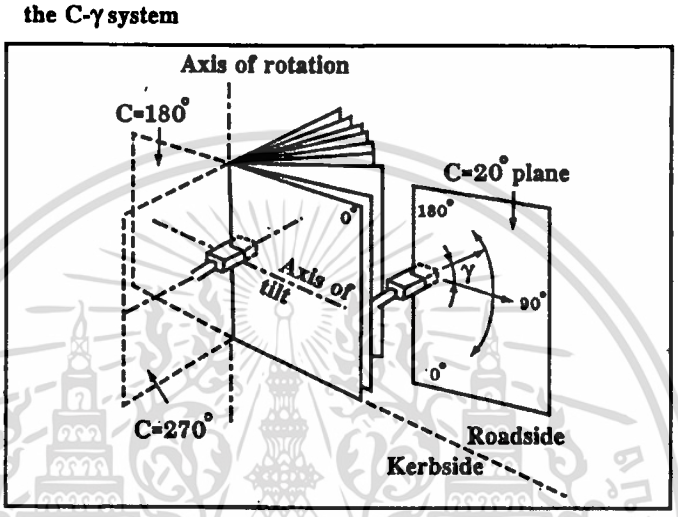


รูปที่ 2.2 ระบบ B-β

เอกสารนี้เผยแพร่เพื่อสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

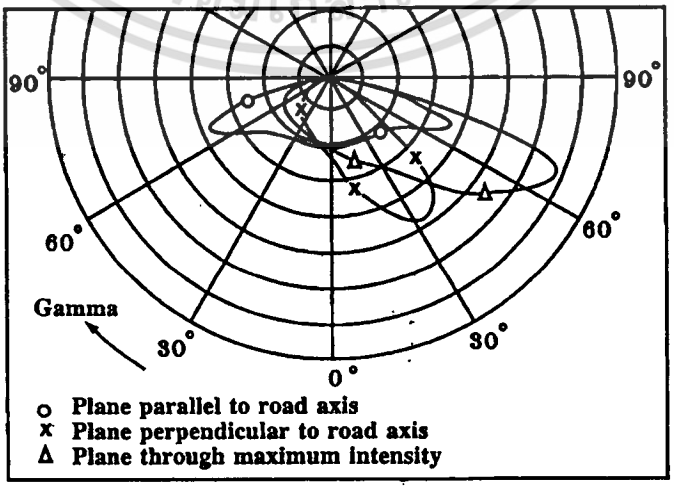
3. ระบบ C-γ

แกนหมุนของระนาบ C จะอยู่ในแนวตั้งผ่านจุดกึ่งกลางของโคมไฟ ตำแหน่งของระนาบ C จะแสดงโดยมุม C ตั้งแต่ 0° ถึง 360 ° โดยระนาบ C = 0 เป็นระนาบอ้างอิง การกระจายความเข้มการส่องสว่างในระนาบ C จะแสดงโดยมุม γ ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0° ถึง 180° ระบบ C-γ มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ระบบ C-γ

สำหรับโคมไฟถนน ระนาบอ้างอิง (C = 0° -180°) จะขนานกับความยาวของถนน กราฟการกระจายแสงของโคมไฟถนนโดยทั่วไปจะแสดงค่าในระนาบ $C_{0\text{-}180}$, $C_{90\text{-}270}$ และระนาบที่ค่าความเข้มการส่องสว่างสูงสุด แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ระนาบอ้างอิงในระบบ C-γ สำหรับโคมไฟถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับโคมไฟชนิดอื่นๆ ระนาบอ้างอิงจะขนาดกับด้านกว้างของโคมไฟ และกราฟการกระจายแสงจะแสดงในระนาบ C_{0-180} , C_{90-270}

2.3 หลอดไฟและโคมไฟส่อง

2.3.1 หลอดไฟ

ในการให้แสงสว่างสนามกีฬามีหลอดไฟ 3 ชนิดที่ใช้คือ

1. หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent)
2. หลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal Halide)
3. หลอดโซเดียมความดันสูง (High Pressure Sodium)

2.3.1.1 หลอดฟลูออเรสเซนต์

- มีประสิทธิผลการส่องสว่างสูงมากคืออยู่ในช่วง 80-100 lm/W
- มี R_a ประมาณ 50-90
- มีอุณหภูมิสีอยู่ในช่วง 2700-6000 K
- มีสเปกตรัมที่เหมาะสำหรับการถ่ายทอดทางโทรทัศน์
- เนื่องจากหลอดมีขนาดสั้นและฟลักซ์การส่องสว่างมีค่าต่ำ จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นไฟส่อง
- เหมาะที่จะใช้ให้แสงสว่างสนามกีฬาในร่ม (Interior Sports Lighting) โดยติดตั้งที่เพดาน ทำให้ไม่มีแสงจ้า

2.3.1.2 หลอดเมทัลฮาไลด์

- มีประสิทธิผลการส่องสว่างอยู่ในช่วง 65-95 lm/W
- ให้แสงสีขาว มีอุณหภูมิสีอยู่ในช่วง 4500-5600 K
- มี R_a อยู่ในช่วง 61-92 และมีสเปกตรัมที่เหมาะมากสำหรับการถ่ายทอดโทรทัศน์
- มีขนาดกะทัดรัดและให้ค่าฟลักซ์การส่องสว่างสูงจึงเหมาะสำหรับใช้เป็นไฟส่องที่สามารถเล็งได้อย่างแม่นยำ (Precision Floodlights)
- เป็นหลอดสำหรับให้แสงสว่างสนามกีฬากลางแจ้ง (Outdoor Sports Lighting) และสนามกีฬาในร่มอเนกประสงค์ซึ่งมีการถ่ายทอดโทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.3 หลอดโซเดียมความดันสูง

- มีประสิทธิผลการส่องสว่างสูงถึง 138 lm/W
- มี R_a เพียง 23 ทำให้เหมาะสำหรับการให้แสงสว่างสนามกีฬาในระดับนันทนาการ และการฝึกซ้อม (Recreation and Training Level) เท่านั้น
- ด้วยเหตุนี้บางครั้งหลอดโซเดียมความดันสูงจึงใช้ร่วมกับหลอดเมทัลฮาไลด์เพื่อให้ได้ R_a สูงขึ้นเป็น 40 และมีประสิทธิผลการส่องสว่างสูงกว่าหลอดเมทัลฮาไลด์อย่างเดียว
- มีอุณหภูมิสีต่ำเพียง 2000 K ซึ่งให้สีที่อบอุ่น
- ในปัจจุบันมีหลอดโซเดียมความดันสูงแบบใหม่ซึ่งมี R_a สูงถึง 60 และมีประสิทธิผล การส่องสว่าง 100 lm/W ทำให้สามารถใช้ในการให้แสงสว่างสนามกีฬาได้โดยไม่ต้องใช้ร่วมกับหลอดชนิดอื่น

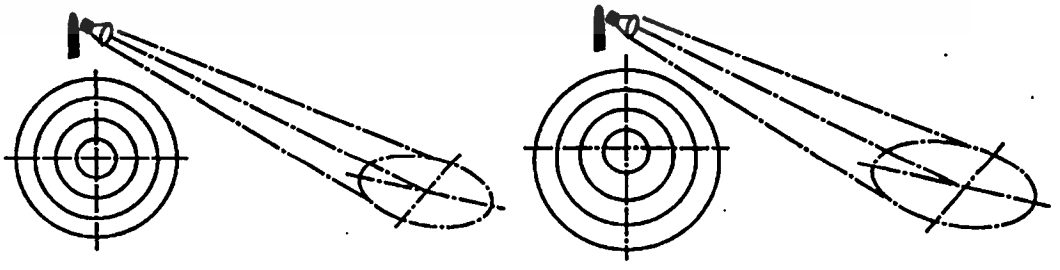
2.3.2 โคมไฟส่อง (Floodlight Luminaire)

โคมไฟส่องที่ใช้ในการให้แสงสว่างสนามกีฬามี Photometric Data คล้ายกับโคมไฟสำหรับการให้แสงสว่างบริเวณ (Area Lighting) ไฟส่องสามารถแบ่งตามลักษณะการกระจายแสงได้เป็น

2.3.2.1 Circular Floodlights

โคมไฟส่องที่มีการกระจายแสงแบบวงกลม มีการกระจายแสงแบ่งเป็น 2 แบบคือ

1. Conical Beam สมมาตร มีทั้งแบบลำแสงแคบและแบบลำแสงกว้าง
2. Conical Beam แต่ค่อนข้างไม่สมมาตรในระนาบดิ่ง มีทั้งแบบลำแสงแคบ กลาง และกว้าง และกว้างมาก



รูปที่ 2.5 Circular Floodlights ทั้ง 2 แบบ

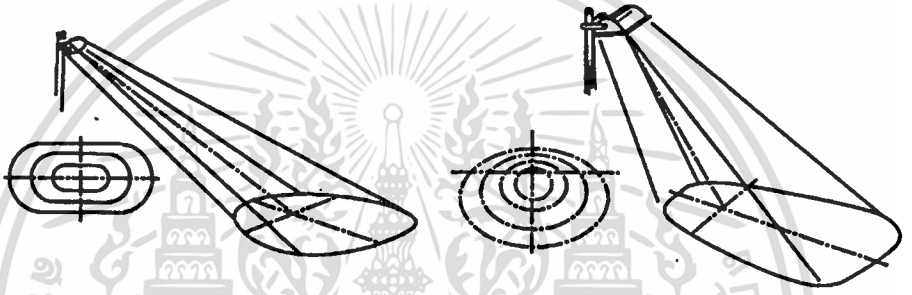
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2 Rectangular Floodlights

โคมไฟส่องที่มีการะกระจายแสงแบบสี่เหลี่ยม มีการกระจายแสง 2 แบบคือ

1. มีการกระจายแสงแบบสมมาตรในระนาบนอนและระนาบดิ่ง
   ในระนาบนอนเป็นแบบลำแสงกว้าง
   ในระนาบดิ่งมีได้ทั้งแบบลำแสงกว้างและลำแสงแคบ

2. มีการกระจายแสงแบบสมมาตรในระนาบนอน และไม่สมมาตรในระนาบดิ่ง
   ในระนาบนอนเป็นแบบลำแสงกว้างเช่นกัน



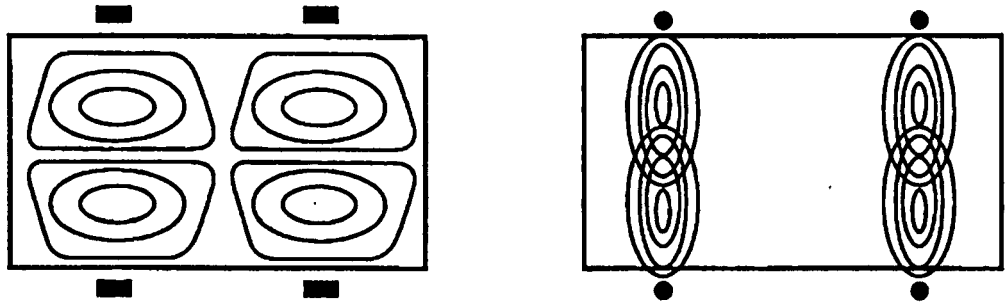
รูปที่ 2.6 Rectangular Floodlights ทั้ง 2 แบบ

Circular Floodlights ต้องการ concentrated Light Source เช่น หลอด HID ซึ่งจะให้แสงเป็นรูปวงรีหรือใกล้เคียงวงรี ดังรูปที่ 2.5

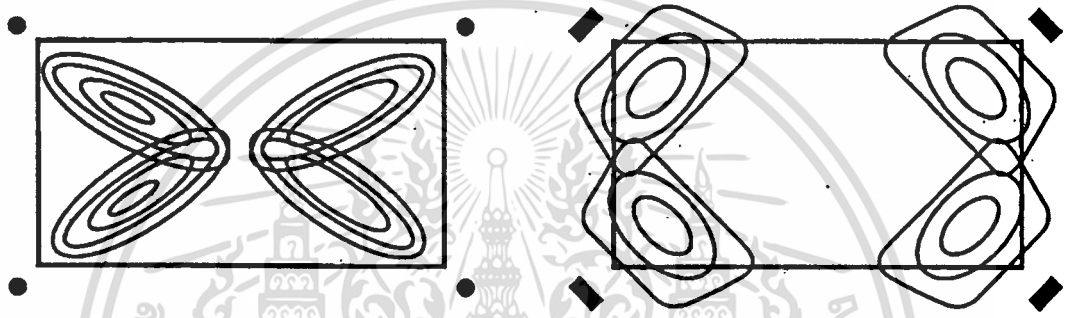
Rectangular Floodlights จะใช้ร่วมกับ Linear Source เช่น หลอดฮาโลเจนและหลอดดีสชาร์จซึ่งจะให้แสงเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ดังรูปที่ 2.6

หากติดตั้งโคมไฟที่ด้านข้างสนามกีฬา Rectangular Floodlights จะมีข้อได้เปรียบ Circular Floodlights 2 ข้อคือ Rectangular Floodlights จะให้การกระจายแสงสม่ำเสมอกว่าและมีแสงสูญเสียน้อยกว่า แต่หากติดตั้งโคมไฟไว้ที่มุมทั้ง 4 ของสนามกีฬา Circular Floodlights ก็จะมีประสิทธิภาพมากกว่า Rectangular Floodlights ดังแสดงในรูปที่ 2.7 และรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ข้อดีของ Rectangular Floodlights เมื่อติดตั้งที่ด้านข้างสนามกีฬา



รูปที่ 2.8 ข้อดีของ Circular Floodlights เมื่อติดตั้งที่มุมทั้ง 4 ของสนามกีฬา

สำหรับ Rectangular Floodlights ทั้งหมดที่มีการกระจายแสงแบบสมมาตร จะสามารถใช้อุปกรณ์พวก Screen หรือ Louver เพื่อป้องกันการเกิดแสงจ้าได้ แต่การใช้ Louver จะทำให้ประสิทธิภาพของไฟส่องลดลง และยังมีผลต่อการกระจายแสงด้วย

ส่วน Rectangular Floodlights ที่มีการกระจายแสงแบบไม่สมมาตรนั้น ได้รับการพัฒนาให้มีการกระจายแสงสม่ำเสมอบนสนามกีฬาโดยไม่ทำให้เกิดแสงจ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 IES Files

2.4.1 การจัดประเภทความกว้างของลำแสงตามระบบ IES/NEMA

ในการกำหนดความกว้างของลำแสงนั้น อาจกำหนดในรูปของขนาดมุมหรือรหัสก็ได้ ดังนั้นมาตรฐาน IES/NEMA ของสหรัฐอเมริกาได้แบ่งความกว้างของลำแสงออกเป็น 7 ขนาด ด้วยกัน ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การจัดประเภทความกว้างของลำแสงตามมาตรฐาน IES/NEMA

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

การกำหนดความกว้างของลำแสงด้วยรหัสของ IES/NEMA นั้น จะกำหนดรหัสความกว้างของลำแสงในแนวนอนก่อน เช่น โคมไฟส่องมีความกว้างของลำแสงในแนวนอน 21° และมีความกว้างของลำแสงในแนวดิ่ง 20° จะได้รหัสเป็น 2H x 2V หรือโคมไฟส่องมีความกว้างของลำแสงในแนวนอน 127° และมีความกว้างของลำแสงในแนวดิ่ง 120° จะได้รหัสเป็น 6H x 6V

2.4.2 ลักษณะของแฟ้มข้อมูลแบบ IES

2.4.2.1 ความเป็นมา

ในปี ค.ศ. 1986 Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) ได้จัดทำมาตรฐานสำหรับข้อมูลทางด้านแสง สำหรับโคมในลักษณะต่างๆ และแหล่งกำเนิดทางแสง ซึ่งได้ถูกตีพิมพ์ในรายงานการประชุมของ IESNA เรียกว่า "IES LM-63-1986" เป็นรูปแบบมาตรฐานของข้อมูลทางแสง ซึ่งได้รับความนิยมจากทั้งผู้ผลิต อีกทั้งมีผู้นำไปพัฒนา Software เพื่อการคำนวณอย่างมากมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานดังกล่าวได้มีการพิจารณเพื่อเพิ่ม "Keywords" ในปี 1991 และในปี 1995 ได้มีการจัดเลขลำดับของข้อมูลให้ง่ายยิ่งขึ้น โดยที่ยังคงรูปแบบและมาตรฐานเดิมไว้เกือบทั้งหมด

2.4.2.2 รูปแบบแฟ้มข้อมูล IES

แฟ้มข้อมูล IES ถูกจัดทำในรูปแบบตัวอักษร (Test File) โดยมีรูปแบบต่างๆ 3 ลักษณะประกอบด้วย

1. IES LM-63-1986

Id Description

01 <label line 1>

02 <label line 2>

03 ...

04 <label line n>

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

06 <lamp-to-luminaire geometry>

07 <# of pairs of angles and multiplying factors>

08 <angles>

09 <multiplying factors>

10 <# of lamps> <lumens per lamp> <candela multiplier>
<# of vertical angles> <# of horizontal angles> <photometric type>
<units type> <width> <length> <height>

11 <ballast factor> <ballast-lamp photometric factor> <input watts>

12 <vertical angles>

13 <horizontal angles>

14 <candela values for all vertical angles at first horizontal angle>

15 <candela values for all vertical angles at second horizontal angle>

16 ...

17 <candela values for all vertical angles at nth horizontal angle>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. IES LM-63-1991

Id Description

00 IESNA91

01 <Keyword [TEST]>

02 <Keyword [MANUFAC]>

03 ...

04 <Keyword n>

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

06 <lamp-to-luminaire geometry>

07 <# of pairs of angles and multiplying factors>

08 <angles>

09 <multiplying factors>

10 <# of lamps> <lumens per lamp> <candela multiplier>
<# of vertical angles> <# of horizontal angles> <photometric type>
<units type> <width> <length> <height>

11 <ballast factor> <ballast-lamp photometric factor> <input watts>

12 <vertical angles>

13 <horizontal angles>

14 <candela values for all vertical angles at first horizontal angle>

15 <candela values for all vertical angles at second horizontal angle>

16 ...

17 <candela values for all vertical angles at nth horizontal angle>

ข้อแตกต่างระหว่าง LM-63-1986 และ LM-63-1995

- บรรทัด 00 (IESNA91) ถูกเพิ่มเข้าไปเพื่อความสะดวกในการแยกแฟ้มข้อมูล LM-63-1991 ออกจาก LM-63-1986
- ไม่มีความจำเป็นต้องกำหนดเลขบรรทัด โดยสามารถที่จะเริ่มบรรทัดด้วย Keywords ใดๆ ซึ่งผู้ใช้กำหนดขึ้นเอง

ในส่วนของบรรทัด 05-17 ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. IES LM-63-1995

Id Description

00 IESNA:LM-63-1995

01 <Keyword 1>

02 <Keyword 2>

03 ...

04 <Keyword n>

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

06 <lamp-to-luminaire geometry>

07 <# of pairs of angles and multiplying factors>

08 <angles>

09 <multiplying factors>

10 <# of lamps> <lumens per lamp> <candela multiplier>
<# of vertical angles> <# of horizontal angles> <photometric type>
<units type> <width> <length> <height>

11 <ballast factor> <future use> <input watts>

12 <vertical angles>

13 <horizontal angles>

14 <candela values for all vertical angles at first horizontal angle>

15 <candela values for all vertical angles at second horizontal angle>

16 ...

17 <candela values for all vertical angles at nth horizontal angle>

ข้อแตกต่างระหว่าง LM-63-1991 และ LM-63-1995 คือ

- บรรทัด 00 เปลี่ยนเป็น LM-63-1995 เพื่อความแตกต่างจากแฟ้มข้อมูลอื่นๆ (LM-63-1986 และ LM-63-1991)
- เพิ่มจำนวน Keywords ให้มากขึ้น และ Keywords ลักษณะใหม่ๆ มากขึ้น
- คำว่า <ballast-lamp photometric factor> เปลี่ยนเป็น <future use>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.3 รายละเอียดแฟ้มข้อมูล IES

ข้อมูลทางแสง LM-63 ที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อข้างต้น จำเป็นต้องมี <CR><LF> ในทุกบรรทัด และข้อมูลจะอยู่ในรูป Text File

ในส่วนของเลขบรรทัดนั้นอาจมีบรรทัดเดียวหรือมากกว่าก็ได้ ในกรณีที่ข้อมูลมีเกินความกว้างเกิน 1 บรรทัด โดยที่ความกว้างของตัวอักษรใน 1 บรรทัด ของบรรทัด Keywords รวมเครื่องหมาย <CR><LF> จะไม่เกิน 82 อักษร ส่วนบรรทัดอื่นๆ 132 ตัวอักษร

รายละเอียดของแฟ้มข้อมูล IES ทั้ง 3 แบบข้างต้น มีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

1. File Format Identifier (บรรทัด 00)

IES LM-63-1991 และ LM-63-1995 เริ่มต้นด้วยคำเฉพาะว่า "IESNA91" และ "IESNA : LM-63-1995" ตามลำดับ ส่วน IES LM-63-1986 ไม่มีบรรทัดนี้

2. Label Lines หรือ Keywords (บรรทัด 01-04)

- Label lines บอกถึงรายละเอียดของแหล่งกำเนิดแสง และโคมฉาย และข้อชี้แจงต่างๆ
- Keywords ลักษณะที่สำคัญคือต้องอยู่ในวงเล็บ[ ] ดังตัวอย่าง

[TEST] ABC1234 ABC Laboratories

Keywords ที่จำเป็นใน LM-63-1995 ประกอบด้วย

[TEST]	คือหมายเลขของรายงานการทดสอบและห้องปฏิบัติการที่ทำการทดสอบ
[MANUFAC]	คือชื่อผู้ผลิตดวงโคมไฟฟ้า
[LUMCAT]	คือหมายเลขในแคตตาลอคของดวงโคม
[LUMINAIRE]	คือรายละเอียดที่เกี่ยวกับดวงโคม
[LAMPCAT]	คือหมายเลขแคตาลอคของหลอดไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ
[LAMP]	คือรายละเอียดของหลอดไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ

ซึ่งอาจมีมากกว่านี้ เช่น รายละเอียดของการทดสอบ, ข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะโคมฉายอื่นๆ รวมทั้งส่วนที่ผู้ใช้กำหนดเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. TILT = (บรรทัด 05)

คำดังกล่าวจะปรากฏอยู่หลังส่วน Label หรือ Keywords ซึ่งมีความสำคัญ เพราะในหลอดไฟดวงเดียวกันนั้น ข้อมูลทางแสงจะเปลี่ยนไปเมื่อมุม TILT ของโคมฉายเปลี่ยนไปที่มุมต่างๆ ซึ่งจะกำหนดโดยใช้ค่าตัวคูณเมื่อมุม TILT ต่างๆ สามารถแสดงได้ 3 แบบคือ

3.1 TILT = NONE เมื่อค่าทางแสงของหลอดไฟไม่ได้แปรผันตามมุม TILT ของโคมฉาย โดยหากกำหนดเป็น TILT = NONE แล้ว บรรทัดดังต่อไปนี้จะไม่ปรากฏในแฟ้มข้อมูล IES

06 <lamp-to-luminaire geometry>
07 <# of pairs of angles and multiplying factors>
08 <angles>
09 <multiplying factors>

3.2 TILT = INCLUDE เมื่อค่าทางแสงของหลอดไฟแปรผันตามข้อมูล TILT ของโคมฉาย ดังนั้นในส่วน 4 บรรทัดต่อไปนี้จำเป็นต้องมีในแฟ้มข้อมูลของ IES

06 <lamp-to-luminaire geometry>
07 <# of pairs of angles and multiplying factors>
08 <angles>
09 <multiplying factors>

3.3 TILT = <filename> มีลักษณะเดียวกับ TILT = INCLUDE โดยที่ filename คือชื่อของแฟ้มข้อมูลทางแสงที่เกี่ยวกับมุม TILT ปรากฏอยู่

4. Lamp-to Luminaire Geometry (บรรทัด 06)

เป็นเลขจำนวนเต็มที่บอกถึงตำแหน่งที่ตั้งหรือทิศทางของหลอดไฟ ซึ่งอยู่ภายในโคมฉาย โดยความหมายของเลขต่างๆ เป็นดังต่อไปนี้

เลข 1 ฐานหลอดไฟอยู่ในลักษณะแนวดิ่งทั้งตั้งขึ้นและลง ส่วนโคมฉายเล็งลงล่าง

เลข 2 หลอดไฟวางตัวในแนวแกนนอน และยังคงอยู่ในแนวเดิม ถึงแม้ว่าโคมฉายเล็งลงล่างหรือหมุนรอบแกน 0 องศาในแนวแกนนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลข 3 หลอดไฟอยู่ในแนวแกนนอนเมื่อโคมฉายเล็งลงล่าง แต่จะเปลี่ยนแนวไป เมื่อโคมฉายหมุนไปในแนวแกน 0 องศาในแนวแกนนอน

ในกรณี TILT = NONE บรรทัดนี้จะไม่ปรากฏ

5. Number of Pairs of TILT Angles and Multiplying Factors (บรรทัด 07)

จำนวนเต็มที่แสดงถึงจำนวนมุม TILT ของหลอดไฟทั้งหมดที่ทำการทดลอง และค่าแฟกเตอร์ตัวคูณ Candela

ในกรณี TILT = NONE บรรทัดนี้จะไม่ปรากฏ

6. TILT Angle (บรรทัด 08)

แสดงค่ามุม TILT ของหลอดไฟที่ทำการทดลอง อาจเป็นจุดทศนิยมก็ได้

ในกรณี TILT = NONE บรรทัดนี้จะไม่ปรากฏ

7. TILT Multiplying Factor (บรรทัด 09)

แสดงค่าแฟกเตอร์ตัวคูณ Candela ที่มุม TILT ต่างๆของหลอดไฟ

ในกรณี TILT = NONE บรรทัดนี้จะไม่ปรากฏ

8. Number of Lamps (บรรทัด 10)

จำนวนหลอดไฟในโคมฉาย

9. Lumens per Lamp (บรรทัด 10)

แสดงค่าลูเมนต่อหลอดไฟ ซึ่งค่าเหล่านี้มักจะเป็นของผู้ผลิตหลอดไฟ โดยที่แสดงเป็นเลขจำนวนจริง แต่ค่าดังกล่าวไม่ใช่ค่าลูเมนจริงของหลอดไฟที่ได้จากการทดสอบ

กรณีหลอดไฟมากกว่าหนึ่งหลอด ซึ่งมีค่าลูเมนที่ต่างกัน จะใช้ค่าเฉลี่ยของหลอดไฟทั้งหมดในโคมฉาย

10. Candela Multiplier (บรรทัด 10)

เป็นเลขจำนวนจริงซึ่งแสดงถึงค่าตัวแฟกเตอร์คูณ เพื่อนำไปใช้คูณกับค่าของข้อมูลแสงภายใน (บรรทัด 14-17)

11. Number of Vertical Angles (บรรทัด 10)

เป็นเลขจำนวนเต็ม ซึ่งแสดงค่าจำนวนมุมทั้งหมดในแนวดิ่ง ที่ได้ทำการทดลอง ข้อมูลทางแสง (บรรทัด 14-17)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

49413

12. Number of Horizontal Angles (บรรทัด 10)

เป็นเลขจำนวนเต็ม ซึ่งแสดงค่าจำนวนมุมทั้งหมดในแนวนอนที่ได้ทำการทดลอง ข้อมูลทางแสง (บรรทัด 14-17)

13. Photometric Type (บรรทัด 10)

บ่งบอกถึงชนิดต่างๆ ดังนี้

ค่า 1 คือ ชนิด C

ค่า 2 คือ ชนิด B

ค่า 3 คือ ชนิด A

ในการวัดค่าความเข้มแสง (Candela) ทำได้โดยเสมือนว่า มีพื้นผิวสมมุติขึ้นรูปโคมฉายแล้วทำการวัดค่าบนพื้นผิวในทุก ๆ ช่วง โดยแบ่งกริด (grid) หรือเรียกว่า "photometric web" ตำแหน่งของโคมฉายจะต่างกันไปในแต่ละพื้นผิว ขึ้นอยู่กับชนิดต่างๆ (type)

Type C บอกถึงโคมฉายสำหรับ ถนน หรือโคมด้านสถาปัตย์ ซึ่งแกนโพลาร์อยู่ในแนวดิ่งของโคมฉาย และระนาบ 0-180 องศาเป็นแกนหลักของโคมฉาย (length)

Type B บอกถึงโคมฉายสำหรับภายนอก และกีฬา ซึ่งแกนโพลาร์ของโคมฉายเป็นแนวแกนรอง (width) และระนาบ 0-180 องศาเป็นแกนในแนวดิ่งของโคมฉาย

Type A บอกถึงโคมฉายสำหรับ automotive headlight และไฟสัญญาณ ซึ่งแกน polar ของโคมฉาย เป็นแกนหลักของโคมฉาย และระนาบ 0-180 องศาเป็นระนาบในแนวดิ่ง

14. Unit Type (บรรทัด 10)

ตัวเลขที่บอกถึงหน่วยการวัดที่ได้ทำการทดลอง โดย

ค่า 1 หมายถึง Feet

ค่า 2 หมายถึง Meters

15. Luminous Opening Dimensions (บรรทัด 10)

เป็นค่าที่บอกมิติของโคมฉาย ซึ่งเป็นประโยชน์ในการคำนวณค่าความส่องสว่างเฉลี่ย แยกเป็นหลายส่วนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15.1 Luminaire Width ความกว้างของโคมฉาย โดยวัดตามระนาบ 90-270 องศา

15.2 Luminaire Length ความยาวของโคมฉาย โดยวัดตามระนาบ 0-180 องศา

15.3 Luminaire Height ความสูงของโคมฉาย โดยวัดในแนวดิ่ง

15.4 Nonrectangular Luminous Openings สำหรับโคมฉายที่มีลักษณะอื่นๆ โดยกำหนดรายละเอียดดังนี้

Width	Length	Height	ลักษณะของโคมฉาย
0	0	0	แบบจุด
w	l	h	สี่เหลี่ยมผืนผ้า
-d	0	0	วงกลม(d คือเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลม)
-d	0	-d	ทรงกลม(d คือเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลม)
-d	0	h	ทรงกระบอกแนวตั้ง(d คือเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกระบอก)
0	l	-d	ทรงกระบอกแนวนอน(d คือเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกระบอก)
-w	l	h	วงรี ซึ่งวางตามแนวยาวของโคมฉาย
w	-l	h	วงรี ซึ่งวางตามแนวกว้างของโคมฉาย
-w	l	-h	ทรงรี ซึ่งวางตามแนวยาวของโคมฉาย
w	-l	-h	ทรงรี ซึ่งวางตามแนวกว้างของโคมฉาย

16. Ballast Factor (บรรทัด 11)

อัตราส่วนของค่าลูเมนของหลอดไฟ เมื่อใช้งานบัลลาททั่วไปกับค่าลูเมนของหลอดไฟเมื่อใช้งานกับบัลลาทมาตรฐาน ในการใช้งานต้องนำค่าแคนเดลาที่อ่านได้จากแฟ้มข้อมูล IES (บรรทัด 14-17) คูณด้วยค่า Ballast Factor ผลลัพธ์ที่ได้จึงนำไปใช้งานต่อไป

17. Ballast-Lamp Photometric Factor หรือ Future Use (บรรทัด 11)

ในกรณี LM-63-1986 จะเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าลูเมนของหลอดไฟ โดยใช้บัลลาทและหลอดไฟชนิดที่ใช้สำหรับ photometric report กับค่าลูเมนของหลอดไฟ โดยใช้บัลลาทและหลอดไฟชนิดที่ใช้สำหรับการทดสอบทางแสง

ในกรณี LM-63-1995 เนื่องจากค่านี้ได้มีการแสดงอยู่ในส่วน Ballast Factor ดังนั้นในส่วนนี้จึงแสดงค่าเป็น 1 เพื่อให้เกิดความสอดคล้องกับ LM-63 รุ่นก่อนๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18. Input Watt (บรรทัด 11)

แสดงค่าพลังงานทั้งหมดที่โคมฉายใช้ไป ได้มาจากการทดสอบ โดยที่ค่าดังกล่าวไม่เปลี่ยนไปตามค่า Ballast Factor หรือ Ballast-Lamp Photometric Factor แต่ค่านี้อาจเปลี่ยนเมื่อค่าความเข้มแสง (Candela) ที่วัดได้มีการเปลี่ยนแปลง

19. Vertical Angle (บรรทัด 12)

เป็นค่ามุมต่างๆ ในแนวดิ่ง

สำหรับ Type C ค่ามุมในแนวดิ่ง เริ่มจาก 0 หรือ 90 องศา ไปสิ้นสุดที่มุม 90 หรือ 180 องศา

สำหรับ Type A หรือ B ค่ามุมในแนวดิ่ง เริ่มจากค่า –90 หรือ 0 องศา ไปสิ้นสุดที่มุม 90 องศา

20. Horizontal Angle (บรรทัด 13)

เป็นค่ามุมต่างๆ ในแนวนอน

สำหรับ Type C ค่ามุมเริ่มจากค่า 0 องศา และไปสิ้นสุดที่ค่าต่างๆ ดังนี้

-0 องศา ในกรณีนี้ คือมีแค่เพียงระนาบเดียว ใช้กับโคมฉายที่มีลักษณะสมมาตรกันในทุกๆ ระนาบ

-90 องศา โคมฉายที่มีลักษณะสามาตรกันในแต่ละ Quadrant

-180 องศา โคมฉายที่มีลักษณะสมมาตรกันในรอบแนวแกน 0-180 องศา

-360 องศา โคมฉายที่มีลักษณะไม่สมมาตรกันในทุกๆ มุมต่างๆ

สำหรับ Type A, B ที่โคมฉายสมมาตรรอบแกนในแนวดิ่ง ค่ามุมเริ่มต้นของมุมในแนวนอนคือ 0 องศาและไปสิ้นสุดที่ค่า 90 องศา

สำหรับ Type A, B ที่โคมฉายไม่สมมาตรรอบแกนในแนวดิ่ง ค่ามุมเริ่มต้นของมุมในแนวนอนคือ –90 องศา และไปสิ้นสุดที่ค่า 90 องศา

21. Candela Values (บรรทัด 14-17)

ค่าทั้งหมดนี้เป็นค่าความเข้มแสง (Candela) โดยที่ในบรรทัดเดียวกันจะมีค่ามุมในแนวนอนเดียวกัน และค่าแคนเดลาในแต่ละบรรทัดเป็นค่าแคนเดลาที่มุมในแนวดิ่งต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างข้อมูล IES

IESNA:LM-63-1995

[TEST] ABC1234 ABC Laboratories

[MANUFAC] Aardvark Lighting Inc.

[LUMCAT] SKYVIEW 123-XYZ-abs-400

[LUMINAIRE] Wide beam flood to be used without tilt

[LAMPCAT] MH-400-CLEAR

[LAMP] Metal Halide 400 watt

[BALLASTCAT] Global 16G6031-17R

[BALLAST] 400W 277V MH

[MAINTCAT] 4

[OTHER] This luminaire is useful as an indirect flood

[MORE] and to reduce light pollution in down light

[MORE] applications.

[SEARCH] POLLUTION SPORTS INDIRECT

[BLOCK]

[LUMCAT] TENNISVIEW 123-XYZ-abc-400

[LUMINAIRE] Wide beam flood for indirect applications.

[ENDBLOCK]

TILT=INCLUDE

1

13

0 15 30 45 60 75 90 105 120 135 150 165 180

1.0 .95 .94 .90 .88 .87 .98 .87 .88 .90 .94 .95 1.0

1 50000 1 5 3 1 1 .5 .6 0

1.0 1.0 495

0 22.5 45 67.5 90

0 45 90

10000 50000 25000 10000 5000

10000 35000 16000 8000 3000

10000 20000 10000 5000 1000

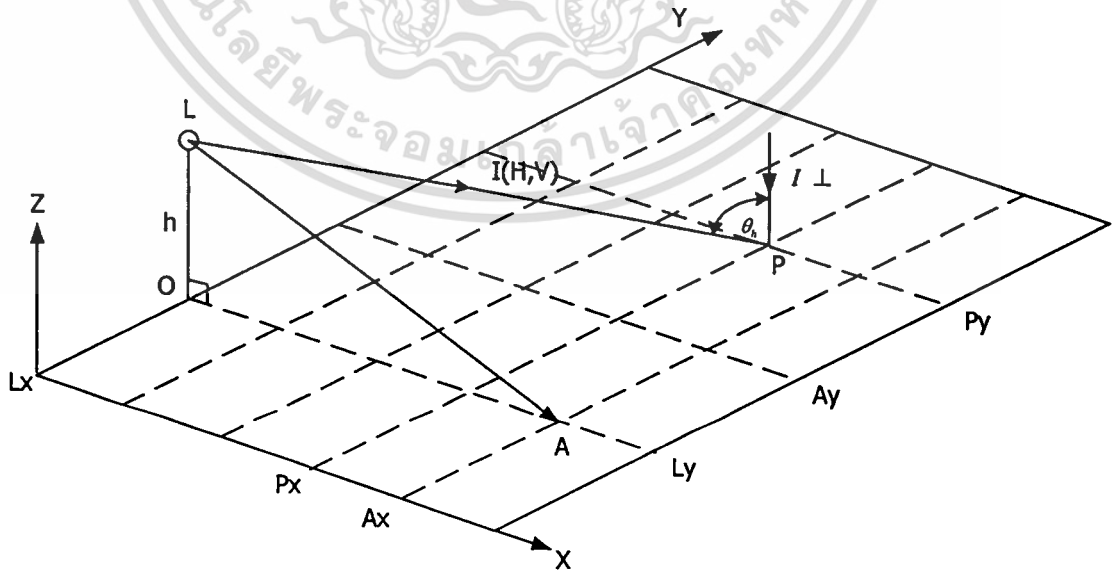
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การคำนวณแบบจุดต่อจุด (Point by Point Method)

การคำนวณหาค่าความเข้มแสงบนพื้นสนามจากโคมไฟส่องแบบคิดทีละจุด โดยใช้กฎกำลังสองผกผันเป็นวิธีที่เสียเวลาในการคำนวณมาก เพราะมีการคำนวณซ้ำๆ กัน อย่างไรก็ตามผลการคำนวณของวิธีนี้มีความแม่นยำสูง สามารถตรวจสอบความสม่ำเสมอ หรือตรวจสอบความเข้มแสงที่จุดใดๆ ที่ต้องการได้ การคำนวณค่าความเข้มแสงบนพื้นที่สนามด้วยวิธีนี้จะต้องอาศัยข้อมูลที่สำคัญ 4 ค่าคือ

1. การกระจายค่าความเข้มส่องสว่างของโคมไฟส่อง เช่น ให้มาในรูปของ IES FILES
2. ฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดไฟ เนื่องจากหลอดไฟที่เลือกใช้อาจให้ฟลักซ์ส่องสว่างไม่เท่ากับฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดไฟที่ผู้ผลิตโคมใช้ในการทดสอบหาข้อมูลทางแสงของโคมไฟส่อง
3. ความสัมพันธ์เชิงเรขาคณิตของตำแหน่งของโคมไฟส่องและจุดที่ต้องการคำนวณหาค่าความเข้มแสง
4. รายละเอียดของระนาบ เช่น เป็นระนาบนอน ระนาบดิ่ง

หลักการคำนวณ



รูปที่ 2.9 การคำนวณค่าความเข้มแสงแบบคิดทีละจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย

L = โคมไฟส่อง

A = จุดเล็งของโคมไฟส่อง

P = จุดที่ต้องการหาค่าความเข้มแสง

θ_h = มุมแสงตกกระทบ

ค่าความเข้มแสงที่จุด P ใดๆ บนพื้นราบในรูปที่ 2.9 สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 1

$$E_p = \frac{I \perp}{LP^2} \tag{2.1}$$

โดย

E_p = ความเข้มแสงในแนวราบที่จุด P (ลักซ์)

$I \perp$ = ความเข้มส่องสว่างที่ตกตั้งฉากกับระนาบตรงจุด P (แคนเดลา, cd)

I = ความเข้มส่องสว่างในทิศทางจากโคมไฟส่อง L ถึงจุด P (แคนเดลา, cd)

LP = ระยะห่างระหว่างโคมไฟส่อง L กับจุดที่ต้องการคำนวณหาค่าความเข้มแสง P (เมตร)

$$I \perp = I \cos \theta_h$$

และ

$$\cos \theta_h = \frac{LL'}{LP}$$

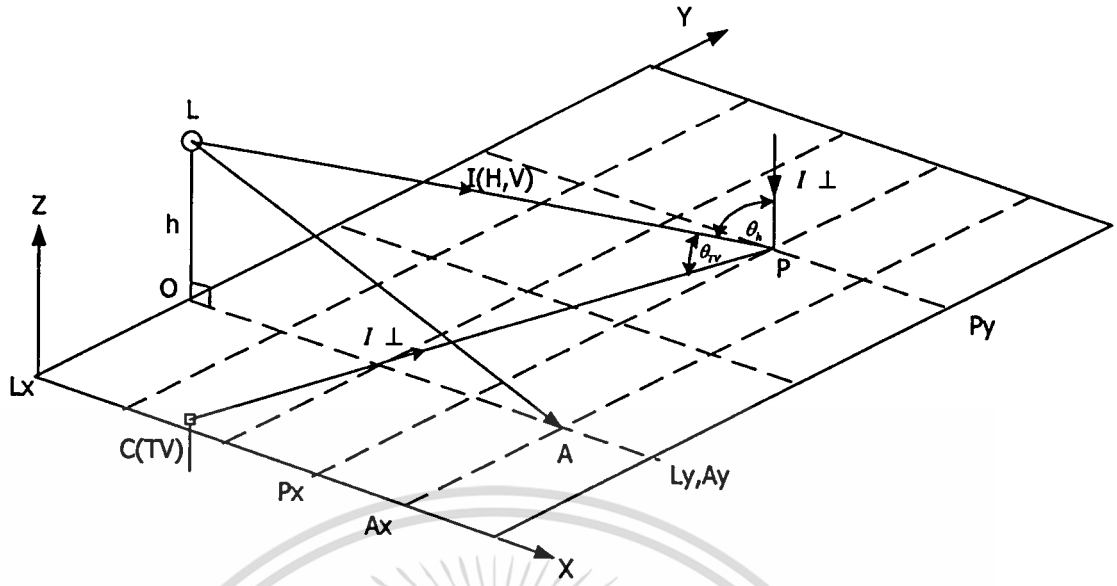
แทนค่าลงในสมการ 2.1

ดังนั้นในการคำนวณหาค่าความเข้มแสงบนพื้นราบ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.2

$$E_h = \frac{I(H,V) \cos \theta_h}{LP^2} \tag{2.2}$$

ในกรณีมีการติดตั้งกล้องถ่ายโทรทัศน์เพื่อถ่ายภาพกิจกรรมต่างๆ บนพื้นสนาม จะต้องมีการจัดแสงเพื่อให้ได้ความเข้มแสงบนพื้นที่คำนวณเพียงพอกับการถ่ายภาพ การคำนวณค่าความเข้มแสงที่จุด P บนระนาบที่ตั้งฉากกับแนวCP พิจารณาได้จากรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 การคำนวณค่าความเข้มแสงบนระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์

โดย

L = โคมไฟส่อง

A = จุดเล็งของโคมไฟส่อง

C = จุดที่ติดตั้งกล้องถ่ายโทรทัศน์

P = จุดที่ต้องการหาค่าความเข้มแสง

θ_h = มุมแสงตกกระทบ

θ_{TV} = มุมระหว่างแนวแสงตกกระทบจุด P กับแนวระหว่างจุดสังเกตการณ์กับจุด P

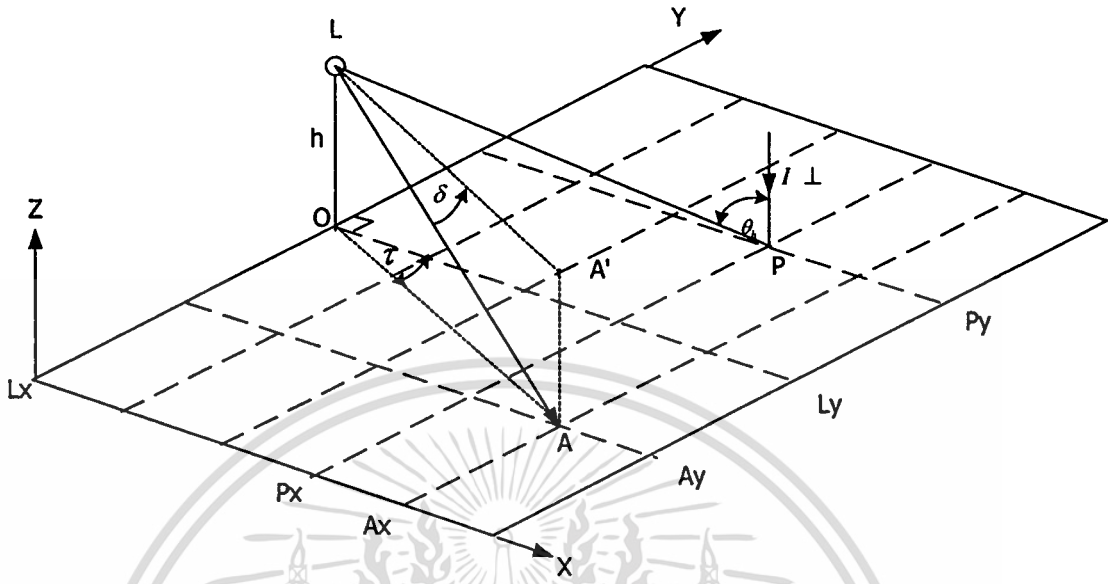
$$E_{TV} = \frac{I(H,V)\cos\theta_{TV}}{LP^2} \qquad (2.3)$$

จากกฎของ Δ

$$\cos\theta_{TV} = \frac{LP^2 + CP^2 - LC^2}{2xLPxCP}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การคำนวณหาค่ามุม H และ V



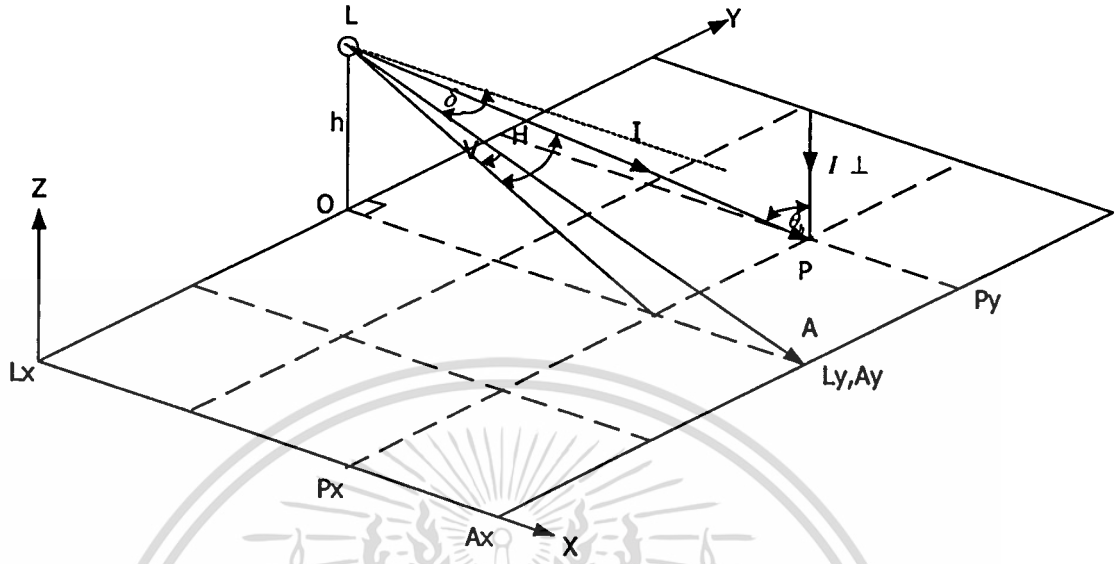
รูปที่ 2.11 การคำนวณหาค่ามุม H และมุม V

กำหนดให้

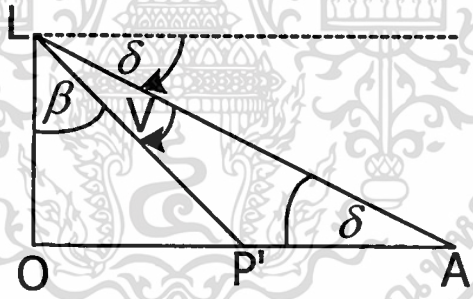
θ_h	= มุมระหว่างเส้นที่ลากจากโคมไฟส่อง L ถึงจุด P ทำกับแนวดิ่ง (องศา)
δ	= มุมเล็งของโคมไฟส่องที่ทำกับแนวระดับ LA′(องศา)
τ	= มุมหันของโคมไฟส่องที่ทำกับเส้นตั้งฉากกับขอบสนาม (องศา)
h	= ความสูงของโคมไฟส่องหรือเสา (เมตร)
P	= จุดที่ต้องการคำนวณหาค่าความเข้มแสงบนพื้นระนาบนอน
A	= จุดเล็งของโคมไฟส่อง
L	= จุดที่ติดตั้งโคมไฟส่องบนเสา
O	= จุดติดตั้งโคมไฟส่องที่ฉายลงบนพื้นระนาบ
P_X, P_Y, P_Z	= โคออร์ดิเนตของจุดที่ต้องการคำนวณหาค่าความเข้มแสง
A_X, A_Y, A_Z	= โคออร์ดิเนตของจุดเล็งของโคมไฟส่อง
L_X, L_Y, L_Z	= โคออร์ดิเนตของจุดที่ติดตั้งโคมไฟส่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 การหามุม H,V ในกรณีมุมหัน (τ) เป็นศูนย์



รูปที่ 2.12 การคำนวณหาค่ามุม H และมุม V กรณีที่มุมหันเป็น 0



รูปที่ 2.13 การหามุม V

จากรูปที่ 2.12 และ 2.13

พิจารณา ΔLOA จะได้ว่า

$$\sin\delta = \frac{LO}{LA} = \frac{A_Z - L_Z}{\sqrt{(A_X - L_X)^2 + (A_Z - L_Z)^2}}$$

$$\delta = \tan^{-1}\left[\frac{(A_z - L_z)\cos\tau}{|L_x - A_x|}\right] \qquad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณา Δ LP′P จะได้ว่า

$$\sin H = \frac{PP'}{LP} = \frac{\left|P_Y - L_Y\right|}{\sqrt{(P_X - L_X)^2 + (P_Y - L_Y)^2 + (P_Z - L_Z)^2}}$$

$$H = \sin^{-1}\left[\frac{\left|P_y - L_y\right|}{\sqrt{(P_x - L_x)^2 + (P_y - L_y)^2 + (P_z - L_z)^2}}\right] \qquad (2.5)$$

โดยที่ มุม δ จะมีค่าติดลบเนื่องจากเล็งต่ำกว่าแนวระดับ

และ มุม V จะมีค่าติดลบเพราะจุด P′อยู่ต่ำกว่าแนวเล็ง

ดังนั้น $\beta + (-V) + (-\delta) = 90°$

$$\beta = V + (90° + \delta)$$

พิจารณา ΔLOP′ จะได้ว่า

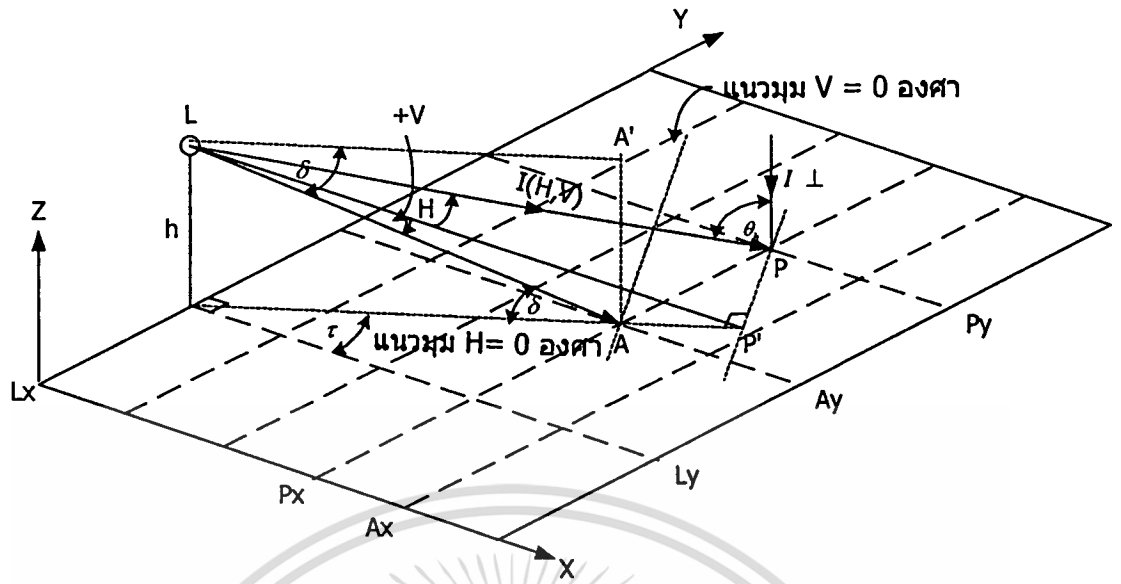
$$\tan\beta = \frac{OP'}{LO} = \frac{P_X - L_X}{L_Z - P_Z}$$

$$V = \tan^{-1}\left(\frac{P_X - L_X}{L_Z - P_Z}\right) - (90° + \delta) \qquad (2.6)$$

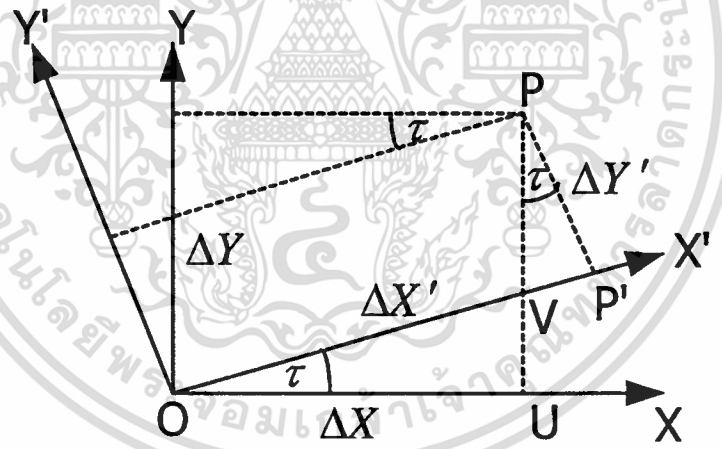
2.6.2 การหามุม H,V ในกรณีมุมหัน (τ) ไม่เป็นศูนย์

จากรูปที่ 2.12 เมื่อหันโดมฉายไปเป็นมุม τ องศา จากแนวตั้งฉากกับขอบสนามจะทำให้แนวที่กำหนดมุม H = 0° หันไปเป็นมุม τ องศาด้วย การคำนวณค่ามุม H และมุม V จึงทำได้โดยการหมุนระนาบ XY ไปเป็นมุม τ องศา กลายเป็นระนาบ X′Y′ ดังแสดงในรูปที่ 2.14 แล้วคำนวณมุม H และ มุม V ในเทอมของ ΔX′ และ ΔY′ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 การคำนวณหาค่ามุม H และมุม V กรณีที่มุมหันไม่เป็น 0



รูปที่ 2.15 การหาค่ามุม H และ V กรณีที่มุมหันไม่เป็น 0

$$H = \sin^{-1} \frac{\Delta Y'}{\sqrt{(\Delta X')^2 + (\Delta Y')^2 + (\Delta Z')^2}} \tag{2.7}$$

$$V = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta X'}{\Delta Z'}\right) - (90° + \delta) \tag{2.8}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$\Delta X' = OP' = OV + VP'$

$$= \frac{\Delta X}{\cos \tau} + (\Delta Y - \Delta X \tan \tau)\sin \tau$$

$$= \frac{\Delta X}{\cos \tau} + \Delta Y \sin \tau - \Delta X \frac{\sin^2 \tau}{\cos \tau}$$

$$\therefore \quad \Delta X' = \Delta x \cos \tau + \Delta Y \sin \tau \tag{2.9}$$

3. พิจารณา $\Delta PP'V$ จะได้

$$\Delta Y' = PV \cos \tau$$

$$= (\Delta Y - \Delta X \tan \tau) \cos \tau$$

$$\therefore \quad \Delta Y' = \Delta Y \cos \tau - \Delta x \sin \tau \tag{2.10}$$

นอกจากนี้จะได้

$$OP^2 = \Delta X^2 + \Delta Y^2 = (\Delta X')^2 + (\Delta Y')^2 \tag{2.11}$$

แทนค่าสมการที่ 2.9 ถึง 2.10 ในสมการที่ 2.7 และ 2.8จะได้มุม H และมุม V ดังนี้

$$H = \sin^{-1}\left[\frac{\Delta y \cos \tau - \Delta x \sin \tau}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}}\right] \tag{2.12}$$

$$V = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta x \cos \tau - \Delta y \sin \tau}{\Delta z}\right) - (90 + \delta) \tag{2.13}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ความสม่ำเสมอของค่าความเข้มแสง (Uniformity)

ค่าความสม่ำเสมอสามารถนิยามได้จากอัตราส่วนของค่าความเข้มแสงต่ำสุดต่อค่าความเข้มแสงสูงสุด ดังสมการที่ 2.14 หรืออัตราส่วนของค่าความเข้มแสงต่ำสุดต่อค่าความเข้มแสงเฉลี่ย ดังสมการที่ 2.15

$$U_0 = \frac{E_{\min}}{E_{av}} \tag{2.14}$$

$$U_1 = \frac{E_{\min}}{E_{\max}} \tag{2.15}$$

โดยที่

$E_{\min}$ = ค่าความเข้มแสงต่ำสุด (ลักซ์)

$E_{\max}$ = ค่าความเข้มแสงสูงสุด (ลักซ์)

E_{av} = ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย (ลักซ์)

2.8 พิกัดแสงจ้าแยงตา

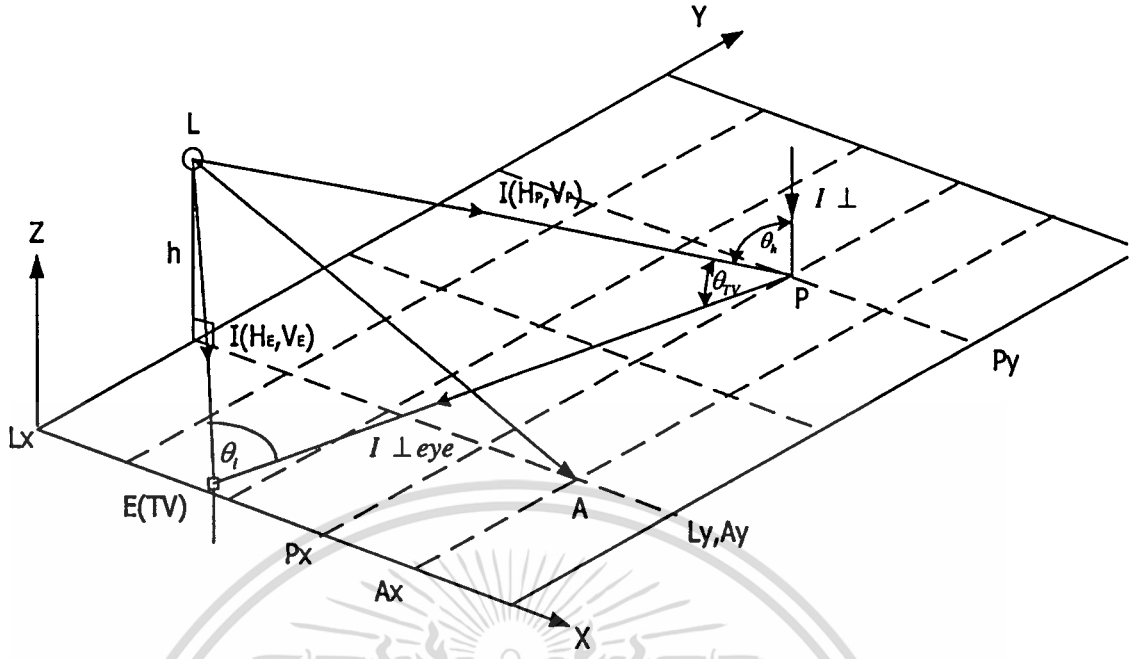
แสงจ้าแยงตาคือแสงที่เข้าตาแล้วทำให้มองเห็นวัตถุได้ยาก ไม่ชัดเจนหรือมองไม่เห็นเลย โดยลักษณะการเกิดแสงจ้าแยงตาสามารถเกิดได้จาก 2 ประเภทคือ

แสงจ้าแยงตาโดยตรง (Direct Glare) เกิดจาก แหล่งกำเนิดแสงที่มีความส่องสว่างมากมาอยู่ในแนวมองของผู้สังเกตการณ์ (Observer)

แสงจ้าแยงตา ที่เกิดจากการสะท้อน (Reflected Glare) เกิดจากการสะท้อนของแสงจากพื้นผิวของวัตถุมาเข้าตาของผู้สังเกตการณ์ (Observer)

แสงจ้าแยงตาโดยตรง สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ แสงจ้าพร่านัยน์ตา และแสงจ้าระคายตา แสงจ้าพร่านัยน์ตาจะทำให้ความสามารถในการมองเห็นลดลง ส่วนแสงจ้าระคายตาทำให้เกิดความไม่สบายตา และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป จากมาตรฐาน CIE TC 5-04 สามารถคำนวณพิกัดแสงจ้าแยงตา ได้จากสมการที่ 2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 การคำนวณพิกัดแสงจ้าแยงตา

$$GR = 27 + 24 \log\left[\frac{L_{vl}}{(L_{ve})^{0.9}}\right] \tag{2.16}$$

$$L_{vl} = 10\sum\left\{\frac{E_{eye,i}}{\theta_i^2}\right\} \tag{2.17}$$

$$\cos\theta_i = \frac{LE^2 + EP^2 - LP^2}{2xLExEP} \tag{2.18}$$

$$E_{eye,i} = \frac{I(H_E, V_E)\cos\theta_i}{LE^2} \tag{2.19}$$

$$L_{ve} = 0.035\, xE_{h,av}\, x\, \frac{\rho}{\pi} \tag{2.20}$$

$$E_{h,av} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} E_{h_{i,j}}}{nm} \tag{2.21}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

L_{vl} = ความส่องสว่างที่เกิดจากโคมส่องมาที่ดวงตา

$E_{eye,i}$ = ความเข้มแสงจากโคมดวงที่ i ที่แก้วตา บนระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ (ลักซ์)

θ_i = มุมระหว่างแนวมองกับแนวแสงตกกระทบแก้วตา โดยมุม θ_i มีค่าอยู่ระหว่าง1.5°ถึง 60° (องศา)

L_{ve} = ความส่องสว่างที่เกิดจากการสะท้อนแสงของพื้นสนาม

ρ = ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นสนาม

2.9 บทสรุป

จากหลักการคำนวณทั้งหมดตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น สามารถนำมาพัฒนาเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการคำนวณค่าความเข้มแสง ค่าความสม่ำเสมอ และพิกัดแสงจ้าแยงตา ณ จุดที่สนใจ ซึ่งรายละเอียดของโปรแกรมและตัวอย่างการคำนวณ จะได้กล่าวถึงในบทต่อๆ ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบแสงสว่างสนามกีฬา

3.1 บทนำ

ในเกมกีฬาผู้เล่นและผู้ตัดสินต้องใช้ความรวดเร็วในการตัดสินใจในขณะที่การแข่งขันกำลังดำเนินอยู่ เมื่อระดับการแข่งขันสูงขึ้นผู้เล่นและผู้ตัดสินใจยิ่งต้องใช้ความสามารถในการตัดสินใจในเวลารวดเร็วมากขึ้น แสงสว่างที่เพียงพอตลอดพื้นที่แข่งขันจึงเป็นสิ่งจำเป็น ยิ่งไปกว่านั้นยังทำให้ผู้ชมสามารถชมการแข่งขันได้สบายขึ้น และถ้ามีการถ่ายทอดโทรทัศน์มาเกี่ยวข้อง สีของแสงที่ตรงตามความจริงจะมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพื่อให้ได้ภาพตรงตามสถานการณ์จริงมากขึ้น [7]

3.2 ความต้องการพื้นฐาน

ในการออกแบบแสงสว่างสนามกีฬานั้น จะต้องคำนึงถึงความต้องการและความสะดวกสบายของกลุ่มผู้ใช้สนามกีฬาอย่างระมัดระวัง โดยผู้ใช้สามารถแบ่งเป็น 4 กลุ่มด้วยกันคือ

1. ผู้เล่น (Players)
2. ผู้ตัดสินใจ (Officials)
3. ผู้ชมการแข่งขัน (Spectators)
4. สื่อต่างๆ (Media)

- ผู้เล่นและผู้ตัดสินใจ

ผู้เล่นและผู้ตัดสินใจจะต้องเห็นได้อย่างชัดเจนทั่วทั้งพื้นที่แข่งขัน เพื่อให้สามารถทำหน้าที่ของตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพ

- ผู้ชมการแข่งขัน

ผู้ชมการแข่งขันจะต้องสามารถติดตามเกมการแข่งขันตลอดจนท่วงท่าของนักกีฬาได้โดยง่าย นอกจากพื้นที่แข่งขันแล้ว ผู้ชมต้องสามารถเห็นสภาพแวดล้อมอื่นๆ รวมถึงทางเข้าและทางออกสนามกีฬาได้อย่างชัดเจนเพื่อความปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สื่อต่างๆ

สื่อในที่นี้ได้แก่ โทรทัศน์ และช่างภาพหนังสือพิมพ์ การให้แสงสว่างนั้นต้องให้ภาพที่มีคุณภาพดีทั้งของเกมการแข่งขันและภาพของผู้เล่นกับผู้ชมด้วย

3.3 ข้อกำหนดในการให้แสงสว่าง

ข้อกำหนดในการให้แสงสว่างสนามกีฬามีดังต่อไปนี้

- ความเข้มแสงในแนวระดับ (Horizontal Illuminance)
- ความเข้มแสงในแนวดิ่ง (Vertical Illuminance)
- ความสม่ำเสมอ (Illminance Uniformity)
- พิกัดแสงจ้า (Glare Rating)
- การให้เห็นรูปร่างและเงา (Modeling and Shadows)
- ลักษณะของสีและการให้สี (Color Appearance and Color Rendering)

ความเข้มแสงในแนวระดับ (Horizontal Illuminance)

เนื่องจากความเข้มแสงในพื้นที่แข่งขันมีความสำคัญมากต่อการมองเห็นของผู้เล่นกับผู้ชมการแข่งขัน และเนื่องจากความเข้มแสงในพื้นที่แข่งขันเป็นพื้นหลังในการมองเห็น การให้แสงสว่างในแนวระดับที่เพียงพอแก่พื้นที่แข่งขัน จึงมีความสำคัญ นอกจากนี้เพื่อความปลอดภัยของผู้ชมในการเข้าออกสนามกีฬา จึงจำเป็นต้อมีการให้แสงสว่างในแนวระดับที่เพียงพอแก่พื้นที่ทางเดิน และยังต้องมีการให้แสงสว่างป้องกันการตื่นตระหนก (Anti-Panic Lighting) เมื่อเกิดไฟฟ้าดับขึ้นด้วย

ความเข้มแสงในแนวดิ่ง (Vertical Illuminance)

การมีความเข้มแสงในแนวดิ่งที่เพียงพอทำให้เกิดคอนแทรซที่เพียงพอกับตัวผู้เล่น ทำให้สามารถแยกแยะผู้เล่นแต่ละคนได้ โดยความเข้มแสงในแนวดิ่งมีทั้งขนาดและทิศทาง สำหรับผู้เล่นค่าความเข้มแสงในแนวดิ่งที่เพียงพอในทุกทิศทางล้วนมีความสำคัญ แต่สำหรับผู้ชมและกล้องโทรทัศน์ที่มีตำแหน่งแน่นอนแล้ว ความเข้มแสงในแนวดิ่งที่มีทิศทางพุ่งเข้าหาเท่านั้นที่ต้องนำมาพิจารณา ในกรณีที่กล้องโทรทัศน์มีตำแหน่งไม่แน่นอนนั้น ต้องพิจารณาความเข้มแสงในแนวดิ่งที่มีทิศทางไปสู่ด้านทั้งสี่ของสนามกีฬา โดยปกติค่าความเข้มแสงในแนวดิ่งที่จำเป็นสำหรับผู้เล่นและผู้ชมจะได้มาทันทีที่ทราบค่าความเข้มแสงในแนวระดับ ดังนั้นความเข้มแสงในแนวดิ่งซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัดที่ความสูงจากพื้นที่แข่งขัน 1.5 เมตร จะใช้ในการถ่ายทอดทางโทรทัศน์เท่านั้น เพราะมีผลอย่างมากต่อคุณภาพของภาพทางโทรทัศน์

ความสม่ำเสมอ (Illuminance Uniformity)

ความสม่ำเสมอที่ดีทั้งในแนวระดับและแนวดิ่งนั้นมีความสำคัญมาก เนื่องจากทำให้ไม่มีปัญหาในการปรับสายตาของผู้เล่นและผู้ชมการแข่งขัน และไม่จำเป็นต้องปรับกล้องโทรทัศน์เมื่อเปลี่ยนทิศทางในการถ่ายทอด ถ้าความสม่ำเสมอมดีพอจะเป็นการเสี่ยงที่จะมองเห็นลูกบอลหรือผู้เล่นไม่ชัดเจนในบางตำแหน่งของสนาม

เพื่อให้การมองเห็นที่ดีที่สุดสำหรับกล้องโทรทัศน์ อัตราส่วนของค่าความสว่างเฉลี่ยในแนวระดับต่อค่าความสว่างเฉลี่ยในแนวดิ่งควรอยู่ระหว่าง 0.5-2.0

พิกัดแสงจ้าแยงตา (Glare Rating : GR)

แสงจ้าแยงตาเกิดขึ้นเมื่อมีแหล่งกำเนิดแสงหรือพื้นที่สะท้อนแสงอยู่ใกล้พื้นที่แข่งขันหรือสะท้อนแสงเข้ามาในพื้นที่แข่งขันซึ่งจะส่งผลรบกวนต่อความสบายตาในการมองเห็นของผู้เล่นและผู้ชมได้ แสงจ้าสามารถทำให้ลดลงได้โดยการเลือกโคมไฟอย่างระมัดระวัง และทำการติดตั้งและส่องโคมไฟไปยังจุดที่ต้องการเป็นหลัก

การให้เห็นรูปร่างและเงา (Modeling and Shadow)

การให้เห็นรูปร่างคือความสามารถที่แสงสว่างแสดงรูปร่างและรายละเอียดของวัตถุได้ โดยสามารถแสดงถึงอารมณ์โดยรวมของผู้เล่น ลูกบอล และผู้ชมโดยรอบพื้นที่แข่งขัน ประสิทธิภาพของการให้เห็นรูปร่างนี้ขึ้นอยู่กับ

- ทิศทางของแสง (Direction of Light)
- จำนวนของแหล่งกำเนิดแสง (Numbers of Light Source)
- ชนิดของแหล่งกำเนิดแสง (Type of Light Source)

การให้เห็นรูปร่างอาจเป็นแบบฮาร์ดซึ่งเกิดจากแสงที่มีความเข้มของเงามาก จากไฟส่อง หรือเป็นแบบแฟลตซึ่งเกิดจากแสงไม่มีเงาจากเพดาน ทั้งสองชนิดที่กล่าวมาล้วนไม่เป็นที่ต้องการ แต่ชนิดหลังก็สามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มสปอร์ตไลท์เข้าไป ทำให้การเห็นรูปร่างดีขึ้น เพื่อจำกัดความยาวและความเข้มของเงาจากผู้เล่นเมื่อใช้ไฟส่องที่มีการกระจายแสงแบบไม่สมมาตร 60% ของฟลักซ์ที่ติดตั้ง ควรมาจากกล้องโทรทัศน์หลัก ส่วนอีก 40 % ควรมาจากฝั่งตรงข้าม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของสีและการให้สี (Color Appearance and Color Rendering)

การมองเห็นสีที่ถูกต้องมีความสำคัญมากในกีฬาส่วนใหญ่ มีข้อกำหนดที่สำคัญของสี 2 ข้อที่ต้องพิจารณา คือ

1. **ลักษณะของสี** (Color Appearance)
2. **การให้สี** (Color Rendering)

ลักษณะของการให้สีของหลอดไฟนั้นแสงด้วยค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (Correlated Color Temperature : CCT) **ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง** 2000-6000 K **โดยอุณหภูมิสีที่ต่ำจะให้ความรู้สึกอบอุ่น** (Warmer) **เมื่ออุณหภูมิสีสูงขึ้นจะให้ความรู้สึกที่เย็นขึ้น** (Cooler)

การให้สีเป็นคุณสมบัติเฉพาะของหลอดไฟ แสดงได้ด้วยค่าดัชนีการให้สี R_a **โดยมีค่าสูงสุดที่** $R_a = 100$ **ซึ่งก็คือเดย์ไลท์ ค่า** R_a **เป็นตัวบ่งบอกถึงการให้สีที่ถูกต้องตามหลักความเป็นจริงของหลอด ยิ่งค่า** R_a **สูงจะมีสีที่ตรงตามความเป็นจริงมากขึ้น**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ข้อแนะนำระดับความเข้มแสงมาตรฐานของไฟสนามกีฬา

ตารางที่ 3.1 ระดับความเข้มแสงและพิกัดแสงจ้าแยงตามาตรฐานของไฟสนามกีฬา

Sport	Level of Activity	E (Lux)	U_l	U_o	R_a	T_k(°K)	Group
Archery							
Indoor							
Shooting Line	t/r	100	0.3	0.4	60	2000	
	ca	500	0.3	0.4	60	2000	
	cp	n.a.					
Target	t/r	300	n.a.	n.a.	60	2000	
	ca	500	n.a.	n.a.	60	2000	
	cp	n.a.					A
Outdoor							
Shooting Line	t/r	50	0.3	0.4	60	2000	
	ca	100	0.3	0.4	60	2000	
	cp	n.a.					
Target	t/r	100	n.a.	n.a.	60	2000	
	ca	200	n.a.	n.a.	60	2000	
	cp	n.a.					
Athletics	t/r	100	0.2	0.3	20	2000	
	ca	200	0.2	0.3	20	2000	A
	cp	400	0.3	0.5	65	4000	
Badminton	t/r	300	0.4	0.6	65	4000	
	ca	600	0.5	0.7	65	4000	B
	cp	800	0.5	0.7	65	4000	
Baseball (Softball)							
Infield	t/r	150	0.3	0.5	65	4000	
	ca	300	0.4	0.6	65	4000	B
	cp	750	0.5	0.7	65	4000	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1(ต่อ)

Sport	Level of Activity	E (Lux)	U_l	U_o	R_a	$T_k(^oK)$	Group
Baseball (Softball)							
Outfield	t/r	100	0.2	0.3	65	4000	
	ca	200	0.3	0.4	65	4000	B
	cp	500	0.4	0.5	65	4000	
Basketball							
Indoor	t/r	300	0.4	0.6	65	4000	
	ca	400	0.5	0.7	65	4000	
	cp	600	0.5	0.7	65	4000	B
Outdoor	t/r	100	0.2	0.3	65	2000	
	ca	200	0.3	0.4	65	2000	
	cp	n.a.					
Bicycle Racing (Track)							
Indoor	t/r	200	0.3	0.4	65	4000	
	ca	300	0.4	0.5	65	4000	
	cp	500	0.4	0.5	65	4000	B
Outdoor	t/r	100	0.2	0.3	20	2000	
	ca	200	0.4	0.5	65	4000	
	cp	400	0.4	0.5	65	4000	
Cricket							
Infield	t/r	750	0.5	0.7	65	4000	
	ca	750	0.5	0.7	65	4000	
	cp	1500	0.7	0.8	65	4000	C
Outdoor	t/r	500	0.4	0.5	65	4000	
	ca	500	0.4	0.5	65	4000	
	cp	1000	0.5	0.6	65	4000	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

Sport	Level of Activity	E (Lux)	U_l	U_0	R_a	$T_k(^oK)$	Group
Football (Soccer)							
Indoor	t/r	300	0.4	0.6	65	4000	
	ca	400	0.5	0.7	65	4000	
	cp	600	0.5	0.7	65	4000	B
Outdoor	t/r	100	0.4	0.6	65	4000	
	ca	200	0.5	0.7	65	4000	
	cp	500	0.5	0.7	65	4000	
Golf							
Driving Range :							
-Tee	t/r	100	0.4	0.5	65	4000	
	ca	n.a.					
	cp	n.a.					
-Fairway	t/r	50	n.a.	n.a.	65	4000	
Tee/Green	t/r	50	0.2	0.3	65	4000	B
	ca	50	0.4	0.5	65	4000	
	cp	n.a					
Fairway	t/r	30	n.a.	n.a.	65	4000	
	ca	30	n.a.	n.a.	65	4000	
	cp	n.a					
Gymnastics							
	t/r	300	0.4	0.6	65	4000	B
	ca	400	0.5	0.7	65	4000	
	cp	600	0.5	0.7	65	4000	
Horse Racing							
Indoor	t/r	200	0.5	0.7	20	2000	B
	ca	200	0.5	0.7	20	2000	
	cp	500	0.5	0.7	65	4000	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

Sport	Level of Activity	E (Lux)	U_l	U_o	R_a	$T_k(^oK)$	Group
Horse Jumping							
Indoor	t/r	300	0.3	0.5	65	4000	
	ca	400	0.4	0.6	65	4000	
	cp	600	0.4	0.6	65	4000	A
Outdoor	t/r	50	0.2	0.3	20	2000	
	ca	150	0.3	0.5	65	4000	
	cp	300	0.3	0.5	65	4000	
Motor Racing (Car and Bike)							
Indoor	t/r	300	0.3	0.4	65	4000	
	ca	400	0.4	0.6	65	4000	
	cp	600	0.4	0.6	65	4000	B
Outdoor	t/r	50	0.2	0.3	20	2000	
	ca	100	0.3	0.5	20	2000	
	cp	200	0.3		65	4000	
Hockey (Field)							
Indoor	t/r	300	0.4	0.6	65	4000	
	ca	600	0.5	0.7	65	4000	
	cp	800	0.5	0.7	65	4000	B
Outdoor	t/r	100	0.4	0.6	65	4000	
	ca	250	0.5	0.7	65	4000	
	cp	500	0.5	0.7	65	4000	
Rackets							
	t/r	250	0.4	0.6	60	2000	C
	ca	500	0.4	0.6	65	4000	
	cp	750	0.4	0.6	65	4000	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

Sport	Level of Activity	E (Lux)	U_l	U_o	R_a	$T_k(^oK)$	Group
Hockey (Ice)							
Indoor	t/r	300	0.4	0.6	65	4000	
	ca	600	0.5	0.7	65	4000	
	cp	800	0.5	0.7	65	4000	B
Outdoor	t/r	100	0.3	0.5	20	2000	
	ca	250	0.4	0.6	65	4000	
	cp	n.a.					
Roller Skating							
	t/r	100	0.2	0.3	20	2000	B
	ca	200	0.4	0.5	65	4000	
	cp	500	0.4	0.5	65	4000	
Shooting (Pistol and Rifle)							
Indoor :							
Shooting Line	t/r	200	0.3	0.4	60	2000	
	ca	400	0.3	0.4	60	2000	
	cp	n.a.					
Target	t/r	500*	n.a.	n.a.	60	2000	
	ca	1000*	n.a.	n.a.	60	2000	
	cp	n.a.					A
Outdoor :							
Shooting Line	t/r	100	0.3	0.4	60	2000	
	ca	200	0.3	0.4	60	2000	
	cp	n.a.					
Target	t/r	200*	n.a.	n.a.	60	2000	
	ca	400*	n.a.	n.a.	60	2000	
	cp	n.a.					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

Sport	Level of Activity	E (Lux)	U_l	U_o	R_a	T_k(°K)	Group
Skating (Figure)							
Indoor	t/r	300	0.3	0.5	65	4000	
	ca	600	0.4	0.6	65	4000	
	cp	800	0.4	0.6	65	4000	B
Outdoor	t/r	100	0.3	0.5	20	2000	
	ca	250	0.4	0.6	65	4000	
	cp	n.a.					
Skating (Speed)							
Indoor	t/r	200	0.3	0.4	65	4000	
	ca	300	0.4	0.5	65	4000	
	cp	500	0.4	0.5	65	4000	B
Outdoor	t/r	100	0.2	0.3	20	2000	
	ca	200	0.4	0.5	65	4000	
	cp	400	0.4	0.5	65	4000	
Squash							
	t/r	600	0.5	0.6	60	4000	C
	ca	750	0.6	0.7	60	4000	
	cp	1000	0.6	0.7	60	4000	
Swimming							
Indoor	t/r	200	0.3	0.5	60	3000	
	ca	300	0.3	0.5	60	3000	
	cp	500	0.3	0.3	60	3000	A
Outdoor	t/r	100	0.2	0.5	65	4000	
	ca	200	0.3	0.5	65	4000	
	cp	400	0.3		65	4000	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

Sport	Level of Activity	E (Lux)	U_l	U_o	R_a	$T_k(^oK)$	Group
Rugby Football							
	t/r	100	0.4	0.6	65	4000	B
	ca	200	0.5	0.7	65	4000	
	cp	500	0.5	0.7	65	4000	
Tennis							
Indoor PPA	t/r	500	0.4	0.6	65	4000	
(Principal Playing Area)	ca	750	0.4	0.6	65	4000	
	cp	1000	0.4	0.6	65	4000	
TPA	t/r	400	0.3	0.5	65	4000	
(Total Playing Area)	ca	600	0.3	0.5	65	4000	
	cp	800	0.3	0.5	65	4000	B
Outdoor PPA	t/r	250	0.4	0.6	60	2000	
	ca	500	0.4	0.6	65	4000	
	cp	750	0.4	0.6	65	4000	
TPA	t/r	200	0.3	0.5	60	2000	
	ca	400	0.3	0.5	65	4000	
	cp	600	0.3	0.5	65	4000	
Trampoline							
	t/r	300	0.4	0.6	65	4000	A
	ca	400	0.5	0.7	65	4000	
	cp	600	0.5	0.7	65	4000	
Volleyball							
Indoor	t/r	300	0.4	0.6	65	4000	
	ca	400	0.5	0.7	65	4000	
	cp	600	0.5	0.7	65	4000	B
Outdoor	t/r	100	0.4	0.6	65	4000	
	ca	200	0.5	0.7	65	4000	
	cp	500	0.5	0.7	65	4000	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดทั่วไปของตารางที่ 3.1

t : การฝึกซ้อม (สมัครเล่นและอาชีพ)

r : กิจกรรมนันทนาการทั่วไป

ca : การแข่งขันระดับชาติ (สมัครเล่น)

cp : การแข่งขันระดับชาติและนานาชาติ (อาชีพ)

E : ความเข้มแสงเฉลี่ยต่ำสุดในแนวระดับที่ระดับพื้นดิน
ถ้ามีเครื่องหมาย * คือความเข้มแสงเฉลี่ยต่ำสุดในแนวดิ่ง

n.a. : ไม่มีข้อมูล

U_l : ความสม่ำเสมอ 1 : E_{min} / E_{max}

U_0 : ความสม่ำเสมอ 2 : E_{min} / E_{av}

R_a : ดัชนีการให้สี

T_k : อุณหภูมิสีสัมพันธ์ (Kelvin)

Group : กลุ่มของสีตามมาตรฐาน CIE Publication No.83

ตารางที่ 3.2 พิกัดแสงจ้าแยงมาตรฐานสูงสุดสำหรับสนามกีฬา

Type of Application	GR_{max}
Lighting for training purpose	55
Lighting for competition purposes (Including CTV broadcasting)	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 Summary of recommended minimum lighting parameters

	Eh		Ev		Horizontal				Vertical			
					U_1		U_0		U0		U_1	
	PPA	TPA	PPA	TPA	PPA	TPA	PPA	TPA	PPA	TPA	PPA	TPA
Outdoor: - Recreational, include physical training	250	200	-	-	0.4	0.3	0.6	0.5	-	-	-	-
- Club and national competition	500	400	-	-	0.4	0.3	0.6	0.5	-	-	-	-
-International Competition	750	600	-	-	0.4	0.3	0.6	0.5	-	-	-	-
TV and/or film coverage												
TV/Film 25 m.	-	-	1000	700	0.5	0.3	0.6	0.5	0.5	0.3	0.6	0.5
75 m.	-	-	1400	1000	0.5	0.3	0.6	0.5	0.5	0.3	0.6	0.5
HDTV	-	-	2500	1750	0.7	0.6	0.8	0.7	0.7	0.6	0.8	0.7

PPA : Principal Playing Area

TPA : Total Playing Area

Eh : Illuminance level on a horizontal plane

Ev : Surface Illuminance level on a vertical plane

U1 : Uniformity Emin/Emax

U0 : Uniformity Emin/Eaverage

3.5 บทสรุป

การออกแบบระบบส่องสว่างของสนามกีฬาที่ดี จะต้องคำนึงถึงปัจจัยที่ได้กล่าวมาแล้ว รวมทั้งจะต้องคำนึงถึงมาตรฐานค่าความเข้มแสงเฉลี่ย ค่าความสม่ำเสมอ และพิกัดแสงจ้าแยงตาของแต่ละกีฬาด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด

4.1 บทนำ

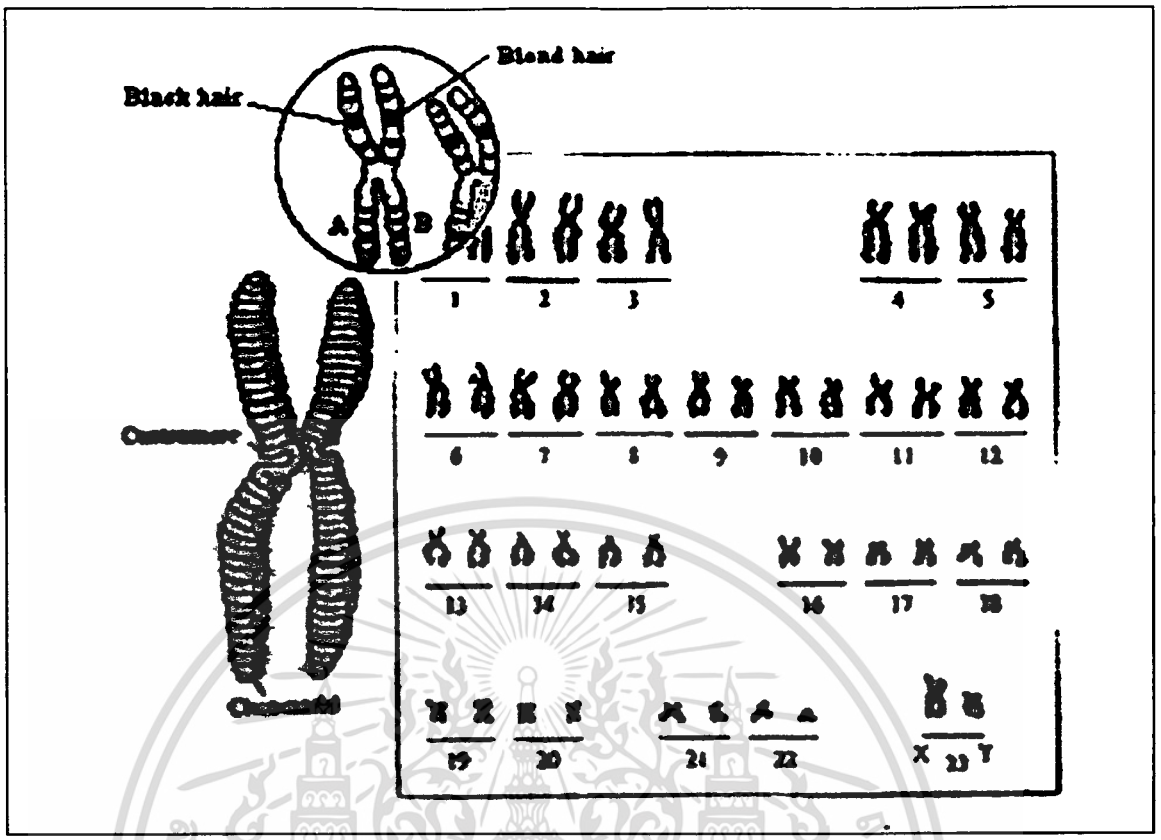
ในปัจจุบันปัญหาที่ต้องการคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) ทางวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ คอมพิวเตอร์ หรือในการทำงานต่างๆ ที่เกิดขึ้นมากมายนั้น สามารถหาคำตอบได้หลายๆวิธี ซึ่งแตกต่างกันไปตามชนิดของปัญหา ความคิด เทคนิค วิธีการวิเคราะห์ปัญหานั้นๆ และความแพร่หลายในการพัฒนาศักยภาพของคอมพิวเตอร์ให้รู้จักเรียนรู้เพื่อช่วยหาคำตอบหรือช่วยตัดสินในขั้นต้นมีมากขึ้น โดยปัจจุบันนี้นักวิทยาศาสตร์ได้เริ่มนำความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีหรือกฎเกณฑ์ทางด้านธรรมชาติเข้ามาช่วยในการศึกษาวิจัย เช่น นิวรอลเน็ตเวิร์ก (Neural Network) ฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) เป็นต้น จีเนติกอัลกอริทึมเป็นอีกวิธีหนึ่ง ที่จำลองรูปแบบวิธีการทางชีววิทยา ในการให้กำเนิดประชากรรุ่นใหม่ หรือขยายเผ่าพันธุ์ในรุ่นลูก รุ่นหลานต่อไป ซึ่งอาศัยพื้นฐานความคิดของวิวัฒนาการทางธรรมชาติถ่ายทอดลักษณะต่างๆ ทางพันธุกรรม โดยปฏิบัติตามกระบวนการทางด้านพันธุศาสตร์ เพื่อจะใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงที่สุดของปัญหาโดยคอมพิวเตอร์

4.2 จีเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms)

พันธุศาสตร์ทางชีววิทยา

เมนเดล (Mendel) บิดาแห่งวิชาพันธุศาสตร์ ค้นพบว่า ยีนส์ (Genes) หน่วยเก็บลักษณะทางด้านกรรมพันธุ์เป็นตัวกำหนดลักษณะภายนอก ซึ่งยีนส์หลายๆยีนส์จะเรียงตัวกันอยู่บนเส้นโครโมโซม (Chromosome) อีกทีหนึ่ง ในเซลของสิ่งมีชีวิต โดยจะอยู่กันเป็นคู่ๆ แต่จะแตกต่างกันที่ค่าลักษณะต่างๆ ในแต่ละยีนส์เรียกว่าแอลลี (Allele) ซึ่งแบบต่างๆ ของยีนส์ที่มีแอลลีต่างกันในแต่ละตำแหน่งยีนส์เดียวกันเรียกว่า ยีโนไทป์ (Genotype) สำหรับลักษณะภายนอกที่ปรากฏออกมาให้เห็น เรียกว่า ฟีโนไทป์ (Phenotype) เช่น ในคนจะมีโครโมโซม 23 คู่ 46 โครโมโซม ซึ่งแต่ละโครโมโซมจะประกอบด้วยยีนส์ต่าง ๆกันราว 1250 ยีนส์ ตัวอย่างคู่โครโมโซมที่ 1 ในคนดังรูปที่ 4.1 ซึ่งประกอบด้วยยีนส์ลักษณะสีผม สีผิว สีตา และอื่นๆ อีกประมาณ 1247 ลักษณะ และโครโมโซม 1A มีแอลลีของยีนส์ลักษณะสีผมคือ ผมสีดำ ส่วนโครโมโซม 1B มีแอลลีของยีนส์ลักษณะสีผมคือ ผมสีบลอนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



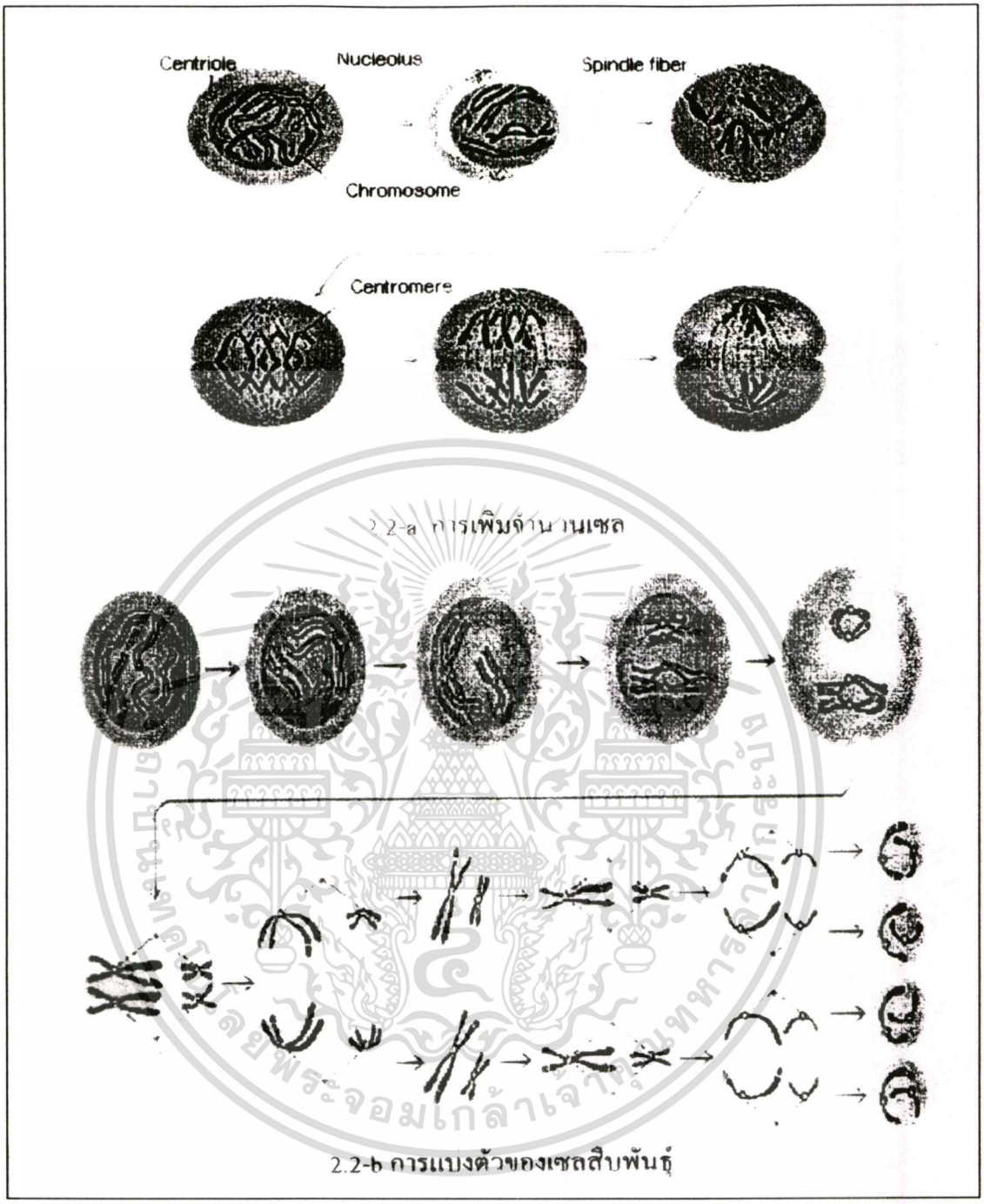
รูปที่ 4.1 แสดงโครโมโซมทางพันธุศาสตร์

การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมเป็นการถ่ายทอดลักษณะต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นเมื่อมีการแบ่งตัวของเซลสิ่งมีชีวิต ซึ่งมี 2 แบบคือ

1. การเพิ่มจำนวนเซล เป็นการแบ่งตัวแบบไมโตสิส (Mitosis) โครโมโซมแต่ละตัวจะขยายตัวเพิ่มจำนวนตัวเองขึ้นเป็นสอง และเยื่อหุ้มนิวเคลียส (Nucleous) จะสลายลงเพื่อดึงแยกโครโมโซมที่เพิ่มจำนวนขึ้นออกจากโครโมโซมเดิมเป็นสองด้าน แล้วเยื่อหุ้มนิวเคลียสจะถูกสร้างขึ้นใหม่กลายเป็นเซลใหม่ 2 เซล ที่มีโครโมโซมเหมือนเดิม ดังรูปที่ 4.2-a

2. การแบ่งตัวของเซลสืบพันธุ์ เป็นการแบ่งตัวแบบไมโอสิส (Meiosis) โดยโครโมโซมจากเซลพ่อ 1 โครโมโซม และโครโมโซมจากเซลแม่ 1 โครโมโซม จะเริ่มจับคู่กันที่โครโมโซมชนิดเดียวกัน ในขณะเดียวกันโครโมโซมแต่ละตัวทั้งที่มาจากพ่อและมาจากแม่ ต่างก็จำลองแบบของตนเพิ่มขึ้นมาอีกแต่ละโครโมโซม ทำให้ได้จำนวนโครโมโซมทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า และดำเนินการทางพันธุกรรมจนถึงระยะแบ่งตัว โครโมโซมพ่อพร้อมกับแบบจำลองและโครโมโซมแม่พร้อมกับแบบจำลองที่ได้จะแยกคู่ไปรวมกันเป็น 2 นิวเคลียส กลายเป็นเซลใหม่ 2 เซล ซึ่งจะแบ่งตัวต่อทันที โดยแต่ละโครโมโซมพ่อแยกตัวออกจากแบบจำลอง และโครโมโซมแม่ก็แยกตัวออกจากแบบจำลองรวมกันเป็นเซลใหม่ 4 เซล ดังรูปที่ 4.2-b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2.2-a การเพิ่มจำนวนเซล

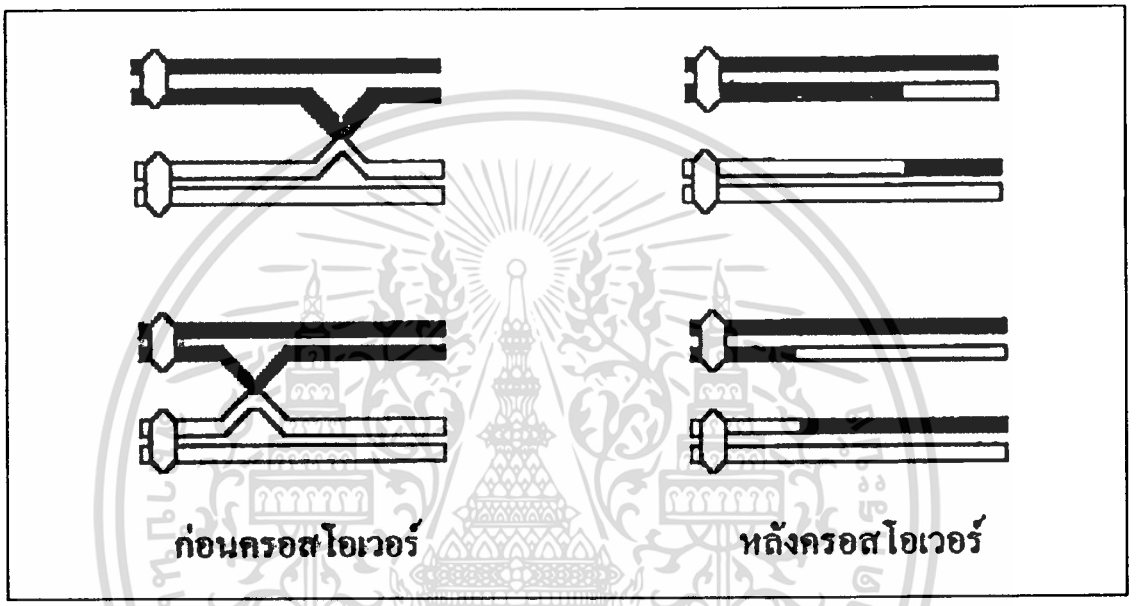
2.2-b การแบ่งตัวของเซลสืบพันธุ์

รูปที่ 4.2 การแบ่งตัวของเซลทางพันธุศาสตร์

วิธีการทางพันธุศาสตร์ในระหว่างที่เกิดการแบ่งตัวของไมโอสิสนั้น โครโมโซมจะมีโอกาสแลกเปลี่ยนส่วนบางส่วนซึ่งกันและกัน อันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ครอสโอเวอร์ (Crossover) ของลักษณะต่างๆ ขึ้น ซึ่งการครอสโอเวอร์นั้นเกิดขึ้น ขณะที่มีการจำลองแบบเพิ่มขึ้น และเกิดขั้นระหว่างโครโมโซมพ่อกับโครโมโซมแม่ ไม่ใช่เกิดขึ้นระหว่างโครโมโซมพ่อกับแบบจำลอง ซึ่งการครอสโอเวอร์จะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนลักษณะของยีนส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างๆ ของคู่โครโมโซมพ่อกับแม่ โดยเนื่องจากยีนส์แต่ละยีนส์ที่เรียงตัวกันบนเส้นโครโมโซมนั้นไม่ได้อยู่กันอย่างหนาแน่น แต่มีระยะห่างกันอย่างไม่สม่ำเสมอ เพราะคุณสมบัติของยีนส์นั้น เป็นโมเลกุลของสารโปรตีนประกอบตัวกันทางเคมี ช่องว่างระหว่างยีนส์นี่เองจะเป็นตำแหน่งที่แตกออกมาได้เวลาจะครอสโอเวอร์ และแลกเปลี่ยนยีนส์ของโครโมโซมโดยส่วนที่อยู่หลังรอยแตกโดยจะถูกย้ายไปอยู่อีกโครโมโซมหนึ่งทั้งหมด นอกจากนี้ยังจะสามารถแตกอีกกี่แห่งก็ได้ ซึ่งผลนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถที่จะเชื่อมกันมากน้อยเพียงไรของช่องว่างระหว่างยีนส์ ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การครอสโอเวอร์ทางพันธุศาสตร์

ประโยชน์ที่เกิดจากการครอสโอเวอร์ที่เราจะเห็นได้คือ ทำให้มีโอกาสที่จะได้ลักษณะต่างๆกันมาอยู่รวมกันได้หลายแบบมากขึ้น ทำให้สิ่งที่มีชีวิตรุ่นลูกที่เกิดขึ้นมามีความหลากหลายมากขึ้น และอาจทำให้มีโอกาสเกิดสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะต่างๆ ที่ดีพอเหมาะรวมอยู่ด้วยกันได้อย่างพอดี เหมาะสมกับสิ่งแวดล้อม ถ้าการเกิดเซลใหม่โดยถ่ายทอดโครโมโซมไม่มีการครอสโอเวอร์แล้ว โครโมโซมใดเคยมียีนส์ลักษณะใด ก็จะมีลักษณะนั้นอยู่เรื่อยๆ รุ่นลูกก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกัน โอกาสที่สิ่งมีชีวิตนั้นจะเจริญ หรือปรับตัวให้ดีขึ้นย่อมมีได้ยากกว่าการเปลี่ยนลักษณะยีนส์ใหม่ หลายๆ แบบมากขึ้น

ลักษณะต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตจะสามารถอยู่รอดได้โดยการคัดเลือกทางธรรมชาติคือ คัดเลือกโครโมโซม ที่มีลักษณะที่ทำให้สิ่งมีชีวิตแข็งแรงเพียงพอ หรือเหมาะสมกับสภาพแวดล้อม ซึ่งจะสามารถอยู่รอดและถ่ายทอดไปยังลูกหลาน ดังนั้นการคัดเลือกของธรรมชาติเพื่อถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม เป็นเพียงส่วนประกอบของการเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตเท่านั้น มิวเตชัน (Mutation) หรือการผ่าเหล่าคือการเปลี่ยนแปลงลักษณะของยีนส์ไปจากเดิมที่ควรจะเป็นไปตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การถ่ายทอด ซึ่งเป็นต้นเหตุของการเกิดลักษณะที่แปลกๆ ออกไปมากมายสำหรับสิ่งมีชีวิตหนึ่งๆ ซึ่งเท่ากับเป็นการให้โอกาสแก่ธรรมชาติในการที่จะเลือกลักษณะแปลกๆ มากขึ้น เนื่องจากขบวนการวิวัฒนาการโดยธรรมชาติเองนั้นช้ามาก เพราะกว่าที่ธรรมชาติจะปรับสภาพแวดล้อมให้สิ่งมีชีวิตค่อยๆ ปรับตัวเองให้เหมาะสมนั้น มีโอกาสน้อยมาก การผ่าเหล่านั้นทุกลักษณะในแต่ละยีนส์ย่อมมีโอกาสที่จะเกิดความเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมได้พอๆ กัน และถ้าเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมขณะนั้นๆ ก็จะไม่ถูกคัดเลือกและหายไป ซึ่งข้อสรุปนี้ได้จากการทดลองโดยการนำเอายีนส์ของแบคทีเรียมาผสมกัน และจัดสภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการผสมแล้ว ยีนส์จะปรับตัวเองเพื่อเร่งขบวนการผสมพันธุ์จนได้ผลดีในรุ่นหลังๆ ตัวอย่างของการผ่าเหล่าในอดีตคือการกำเนิดของปลาทองนั้น มีต้นกำเนิดมาจากการกลายพันธุ์หรือผ่าเหล่าของปลาชิว และในปัจจุบันลักษณะใหม่ที่เกิดจากการผ่าเหล่าก็ยังคงมีให้เห็นอยู่ เช่น ความสามารถของเชื้อโรคแบคทีเรียในการต้านทานต่อยาฆ่าเชื้อ หรือเซลผิดปกติอันเกิดจากกัมมันตภาพรังสีต่าง ๆ ซึ่งมีผลต่อสารภายในเซลทำให้ลักษณะของยีนส์เปลี่ยนไป ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.4 เป็นต้น

รูปที่ 4.4 การมิวเตชันทางพันธุศาสตร์

จีเนติกอัลกอริทึมเบื้องต้น

ปี ค.ศ. 1975 John Holland เริ่มสนใจศึกษาในทฤษฎีวิวัฒนาการทางธรรมชาติ (Natural Evolution) ในการกำเนิดประชากร (Population) สิ่งมีชีวิตในรุ่นต่อๆ ไป โดยกระบวนการธรรมชาติทางชีววิทยาประกอบด้วยการคัดเลือกทางธรรมชาติ (Natural Selection) คือสิ่งมีชีวิตใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แข็งแรงกว่าย่อมมีโอกาสอยู่รอดได้มากกว่า นั่นหมายถึงการมีโครโมโซมซึ่งประกอบด้วยยีนส์ต่างๆ ที่มีลักษณะดีนั้น จะมีโอกาสอยู่รอดได้มากกว่า โครโมโซม ที่สามารถอยู่รอดได้ก็จะถูกถ่ายทอดยีนส์ที่มีลักษณะที่ดีเหล่านั้นไปยังลูกหลานได้มากกว่าเช่นกัน และกระบวนการทางพันธุศาสตร์ (Genetic Operation) คือการกำเนิดโครโมโซมใหม่โดยการผสมพันธุ์เพื่อถ่ายทอดยีนส์จากครอสโอเวอร์ หรือกลายพันธุ์จากมิวเตชัน

จากความเชื่อในวิวัฒนาการทางธรรมชาติ ที่แสดงถึงคุณลักษณะที่เป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตโดยการถ่ายทอดลักษณะต่างๆ บนโครโมโซมนั้นมีคุณสมบัติทั่วไปที่ยอมรับกันคือ

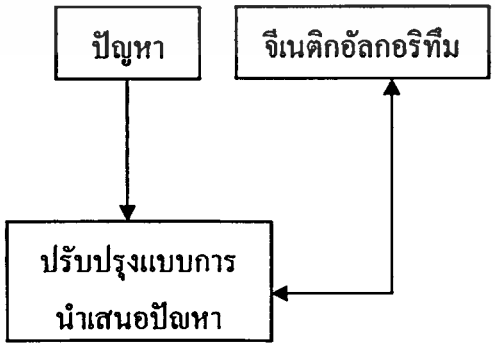
1. วิวัฒนาการเป็นผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงบนโครโมโซม ที่เป็นอยู่ซึ่งแสดงลักษณะของสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ

2. ธรรมชาติทางการคัดเลือกมีความสัมพันธ์กับโครโมโซมที่แสดงถึงประสิทธิภาพของโครงสร้างที่ดี ที่จะคัดเลือกเพื่อถ่ายทอดส่วนของโครงสร้างที่ดี

3. การถ่ายทอดในขณะที่เกิดวิวัฒนาการนั้น โครโมโซม พ่อ-แม่ มีการแลกเปลี่ยนส่วนโครงสร้างกัน เพื่อสร้างโครโมโซม ลูก และเหตุผลที่ทำให้เกิดโครโมโซม ลูกที่แตกต่างกันออกไปคือขบวนการผ่าเหล่า

4. วิวัฒนาการทางธรรมชาติมิได้เป็นสิ่งที่เกิดจากการจดจำ แต่เป็นกระบวนการที่เกิดจากโครงสร้างต่างๆ ในโครโมโซม ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นในขณะนั้น

Holland คิดว่าแนวความคิดจากคุณสมบัติเหล่านี้ น่าจะนำมาปรับใช้กับคอมพิวเตอร์ให้ช่วยแก้ปัญหาที่ยุ่งยากต่างๆ ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงที่สุด เขาจึงได้ทำการวิจัยโดยจำลองแบบเพื่อทดลองกับปัญหาแบบต่างๆ โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาระบบปรับปรุงการประมวลผลเอง (Self Adaptive Process) และเพื่อสร้างโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญ (Artificial System Software) เพื่อแก้ปัญหา โดยอาศัยแนวความคิดของระบบทางธรรมชาติ และค้นพบวิธีการใหม่ซึ่งเรียกว่า จีเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms : GA)



รูปที่ 4.5 หลักการเบื้องต้นของ GA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 แสดงหลักการเบื้องต้นในการใช้ GA แก้ปัญหา โดยจะต้องมีการปรับปรุงรูปแบบปัญหาในการนำเสนอ GA ในลักษณะที่เหมาะสม เพราะ GA เป็นวิธีการค้นหาคำตอบโดยอาศัยวิธีการเลียนแบบการคัดเลือกทางธรรมชาติ และธรรมชาติทางพันธุกรรมโดยการรวมกันหรือสลับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ อันเป็นองค์ประกอบโครงสร้างของปัญหาที่ให้คำตอบที่ต้องการ ซึ่งอาศัยหลักการสุ่ม เพื่อปรับปรุงความสามารถในการค้นหาคำตอบที่ดีขึ้น การค้นหาคำตอบจากรุ่นหนึ่งไปรุ่นถัดไปตามวิวัฒนาการทางธรรมชาตินั้น คำตอบในรุ่นใหม่เกิดขึ้นจากากรสร้างความสัมพันธ์ของโครงสร้างต่างๆ ที่ประกอบด้วยค่าตัวแปรที่เหมาะสมดีในรุ่นก่อน ดังนั้นจึงทำให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น จะเห็นได้ว่าวิธีการพื้นฐานของ GA เป็นแบบการสุ่ม แต่มีหลักการและประสิทธิภาพจากการคาดเดาคำตอบใหม่จากสถิติคำตอบเดิมที่ดี ซึ่งแตกต่างจากวิธีการทั่วไปคือ

1. GA ค้นหาคำตอบภายใต้โครงสร้างของปัญหาอันเกิดจากการกำหนดรหัส (Coding) รูปแบบโครงสร้างจากกลุ่มตัวแปรต่างๆ ของปัญหานั้น ไม่ใช่ค้นหาคำตอบจากค่าของกลุ่มตัวแปรนั้น

2.GA ค้นหาคำตอบโดยพิจารณาจากประชากรคำตอบ หรือกลุ่มคำตอบ ไม่ใช่พิจารณาจากคำตอบใดคำตอบหนึ่ง

3.GA ค้นหาคำตอบจากผลลัพธ์ของกลุ่มค่าตัวแปรที่เป็นฟังก์ชันเป้าหมายของปัญหา

4.GAค้นหาคำตอบโดยอาศัยการถ่วงน้ำหนักความเหมาะสมของแต่ละคำตอบจากกลุ่มคำตอบนั้นๆ

ฟังก์ชันเป้าหมายกับฟังก์ชันความเหมาะสม

การหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาของ GA มีพื้นฐานอยู่บนผลลัพธ์จากากรหาคำตอบที่ผ่านมา วิธีการของ GA จะไม่พิจารณาจากขั้นตอนของการแก้ปัญหา แต่จะพิจารณาโดยตัดสินว่าคำตอบที่ได้รับดีขึ้นหรือไม่ หรือเป็นคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ต้องการหรือไม่ จากฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function : f) เนื่องจากแต่ละปัญหาจะสามารถกำหนดฟังก์ชันเป้าหมายซึ่งเป็นฟังก์ชันที่แสดงความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปร พารามิเตอร์ เงื่อนไข หรือข้อกำหนดต่างๆ ของปัญหานั้นๆ ที่ระบุคำตอบใดคำตอบหนึ่งที่สามารถเป็นไปได้ ณ ค่าพารามิเตอร์ เงื่อนไข หรือข้อกำหนดชุดดังกล่าว สำหรับฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function : F) เป็นฟังก์ชันที่กำหนดค่าความเหมาะสม (Fitness) ของแต่ละโครโมโซมเปรียบเสมือค่าความสามารถในการอยู่รอดของแต่ละโครโมโซมและเป็นฟังก์ชันที่กำหนดโอกาส หรือสัดส่วนที่แต่ละโครโมโซมเหมาะสมจะถูกคัดเลือกมากน้อยเพียงใด นั่นคือฟังก์ชันความเหมาะสมจะเป็นฟังก์ชันที่แสดงถึงค่าคำตอบที่เกิดขึ้นจากชุดตัวแปรของปัญหาของโครโมโซมนั้นดีเพียงใด โดยทั่วไปแล้วเรามักใช้ฟังก์ชันเป้าหมายเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันความเหมาะสม หรืออาจใช้ฟังก์ชันเป้าหมายที่ถูกปรับให้เหมาะสมกับการนำเสนอ GA เป็นฟังก์ชันความเหมาะสมก็ได้

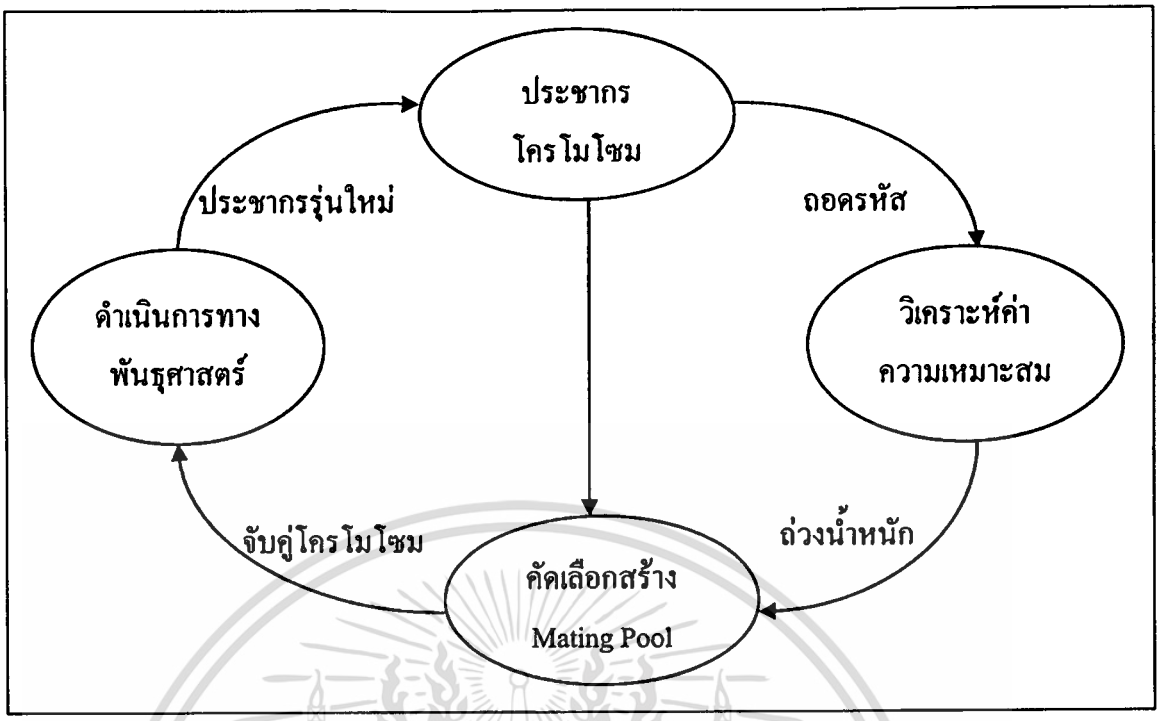
รูปแบบโครโมโซม

เราทราบกันแล้วว่าวิวัฒนาการทางธรรมชาติชีววิทยานั้นเป็นความเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตเกิดขึ้นในโครโมโซม ดังนั้นจุดเริ่มต้นของการจำลองแบบทางธรรมชาติของ GA เพื่อใช้แก้ปัญหาจึงเริ่มจากกรมองปัญหาเทียบเท่ากับโครโมโซมชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยยีนส์ลักษณะต่างๆ ซึ่งหมายถึงลำดับข้อมูลต่างๆ ที่จะแปลความหมายแล้วให้ค่าคำตอบของปัญหาค่าหนึ่ง การมองภาพยีนส์ของ GA ให้ถือเสมือนยีนส์ทางด้านกรรมพันธุ์ ในทางพันธุศาสตร์นั้นยีนส์เป็นตัวแสดงลักษณะที่อยู่รอดในสภาพแวดล้อมขณะนั้น สำหรับ GA นั้นยีนส์เป็นตัวแสดงลักษณะที่อยู่รอดในสภาพแวดล้อมขณะนั้น สำหรับ GA นั้นยีนส์เป็นตัวแสดงคำตอบของปัญหาที่แปรผันไปตามการประยุกต์ใช้งาน ซึ่งโดยทั่วไปยีนส์หมายถึงตัวแปร พารามิเตอร์ เงื่อนไข หรือข้อกำหนดต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของปัญหา ดังนั้นการกำหนดรูปแบบโครโมโซมของแต่ละปัญหาโดยการแปลงตัวแปร พารามิเตอร์ เงื่อนไข หรือข้อกำหนดต่างๆ ให้อยู่ในรูปลำดับของยีนส์บนโครโมโซม หรือเรียกว่าสตริง (String) อันประกอบด้วยบิท (Bit) หรือเรียกว่าอักขระ (Character) ซึ่งลักษณะต่างๆ ที่เป็นได้ของแต่ละยีนส์คือค่าของบิท (Bit Value) หรือค่าตัวแปร พารามิเตอร์ ต่างๆ ที่เป็นไปได้ และรูปแบบของค่าบิทที่จัดเรียงบนโครโมโซมคือ ยีโนไทป์ (Genotype) ที่จะแสดงถึงค่าของตัวแปรพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เป็นไปได้ชุดหนึ่งหรือ ฟีโนไทป์ (Phenotype) นั่นเอง การกำหนดรูปแบบโครโมโซมของปัญหาให้เป็นตามธรรมชาติ โดยกำหนดรหัสในรูปแบบตัวเลขหรือตัวอักษรในช่วงที่จำกัดตามค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ และประกอบรวมกันในจำนวนยีนส์หรือความยาวของโครโมโซมที่คงที่ เช่น หากต้องการหาค่าสูงสุดของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ $y = x^2$ที่ x เป็นจำนวนเต็มอยู่ในช่วง [0,31] แล้ว วิธีการของ GA ในการแก้ปัญหาโดยกำหนดรูปแบบโครโมโซมจากการกำหนดรหัสเป็นตัวแปร x เป็นตัวเลขไบนารี 0 หรือ 1 จำนวน 5 ตำแหน่ง ซึ่ง x จะมีค่าตั้งแต่ 00000 ถึง 11111 เป็นค่า 0 ถึง 31 ตามต้องการ เป็นต้น

วัฏจักรจีเนติกอัลกอริทึม

เมื่อกำหนดรูปแบบโครโมโซมและฟังก์ชันความเหมาะสมของปัญหาแล้ว GA จะสามารถประมวลผลหาคำตอบของปัญหาได้ โดยสร้างวิวัฒนาการกลุ่มคำตอบในรุ่นต่อไปตามวัฏจักรการทำงานของ GA (Genetic Algorithms Cycle) ดังรูปที่ 4.6 ซึ่งมี 4 ขั้นตอนคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 วัฏจักรจีเนติกอัลกอริทึม

1. สร้างประชากรโครโมโซมรุ่นเก่าตามรูปแบบโครโมโซมที่กำหนดไว้ โดยประชากรต้นกำเนิด (Initial Population) เกิดจากการสร้างชุดโครโมโซมต้นกำเนิด จากการสุ่มสร้างค่าแต่ละบิทของแต่ละโครโมโซม

2. วิเคราะห์ค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม โดยถอดรหัสค่าตัวแปร พารามิเตอร์ต่างๆ ของแต่ละบิทในโครโมโซม และคำนวณค่าความเหมาะสมจากฟังก์ชันความเหมาะสมที่กำหนดไว้

3. สร้าง Mating Pool คือชุดโครโมโซมต้นแบบหรือชุดโครโมโซมพ่อ-แม่ ที่สามารถอยู่รอดเป็นต้นแบบ ซึ่งอาศัยการจำลองการคัดเลือกทางธรรมชาติ โดยพิจารณาถ่วงน้ำหนักจากค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม หากโครโมโซมใดมีค่าความเหมาะสมมากก็จะมีโอกาสถูกคัดเลือกเป็นต้นแบบมาก

4. ดำเนินการทางพันธุศาสตร์โดยสุ่มจับคู่โครโมโซมต้นแบบใน Mating Pool เพื่อสร้างประชากรโครโมโซมรุ่นใหม่ ซึ่งตัวดำเนินการทางพันธุศาสตร์ประกอบด้วย ครอสโอเวอร์ โดยการแลกเปลี่ยนค่าบิทบางส่วนของโครโมโซมซึ่งกันและกัน หรือมิวเตชัน โดยสุ่มเปลี่ยนค่าบิทบางบิทของแต่ละโครโมโซม เป็นต้น

การค้นหาคำตอบของ GA จะประมวลผลซ้ำตามวัฏจักร GA จนกว่าจะได้รับคำตอบที่พอใจตามกฎเกณฑ์ที่ตั้งไว้ หรือในระยะเวลาตามจำนวนรุ่นที่ดำเนินการที่ต้องการ ซึ่งแสดงอัลกอริทึมการทำงานของ GA ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

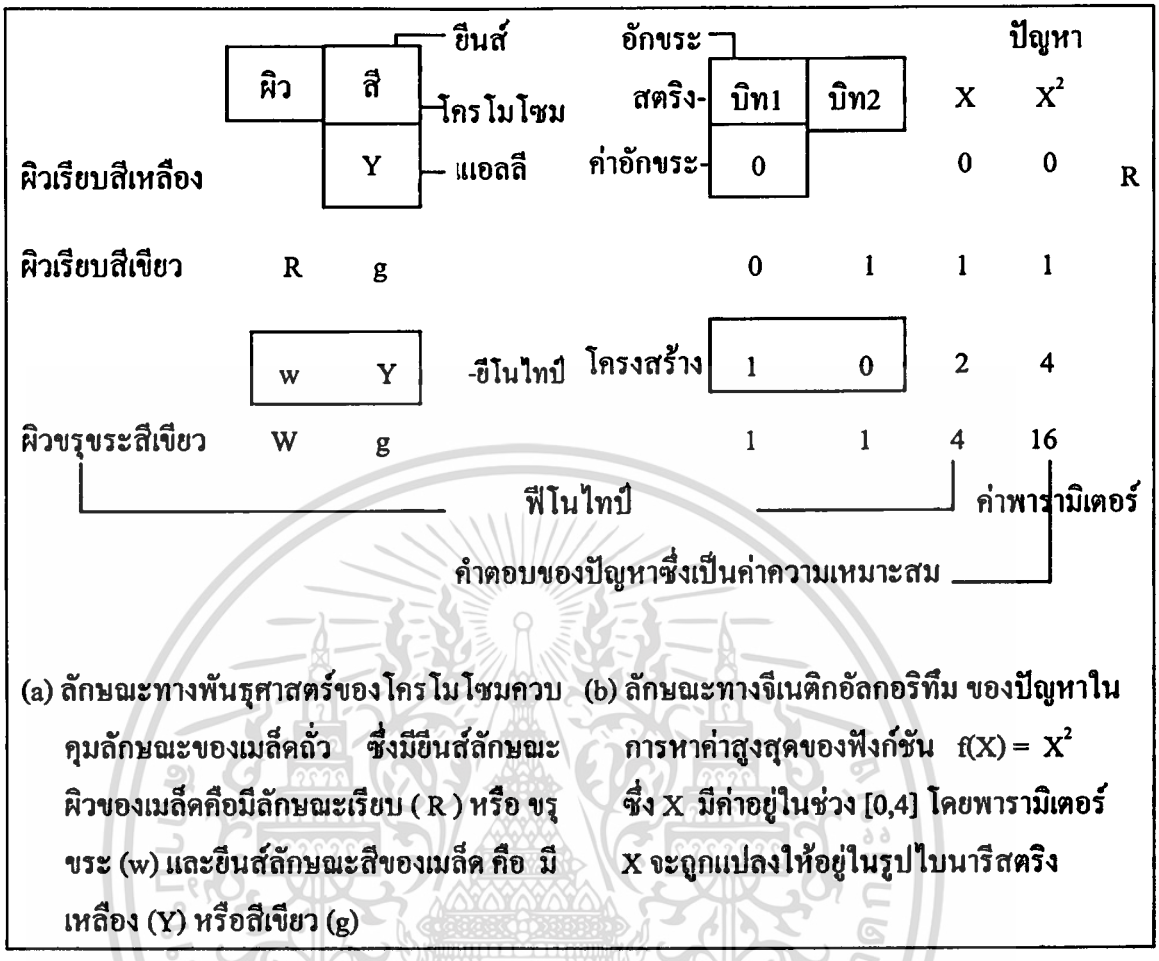
อัลกอริทึม GA

```
BEGIN
    t := 0;
    //สร้างประชากรโครโมโซมต้นกำเนิดโดยการสุ่ม
    Initpopultion P(t);
    // วิเคราะห์ค่าความเหมาะสมแต่ละโครโมโซมประชากรต้นกำเนิด
    Evaluate P(t);
    // ตรวจสอบเงื่อนไขความพอใจ (เช่น เวลา, ค่าความเหมาะสม เป็นต้น)
    while not terminate
    begin
        t := t+1;
        // คัดเลือกโครโมโซมต้นแบบจากประชากรรุ่นก่อน
        P′(t) : =Selectparents P(t-1);
        //แลกเปลี่ยนส่วนยีนส์ภายในโครโมโซมต้นแบบ
        Recombine P′(t);
        //มิวเตชันโครโมโซมต้นแบบ
        Mutation P′(t);
        // วิเคราะห์ค่าความเหมาะสมของประชากรรุ่นใหม่
        Evaluate P′(t);
        //ประชากรรุ่นใหม่กลายเป็นประชากรรุ่นเก่าต่อไป
        P(t) :=P′(t);
    end;
END.
```

พันธุศาสตร์ทางชีววิทย กับจีเนติกอัลกอริทึม

เพื่อเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างทางพันธุศาสตร์กับจีเนติกอัลกอริทึม แล้วเรากล่าวโดยสรุปได้คือ ในทางพันธุศาสตร์ แต่ละโครโมโซม ประกอบด้วยหน่วยเก็บลักษณะหรือยีนส์ ซึ่งเก็บค่าแสดงลักษณะ หรือแอลลี และแต่ละแบบของชุดยีนส์เรียกว่าฟีโนไทป์ ซึ่งแสดงลักษณะภายนอกที่ปรากฏเรียกว่า ฟีโนไทป์ ดังรูปที่ 4.7-a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 รายละเอียดทางพันธุศาสตร์กับจีเนติกอัลกอริทึม

สำหรับในทางจีเนติกอัลกอริทึม ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ของปัญหาจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของสตริง ซึ่งมักเรียกว่าโครโมโซม ประกอบด้วยอักขระ หรือบิท แต่ละตำแหน่งของโครโมโซมจะเก็บค่าอักขระหรือค่าของบิท ที่แสดงถึงโครงสร้างของแต่ละโครโมโซมที่มีค่าตัวแปรหรือค่าพารามิเตอร์ของปัญหาแตกต่างกัน และเป็นตัวกำหนดค่าความเหมาะสมตามฟังก์ชันความเหมาะสมของแต่ละปัญหา ดังรูปที่ 4.7-b ซึ่งสรุปความหมายเปรียบเทียบคำศัพท์ ที่ใช้ทางพันธุศาสตร์กับทางจีเนติกอัลกอริทึม ดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 คำศัพท์ทางพันธุศาสตร์ กับทางจีเนติกอัลกอริทึม

Natural Genetic	Genetic Algorithm
chromosome	string
gene	character, bit
allele	character value, bit value
locus	string position
genotype	structure
phenotype	a decode structure

ไดอะแกรมในรูปที่ 4.8 แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ขั้นเตรียมการและขั้นตอนการทำงาน

สำหรับในส่วนของขั้นเตรียมการนั้นเป็นส่วนของการปรับรูปแบบของปัญหาให้เหมาะสมกับการนำเสนอ GA เพื่อใช้ในการแก้ปัญหานั้นๆ ประกอบด้วย

1. กำหนดฟังก์ชันความเหมาะสม เพื่อความสะดวกและง่ายต่อความเข้าใจในขั้นตอนการทำงานต่างๆ จะกำหนดตัวอย่างปัญหาสำหรับอธิบายรายละเอียดการหาคำตอบของอัลกอริทึมคือ ปัญหาการหาค่าสูงสุดของฟังก์ชัน $y = x^2$ ที่ x มีค่าระหว่างจำนวนเต็ม [0 , 3 1] ดังนั้น

ตัวอย่าง : ฟังก์ชันเป้าหมายคือ $f = x^2$

และกำหนดให้ฟังก์ชันความเหมาะสมคือ $F = x^2$

ซึ่งคำตอบที่ดีที่สุดคือ ค่า x ที่มีค่าความเหมาะสมสูงสุด (MAX(F))

2. กำหนดรูปแบบโครโมโซม รูปแบบโครโมโซมของจีเนติกอัลกอริทึมนั้นเป็นแบบไบนารี โดยค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ของปัญหาจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของไบนารีโครโมโซม คือ ประกอบไปด้วยบิทที่มีค่าเป็น 0 หรือ 1 ซึ่งเป็นค่าในเลขฐานสอง และมีความยาว (Chromosome Length : lchrom) ตามแต่จะกำหนด ซึ่งแสดงด้วยสัญลักษณ์ ดังนี้

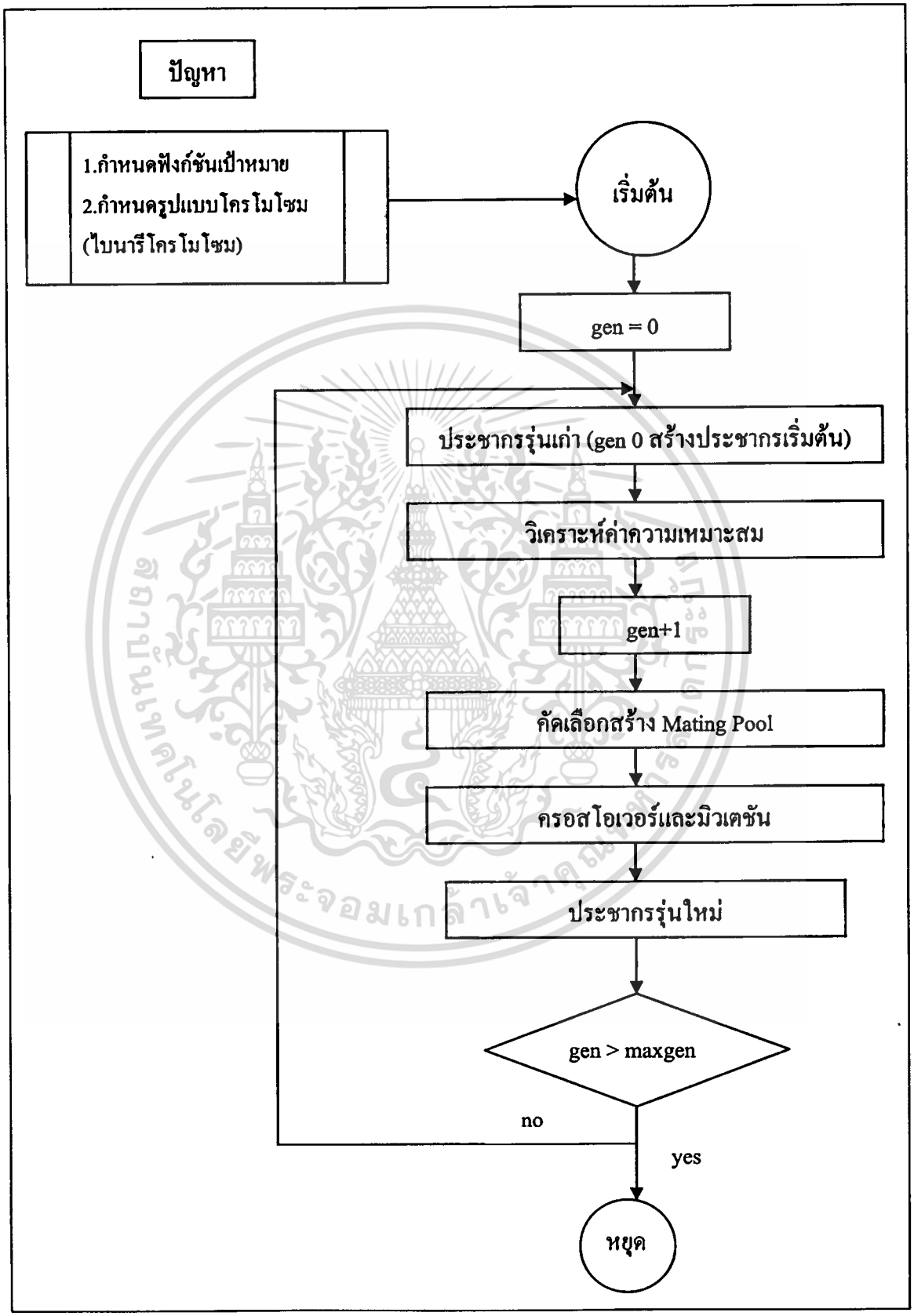
B_1	B_2	B_3		B_{lchrom}

ซึ่ง $B_i \in I[0,1]$

ตัวอย่าง : วิธีการเข้ารหัสแบบไบนารีโดยแปลงค่าพารามิเตอร์ x ให้อยู่ในรูป ไบนารีบิท 5 บิท (lchrom = 5) ดังนั้น โครโมโซมของปัญหาจะมีค่าอยู่ในช่วง 00000 ถึง 11111 ซึ่งเมื่อถอดรหัสแล้วจะทำให้ x มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 31 ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จีเนติกอัลกอริทึมแบบง่าย



รูปที่ 4.8 ไดอะแกรมการทำงานของจีเนติกอัลกอริทึมแบบง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของรายละเอียดขั้นตอนการทำงานของจีเนติกอัลกอริทึม จะเป็นขั้นพื้นฐานเบื้องต้นแบบง่ายประกอบด้วย

1. ประชากรรุ่นเก่า (Old Population) เป็นชุดโครโมโซมที่จะถูกคัดเลือกไปเป็นต้นแบบสำหรับสร้างประชากรรุ่นใหม่ (New Population) ในวิวัฒนาการรุ่น (Generation : gen) ต่อไป โดยประชากรเริ่มต้นที่ gen = 0 จะถูกสร้างขึ้นโดยการสุ่มตามจำนวนโครโมโซมในแต่ละรุ่น (Population Size : popsize) ที่กำหนด

ตัวอย่าง :

ลำดับ	โครโมโซม
1	0 1 1 1 0
2	1 1 0 0 1
3	0 1 0 0 0
4	1 0 0 1 1

ชุดโครโมโซมในรุ่นเริ่มต้นนี้เป็นชุดโครโมโซมที่กำหนดให้ในแต่ละรุ่นประกอบด้วย 4 โครโมโซม ซึ่งแต่ละโครโมโซมเกิดจากการสุ่มค่าไบนารี 0 หรือ 1 จำนวน 5 ครั้ง

2. วิเคราะห์ค่าความเหมาะสม เป็นขั้นตอนของการถอดรหัส จากรูปแบบโครโมโซมที่กำหนดไว้ เพื่อคำนวณค่าความเหมาะสมตามฟังก์ชันความเหมาะสมของปัญหาของแต่ละโครโมโซม ในที่นี้ฟังก์ชันเป้าหมายถึงฟังก์ชันความเหมาะสมคือ $F = X^2$ ดังนั้นการวิเคราะห์ค่าความเหมาะสมของจีเนติกอัลกอริทึม โดยถอดรหัสเลขฐาน 2 ของแต่ละโครโมโซมเป็นค่าของตัวแปร X และ คำนวณค่าความเหมาะสมคือ X^2

ตัวอย่าง :

ลำดับ	โครโมโซม	X	ค่าความเหมาะสม
1	0 1 1 1 0	14	196
2	1 1 0 0 1	25	625
3	0 1 0 0 0	8	64
4	1 0 0 1 1	19	361

ชุดโครโมโซมในรุ่นเริ่มต้นมีค่าความเหมาะสมเป็น 196, 625, 64 และ 361 ตามลำดับ

3. การคัดเลือก เป็นขั้นตอนที่จำลองแบบการคัดเลือกทางธรรมชาติเพื่อสร้าง Mating Pool โดยคัดเลือกชุดโครโมโซมรุ่นเก่าให้เป็นโครโมโซมต้นแบบหรือโครโมโซมพ่อแม่ เพื่อใช้สร้างโครโมโซมรุ่นลูกเป็นรุ่นต่อไป สำหรับการคัดเลือกของจีเนติกอัลกอริทึม เป็นแบบอ้างอิงค่าความเหมาะสม (Fitness-based Selection) โดยพิจารณาค่าความเหมาะสมเป็นตัวตัดสินว่า โครโมโซมรุ่นเก่ามีโอกาสถูกเลือกเป็นโครโมโซมพ่อแม่มากน้อยเพียงใด โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกกำหนดน้ำหนักค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกแต่ละครั้งสูง การกำหนดค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกต่อการสุ่มเลือกแต่ละครั้ง (Probability of Selected Value : pselect) ของแต่ละโครโมโซม โดยกำหนดจากค่าความเหมาะสม เทียบกับผลรวมของค่าความเหมาะสมทั้งหมด ดังสมการที่ 4.1

$$pselect_i = \frac{F_i}{\sum F} \tag{4.1}$$

ซึ่งสามารถคำนวณค่าที่คาดหวังว่าจะสุ่มได้ (Expected Value :E) ของแต่ละโครโมโซมในแต่ละรุ่น ดังสมการที่ 4.2

$$E_i = pselect_i * popsize = \frac{F_i}{F} \tag{4.2}$$

สำหรับวิธีการสุ่มโครโมโซมต้นแบบของจีเนติกอัลกอริทึมเป็นแบบจำลองการหมุนวงล้อถ่วงน้ำหนัก (Roullet Wheel :RW) ซึ่งกำหนดขนาดแต่ละช่องของวงล้อนั้นตามค่าความน่าจะเป็นที่จะสุ่มได้ในแต่ละครั้งของแต่ละโครโมโซม ซึ่งมีวิธีการดังนี้

1. หาค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม
2. หาค่าความน่าจะเป็นที่จะสุ่มได้ในแต่ละครั้งของแต่ละโครโมโซม
3. หาความถี่สะสม (q) ของค่าความน่าจะเป็นของแต่ละโครโมโซมดังสมการที่ 4.3

$$q_i = \sum_{j=1}^{i} pselect_j \tag{4.3}$$

4. สร้างเลขสุ่มจำนวนจริง (r) มีค่าอยู่ในช่วง [0,1]
5. เลือกโครโมโซมลำดับที่ r ซึ่ง r มีค่าอยู่ระหว่าง q_{i-1} และ q_i

ตัวอย่าง :

ลำดับ	โครโมโซม	X	ค่าความเหมาะสม (F)	ค่าความน่าจะเป็น ($pselect_i$)	จำนวนที่คาดหวัง (E_i)	จำนวนที่สุ่มได้จาก RW
1	0 1 1 1 0	14	196	0.157	0.628	1
2	1 1 0 0 1	25	625	0.502	2.008	2
3	0 1 0 0 0	8	64	0.051	0.204	0
4	1 0 0 1 1	19	361	0.290	1.160	1
	รวม		1246	1.000	4.000	
	ค่าเฉลี่ย		312	0.250	1.000	
	ค่าสูงสุด		625	0.502	2.008	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณค่าความน่าจะเป็น โดยกำหนดจากค่าความเหมาะสม เทียบกับผลรวมของค่าความเหมาะสมทั้งหมด จะเห็นได้ว่าในการคัดเลือกโครโมโซมต้นแบบจาก 4 โครโมโซมนี้ โอกาสที่จะสุ่มได้โครโมโซม 1 ต่อการสุ่มแต่ละครั้งเท่ากับ 0.157 และโอกาสที่จะสุ่มได้โครโมโซม 2, 3, 4 ต่อการสุ่มแต่ละครั้งเท่ากับ 0.502, 0.051 และ 0.290 ตามลำดับ และจำนวนโครโมโซมต้นแบบที่สุ่มได้โดยจำลองการหมุนวงล้อแสดงดังนี้

ลำดับโครโมโซม	1	2	3	4
ค่าความเหมาะสม	196	625	64	361
ค่าความน่าจะเป็นที่สุ่มได้แต่ละครั้ง ($pselect_i$)	0.157	0.502	0.051	0.290
ความถี่สะสมค่าความน่าจะเป็น(q_i)	0.157	0.659	0.710	1.000
สร้างเลขสุ่มในการหมุนวงล้อแต่ละครั้ง (r)	0.333	0.844	0.456	0.128
ลำดับโครโมโซมที่ถูกเลือก ($q_{i-1} \leq r \geq q_i$)	2	4	2	1

ซึ่งจำนวนที่สุ่มได้เป็นโครโมโซมต้นแบบใน Mating Pool ของแต่ละโครโมโซมเป็น 1, 2, 0 และ 1 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าโครโมโซมลำดับที่ 2 มีค่าความเหมาะสมสูงที่สุด จะมีโอกาสถูกคัดเลือกในจำนวนที่มากที่สุด ส่วนโครโมโซมลำดับที่ 3 มีค่าความเหมาะสมต่ำมาก จึงมีโอกาสที่จะไม่ถูกคัดเลือกเลย

4. ดำเนินการทางพันธุศาสตร์ เป็นขั้นตอนที่จำลองแบบธรรมชาติทางพันธุกรรม ซึ่งตัวดำเนินการทางพันธุศาสตร์ของจีเนติกอัลกอริทึม คือ ครอสโอเวอร์และมิวเตชัน รายละเอียดดังนี้

4.1 ครอสโอเวอร์ เป็นตัวดำเนินการในการแลกเปลี่ยนส่วนของโครโมโซมพ่อแม่ ตามการกำหนดอัตราความน่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์ (Probability of Crossover : Pc) เพื่อสร้างชุดโครโมโซมรุ่นใหม่หรือโครโมโซมลูก มีขั้นตอนการทำงานคือ

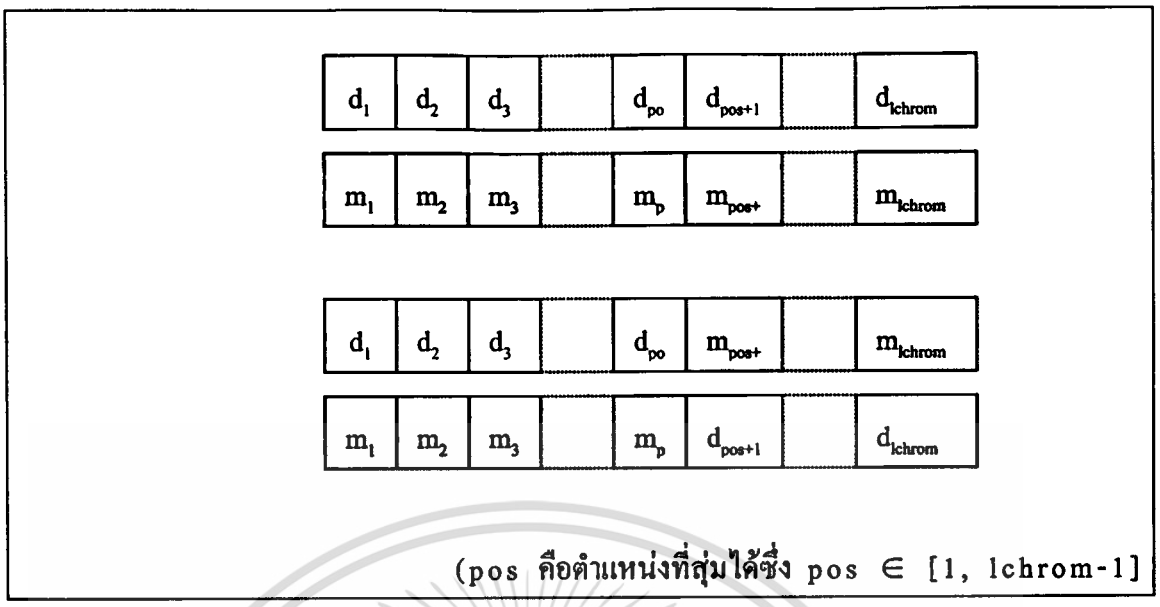
ขั้นตอนแรก : สุ่มจับคู่โครโมโซมพ่อแม่ใน Mating Pool ที่สร้างไว้จากการคัดเลือก

ขั้นตอนที่สอง : สร้างเลขสุ่มจำนวนจริง (r) มีค่าอยู่ในช่วง [0,1] โดยถ้า $r \leq Pc$ แล้ว โครโมโซมพ่อแม่นั้นจึงมีการครอสโอเวอร์

ขั้นตอนที่สาม : ครอสโอเวอร์โดยแลกเปลี่ยนส่วนของคู่โครโมโซมพ่อแม่นั้น ซึ่งการครอสโอเวอร์ของจีเนติกอัลกอริทึม เป็นการครอสโอเวอร์แบบ 1 จุด (One-Point Crossover) แสดงดังรูปที่ 4.9 ดังนี้

- สุ่มเลือกตำแหน่ง pos เป็นตำแหน่งที่จะครอสโอเวอร์ ซึ่ง pos มีค่าอยู่ในช่วง [1, lchrom-1]
- แลกเปลี่ยนค่าในแต่ละบิทของคู่โครโมโซมพ่อแม่ ตั้งแต่ตำแหน่งที่ pos+1 ถึง lchrom ซึ่งจะทำให้เกิดโครโมโซมลูกใหม่ 2 โครโมโซม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ครอสโอเวอร์แบบ 1 จุด

จำนวนการครอสโอเวอร์ในแต่ละรุ่นดำเนินการจะขึ้นอยู่กับการกำหนดค่า Pc ซึ่งแตกต่างกันไปในแต่ละปัญหา เช่น ถ้าจำนวนประชากรในแต่ละรุ่น popsize เท่ากับ 30 โครโมโซม และกำหนดให้ Pc = 0.6 แล้วจำนวนการครอสโอเวอร์ในแต่ละรุ่นเท่ากับ Pc * (popsize / 2) = 0.6 * (30/2) = 9 ครั้ง (การครอสโอเวอร์ 1 ครั้ง เกิดจากโครโมโซม 2 โครโมโซม)

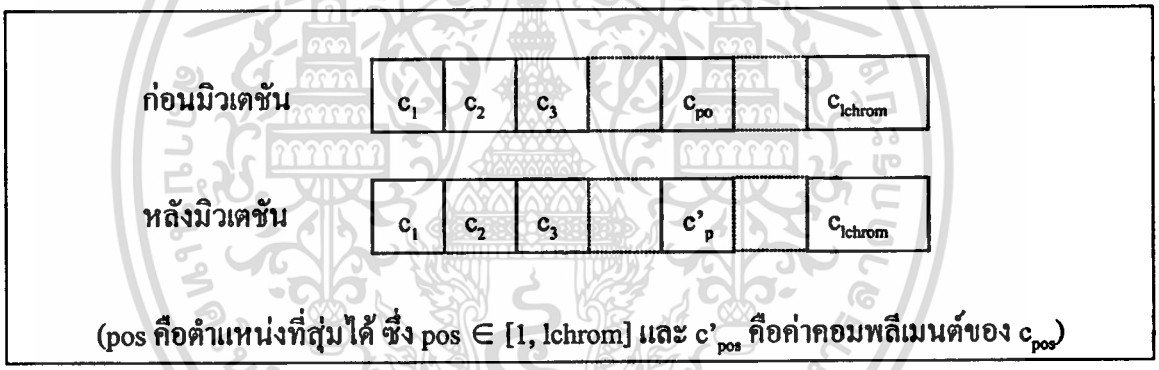
ตัวอย่าง : กำหนด Pc = 0.5 โครโมโซมพ่อแม่ใน Mating Pool จากการคัดเลือกครอสโอเวอร์ดังนี้

ลำดับที่คัดเลือก	Mating Pool	สุ่มจับคู่พ่อแม่	เลขสุ่ม (r)	ก่อนครอสโอเวอร์	สุ่มตำแหน่ง (pos)	หลังครอสโอเวอร์	X	ค่าความเหมาะสม (F)	ลำดับโครโมโซมลูก
2	11001	1, 2	0.321	0 1 1 1 0	2	0 1 1 1 0	9	81	1
4	10011		≤0.5			1 1 0	30	900	2
2	11001	2, 4	0.654	ไม่ครอสโอเวอร์		1 1 0 0 0	25	625	3
1	01110		>0.5			1 0 0 1 1	19	361	4
	รวม							1967	
	ค่าเฉลี่ย							492	
	ค่าสูงสุด							900	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการสุ่มจับคู่โครโมโซมพ่อแม่ใน Mating Pool ได้โครโมโซมลำดับที่ 1 คู่กับลำดับที่ 2 และลำดับที่ 2 คู่กับลำดับที่ 4 แต่เฉพาะโครโมโซมคู่แรกจะเกิดครอสโอเวอร์ เนื่องจากเลขสุ่ม r $\leq$0.5 ตามอัตราการครอสโอเวอร์ที่กำหนด โดยตำแหน่งในการครอสโอเวอร์ที่สุ่มได้คือ pos = 2 จะเห็นได้ว่าโครโมโซมลูกลำดับที่ 2 ที่เกิดขึ้นหลังจากครอสโอเวอร์มีค่าความเหมาะสมดีขึ้นกว่าโครโมโซมพ่อแม่ทั้งหมดในรุ่นก่อนเป็น 900 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการจำลองแบบกระบวนการครอสโอเวอร์ตามธรรมชาติทางพันธุศาสตร์ของจีเนติกอัลกอริทึม ช่วยสร้างคำตอบที่ดีขึ้น

4.2 มิวเตชัน เป็นตัวดำเนินการผ่าเหล่าตัวหนึ่งที่อาจช่วยให้โครโมโซม มีค่าความเหมาะสมดีขึ้น หลังจากครอสโอเวอร์ โดยกลับค่าของบิทใหม่ในตำแหน่งบิทที่สุ่มได้ ตามอัตราความน่าจะเป็นของการมิวเตชันในแต่ละบิท (Probability of Mutation : Pm) ที่กำหนดสำหรับการมิวเตชันของจีเนติกอัลกอริทึมนั้นเป็นแบบไบนารีมิวเตชัน (Binary Mutation) โดยกลับค่าบิทเป็นค่าคอมพลีเมนต์ คือจาก 0 เป็น 1 หรือจาก 1 เป็น 0 ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ไบนารีมิวเตชัน

จำนวนการมิวเตชันในแต่ละรุ่นขึ้นอยู่กับการกำหนดค่า Pm ซึ่งแตกต่างกันในแต่ละปัญหา เช่นถ้าจำนวนประชากรแต่ละรุ่น popsize เท่ากับ 30 โครโมโซม ซึ่งแต่ละโครโมโซมประกอบด้วย 5 บิท และกำหนดให้ Pm = 0.02 แล้ว จำนวนการมิวเตชันในแต่ละรุ่นเท่ากับ Pm * popsize * lchrom = 0.02 * 30 * 5 = 3 บิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง : กำหนด Pm = 0.1 ดำเนินการมิวเตชันโครโมโซมลูกที่ได้จากการครอสโอเวอร์ดังนี้

ลำดับ	ก่อนมิวเตชัน	เลขสุ่ม					หลังมิวเตชัน	X	ค่าความเหมาะสม (F)
1	0 1 0 0 0	0.581	0.346	0.062	0.785	0.401	0 1 1 0 1	13	169
2	1 1 1 1 0	0.829	0.534	0.947	0.308	0.277	1 1 1 1 0	30	900
3	1 1 0 0 1	0.398	0.646	0.494	0.765	0.029	0 1 0 0 0	24	576
4	1 0 0 1 1	0.175	0.335	0.837	0.577	0.308	1 1 1 1 0	19	361
	รวม								2006
	ค่าเฉลี่ย								502
	ค่าสูงสุด								9010

จากการสุ่มตำแหน่งที่จะมิวเตชันโดยสร้างเลขสุ่ม r ของแต่ละตำแหน่งบิทในแต่ละโครโมโซมแล้ว ตำแหน่งบิทที่ 3 ของโครโมโซมลำดับที่ 1 และตำแหน่งบิทที่ 4 ของโครโมโซมลำดับที่ 3 เป็นตำแหน่งที่ $r \leq 0.1$ ตามอัตราการที่กำหนดจึงเกิดมิวเตชัน ทำให้โครโมโซมมีค่าความเหมาะสมจาก 91 และ 625 เป็น 169 และ 576 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามิวเตชันเป็นตัวดำเนินการที่อาจทำให้โครโมโซมมีค่าความเหมาะสมสูงขึ้นหรือลดลงได้ แต่อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยของค่าความเหมาะสมดีขึ้นจาก 492 เป็น 502 แสดงถึงการหาคำตอบของจีเนติกอัลกอริทึมโดยส่วนมากดีขึ้น และความสำคัญของการหาคำตอบของจีเนติกอัลกอริทึมนั้นเป็นความต้องการได้คำตอบโดยพิจารณาจากคำตอบที่ดีขึ้นเกิดขึ้น ซึ่งจะมีโอกาสอยู่รอดเพื่อถ่ายทอดส่วนที่ดีในรุ่นต่อไป

5. ประชากรรุ่นใหม่ เป็นชุดโครโมโซมลูกที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนของวิวัฒนาการต่างๆ ทั้งหมด ซึ่งประชากรรุ่นใหม่ทั้งหมดที่เกิดขึ้น จะถูกถ่ายทอดกลายเป็นประชากรรุ่นเก่าสำหรับวิวัฒนาการในรุ่นถัดไป ซึ่งเรียกวิวัฒนาการแบบนี้ว่า การถ่ายทอดแบบทั่วไปหรือรีโพรดักชันแบบทั่วไป (General Reproduction) กระบวนการต่างๆ จะถูกปฏิบัติซ้ำๆ จนกระทั่งถึงรุ่นที่มากที่สุด (Max Generation : maxgen) ที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การประยุกต์ใช้จีเนติกอัลกอริทึมกับการออกแบบระบบส่องสว่างของสนามเทนนิส

การออกแบบระบบส่องสว่างของสนามเทนนิสจะต้องคำนึงถึงปริมาณของแสง คุณภาพของแสง และค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง ดังนั้นเราจะแบ่งการออกแบบออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกจะทำการหาแบบ และจำนวนของโคมฉายในแต่ละแบบที่จะทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้งน้อยที่สุด โดยค่าความเข้มแสงเฉลี่ยที่จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าที่กำหนด และในส่วนที่สองจะทำการหาพิกัดตำแหน่งจุดเล็งของโคมแต่ละโคมที่ทำการติดตั้งเพื่อจะได้ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยมากที่สุด โดยที่ค่าพิกัดแสงจ้าแยงตา และค่าความสม่ำเสมอ อยู่ในเกณฑ์ที่เราต้องการ

การประยุกต์ใช้จีเนติกอัลกอริทึมกับการออกแบบระบบส่องสว่างของสนามเทนนิส สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆ ได้ดังนี้

- กำหนดพื้นที่ออกแบบและค่าความเข้มแสงเฉลี่ยที่ต้องการ
- กำหนดแบบของโคมและราคาของโคมแต่ละโคม
- กำหนดข้อมูลการติดตั้งเสาและจุดเล็งอ้างอิงของแต่ละเสา
- การเลือกแบบและจำนวนของโคมฉาย
- กำหนดค่าความสม่ำเสมอ และพิกัดแสงจ้าแยงตามาตรฐานที่ต้องการ
- กำหนดข้อมูลตำแหน่งการติดตั้งกล้องถ่ายโทรทัศน์หลัก (จุดสังเกตการณ์)
- การเลือกพิกัดจุดเล็งของโคมแต่ละโคม

1. กำหนดพื้นที่ออกแบบและค่าความเข้มแสงเฉลี่ยที่ต้องการ

โดยป้อนข้อมูลความกว้าง(เมตร), ความยาว(เมตร), จำนวนกริดในด้านกว้าง และด้านยาวที่ต้องการคำนวณ และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นสนาม ซึ่งขึ้นอยู่กับสีของพื้นสนาม

2. กำหนดแบบของโคมและราคาของโคมแต่ละโคม

แบบของโคมฉายที่กำหนด สามารถเลือกได้จาก IES FILE โดยสามารถเรียกดูข้อมูลการกระจายแสงได้ก่อนที่จะเลือกแบบโคม และราคาของโคมแต่ละโคมสามารถขอข้อมูลได้จากบริษัทผู้ผลิตโคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กำหนดข้อมูลการติดตั้งเสาและจุดเล็งอ้างอิงของแต่ละเสา

จำนวนเสาที่จะใช้นั้นขึ้นอยู่กับจำนวนสนามที่ต้องการออกแบบ และค่าความเข้มแสงเฉลี่ยที่ต้องการ โดยพิจารณาจากจุดประสงค์ของการใช้สนาม เช่น เพื่อการฝึกซ้อม หรือเพื่อการแข่งขันระดับสมัครเล่น, ระดับชาติ หรือนานาชาติ การกำหนดจุดเล็งอ้างอิงของแต่ละเสา เพื่อเป็นจุดเล็งอ้างอิงของแต่ละโคมที่ติดตั้งบนเสานั้นๆ ด้วย เพื่อสามารถทำการหาค่าความเข้มแสงเฉลี่ยจากการติดตั้งโคมทุกๆแบบบนเสาทุกๆต้นได้

4. การเลือกแบบและจำนวนของโคมฉาย

การเลือกแบบและจำนวนของโคมฉาย จะเริ่มต้นจากการหาค่าความเข้มแสงเฉลี่ยจากโคมที่มีให้เลือกทุกแบบ บนเสาทุกๆต้น โดยเริ่มจากการเอาโคมฉายแบบแรกติดตั้งบนเสาต้นแรก และเล็งไปที่จุดเล็งอ้างอิงของเสาต้นแรก และคำนวณหาค่าความเข้มแสงเฉลี่ย หลังจากนั้นจึงทำซ้ำจนครบทุกแบบ และครบทุกเสา

$E_{av11}, E_{av12}, E_{av13}, \ldots, E_{av1j}$

$E_{av21}, E_{av22}, E_{av23}, \ldots, E_{av2j}$

..

$E_{avi1}, E_{avi2}, E_{avi3}, \ldots, E_{avij}$

เมื่อ i คือ จำนวนเสา

j คือ จำนวนแบบของโคม

หลังจากนั้นจึงคำนวณหาโคมในแต่ละแบบโดยใช้จีเนติกอัลกอริทึม โดยกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับหาแบบและจำนวนของโคม ที่ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้งน้อยที่สุด

หาค่าต่ำสุดของ $C = N_{11}C_1 + N_{12}C_2 + \ldots + N_{ij}C_j$

ภายใต้เงื่อนไข

$$N_{11}E_{av\,11} + N_{12}E_{av\,12} + \ldots + N_{ij}E_{av,ij} \geq E_{av,0}$$

$N_{ij} \geq 0$, จำนวนเต็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย $E_{av,0} = E_{av,\mu} xcu$

$E_{av,\mu}$ = ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยที่ต้องการบนพื้นที่ออกแบบ (ลักซ์)

$E_{av,0}$ = ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยที่ต้องการ (ลักซ์)

cu = ค่าสัมประสิทธิ์การใช้แสงของโคมฉาย

C_j = ราคาของโคมฉายแบบที่ j (บาท)

N_{ij} = จำนวนโคมฉายแบบที่ j ที่ติดตั้งบนเสาต้นที่ i

$E_{av,ij}$ = ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยจากการติดตั้งโคมแบบที่ j บนเสาต้นที่ i

5. กำหนดค่าความสม่ำเสมอ และพิกัดแสงจ้าแยงตามาตรฐานที่ต้องการ

ค่าความสม่ำเสมอต่ำสุดมาตรฐาน สามารถดูได้จากตารางที่ 3.1 โดย

ค่าความสม่ำเสมอ U0

$$U_0 = \frac{E_{min}}{E_{av}}$$

ค่าความสม่ำเสมอ Ul

$$U_1 = \frac{E_{min}}{E_{max}}$$

พิกัดแสงจ้าแยงตาสูงสุดมาตรฐานสามารถดูได้จากตารางที่ 3.2 โดย

$$GR = 27 + 24 \log\left[\frac{L_{vl}}{(L_{ve})^{0.9}}\right]$$

6. กำหนดข้อมูลตำแหน่งการติดตั้งกล้องถ่ายโทรทัศน์หลัก (จุดสังเกตการณ์)

กำหนดตำแหน่งจุดสังเกตการณ์อ้างอิง หรือตำแหน่งการติดตั้งกล้องถ่ายโทรทัศน์หลักเพื่อคำนวณหาพิกัดแสงจ้าแยงตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. การเลือกพิกัดจุดเล็งของโคมแต่ละโคม

การเลือกพิกัดจุดเล็งของโคมแต่ละโคมเพื่อที่จะให้ได้ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยสูงที่สุดนั้น ทำได้โดยกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับหาจุดเล็งที่เหมาะสม คือ

หาค่าสูงสุดของ $E_{av}(\tau_1, \delta_1, \tau_2, \delta_2, ..., \tau_n, \delta_n)$

ภายใต้เงื่อนไข

$$\frac{E_{\min}}{E_{av}} \geq U_o$$

$$\frac{E_{\min}}{E_{\max}} \geq U_l$$

$$GR(\tau_1, \delta_1, \tau_2, \delta_2, ..., \tau_n, \delta_n) \leq GR_s$$

โดยที่

L_w = ความส่องสว่างที่เกิดจากโคมส่องมาที่ดวงตา

$E_{eye,i}$ = ความเข้มแสงจากโคมดวงที่ i ที่แก้วตา บนระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ (ลักซ์)

θ_i = มุมระหว่างแนวมองกับแนวแสงตกกระทบแก้วตา โดยมุม θ_i มีค่าอยู่ระหว่าง 1.5°ถึง 60° θ_i (องศา)

L_r = ความส่องสว่างที่เกิดจากการสะท้อนแสงของพื้นสนาม

ρ = ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นสนาม

4.3 บทสรุป

จีเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีความคล่องตัว และประยุกต์ใช้ได้กับหลายสาขาวิชา จากการศึกษานี้จะเห็นได้ว่าสามารถนำจีเนติกอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้กับการส่องสว่างได้ดี โดยสามารถหาแบบและจำนวนของโคมฉายที่เหมาะสม และจุดเล็งของโคมแต่ละโคมที่เหมาะสม ที่จะทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้งน้อยที่สุด และได้ปริมาณของแสงและคุณภาพของแสงที่ได้มาตรฐานอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

โปรแกรมการคำนวณและออกแบบ

5.1 บทนำ

การคำนวณและออกแบบระบบส่องสว่างในสนามกีฬาภายนอกอาคาร จะเป็นการคำนวณแบบซ้ำๆ เช่น วิธีการจุดต่อจุด (Point By Point Method) ซึ่งเป็นวิธีการที่มีความละเอียด โดยคำนวณค่าความเข้มแสงที่จุดต่างๆ บนพื้นสนามกีฬา ดังนั้น การคำนวณด้วยมือจึงทำให้เกิดความล่าช้า และเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ และในส่วนของการออกแบบ การออกแบบด้วยมืออาจจะไม่ได้เป็นการออกแบบที่เหมาะสม การนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการคำนวณจึงจะช่วยลดระยะเวลาในการคำนวณ และทำให้มีความละเอียดแม่นยำยิ่งขึ้น และการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการออกแบบ จะทำให้ได้การออกแบบที่เหมาะสม โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้ ใช้ภาษาวิชวลเบสิคในการเขียน โดยในส่วนของการคำนวณสามารถคำนวณค่าความเข้มแสงในแนวราบ และในแนวระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ พิกัดแสงจ้าแยงตา และค่าความสม่ำเสมอของค่าความเข้มแสง และในส่วนของการออกแบบสามารถเลือก และคำนวณจำนวนโคมฉายในแต่ละแบบ ที่จะเสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้งน้อยที่สุด และคำนวณหาจุดเล็งที่เหมาะสมได้จะปริมาณค่าความเข้มแสงมากที่สุด โดยที่ค่าความสม่ำเสมอของค่าความเข้มแสง และพิกัดแสงจ้าแยงตา อยู่ในค่ามาตรฐานอีกด้วย

5.2 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรม

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น แบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ ในส่วนของการคำนวณ และในส่วนของการออกแบบ โดยในแต่ละส่วนจะมีโครงสร้างการทำงานแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ

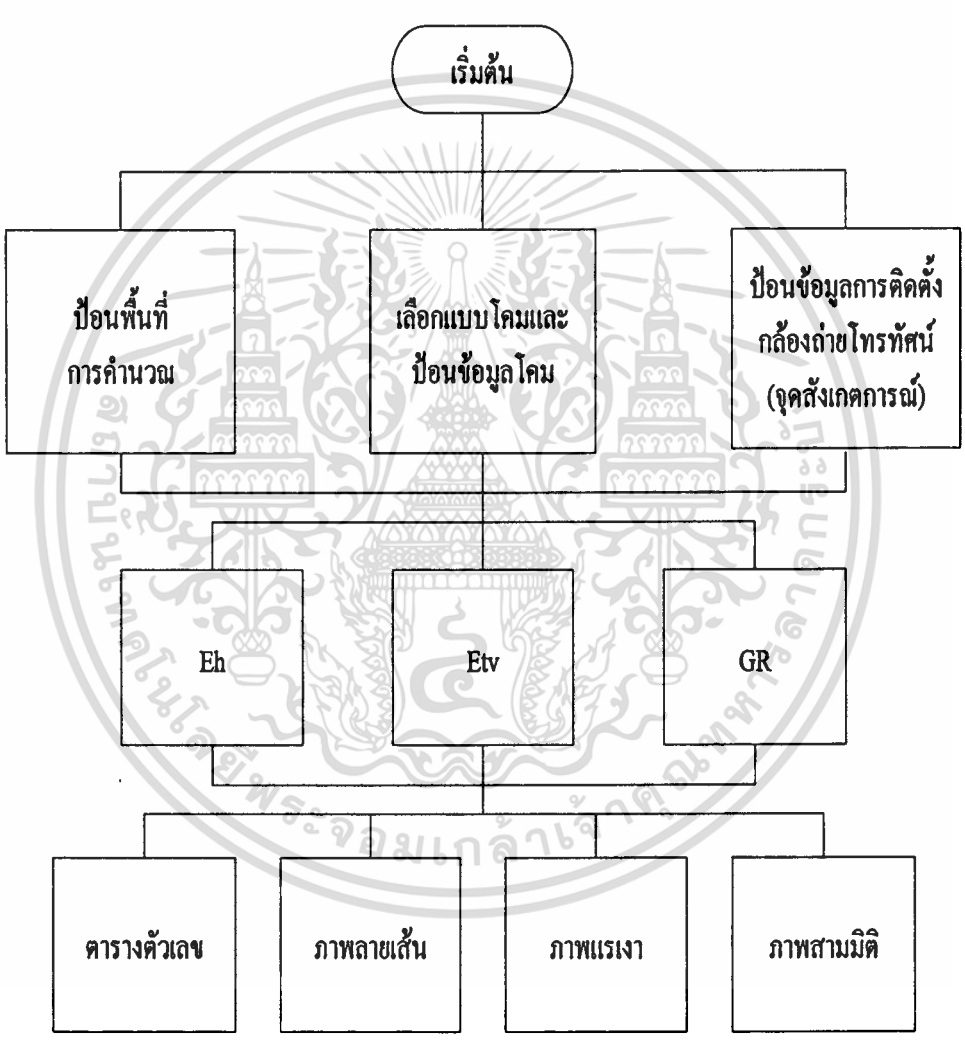
1. ส่วนรับข้อมูล
2. ส่วนประมวลผล
3. ส่วนแสดงผล

ในส่วนของการคำนวณ จะเริ่มจากการรับข้อมูลพื้นที่คำนวณ ข้อมูลการติดตั้งโคมไฟ ข้อมูลการติดตั้งกล้อง และประมวลผล หาค่าความเข้มแสงในแนวราบ ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ พิกัดแสงจ้าแยงตา ค่าความสม่ำเสมอของความเข้มแสง โดยแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

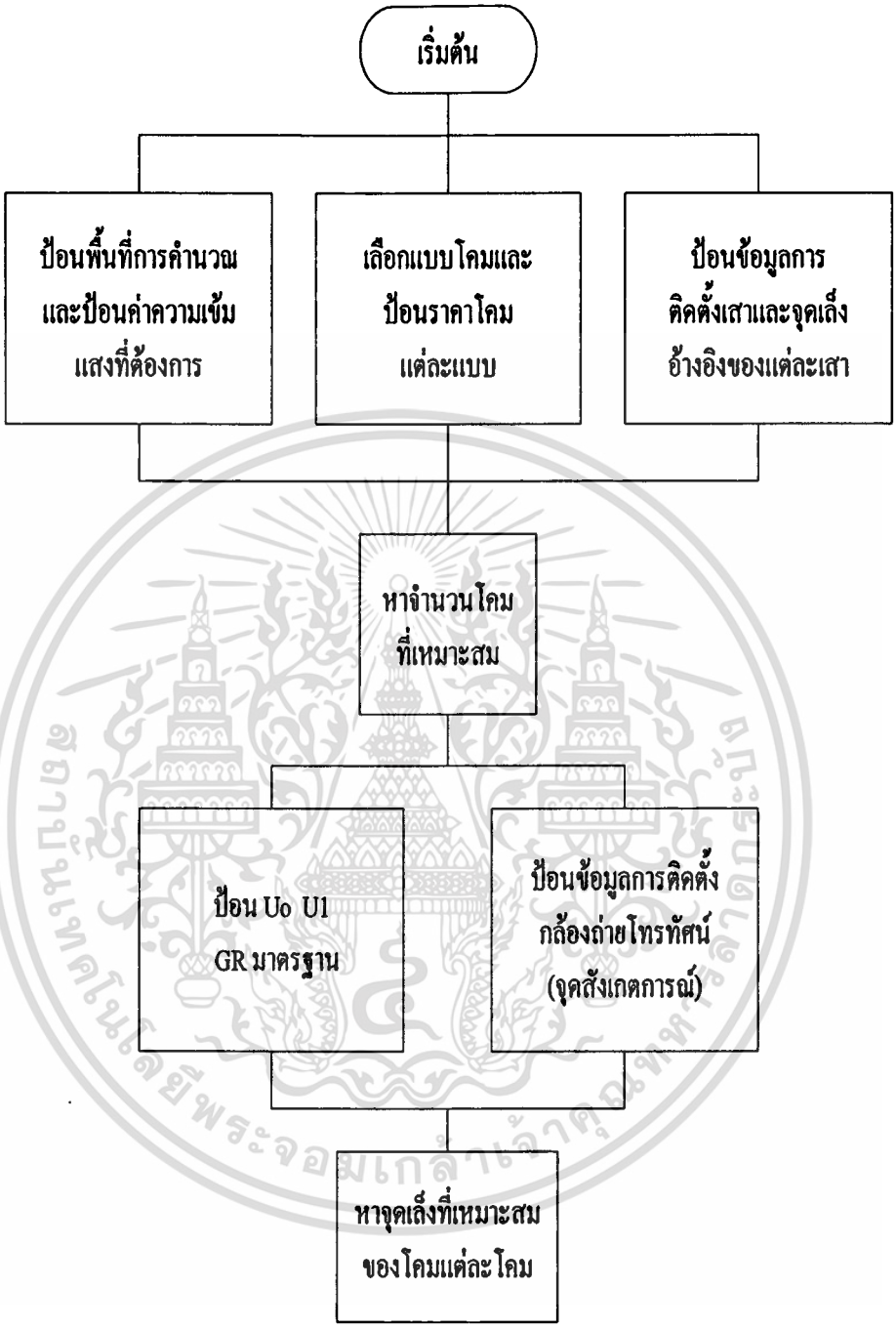
ในรูปของตารางตัวเลข และแสดงค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยในแต่ละตารางด้วย อีกทั้งยังแสดงในรูปของ ภาพลายเส้น ภาพแรเงา และภาพสามมิติ โดยมีโครงสร้างการทำงานดังรูปที่ 5.1

ในส่วนของการออกแบบ จะเริ่มจากการรับข้อมูลพื้นที่คำนวณ ข้อมูลแบบและราคาของโคมไฟ ข้อมูลตำแหน่งเสา ข้อมูลโซน ค่าความสม่ำเสมอของค่าความเข้มแสง พิกัดแสงจ้าแยงตา และตำแหน่งกล้องถ่ายโทรทัศน์ (จุดสังเกตการณ์) และจึงทำการคำนวณหาจำนวนโคมในแต่ละแบบบนเสาแต่ละต้น และ จุดเล็งของโคมฉายแต่ละโคม โดยมีโครงสร้างการทำงานดังรูปที่ 5.2



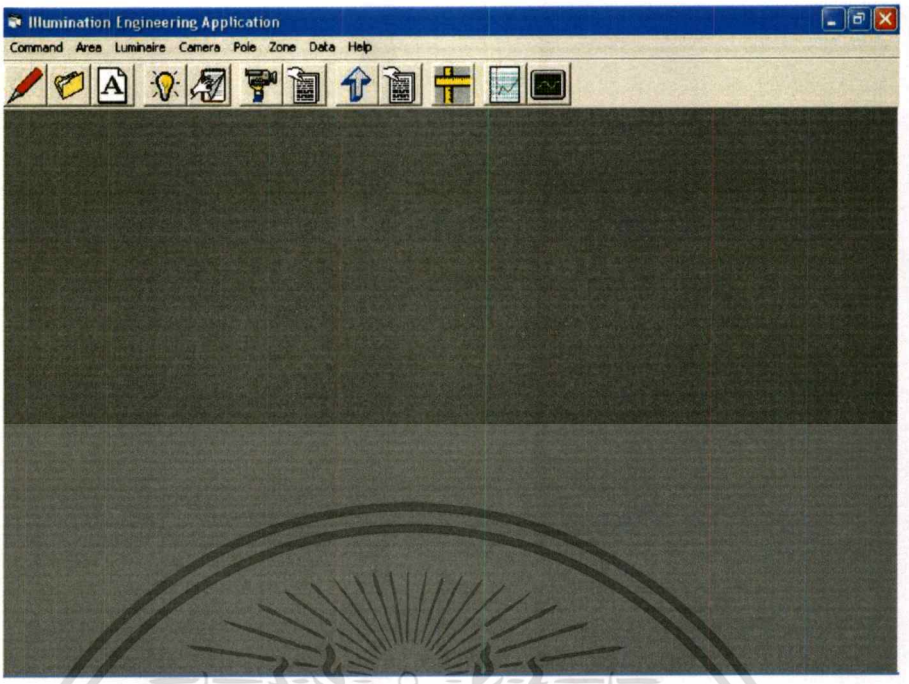
รูปที่ 5.1 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในส่วนของการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



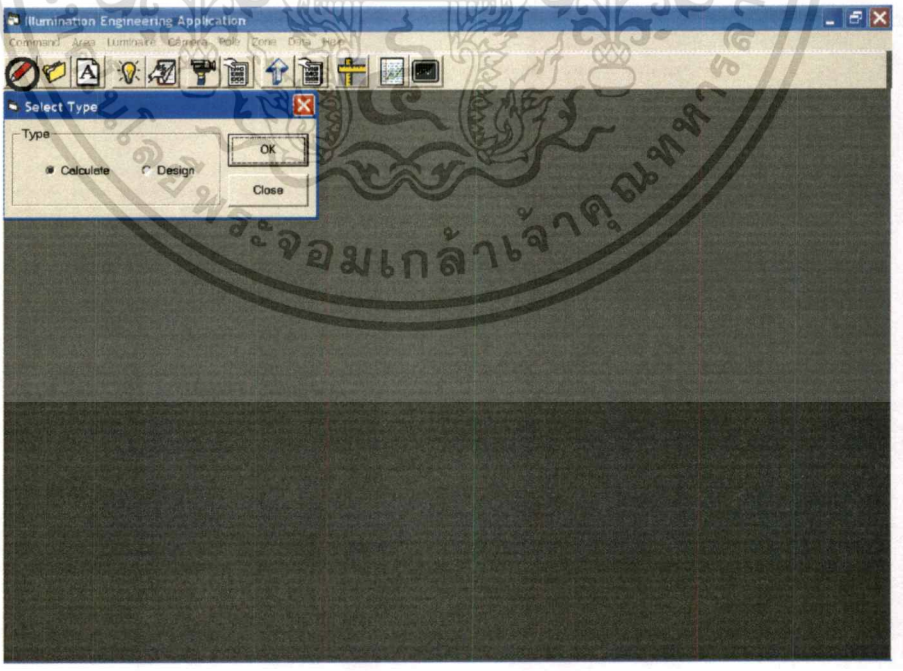
รูปที่ 5.2 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในส่วนของการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 หน้าจอหลักการทำงานของโปรแกรม

การเลือกการทำงานในส่วนของการคำนวณ และในส่วนของการออกแบบ สามารถเลือกได้จากการกดปุ่มการป้อนข้อมูลพื้นที่



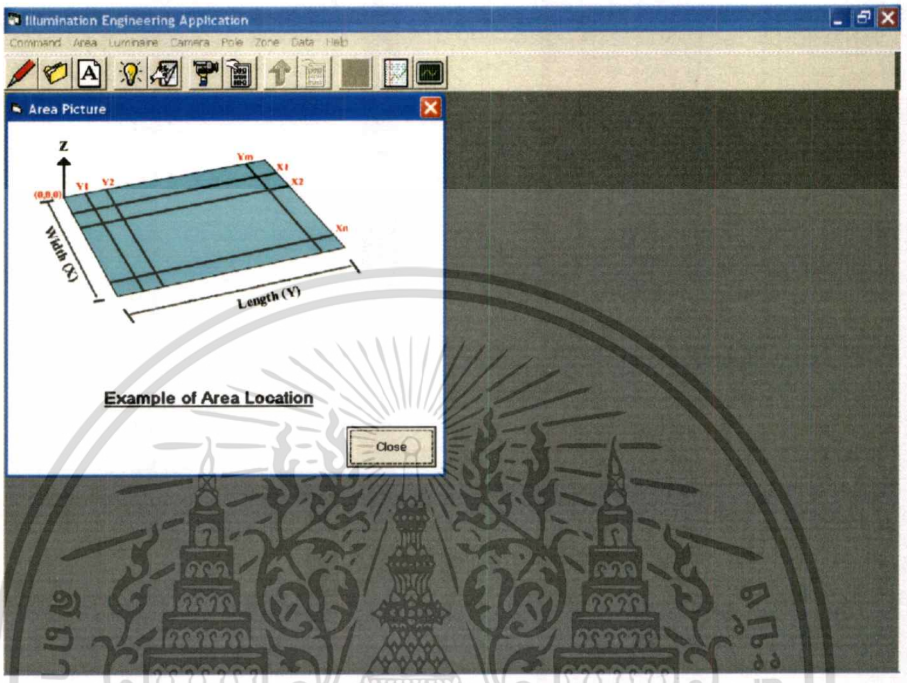
รูปที่ 5.4 หน้าจอเลือกการทำงานในส่วนของการคำนวณหรือในส่วนของออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

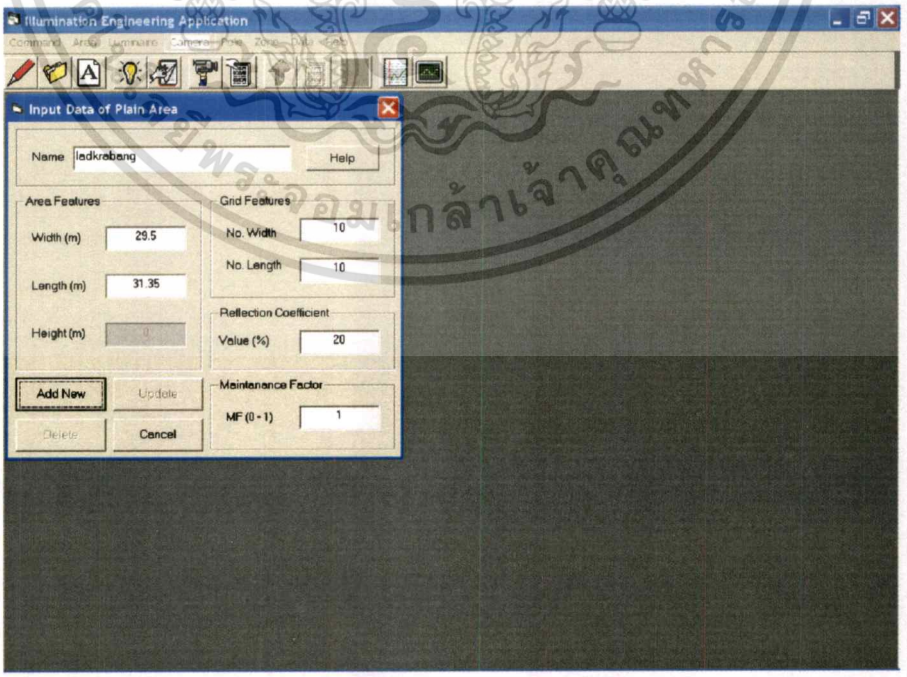
5.3 การทำงานของโปรแกรมในส่วนของการคำนวณ

5.3.1 ส่วนรับข้อมูล

1. ข้อมูลพื้นที่คำนวณ

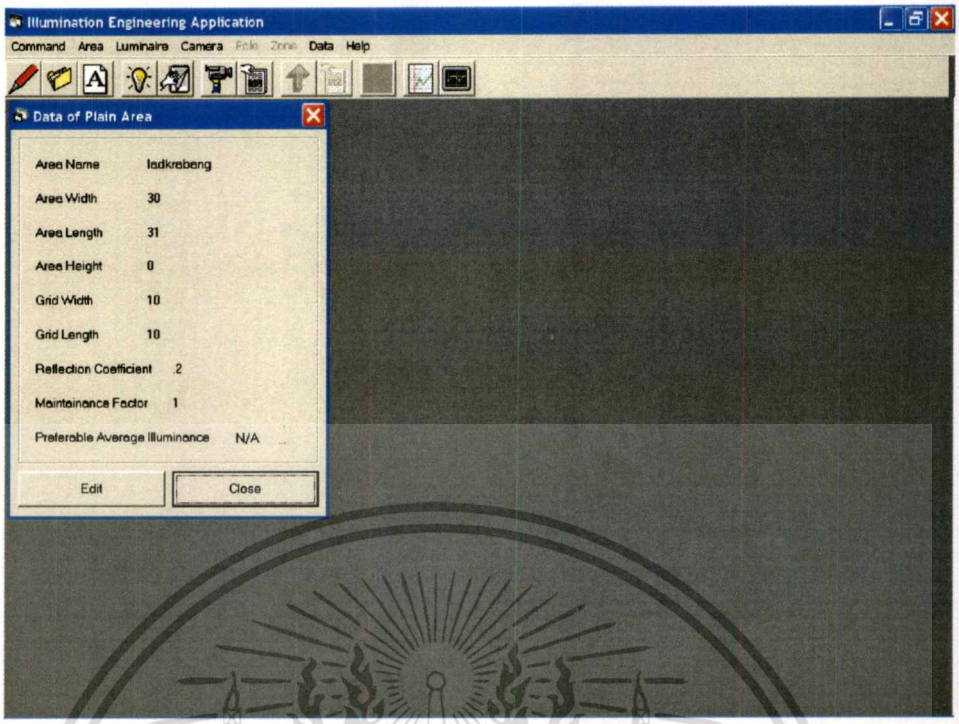


รูปที่ 5.5 ส่วนประกอบต่างๆที่ใช้ในการป้อนข้อมูลพื้นที่



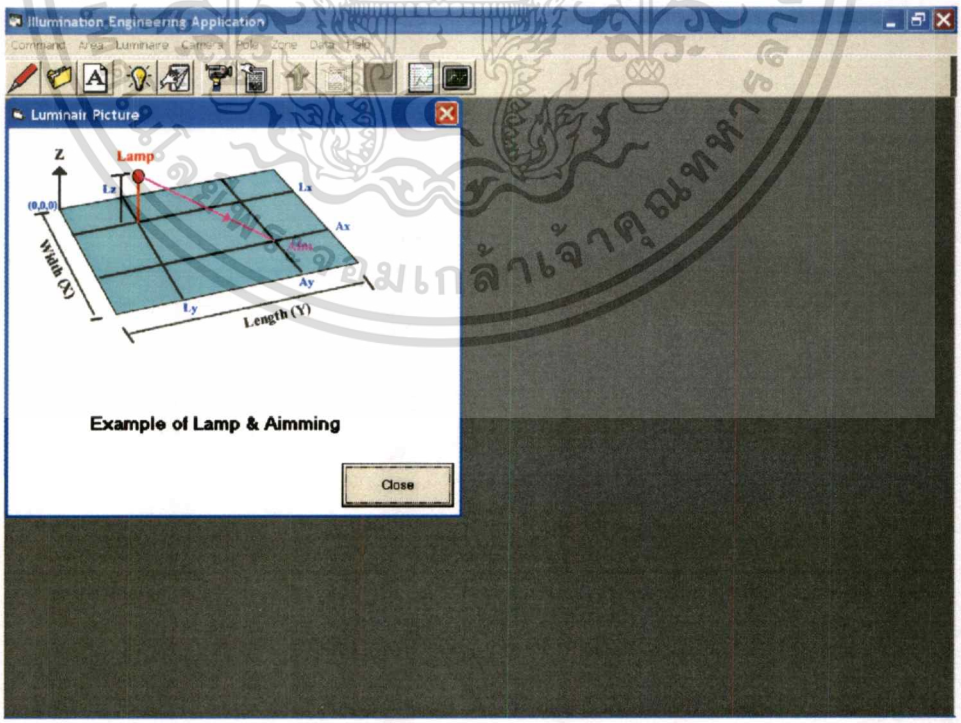
รูปที่ 5.6 หน้าจอรับข้อมูลพื้นที่การคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



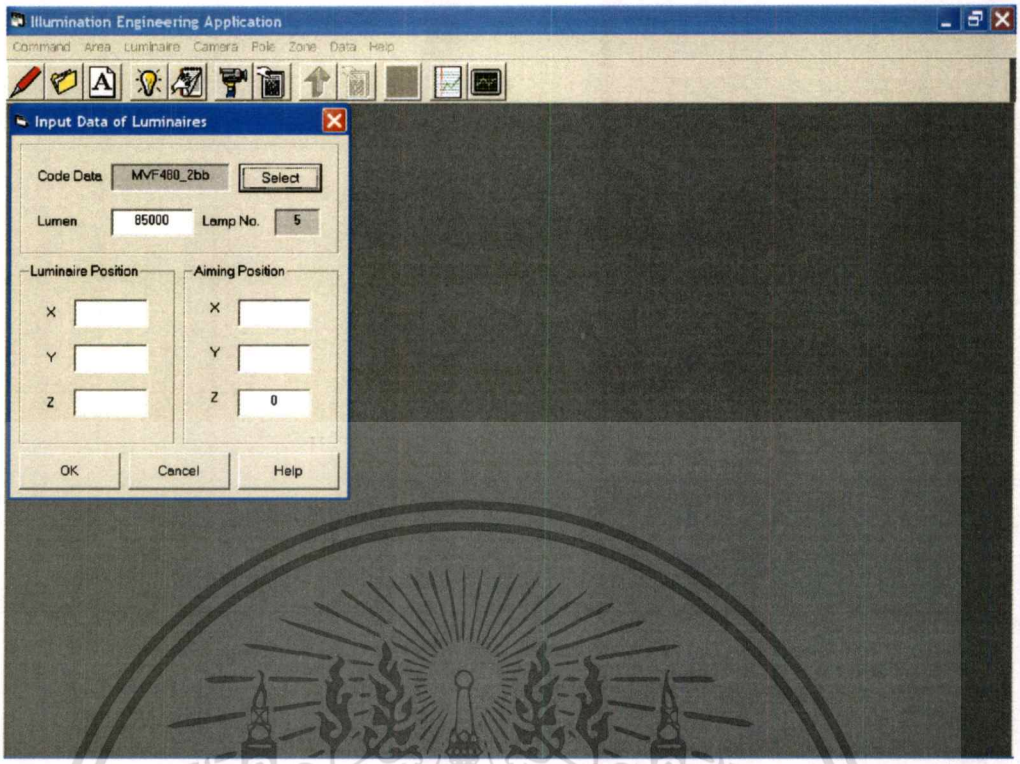
รูปที่ 5.7 หน้าจอข้อมูลพื้นที่

2. ข้อมูลโคมและตำแหน่งการติดตั้ง

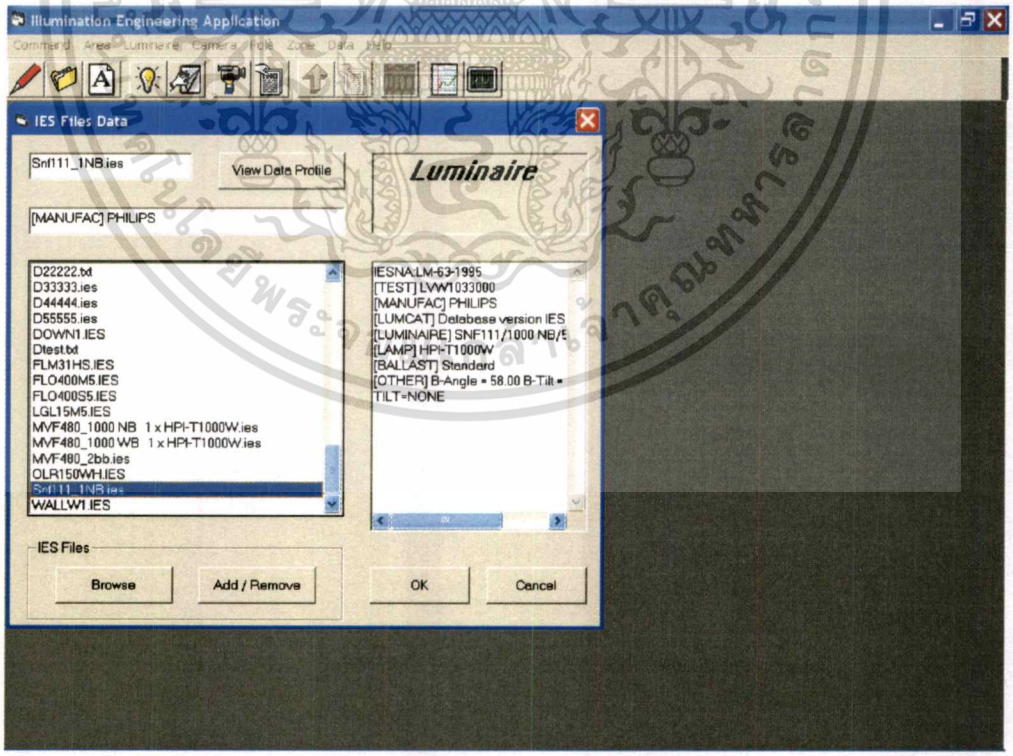


รูปที่ 5.8 ส่วนประกอบต่างๆ ที่ใช้ในการป้อนข้อมูลโคมไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

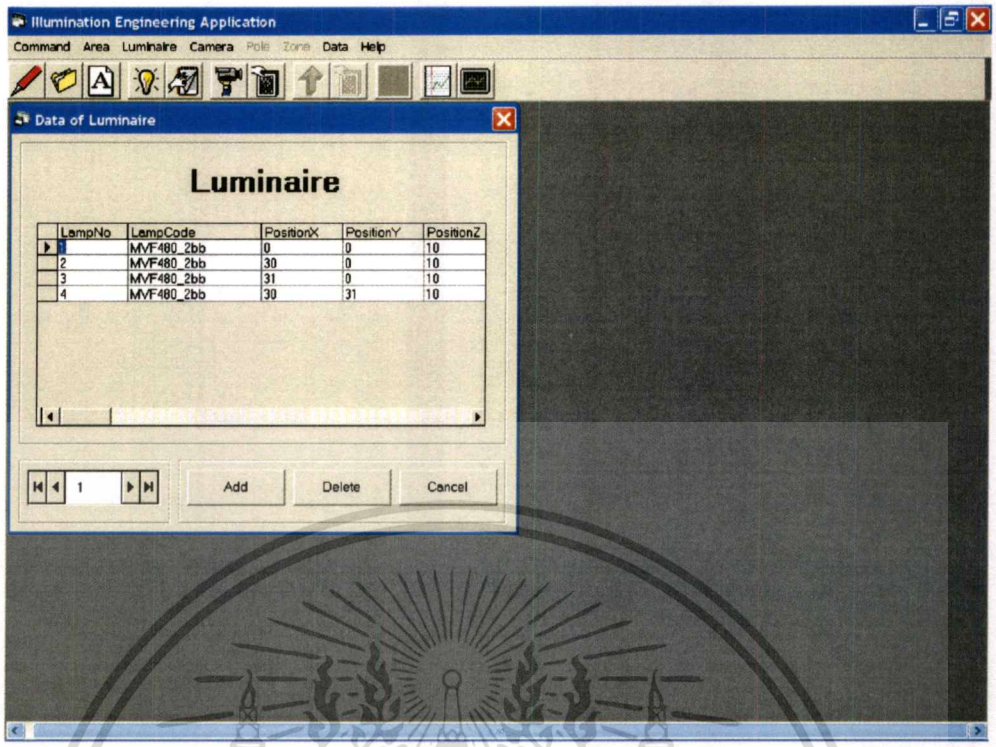


รูปที่ 5.9 หน้าจอรับข้อมูล แบบ ตำแหน่ง และจุดเล็งของโคมไฟ



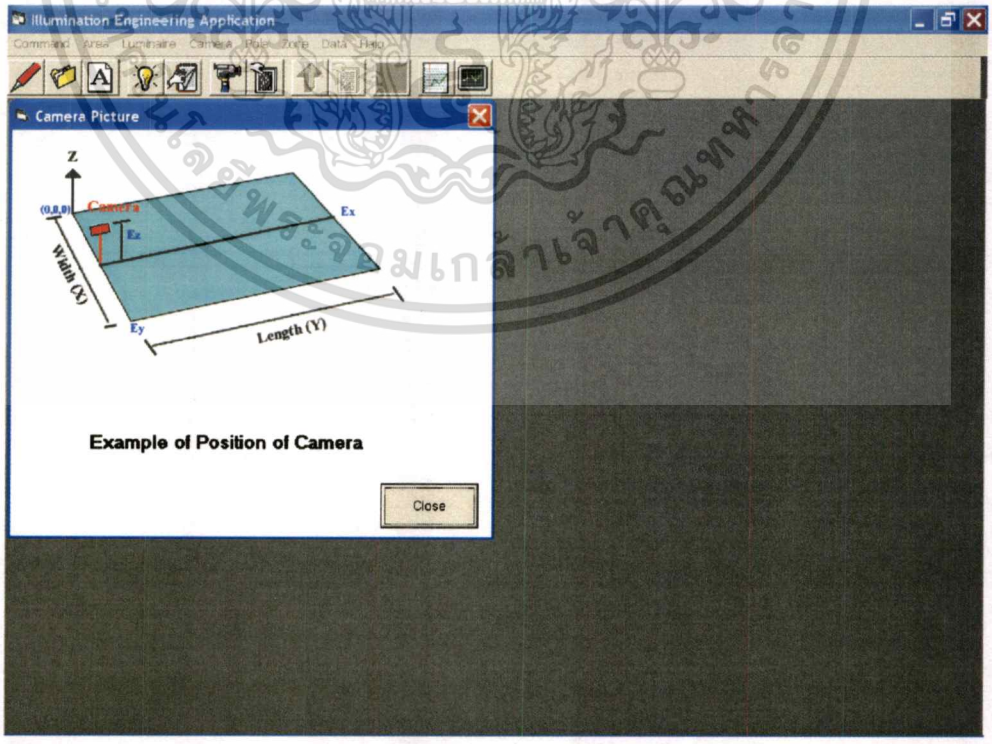
รูปที่ 5.10 หน้าจอเลือกแบบของโคมไฟจาก IES FILE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



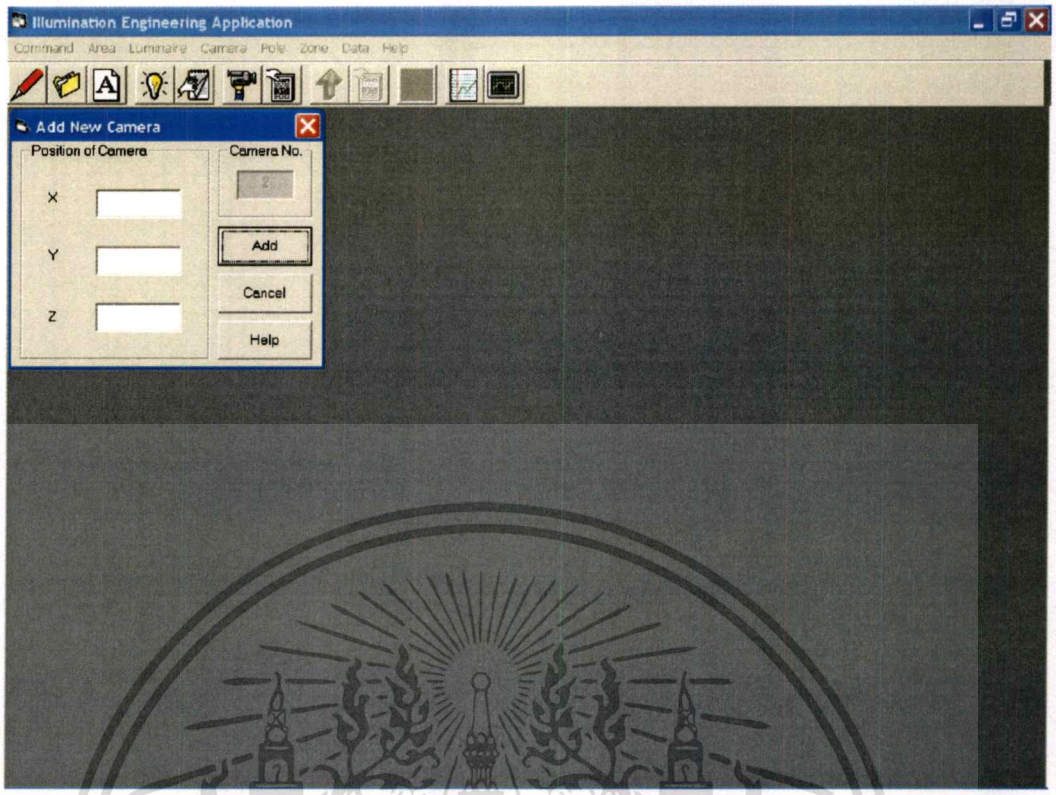
รูปที่ 5.11 หน้าจอข้อมูลแบบ ตำแหน่ง และจุดเล็งของโคมไฟ

3. ข้อมูลการติดตั้งกล้องถ่ายโทรทัศน์ (จุดสังเกตการณ์)

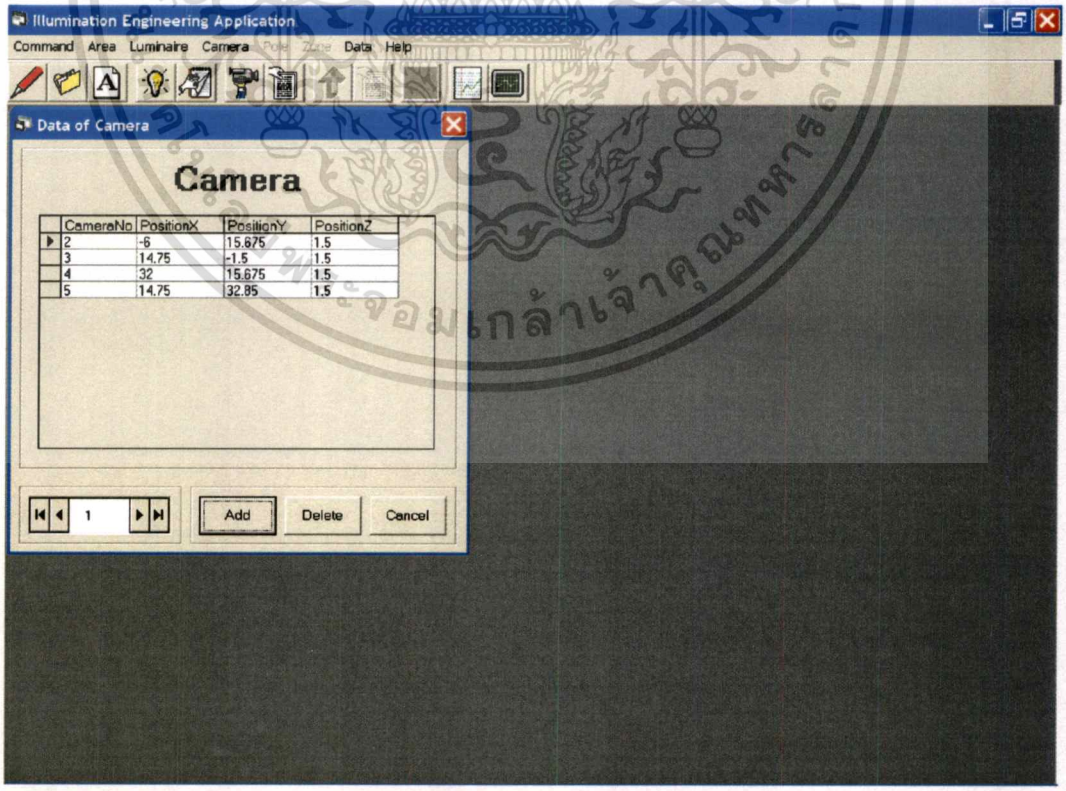


รูปที่ 5.12 ส่วนประกอบต่างๆ ที่ใช้ในการป้อนข้อมูลกล้อง (จุดสังเกตการณ์)

เอกสารนี้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 หน้าจอส่วนรับข้อมูลจุดสังเกตการณ์ (กล้องถ่ายโทรทัศน์)

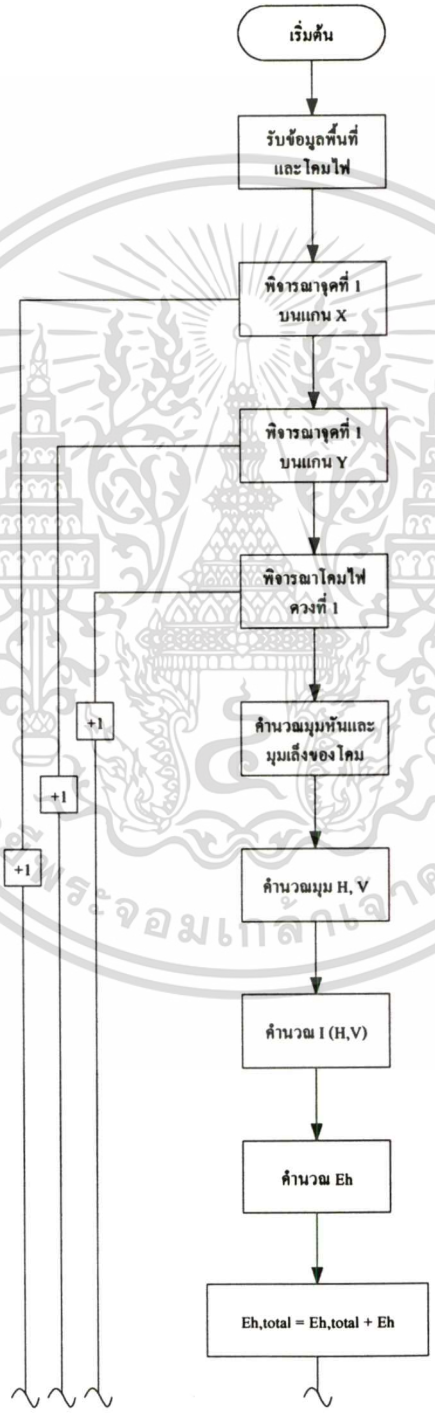


รูปที่ 5.14 หน้าจอข้อมูลจุดสังเกตการณ์ (กล้องถ่ายโทรทัศน์)

เอกสารนี้ได้รับการคุ้มครองลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้ผู้ใดนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

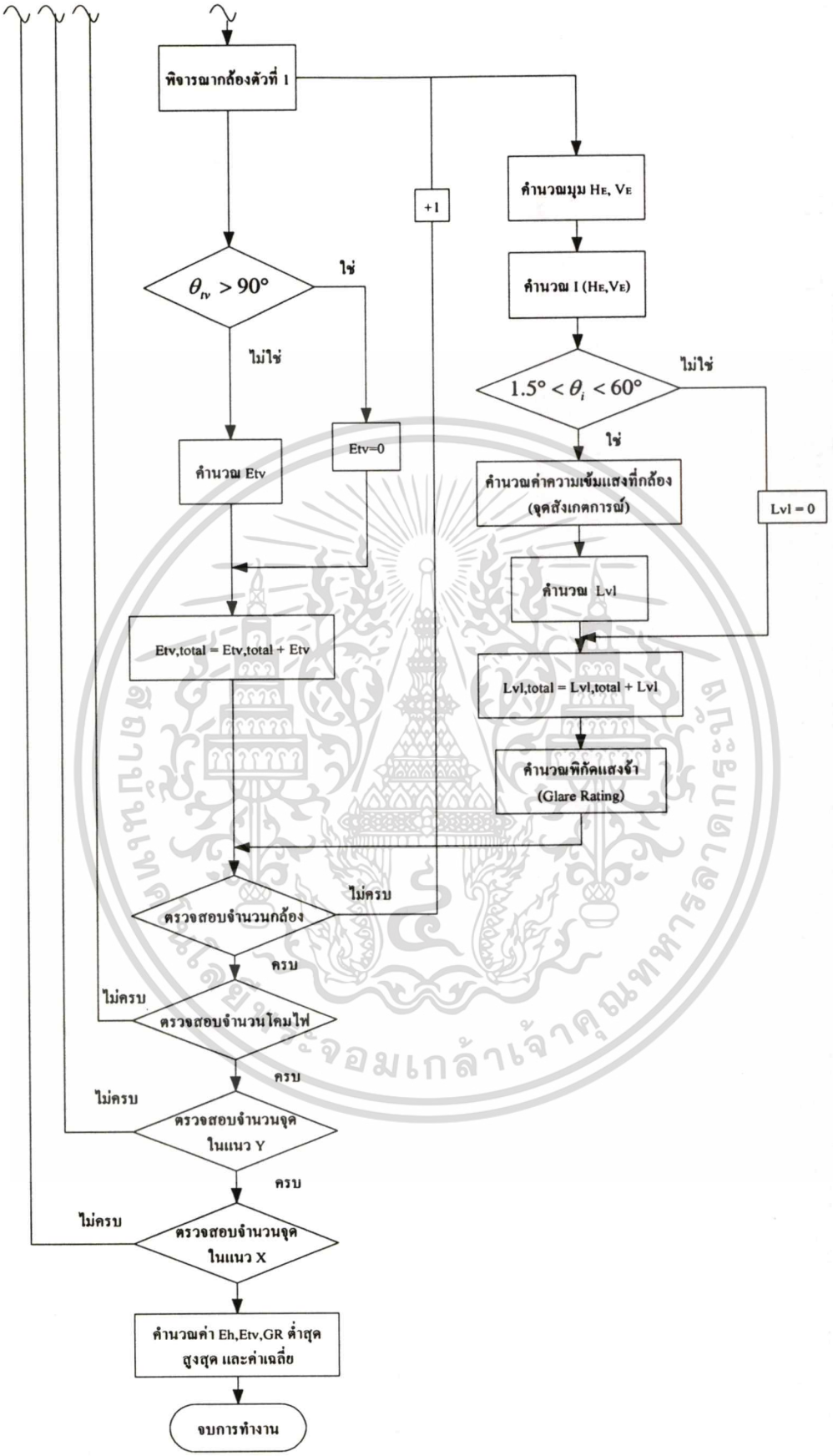
5.3.2 ส่วนประมวลผล

จะแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมในส่วนของการคำนวณค่าความเข้มแสงในแนวราบ ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ และพิกัดแสงจ้าแยงตา โดยแสดงแผนภาพขั้นตอนการคำนวณอย่างละเอียด



รูปที่ 5.15 แผนภาพแสดงการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

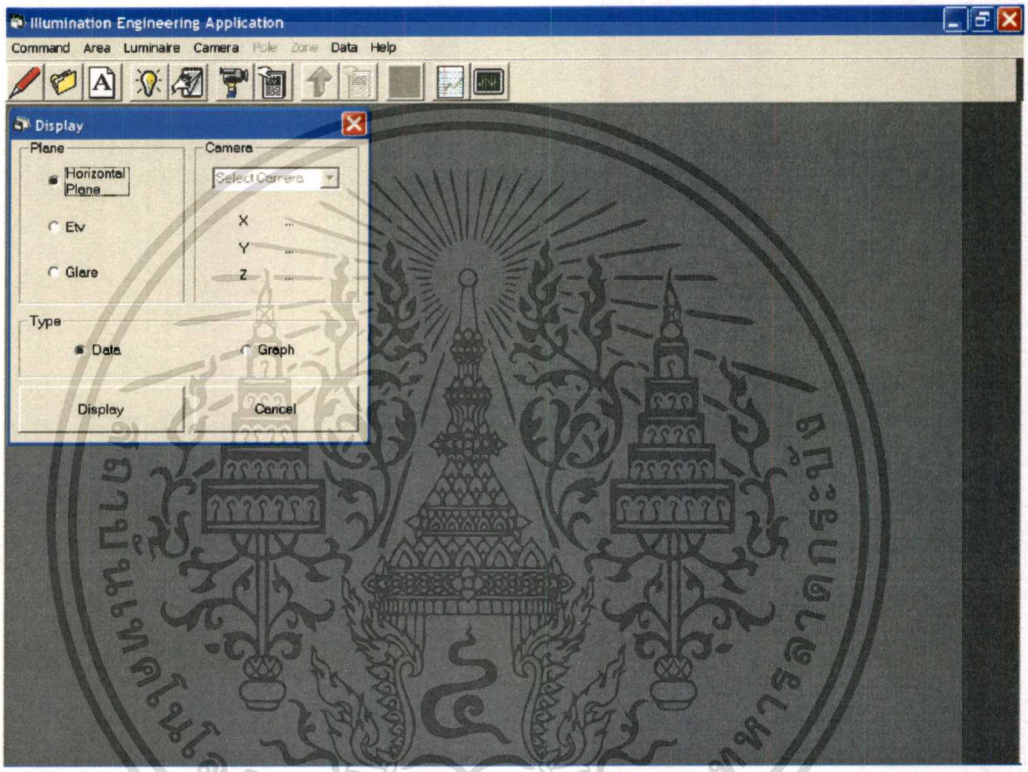


รูปที่ 5.15 (ต่อ) แผนภาพแสดงการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.3 ส่วนแสดงผล

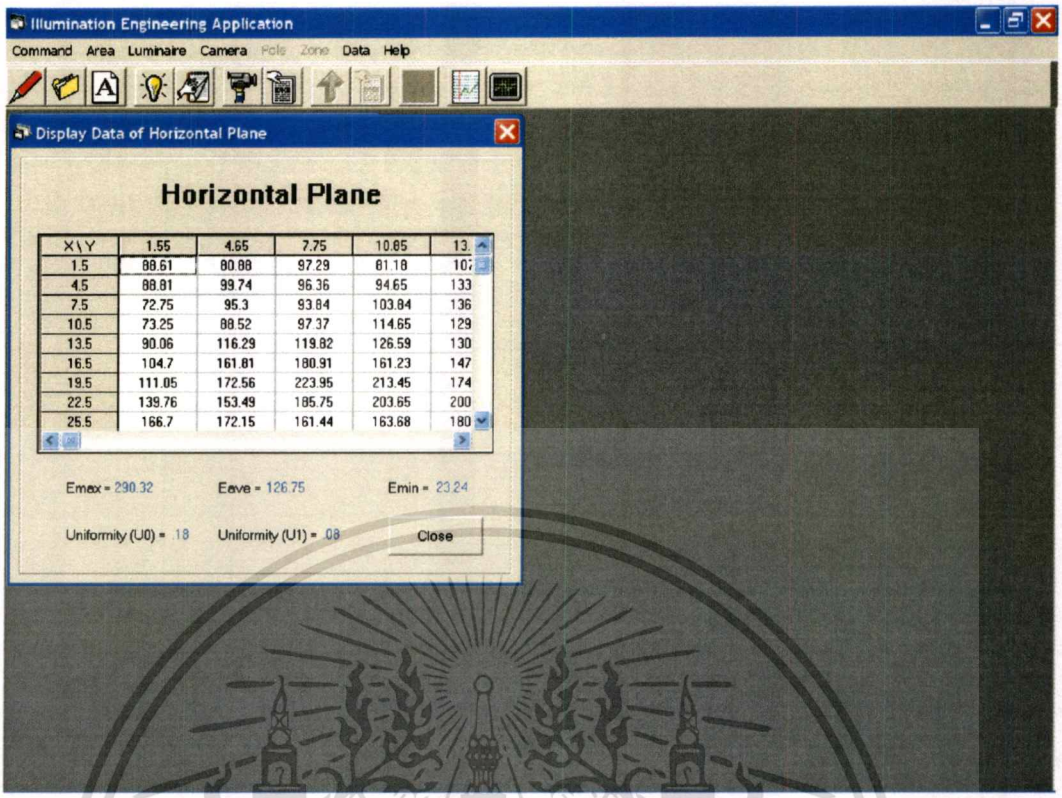
การแสดงผลในส่วนของการคำนวณ จะแสดงผลการคำนวณ 3 ส่วนคือ ความเข้มแสงในแนวราบ ความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ และพิกัดแสงจ้าแยงตา โดยสามารถเลือกลักษณะการแสดงผลลัพธ์ได้ทั้งในรูปของข้อมูลตาราง หรือกราฟ



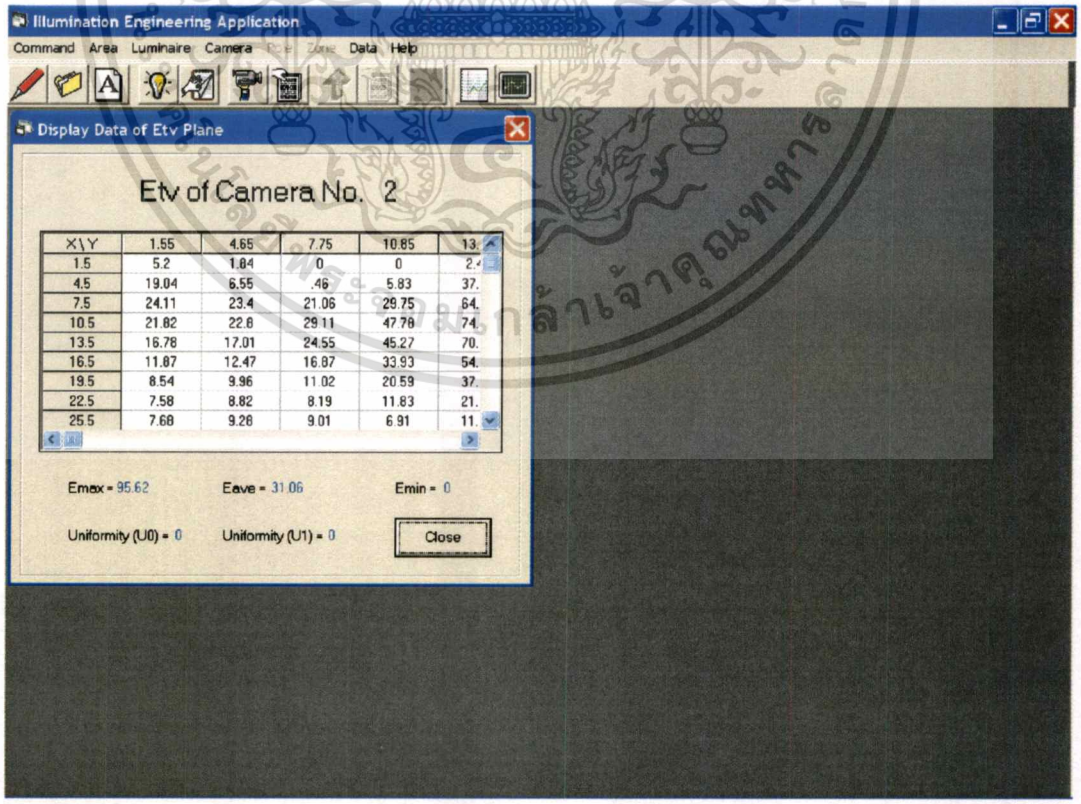
รูปที่ 5.16 หน้าจอแสดงผลค่าความเข้มแสงในแนวราบ , ในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ และพิกัดแสงจ้าแยงตา

โดยการแสดงผลลัพธ์จะแสดงค่าความสม่ำเสมอของค่าความเข้มแสง และแสดงค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มแสงในระนาบนอน ในระนาบตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ และพิกัดแสงจ้าแยงตาด้วย ดังรูปที่ 5.17 ถึง 5.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

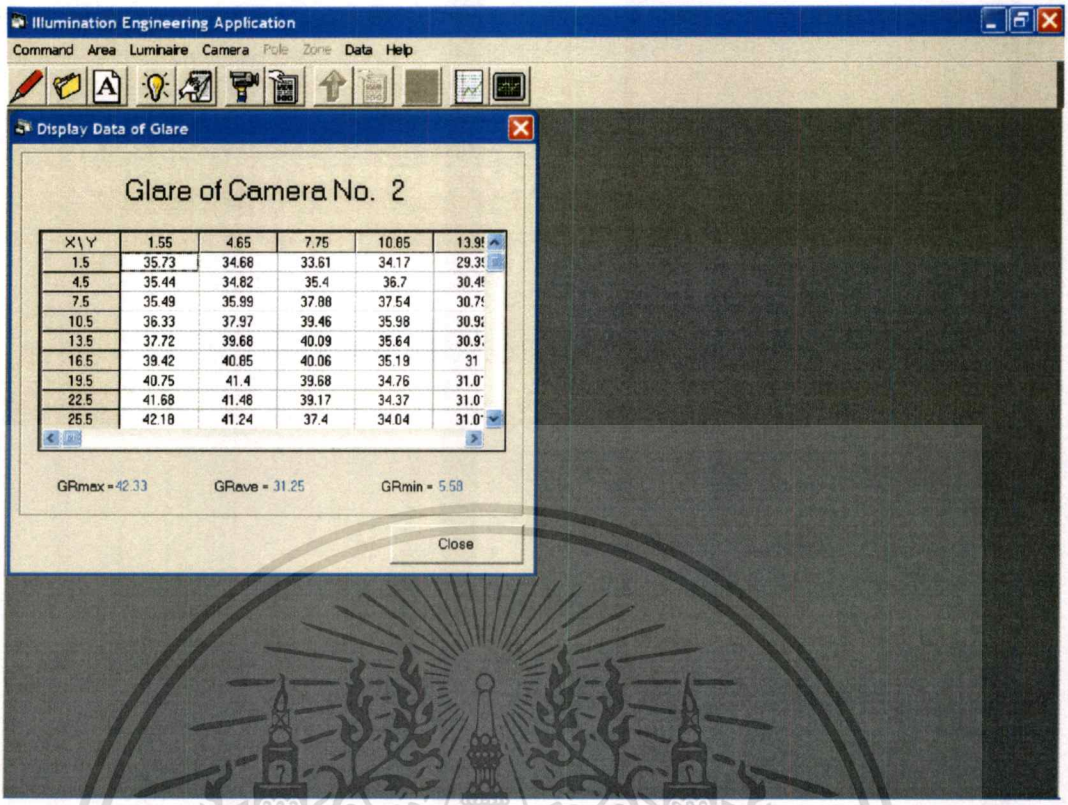


รูปที่ 5.17 หน้าจอผลการคำนวณค่าความเข้มแสงในแนวราบ (ข้อมูล)

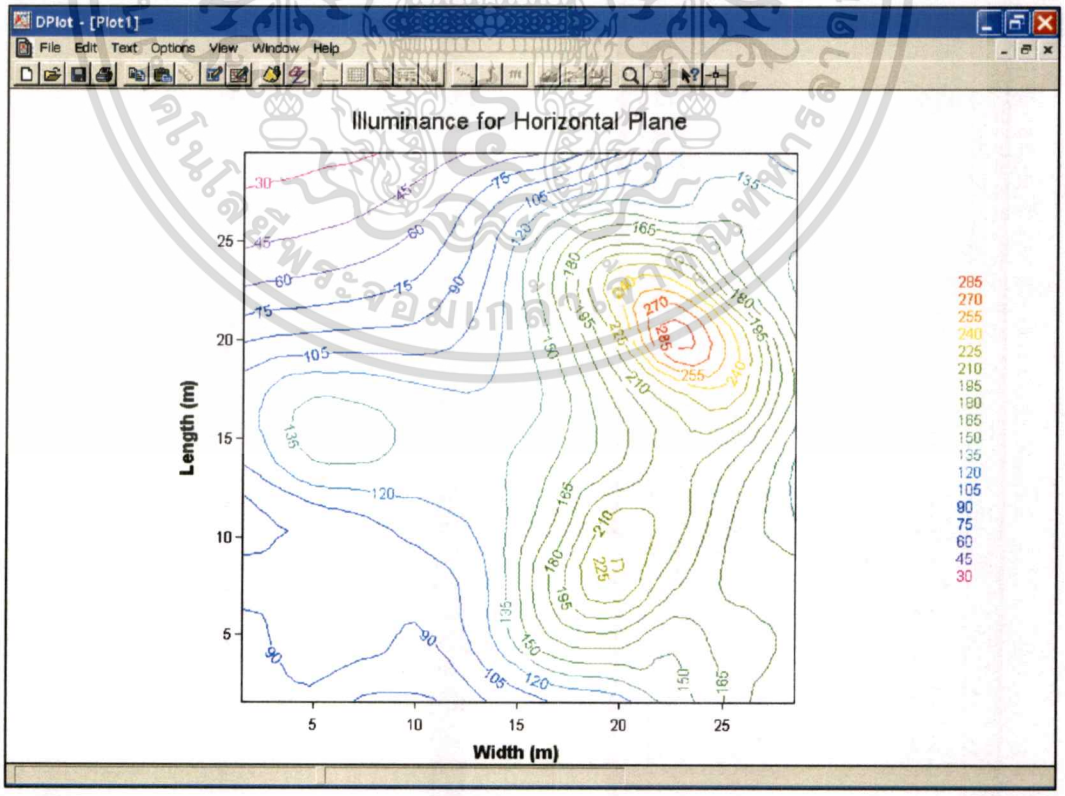


รูปที่ 5.18 หน้าจอผลการคำนวณค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ (ข้อมูล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

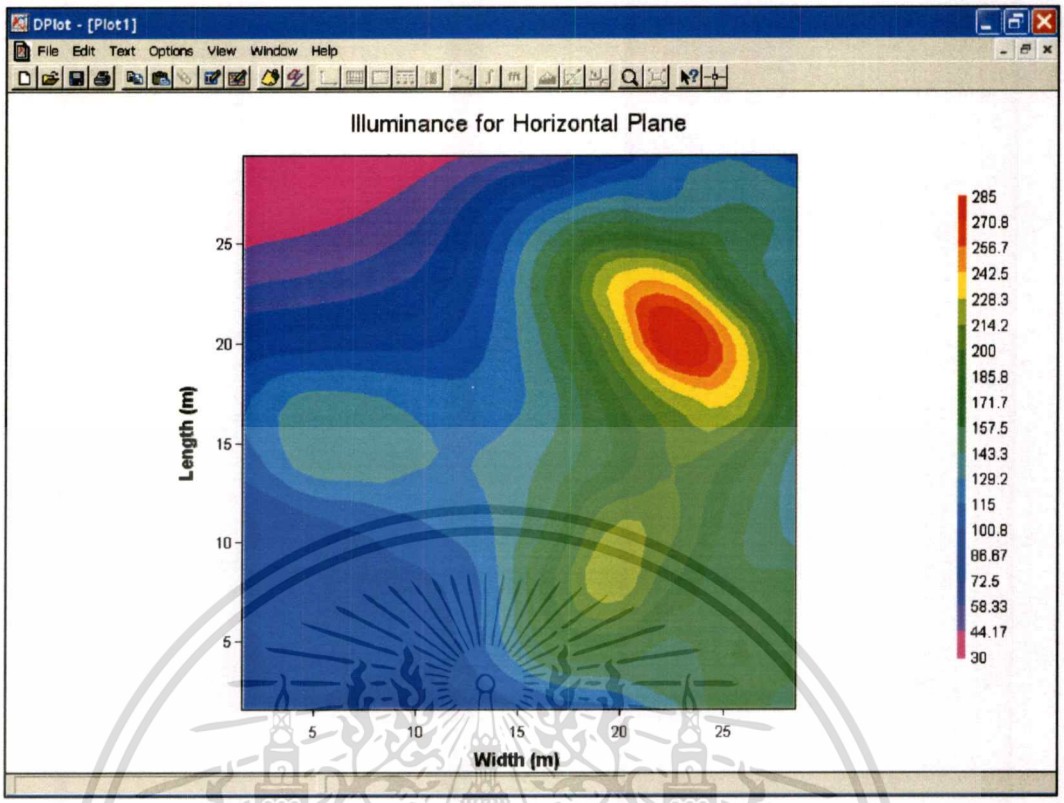


รูปที่ 5.19 หน้าจอผลการคำนวณพิกัดแสงจ้าแยงตา (ข้อมูล)

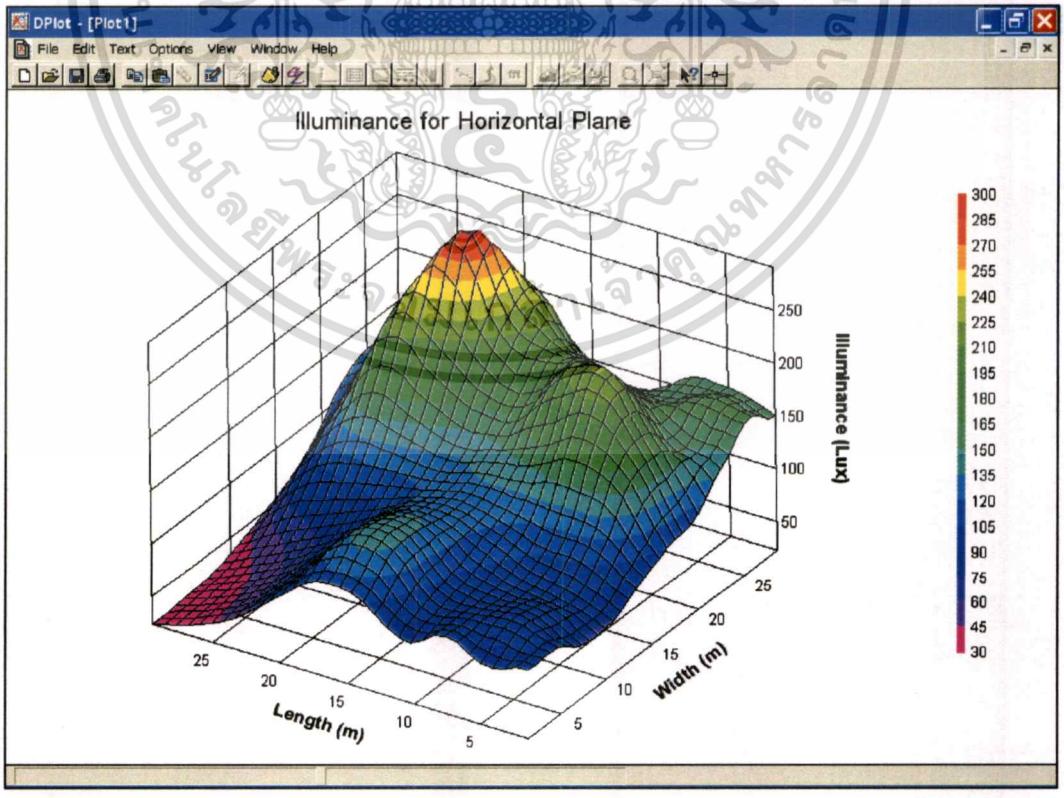


รูปที่ 5.20 หน้าจอแสดงผลภาพลายเส้น

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.21 หน้าจอแสดงผลภาพแรงเงา



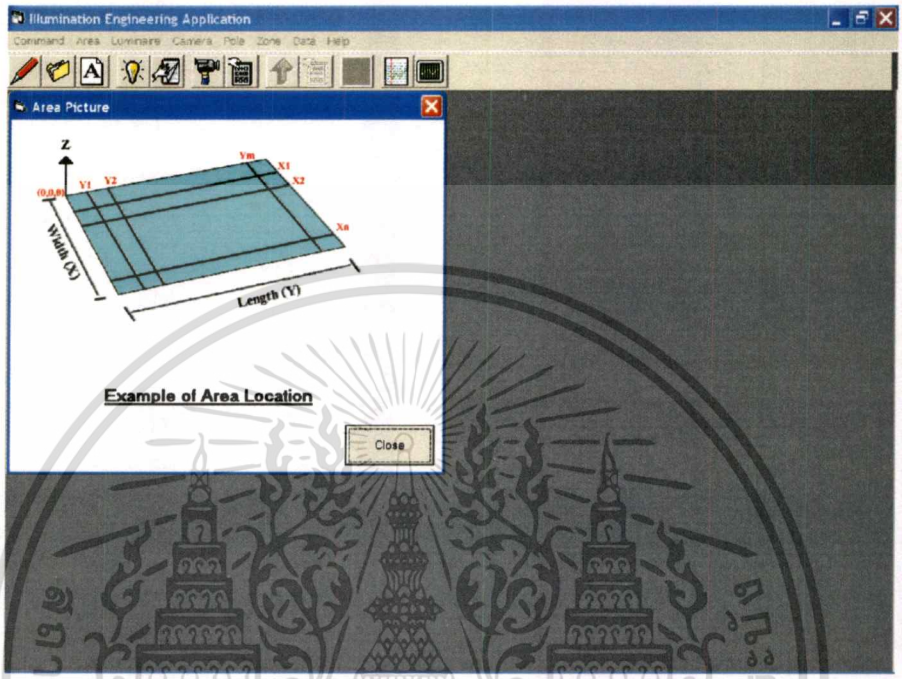
รูปที่ 5.22 หน้าจอแสดงผลภาพ 3 มิติ

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

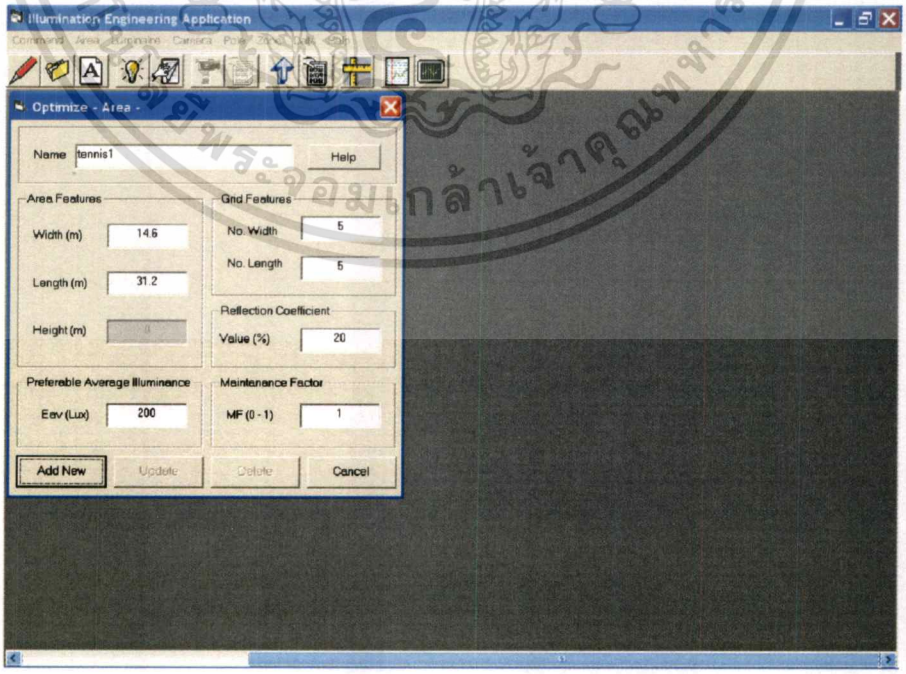
5.4 การทำงานของโปรแกรมในส่วนของการออกแบบ

5.4.1 ส่วนรับข้อมูล

1. ข้อมูลพื้นที่คำนวณ



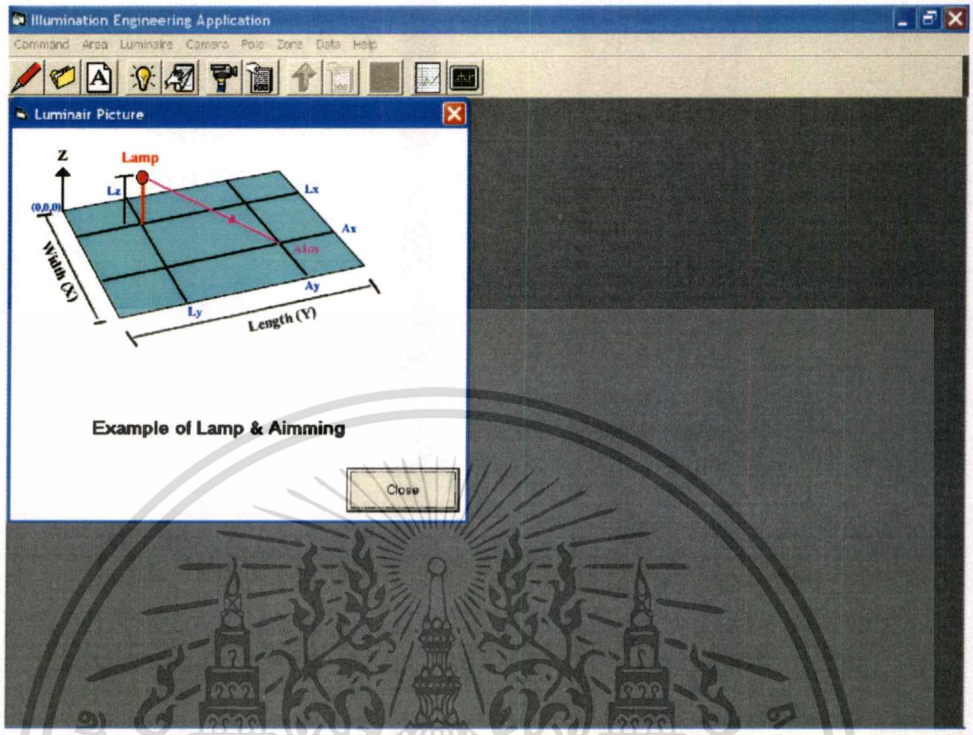
รูปที่ 5.23 ส่วนประกอบต่างๆที่ใช้ในการป้อนข้อมูลพื้นที่ออกแบบ



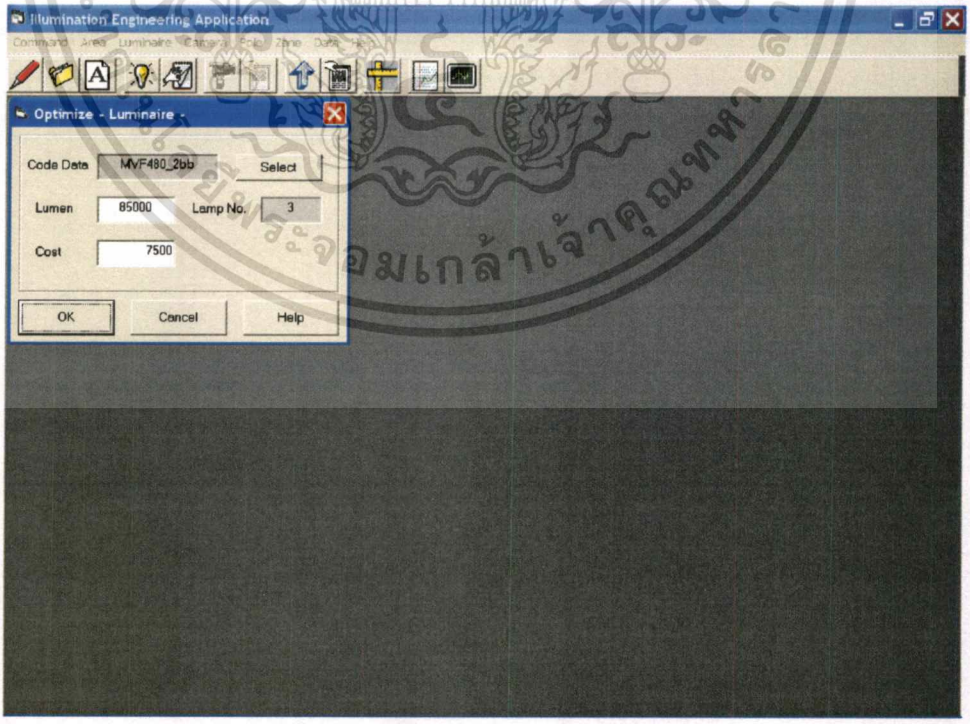
รูปที่ 5.24 หน้าจอรับข้อมูลพื้นที่การออกแบบ

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ข้อมูลแบบโคม

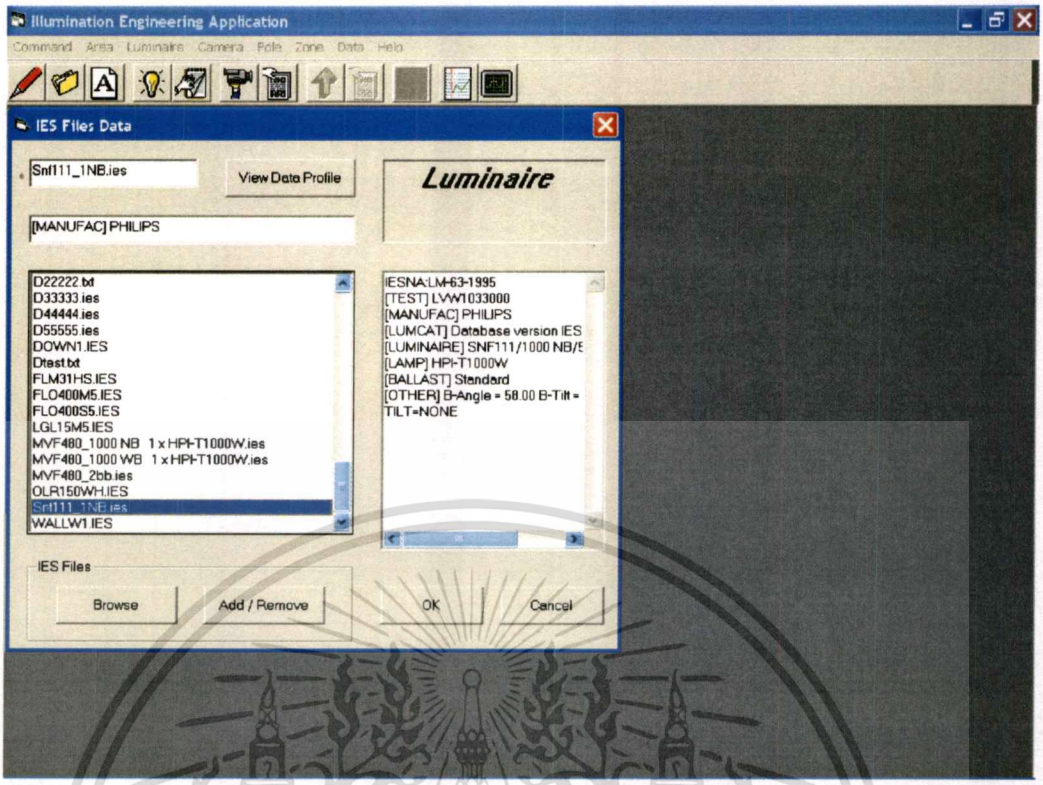


รูปที่ 5.25 ส่วนประกอบต่างๆ ที่ใช้ในการป้อนข้อมูลโคมไฟ

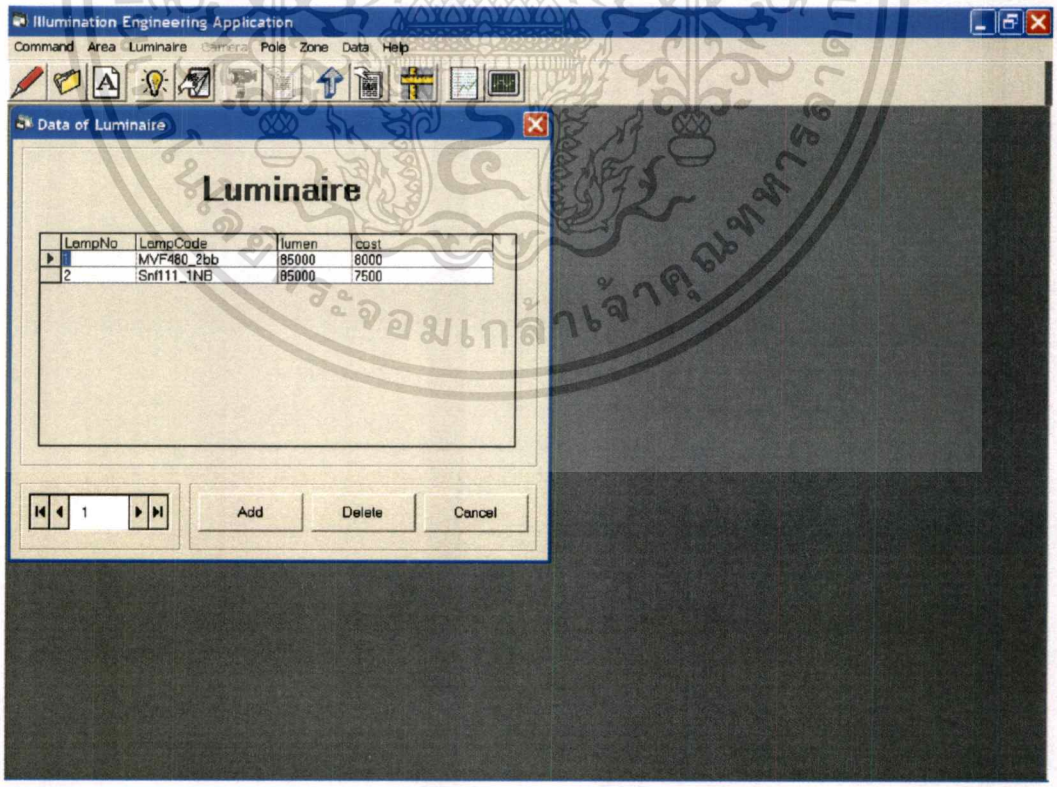


รูปที่ 5.26 หน้าจอรับข้อมูลแบบและราคาของโคมไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

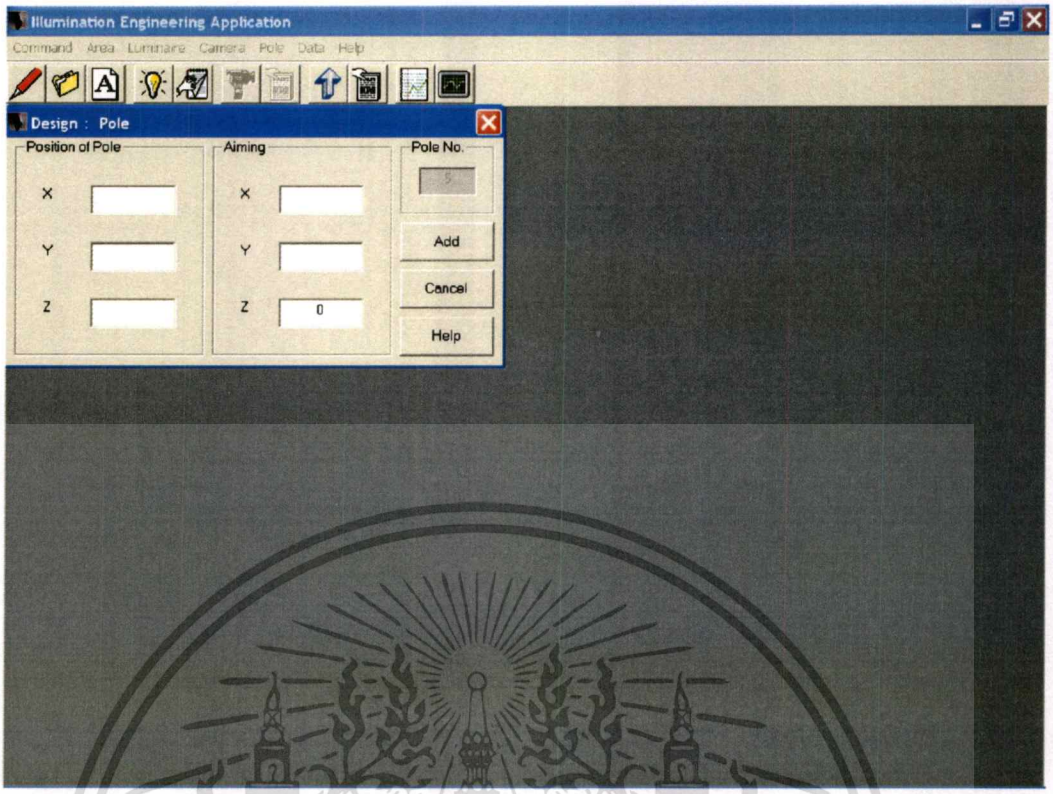


รูปที่ 5.27 หน้าจอเลือกแบบของโคมไฟจาก IES FILE

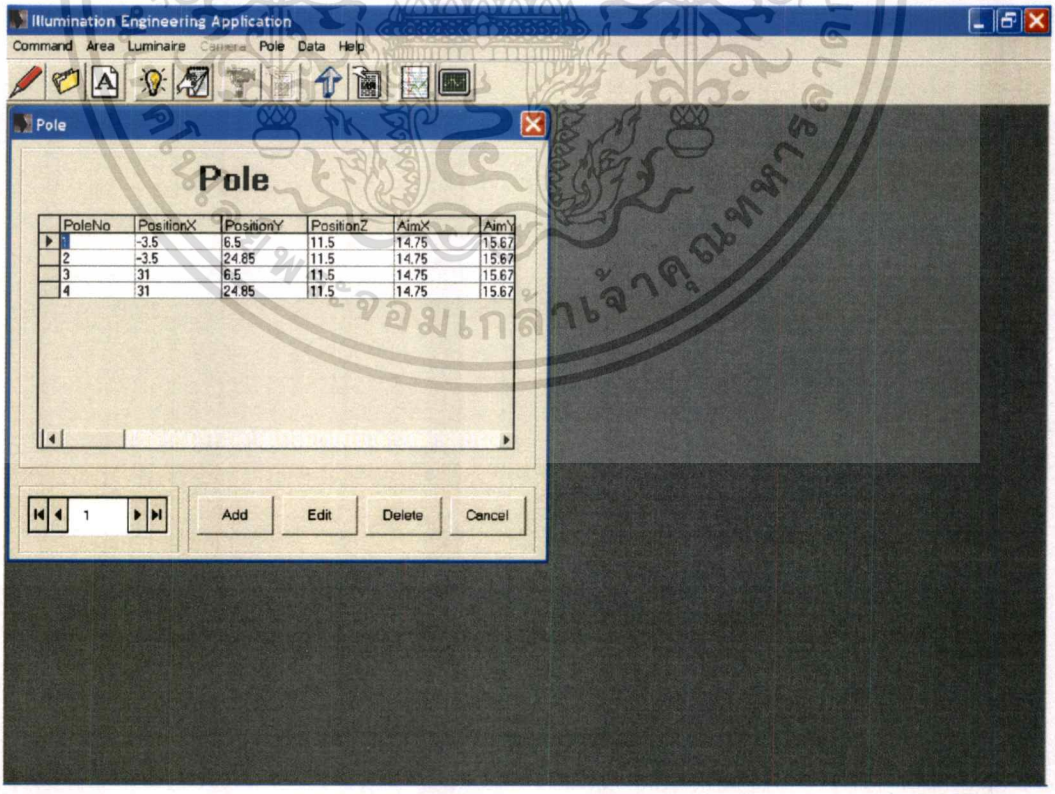


รูปที่ 5.28 หน้าจอข้อมูลแบบและราคาของโคมไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

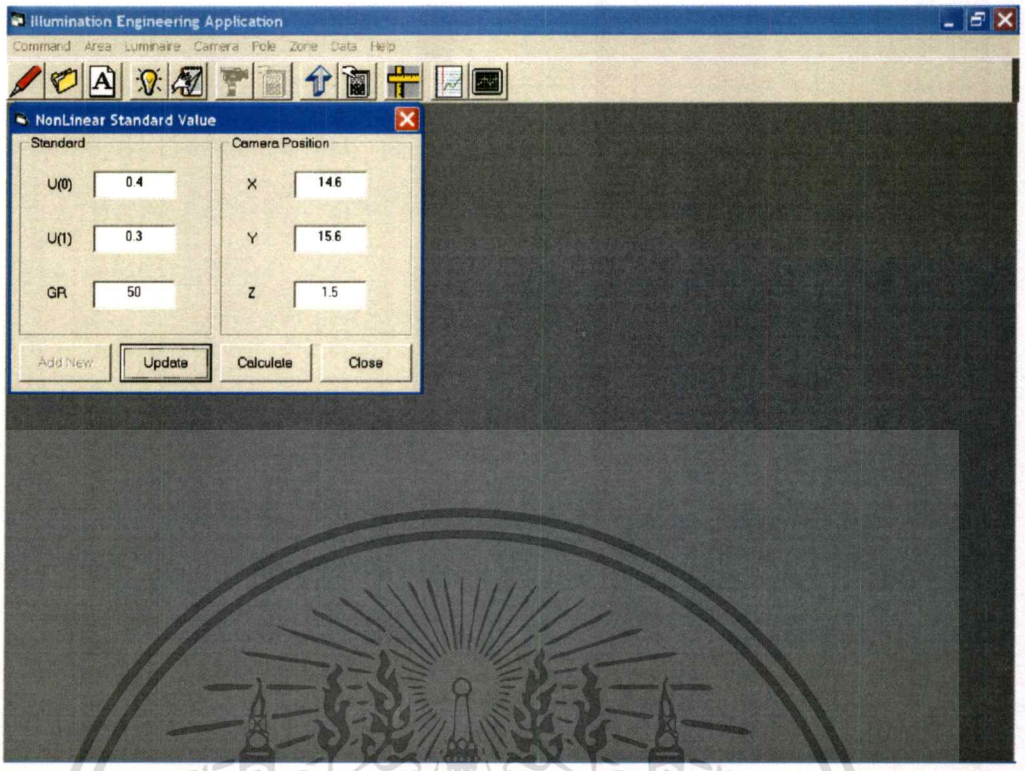


รูปที่ 5.29 หน้าจอรับข้อมูลตำแหน่งเสาไฟและจุดเล็งอ้างอิงของแต่ละเสา



รูปที่ 5.30 หน้าจอข้อมูลตำแหน่งการติดตั้งเสาไฟ

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.31 หน้าจอรับค่าความสม่ำเสมอมาตรฐาน และพิกัดแสงจ้ามาตรฐาน, ตำแหน่งกล้องถ่ายโทรทัศน์ (จุดสังเกตการณ์)

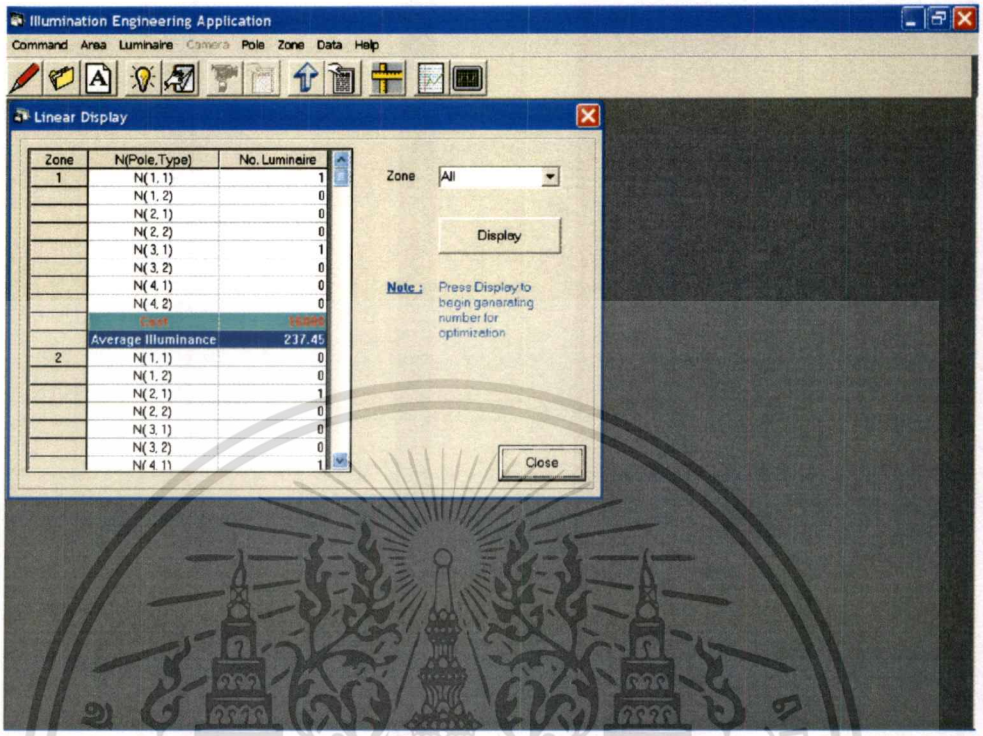
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2 ส่วนประมวลผล

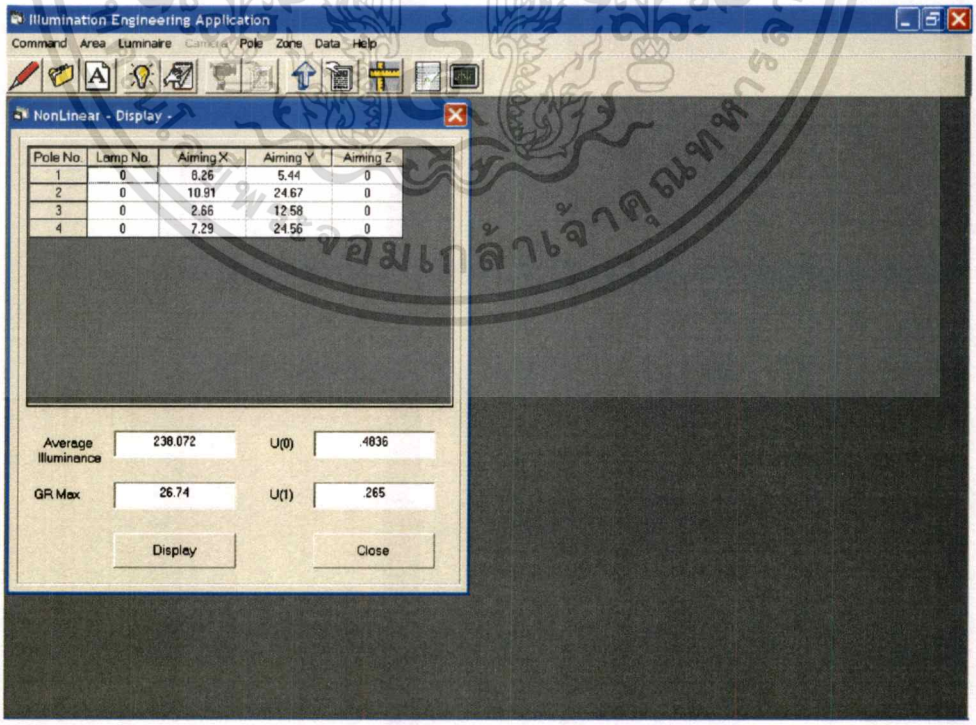
รูปที่ 5.32 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมการออกแบบในส่วนประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.3 ส่วนแสดงผล



รูปที่ 5.33 หน้าจอแสดงผลการคำนวณจำนวนโคมไฟ



รูปที่ 5.34 หน้าจอแสดงผลตำแหน่งจุดเล็งของแต่ละโคมไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 บทสรุป

โปรแกรมในงานวิจัยนี้ จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ในส่วนของการคำนวณและในส่วนของการออกแบบไฟส่องสว่างของสนามเทนนิส โดยในส่วนของการคำนวณ สามารถคำนวณค่าความเข้มแสงในแนวราบ และค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ ค่าความสม่ำเสมอ และพิกัดแสงจ้าแยงตา ในส่วนของการออกแบบ สามารถคำนวณหาจำนวนของโคมในแต่ละแบบที่เหมาะสม ที่จะทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้งน้อยที่สุด และสามารถคำนวณหาพิกัดจุดเล็งของโคมแต่ละโคมที่เหมาะสม ที่จะทำให้ได้ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยมากที่สุด โดยที่ค่าความสม่ำเสมอและพิกัดแสงจ้าแยงตาอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่เราต้องการ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ผลการทดสอบโปรแกรม

6.1 บทนำ

ในบทนี้จะนำเสนอการทดสอบโปรแกรม โดยแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ การทดสอบโปรแกรมในส่วนของการคำนวณ ซึ่งจะทำการทดสอบสนามเทนนิสแบบ 1 สนามและ 2 สนาม ส่วนที่สองคือการทดสอบโปรแกรมในส่วนของการออกแบบ ซึ่งจะทำการทดสอบโปรแกรมโดยการออกแบบไฟสนามเทนนิสแบบ 2 สนาม และทดสอบโปรแกรมโดยการออกแบบจุดเล็ง ในกรณีที่มีการติดตั้งโคมไว้แล้ว

6.2 การทดสอบโปรแกรมในส่วนของการคำนวณ

การทดสอบโปรแกรมในส่วนของการคำนวณ ได้ทำการทดสอบโดยการใช้ข้อมูลพื้นที่และข้อมูลการติดตั้งโคมจริงของสนามเทนนิส และได้ทำการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงในแนวราบที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมกับค่าความเข้มแสงที่ได้จากการวัดจริงด้วยลักซ์มิเตอร์

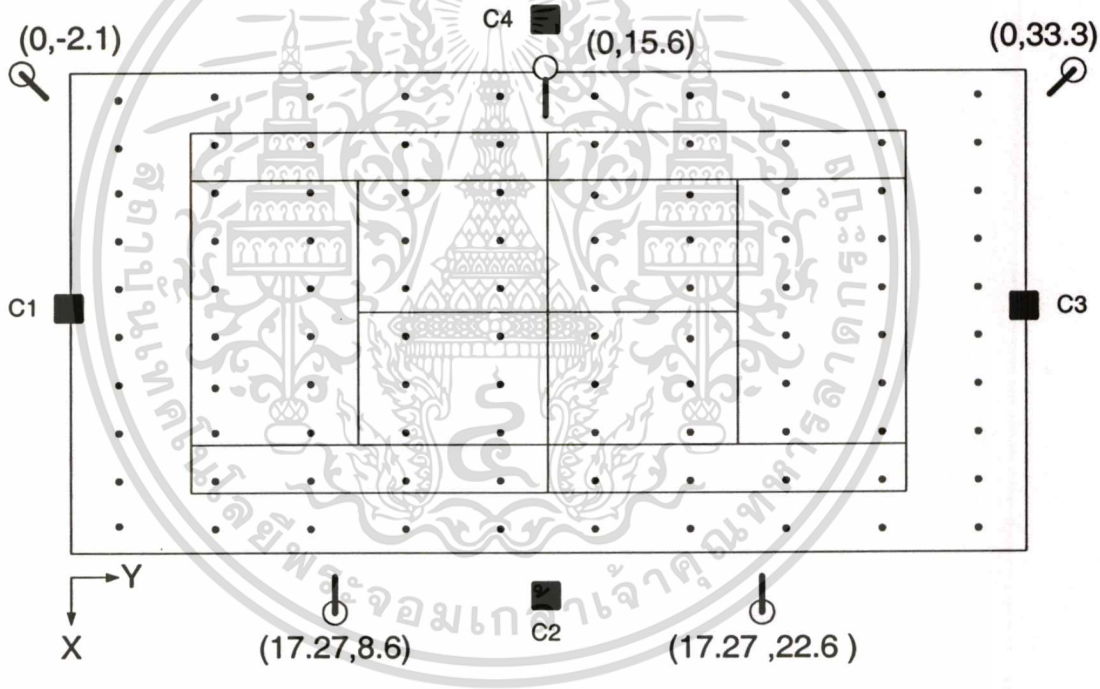
6.2.1 การทดสอบสนามเทนนิสแบบ 1 สนาม

พื้นที่ทดสอบเป็นสนามเทนนิสแบบ 1 สนาม ของมหาวิทยาลัยชินวัตรขนาดกว้าง 14.6 เมตร และยาว 31.2 เมตร ติดตั้งโคมฉายสูง 8 เมตร จำนวน 5 โคม ใช้หลอด Metal Halide (ϕ/lamp =80000 ลูเมน) และมีการกำหนดตำแหน่งติดตั้งกล้องถ่ายโทรทัศน์ สำหรับถ่ายทอดการแข่งขันจำนวน 4 ตัว โดยถือว่ากล้องตัวที่ 2 (จุดสังเกตการณ์) คือตำแหน่งของกรรมการ และเป็นจุดสังเกตการณ์อ้างอิง และใช้ลักซ์มิเตอร์ทำการวัดค่าความเข้มแสงจำนวน 100 จุด โดยมีข้อกำหนดในการให้แสงสำหรับสนามเทนนิส (การแข่งขันสมัครเล่นระดับชาติ) คือ $E_{h,ave} \geq 400$ lux , $U_1 \geq 0.3, U_0 \geq 0.5$, $GR_{\max} \leq 50$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

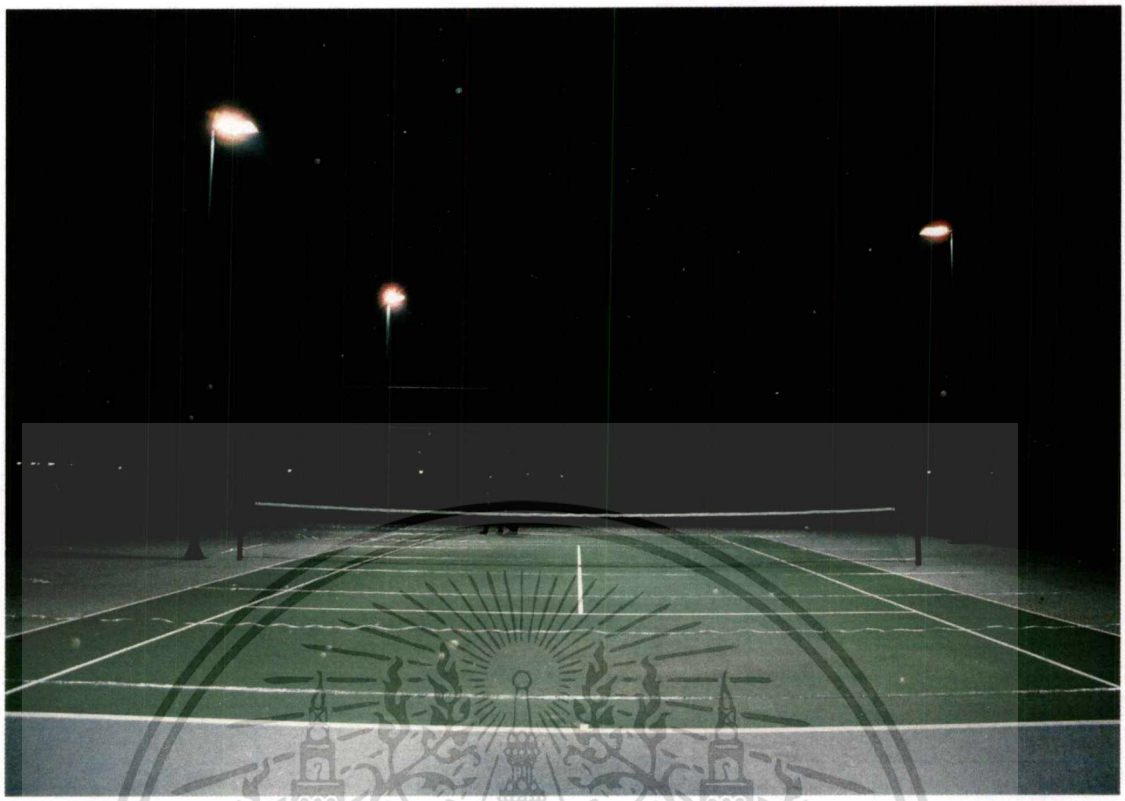
ตารางที่ 6.1 ข้อมูลการติดตั้งโคมไฟ

Luminaire No.	Type	Lumen	Position			Aiming Point		
			X	Y	Z	X	Y	Z
1	51201	80000	0	-2.1	8	0.5	-1.6	0
2	51201	80000	0	15.6	8	0.5	15.6	0
3	51201	80000	0	33.3	8	0.5	32.8	0
4	51201	80000	17.27	8.6	8	16.77	8.6	0
5	51201	80000	17.27	22.6	8	16.77	22.6	0



รูปที่ 6.1 พื้นที่สนามเทนนิสแบบ 1 สนาม การจัดวางตำแหน่งโคม และตำแหน่งจุดที่ทำการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 ภาพถ่ายสนามเทนนิสแบบ 1 สนามของมหาวิทยาลัยชินวัตร

ตารางที่ 6.2 ข้อมูลการติดตั้งกล้องถ่ายโทรทัศน์ (จุดสังเกตการณ์)

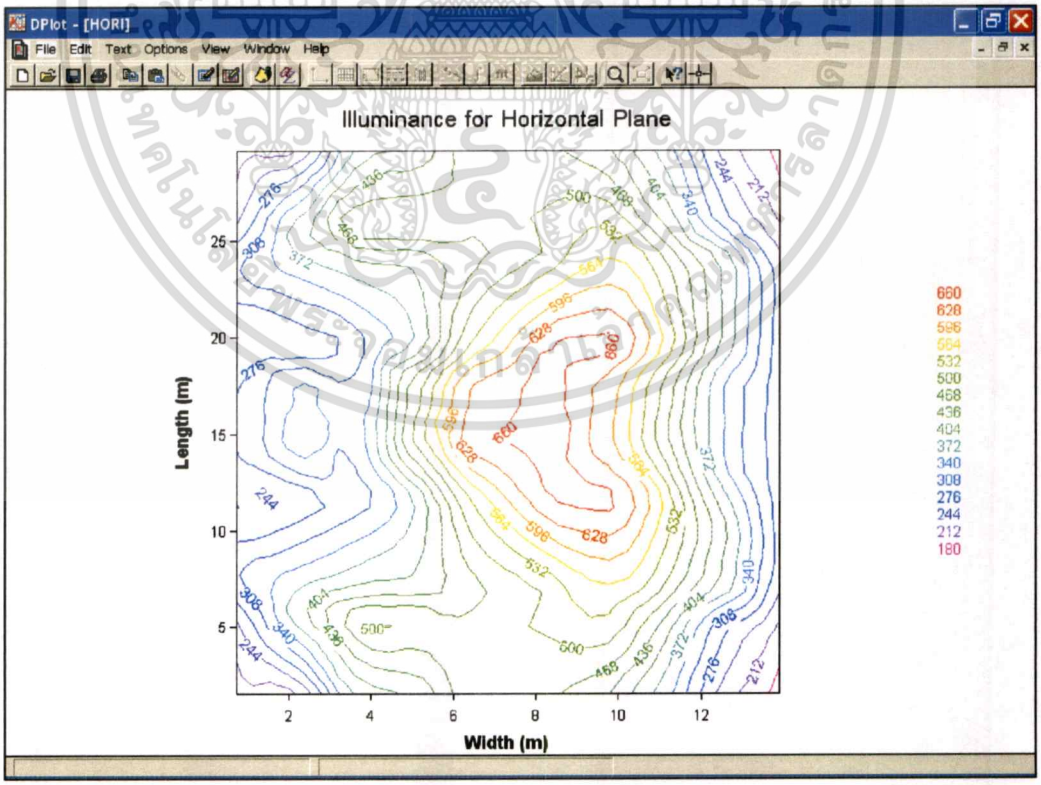
Camera No.	Position		
	X	Y	Z
1	7.3	0	1.5
2 (อ้างอิง)	16.6	15.6	1.5
3	7.3	31.2	1.5
4	-2	15.6	1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.1.1 ความเข้มแสงในแนวราบจากโปรแกรมการคำนวณ

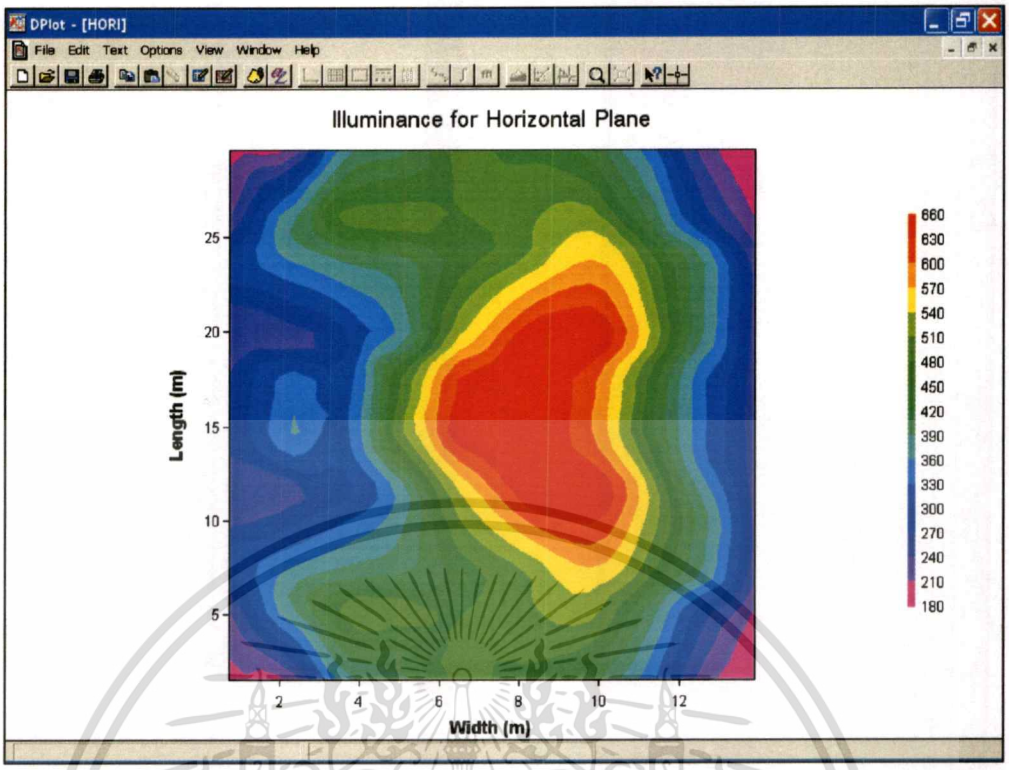
ตารางที่ 6.3 ผลการคำนวณค่าความเข้มแสงในแนวราบจากโปรแกรมการคำนวณ

X/Y	1.56	4.68	7.8	10.92	14.04	17.16	20.28	23.4	26.52	29.64
0.73	192.6	229.58	306.02	244.76	275.24	275.24	244.76	306.02	229.58	192.6
2.19	212.82	356.17	348.57	261.95	343.5	343.5	261.95	348.57	356.17	212.82
3.65	376.17	478.1	382.44	304.14	317.51	317.51	304.14	382.44	478.1	376.17
5.11	414	486.8	406.22	378.21	491.73	491.73	378.21	406.22	486.8	414
6.57	489.18	480.79	471.14	529.11	636.01	636.01	529.11	471.14	480.79	489.18
8.03	472.69	499.51	519.45	624.64	670.63	670.63	624.64	519.45	499.51	472.69
9.49	447.05	515.97	576.27	658.18	624.4	624.4	658.18	576.27	515.97	447.05
10.95	364.95	428.09	525.58	573.04	505.3	505.3	573.04	525.58	428.09	364.95
12.41	240.81	289.44	409.5	411.49	351.47	351.47	411.49	409.5	289.44	240.81
13.87	166.95	201.46	259.73	258.8	254.61	254.61	258.8	259.73	201.46	166.95

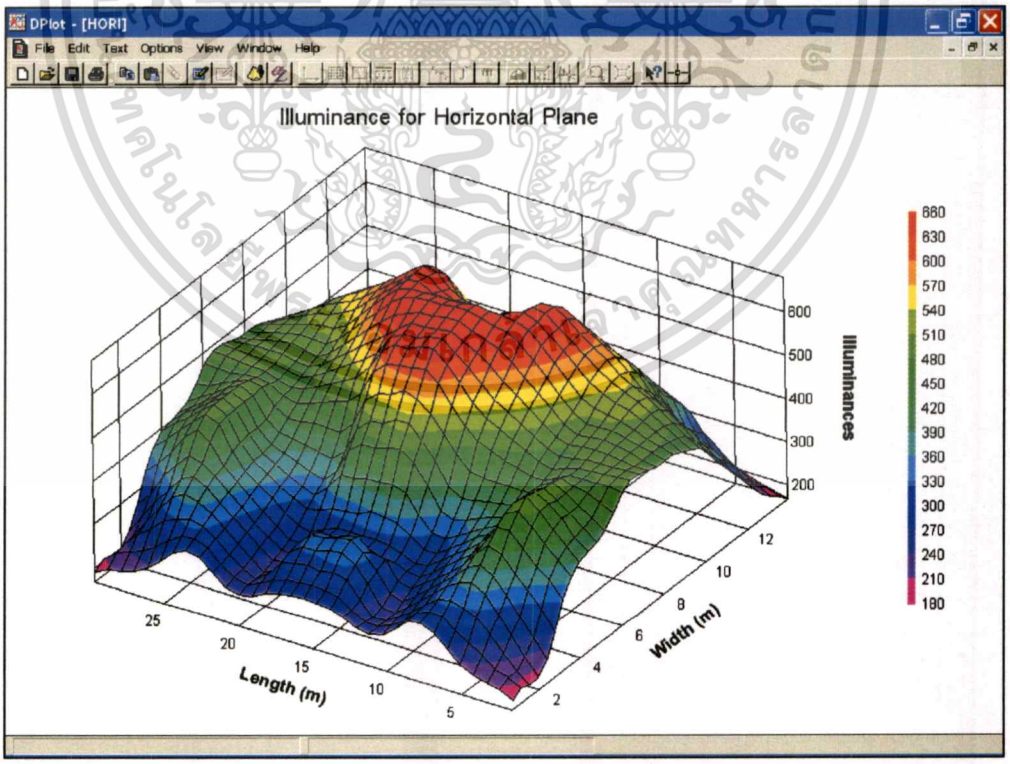


รูปที่ 6.3 ภาพลายเส้นของค่าความเข้มแสงในแนวระนาบจากโปรแกรมการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 ภาพแรเงาของค่าความเข้มแสงในแนวระนาบจากโปรแกรมการคำนวณ



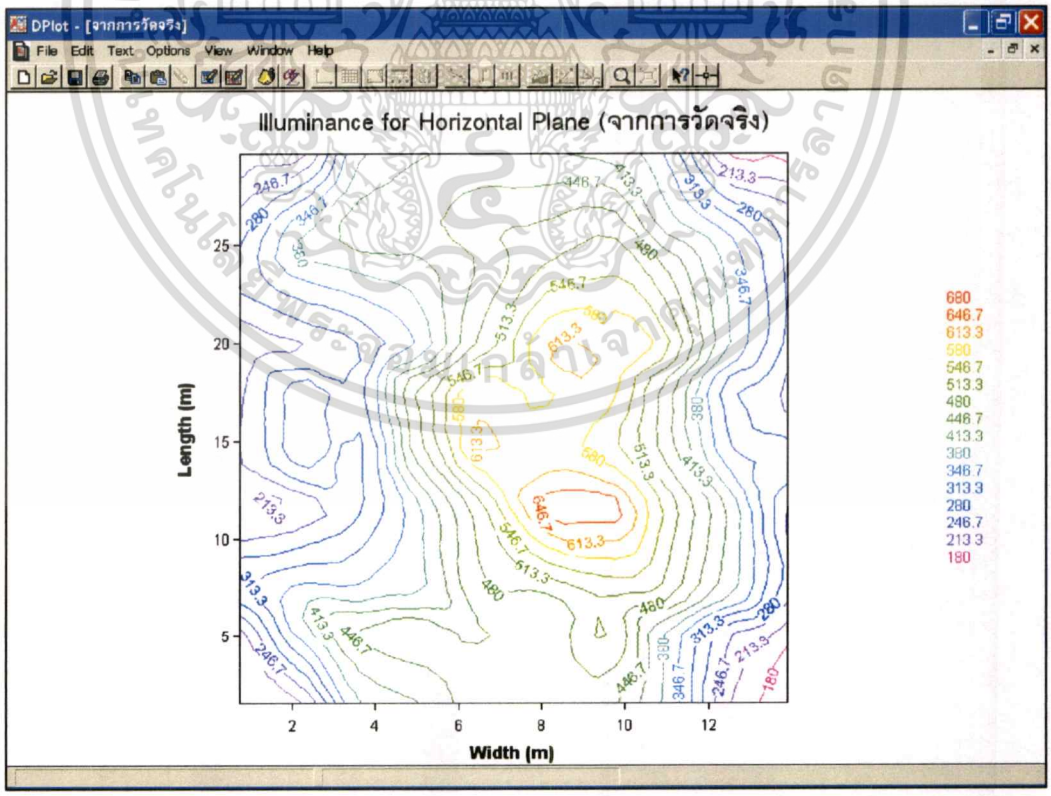
รูปที่ 6.5 ภาพ 3 มิติของค่าความเข้มแสงในแนวระนาบจากโปรแกรมการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.1.2 ความเข้มแสงในแนวราบจากการวัดจริงด้วยลักซ์มิเตอร์

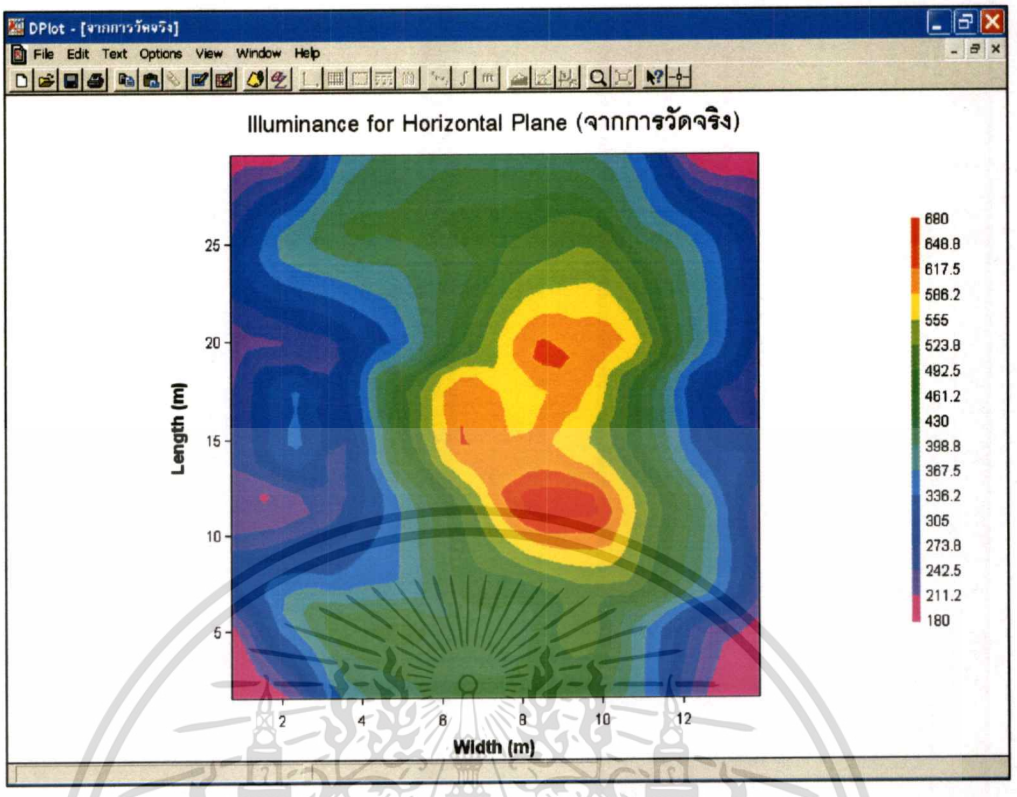
ตารางที่ 6.4 ค่าความเข้มแสงในแนวราบจากการวัดจริง

X/Y	1.56	4.68	7.8	10.92	14.04	17.16	20.28	23.4	26.52	29.64
0.73	179	189	305	222	245	242	232	289	252	181
2.19	210	341	344	234	322	335	253	352	344	202
3.65	380	447	346	288	276	304	292	377	427	375
5.11	415	467	375	377	461	492	362	399	436	411
6.57	469	447	477	497	601	612	487	455	468	420
8.03	467	458	500	633	598	577	597	524	474	415
9.49	458	511	536	652	577	589	603	546	489	402
10.95	375	377	511	540	478	465	553	489	390	345
12.41	223	251	402	415	338	302	388	377	312	182
13.87	148	184	268	244	294	238	274	275	256	166

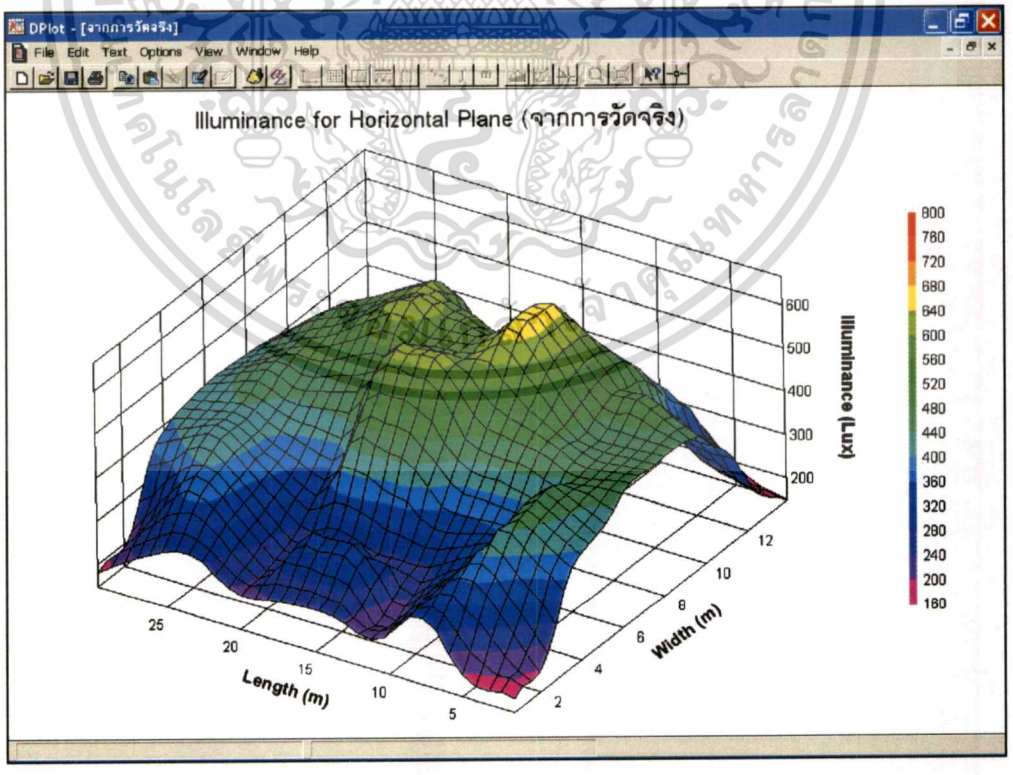


รูปที่ 6.6 ภาพลายเส้นของค่าความเข้มแสงในแนวระนาบจากการวัดจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.7 ภาพแรเงาของค่าความเข้มแสงในแนวระนาบจากการวัดจริง



รูปที่ 6.8 ภาพ 3 มิติของค่าความเข้มแสงในแนวระนาบจากการวัดจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.5 ผลการคำนวณค่าความเข้มแสงในแนวราบ

ผลการวิเคราะห์	Emax (Lux)	Eave (Lux)	Emin (Lux)	Ul (Emin/Emax)	Uo (Emin/Eave)
โปรแกรมการคำนวณ	670.63	405.26	166.95	0.25	0.41
การวัดจริง	652	385.8	148	0.23	0.38

ผลการคำนวณค่าความเข้มแสงในแนวราบจากโปรแกรมการคำนวณ เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริง จะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยเท่ากับ 405.3 ลักซ์ ค่าความสม่ำเสมอ U_0 เท่ากับ 0.41 และค่าความสม่ำเสมอ U_l เท่ากับ 0.25 ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานต้องทำการเพิ่มหรือเปลี่ยนจุดเล็งและตำแหน่งของโคมไฟใหม่

6.2.1.3 ความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์

ความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่ 1 (กล้องตัวที่ 1)

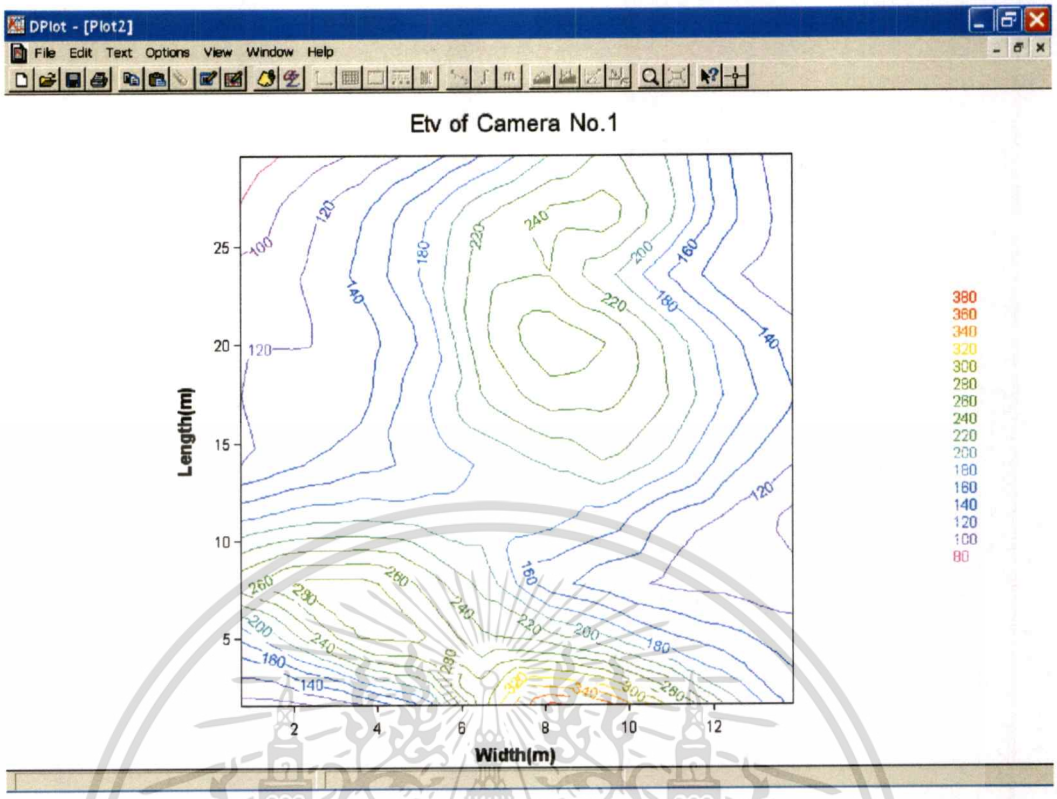
ตารางที่ 6.6 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1)

X/Y	1.56	4.68	7.8	10.92	14.04	17.16	20.28	23.4	26.52	29.64
0.73	92.19	152.38	255.68	181.81	115.87	119.89	117.85	110.29	83.62	66.21
2.19	95.93	213.77	288.28	197.22	136.45	132.23	117.61	119.6	112.93	86.79
3.65	120.76	281.11	288.1	200.41	151.62	133.82	129.33	145.71	139.58	103.5
5.11	162.53	285.7	254.36	193.63	163.79	177.21	161.6	182.49	177.42	127.86
6.57	300.44	245.22	210.27	193.81	182.78	222.76	240.09	234.37	222.13	160.02
8.03	384.77	237.43	145.67	187.01	203.34	248.76	278.25	241.68	247.56	197.44
9.49	368.62	209.82	125.42	169.06	223.75	246.4	261.34	205.12	254.8	224.98
10.95	294.68	168.27	115.04	132.1	195.21	220.55	213.77	158.42	209.04	198.62
12.41	209.09	149.87	112.01	111.38	148.13	175.01	165.05	122.71	144.61	137.79
13.87	151.69	131.47	106.05	92.68	122.68	142.37	128.79	103.08	108.9	102.89

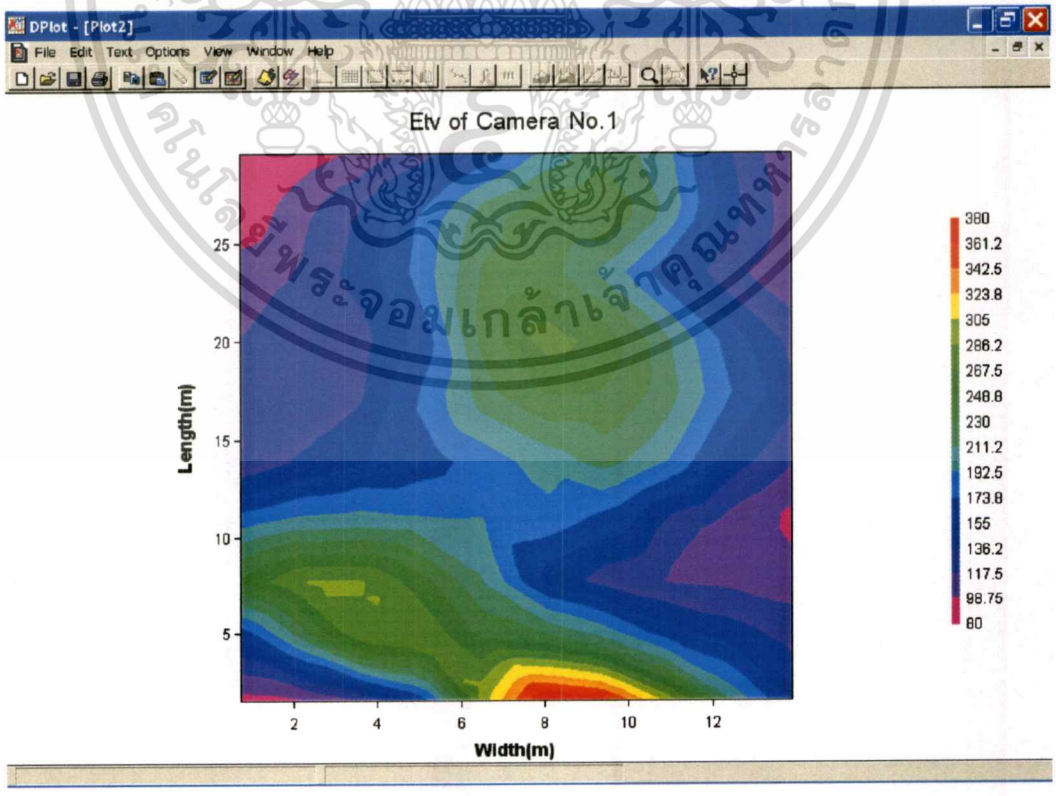
ตารางที่ 6.7 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่ 1 (กล้องตัวที่1)

จำนวนจุดคำนวณ		Emax (Lux)	Eave (Lux)	Emin (Lux)	Ul (Emin/Emax)	Uo (Emin/Eave)
แกน X	แกน Y					
10	10	384.77	178.22	66.21	0.17	0.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

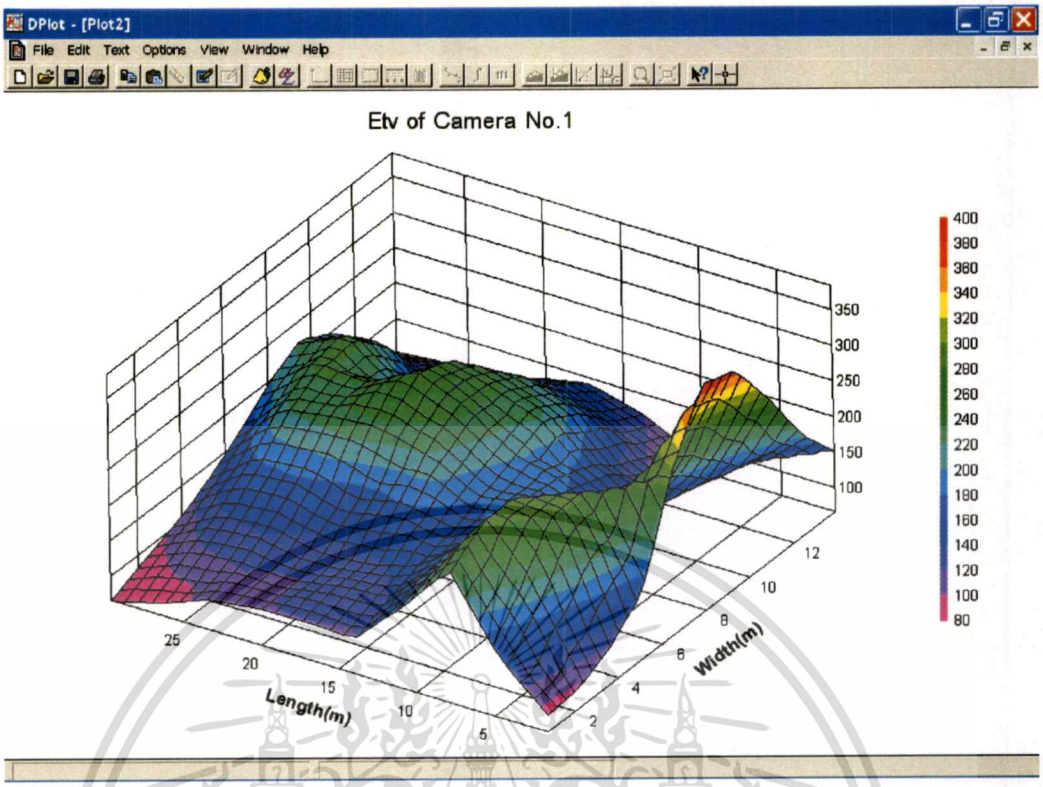


รูปที่ 6.9 ภาพลายเส้นของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1)



รูปที่ 6.10 ภาพแรเงาของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1)

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.11 ภาพ 3 มิติของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1)

6.2.1.3.2 ความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่ 2 (กล้องตัวที่ 2)

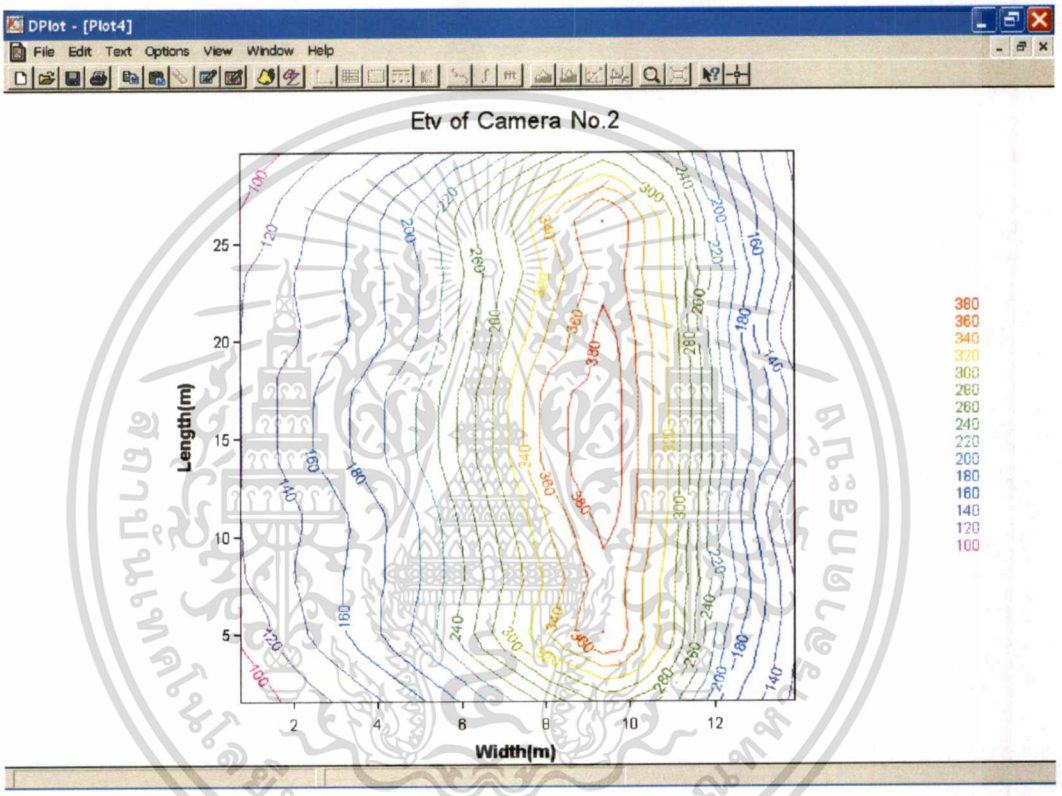
ตารางที่ 6.8 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2)

X/Y	1.56	4.68	7.8	10.92	14.04	17.16	20.28	23.4	26.52	29.64
0.73	81.86	101.17	117.79	119.97	119.45	119.45	119.97	117.79	101.17	81.86
2.19	108.81	136.53	143.16	138.86	153.68	153.68	138.86	143.16	136.53	108.81
3.65	131.07	167.92	168.49	165.11	187.19	187.19	165.11	168.49	167.92	131.07
5.11	158.54	209.29	200.44	202.3	224.55	224.55	202.3	200.44	209.29	158.54
6.57	197.02	274.66	261.61	272.09	291.25	291.25	272.09	261.61	274.66	197.02
8.03	247.61	341.85	323.82	342.28	371.01	371.01	342.28	323.82	341.85	247.61
9.49	290.22	385.4	377.36	392.54	397.13	397.13	392.54	377.36	385.4	290.22
10.95	250.74	306.65	309	317.39	318.3	318.3	317.39	309	306.65	250.74
12.41	162.46	186.15	205.18	190.79	203.3	203.3	190.79	205.18	186.15	162.46
13.87	114.74	122.9	119.86	97.37	133.14	133.14	97.37	119.86	122.9	114.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

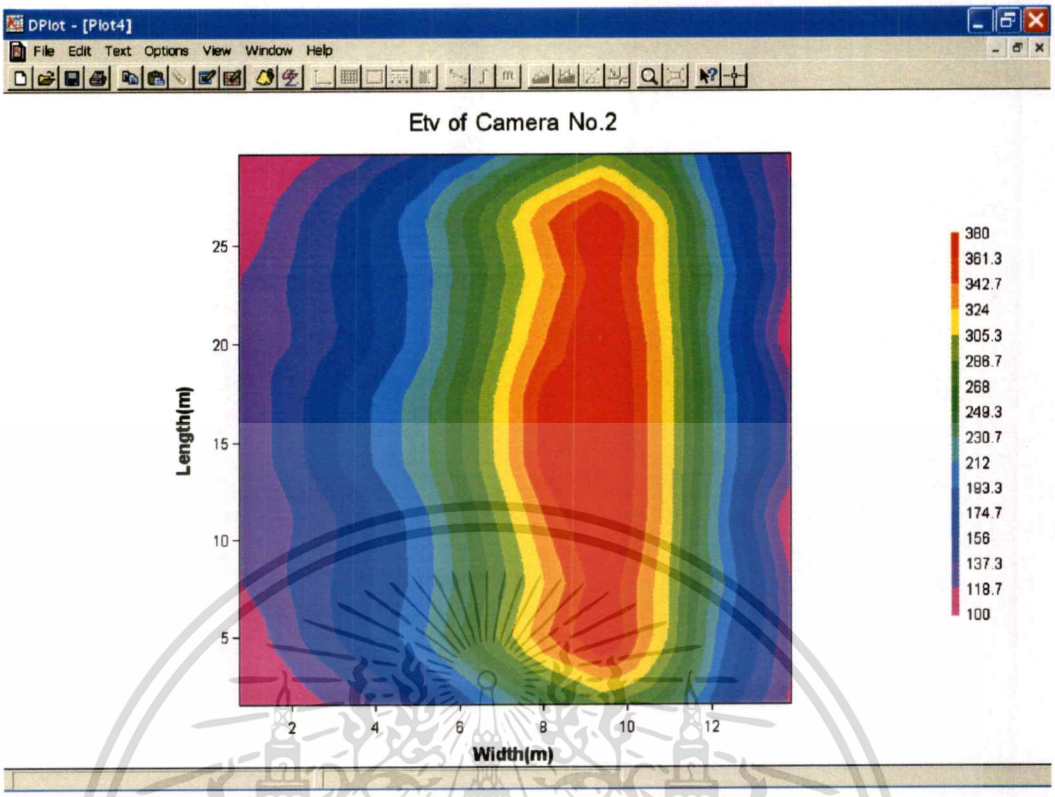
ตารางที่ 6.9 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2)

จำนวนจุดคำนวณ		Emax	Eave	Emin	Ul	Uo
แกน X	แกน Y	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Emin/Emax)	(Emin/Eave)
10	10	397.13	216.8	81.86	0.21	0.38

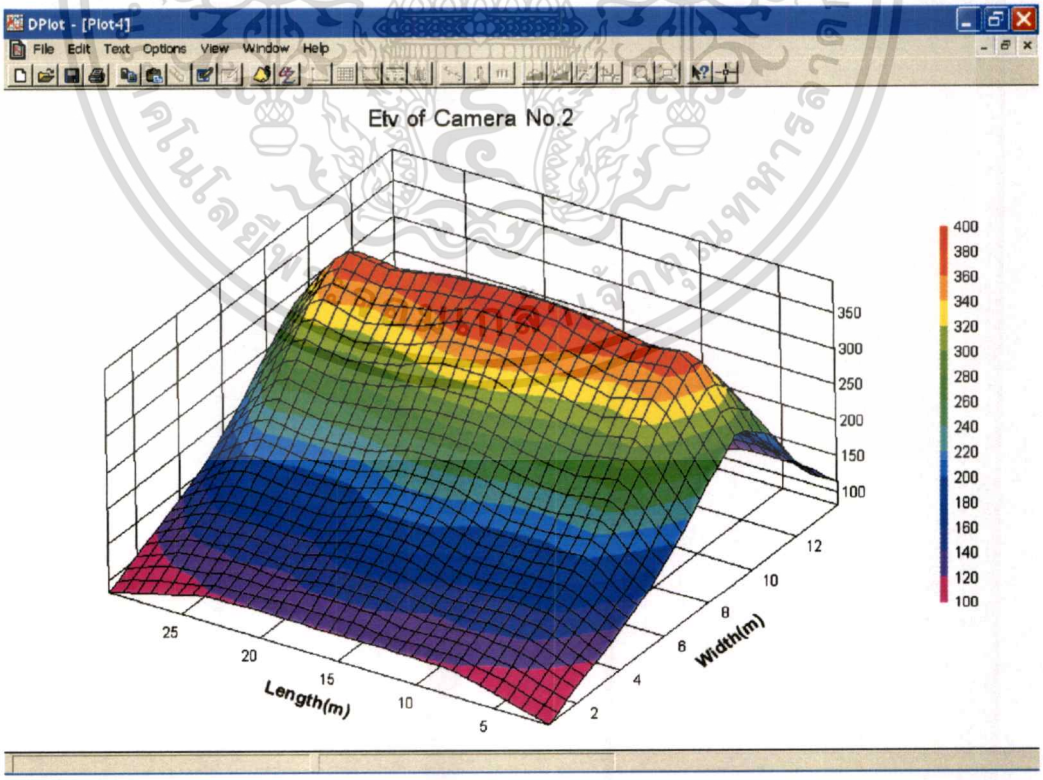


รูปที่ 6.12 ภาพลายเส้นค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.13 ภาพแรเงาของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2)



รูปที่ 6.14 ภาพ 3 มิติของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่ 3 (กล้องตัวที่ 3)

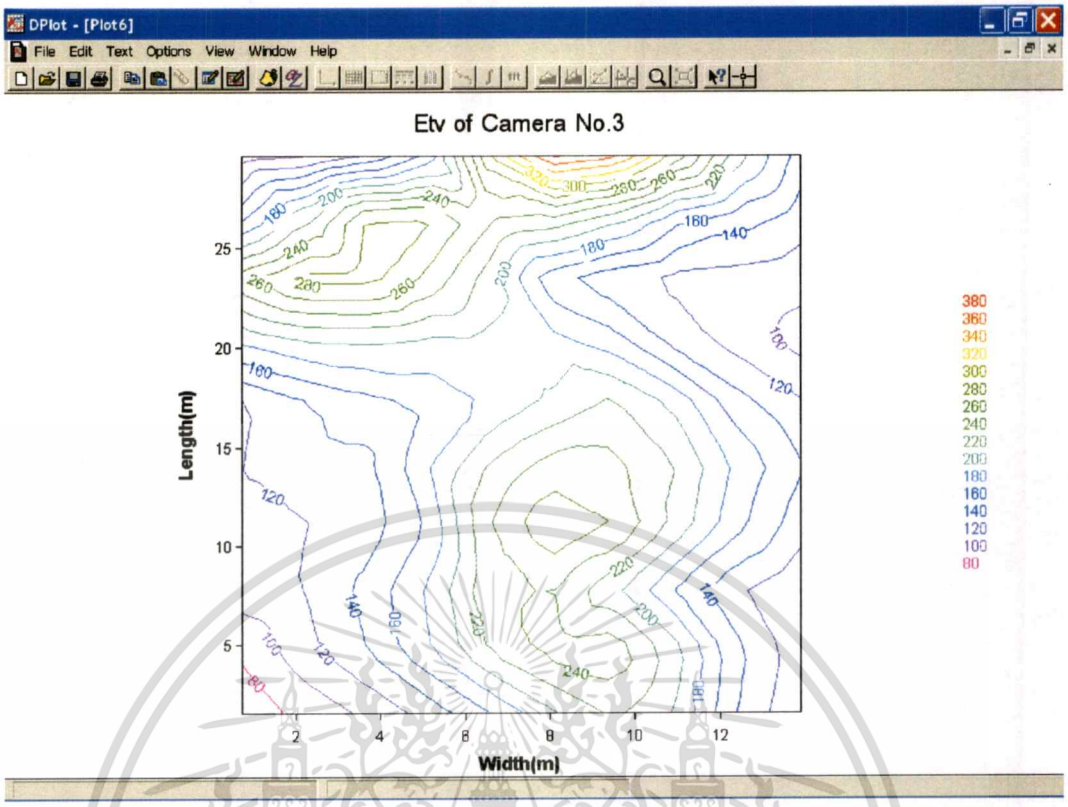
ตารางที่ 6.10 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3)

X/Y	1.56	4.68	7.8	10.92	14.04	17.16	20.28	23.4	26.52	29.64
0.73	66.21	83.62	110.29	117.85	119.89	115.87	181.81	255.68	152.38	92.19
2.19	86.79	112.93	119.6	117.61	132.23	136.45	197.22	288.28	213.77	95.93
3.65	103.5	139.58	145.71	129.33	133.82	151.62	200.41	288.1	281.11	120.76
5.11	127.86	177.42	182.49	161.6	177.21	163.79	193.63	254.36	285.7	162.53
6.57	160.02	222.13	234.37	240.09	222.76	182.78	193.81	210.27	245.22	300.44
8.03	197.44	247.56	241.68	278.25	248.76	203.34	187.01	145.67	237.43	384.77
9.49	224.98	254.8	205.12	261.34	246.4	223.75	169.06	125.42	209.82	368.62
10.95	198.62	209.04	158.42	213.77	220.55	195.21	132.1	115.04	168.27	294.68
12.41	137.79	144.61	122.71	165.05	175.01	148.13	111.38	112.01	149.87	209.09
13.87	102.89	108.9	103.08	128.79	142.37	122.68	92.68	106.05	131.47	151.69

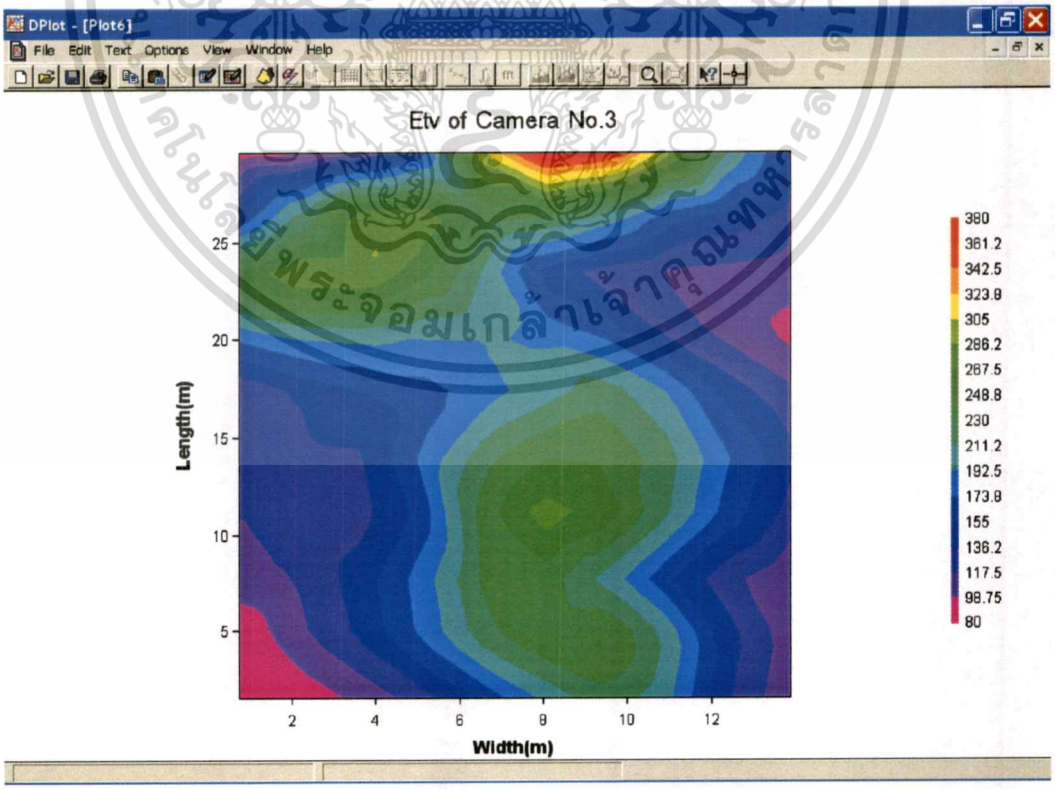
ตารางที่ 6.11 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3)

จำนวนจุดคำนวณ		Emax	Eave	Emin	Ul	Uo
แกน X	แกน Y	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Emin/Emax)	(Emin/Eave)
10	10	384.77	178.22	66.21	0.17	0.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

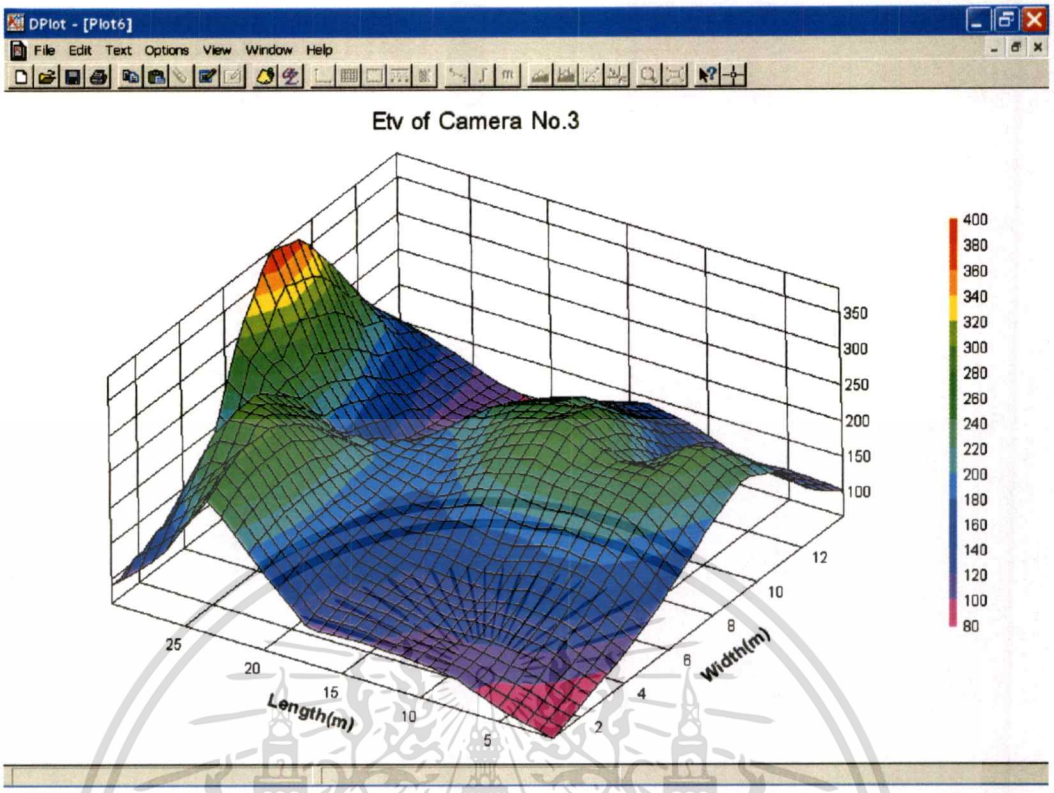


รูปที่ 6.15 ภาพลายเส้นค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3)



รูปที่ 6.16 ภาพแรเงาของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.17 ภาพ 3 มิติของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3)

6.2.1.3.4 ความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่ 4 (กล้องตัวที่ 4)

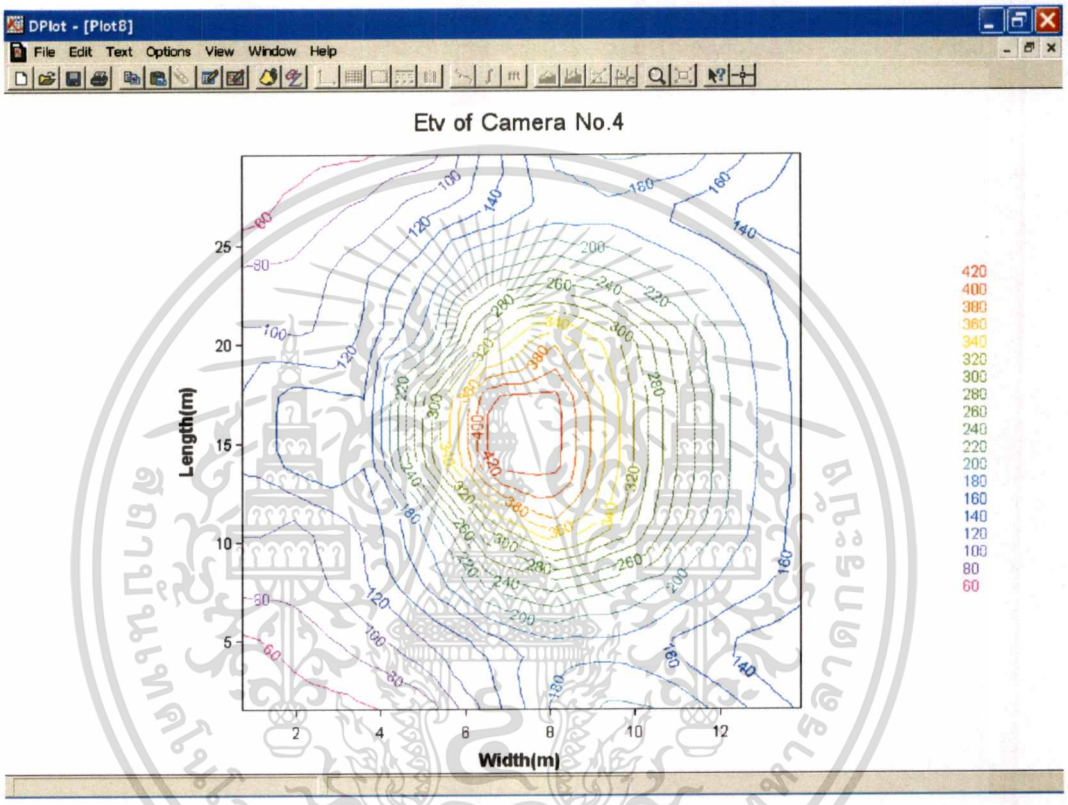
ตารางที่ 6.12 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4)

X/Y	1.56	4.68	7.8	10.92	14.04	17.16	20.28	23.4	26.52	29.64
0.73	44.42	52.79	86.12	103.51	123.43	123.43	103.51	86.12	52.79	44.42
2.19	52.93	68.46	89.22	97.39	153.59	153.59	97.39	89.22	68.46	52.93
3.65	57.5	87.61	118.05	123.86	141.49	141.49	123.86	118.05	87.61	57.5
5.11	69.14	117.55	162.8	186.32	292.1	292.1	186.32	162.8	117.55	69.14
6.57	129.4	143.52	226.43	316.63	427.5	427.5	316.63	226.43	143.52	129.4
8.03	183.11	170.25	249.89	378.64	433.1	433.1	378.64	249.9	170.25	183.11
9.49	205.28	172.27	225.39	328.81	348	348	328.81	225.39	172.27	205.28
10.95	197.44	153.19	195.48	249.26	262.31	262.31	249.26	195.48	153.19	197.44
12.41	164.18	134.19	170.38	186.43	191.31	191.31	186.43	170.38	134.19	164.18
13.87	136.75	121.35	149.69	152.22	154.81	154.81	152.22	149.69	121.35	136.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

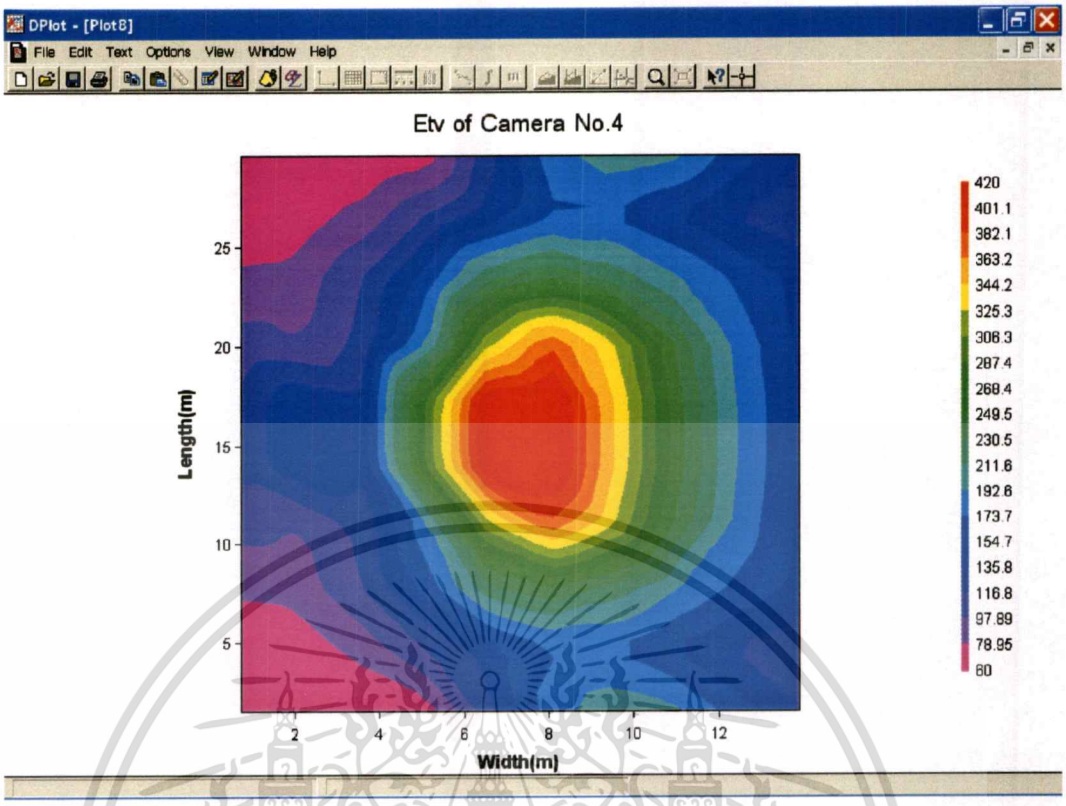
ตารางที่ 6.13 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4)

จำนวนจุดคำนวณ		Emax	Eave	Emin	Ul	Uo
แกน X	แกน Y	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Emin/Emax)	(Emin/Eave)
10	10	433.1	175.71	44.42	0.1	0.25

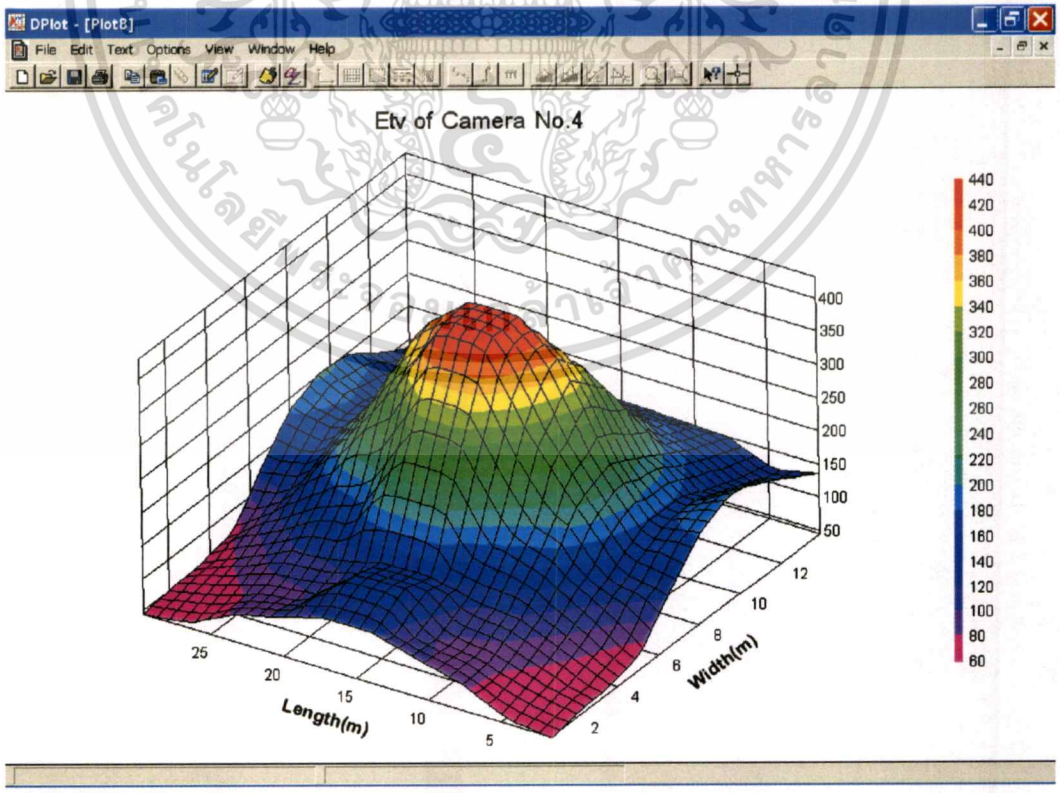


รูปที่ 6.18 ภาพลายเส้นค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.19 ภาพแรเงาของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4)



รูปที่ 6.20 ภาพ 3 มิติของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4)

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.1.4 พิกัดแสงจ้าแยงตา

ตารางที่ 6.14 ผลการคำนวณพิกัดแสงจ้าแยงตา

จุดสังเกตการณ์	พิกัดแสงจ้าแยงตา (Glare Rating : GR)		
	Maximum	Average	Minimum
กล้องตัวที่ 1	62.81	48.86	10
กล้องตัวที่ 2	45.5	37.35	20.96
กล้องตัวที่ 3	62.81	48.86	10
กล้องตัวที่ 4	36.2	14.77	-3.28

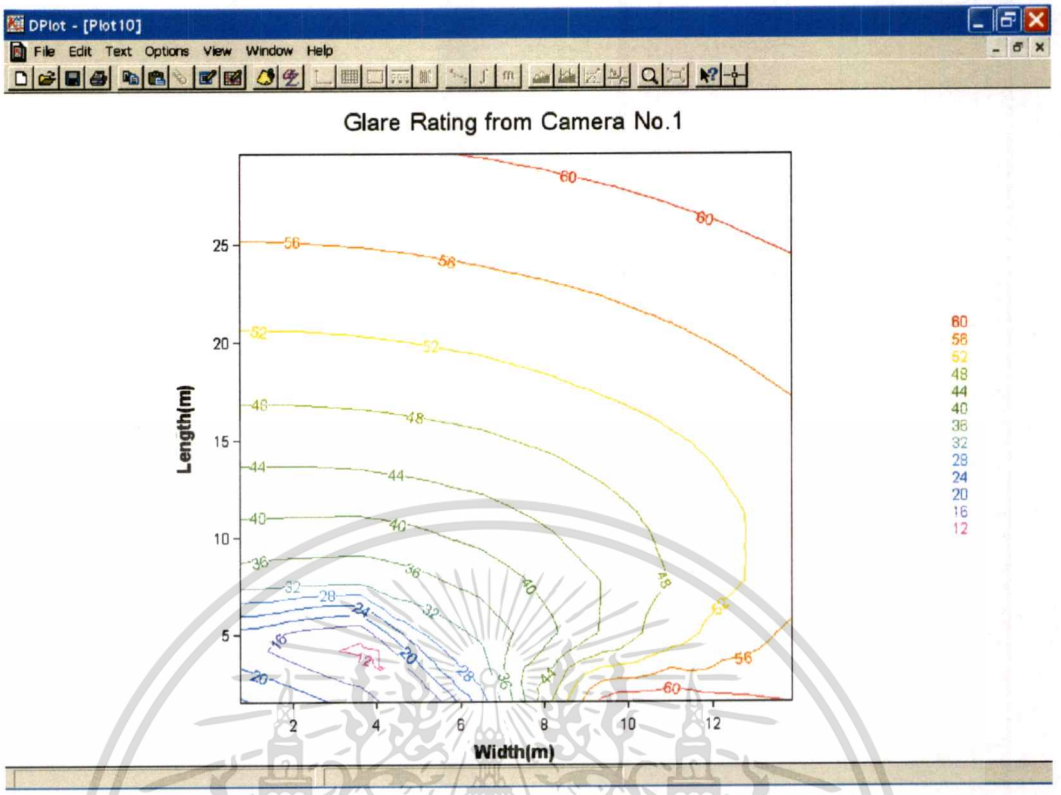
จากตารางที่ 6.14 ผลการคำนวณพิกัดแสงจ้าแยงตาสูงสุดที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่ 1 และ 3 มีค่ามากกว่า 50 จึงไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ต้องทำการปรับจุดเล็งใหม่ หรือทำการเพิ่มโคม จนกว่าจะผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แต่สำหรับจุดสังเกตการณ์จุดที่ 2 เป็นตำแหน่งของกรรมการ ซึ่งถือเป็นจุดสังเกตการณ์อ้างอิง พิกัดแสงจ้าแยงตาสูงสุดมีค่า 45.5 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่ 1 (กล้องตัวที่1)

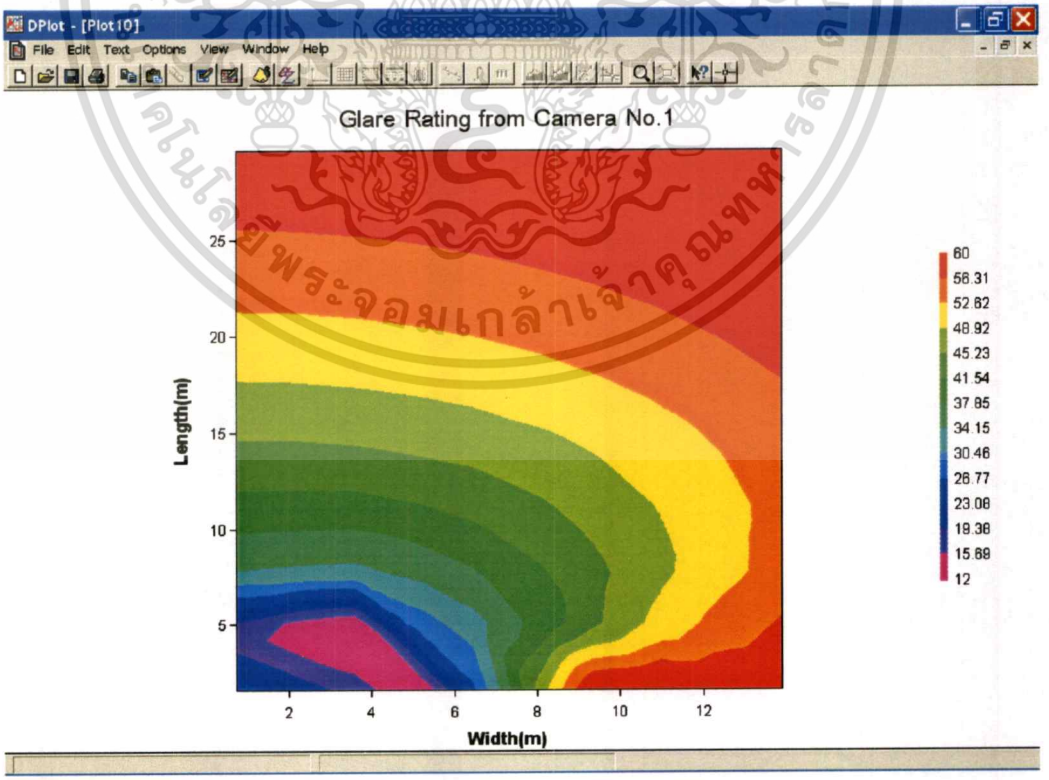
ตารางที่ 6.15 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1)

X/Y	1.56	4.68	7.8	10.92	14.04	17.16	20.28	23.4	26.52	29.64
0.73	24.47	16.45	34.37	39.94	44.54	48.38	51.69	54.56	57.09	59.37
2.19	21.67	12.08	33.79	39.8	44.55	48.44	51.73	54.64	57.18	59.46
3.65	17.81	10	33.47	39.7	44.88	48.73	51.98	54.86	57.37	59.62
5.11	11.45	27.24	35.19	40.8	45.55	49.24	52.39	55.19	57.65	59.86
6.57	27.09	32.41	37.76	42.38	46.29	49.97	52.96	55.65	58.03	60.19
8.03	46.65	38.72	40.96	44.33	47.62	50.9	53.68	56.22	58.5	60.58
9.49	62.26	45.03	44.47	46.56	49.17	52	54.52	56.9	59.06	61.05
10.95	62.77	50.33	47.97	48.93	50.86	53.24	55.49	57.67	59.69	61.58
12.41	60.73	54.26	51.24	51.33	52.64	54.58	56.57	58.52	60.39	62.17
13.87	59.93	57	54.14	53.65	54.44	55.99	57.69	59.43	61.15	62.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

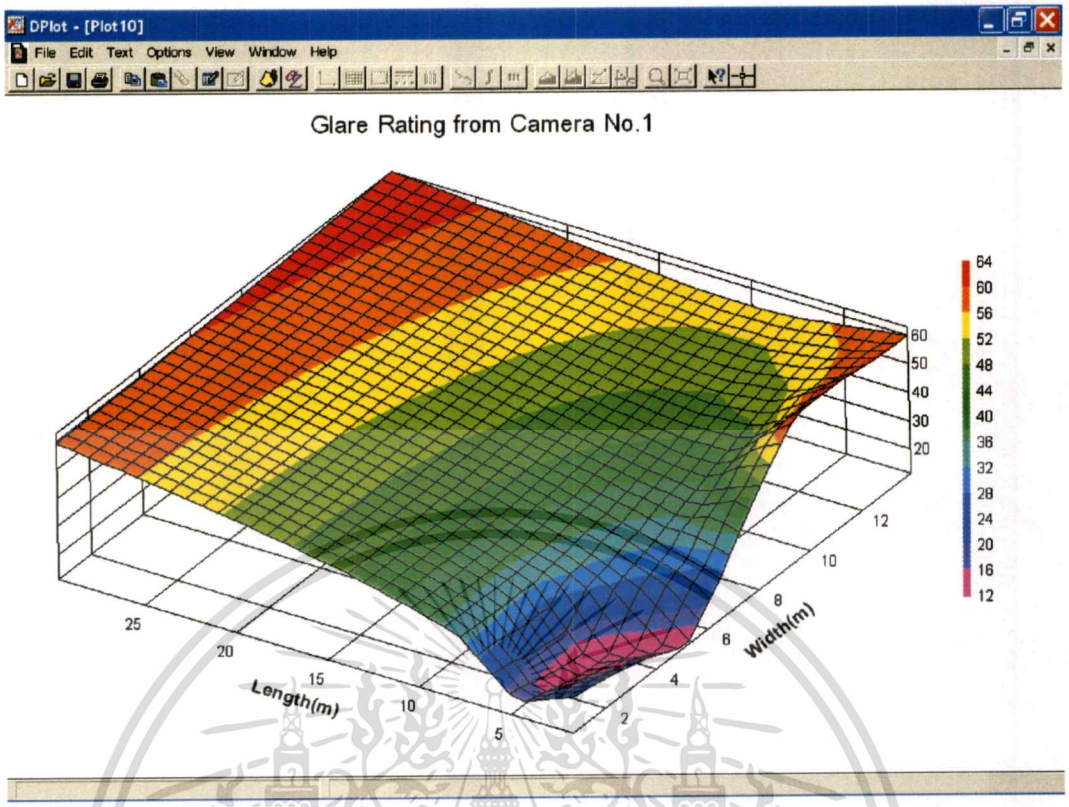


รูปที่ 6.21 ภาพลายเส้นของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1)



รูปที่ 6.22 ภาพแรเงาของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



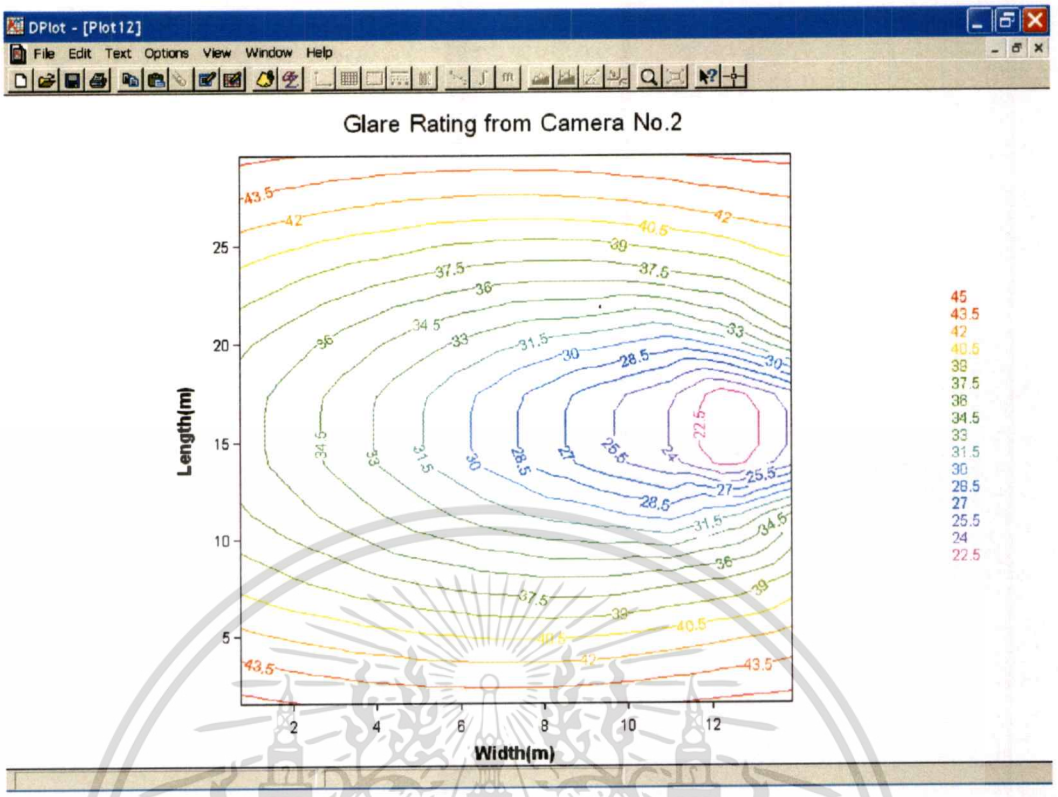
รูปที่ 6.23 ภาพ 3 มิติของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1)

6.2.1.4.2 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่ 2 (กล้องตัวที่2)

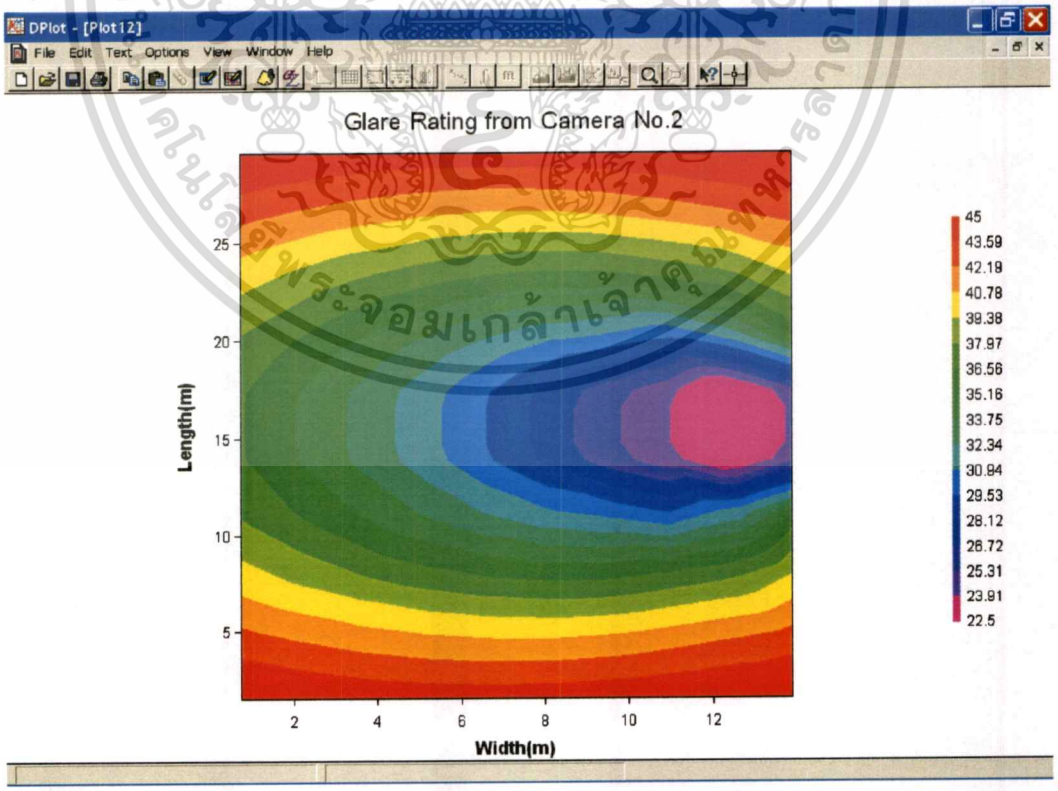
ตารางที่ 6.16 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2)

X/Y	1.56	4.68	7.8	10.92	14.04	17.16	20.28	23.4	26.52	29.64
0.73	45.43	42.7	40.04	37.9	36.66	36.66	37.9	40.04	42.7	45.43
2.19	45	42.03	39.04	36.54	35.04	35.04	36.54	39.04	42.03	45
3.65	44.67	41.46	38.1	35.16	33.32	33.32	35.16	38.1	41.46	44.67
5.11	44.46	41.03	37.28	33.8	31.5	31.5	33.8	37.28	41.03	44.46
6.57	44.39	40.78	36.65	32.52	29.59	29.59	32.52	36.65	40.78	44.39
8.03	44.46	40.76	36.31	31.46	27.62	27.62	31.46	36.31	40.76	44.46
9.49	44.66	41	36.38	30.82	25.69	25.69	30.82	36.38	41	44.66
10.95	44.95	41.49	37.09	29.87	24.05	24.05	29.87	37.09	41.49	44.95
12.41	45.27	42.14	37.79	31.89	20.96	20.96	31.89	37.79	42.14	45.27
13.87	45.5	42.74	39.53	35.71	24.25	24.25	35.71	39.53	42.74	45.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

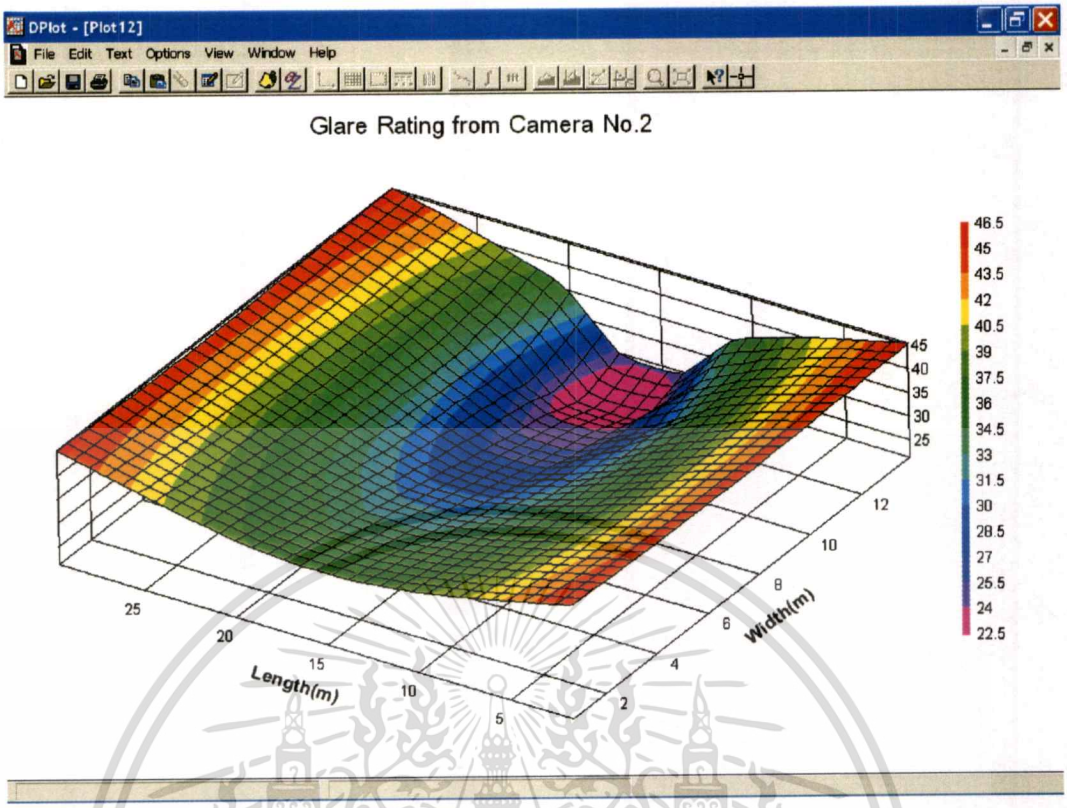


รูปที่ 6.24 ภาพลายเส้นของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2)



รูปที่ 6.25 ภาพแรเงาของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



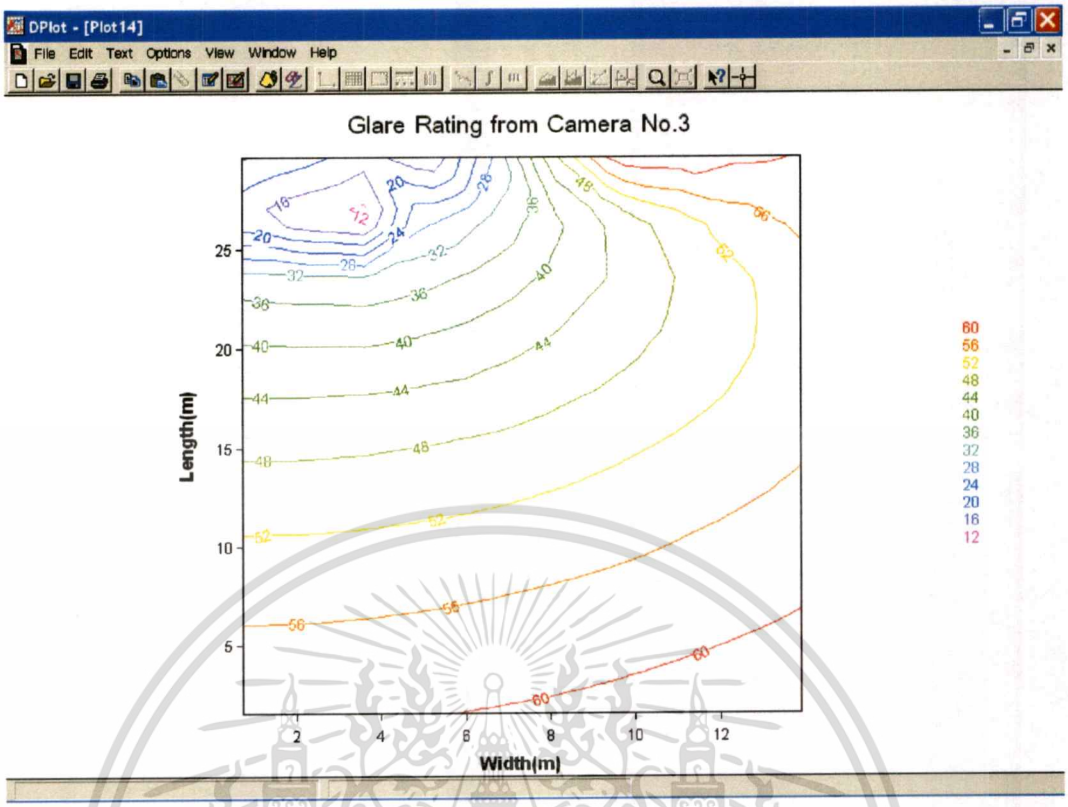
รูปที่ 6.26 ภาพ 3 มิติของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2)

6.2.1.4.1 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่ 3 (กล้องตัวที่3)

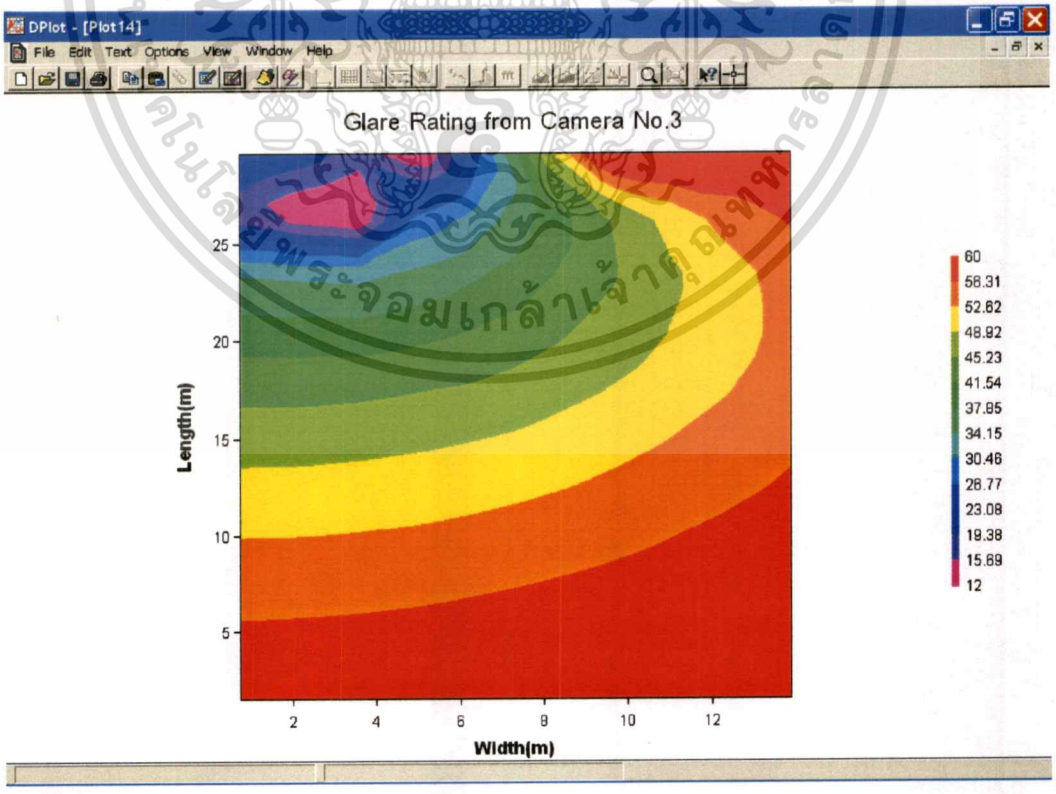
ตารางที่ 6.17 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3)

X/Y	1.56	4.68	7.8	10.92	14.04	17.16	20.28	23.4	26.52	29.64
0.73	59.37	57.09	54.56	51.69	48.38	44.54	39.94	34.37	16.45	24.47
2.19	59.46	57.18	54.64	51.73	48.44	44.55	39.8	33.79	12.08	21.67
3.65	59.62	57.37	54.86	51.98	48.73	44.88	39.7	33.47	10	17.81
5.11	59.86	57.65	55.19	52.39	49.24	45.55	40.8	35.19	27.24	11.45
6.57	60.19	58.03	55.65	52.96	49.97	46.29	42.38	37.76	32.41	27.09
8.03	60.58	58.5	56.22	53.68	50.9	47.62	44.33	40.96	38.72	46.65
9.49	61.05	59.06	56.9	54.52	52	49.17	46.56	44.47	45.03	62.26
10.95	61.58	59.69	57.67	55.49	53.24	50.86	48.93	47.97	50.33	62.77
12.41	62.17	60.39	58.52	56.57	54.58	52.64	51.33	51.24	54.26	60.73
13.87	62.81	61.15	59.43	57.69	55.99	54.44	53.65	54.14	57	59.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

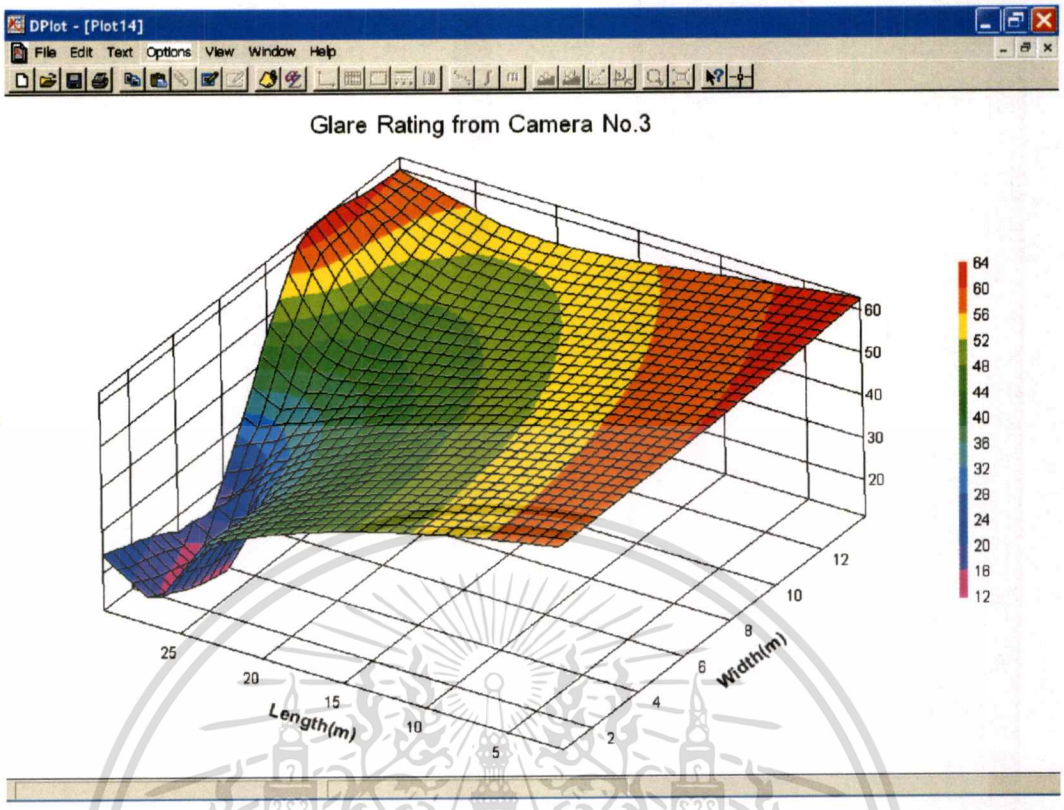


รูปที่ 6.27 ภาพลายเส้นของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3)



รูปที่ 6.28 ภาพแรเงาของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3)

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



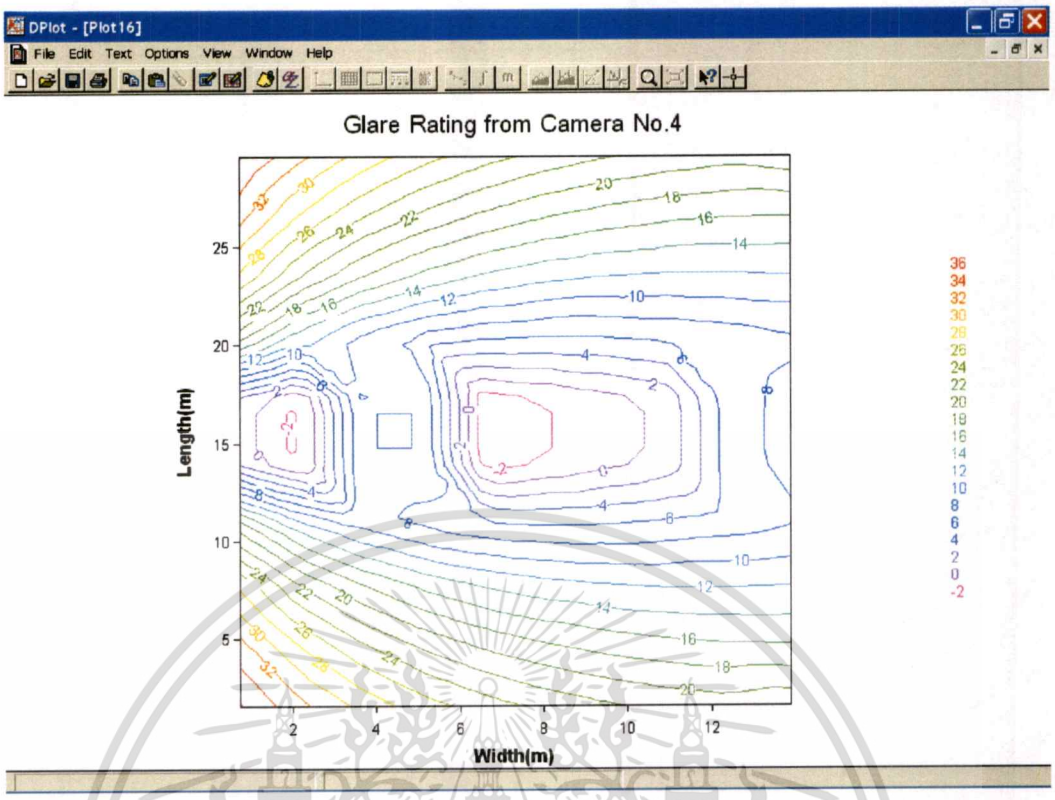
รูปที่ 6.29 ภาพ 3 มิติของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3)

6.2.1.4.1 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่ 4 (กล้องตัวที่4)

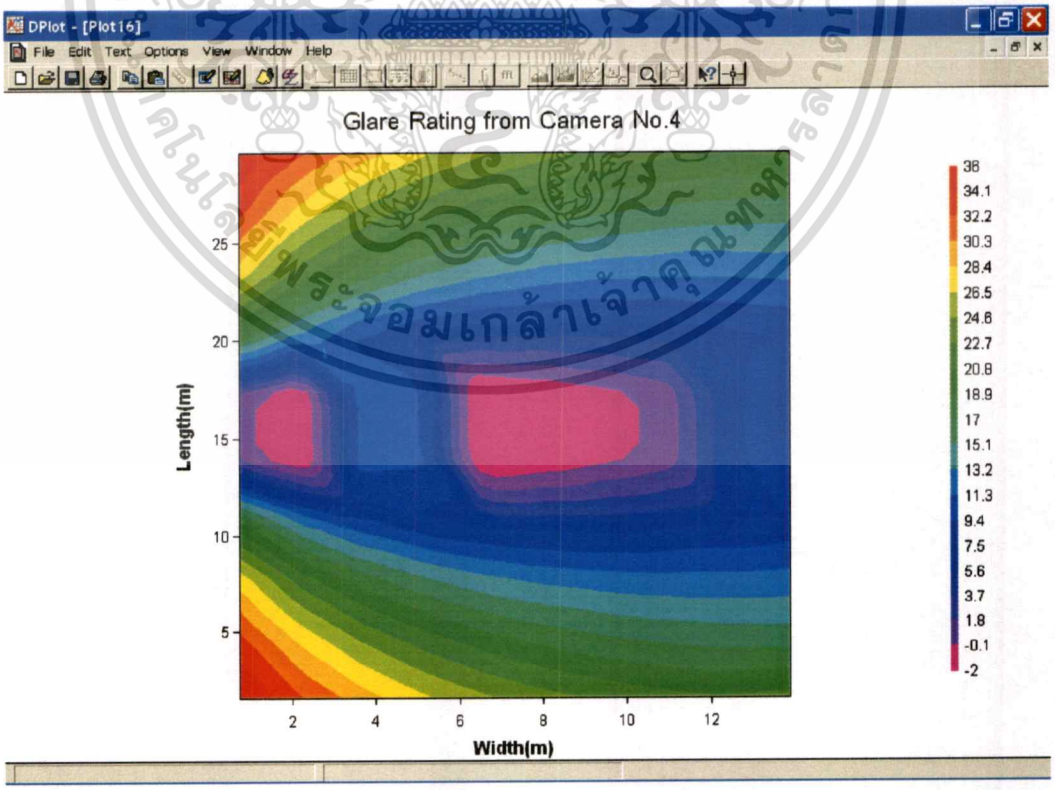
ตารางที่ 6.18 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4)

X/Y	1.56	4.68	7.8	10.92	14.04	17.16	20.28	23.4	26.52	29.64
0.73	36.2	32.78	27.48	18.7	1.03	1.03	18.7	27.48	32.78	36.2
2.19	32.47	27.83	21.76	12.55	-2.88	-2.88	12.55	21.76	27.83	32.47
3.65	29.37	24.25	17.9	9.04	10	10	9.04	17.9	24.25	29.37
5.11	26.87	21.56	15.3	7.08	10	10	7.08	15.3	21.56	26.87
6.57	24.9	19.58	13.58	6.11	-3.28	-3.28	6.11	13.58	19.58	24.9
8.03	23.38	18.15	12.51	5.78	-2.15	-2.15	5.78	12.51	18.15	23.38
9.49	22.22	17.15	11.9	5.88	-0.85	-0.85	5.88	11.9	17.15	22.22
10.95	21.38	16.49	11.64	6.27	0.51	0.51	6.27	11.64	16.49	21.38
12.41	20.79	16.1	11.64	6.84	7.03	7.03	6.84	11.64	16.1	20.79
13.87	21.48	15.92	11.83	7.54	8.71	8.71	7.54	11.83	15.92	21.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

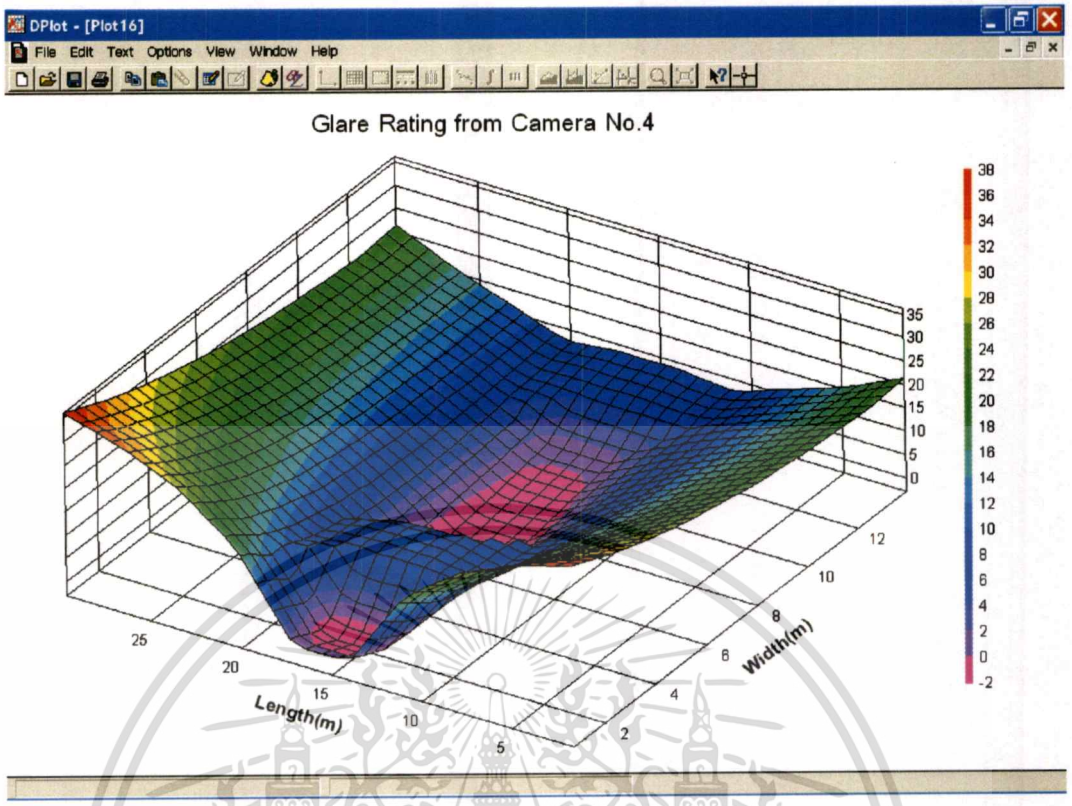


รูปที่ 6.30 ภาพลายเส้นของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4)



รูปที่ 6.31 ภาพแรเงาของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

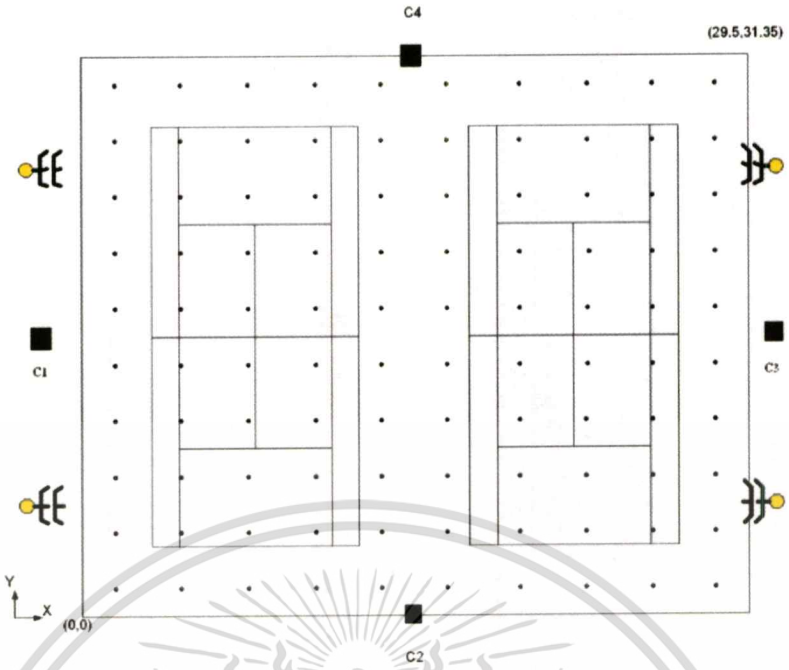


รูปที่ 6.32 ภาพ 3 มิติของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4)

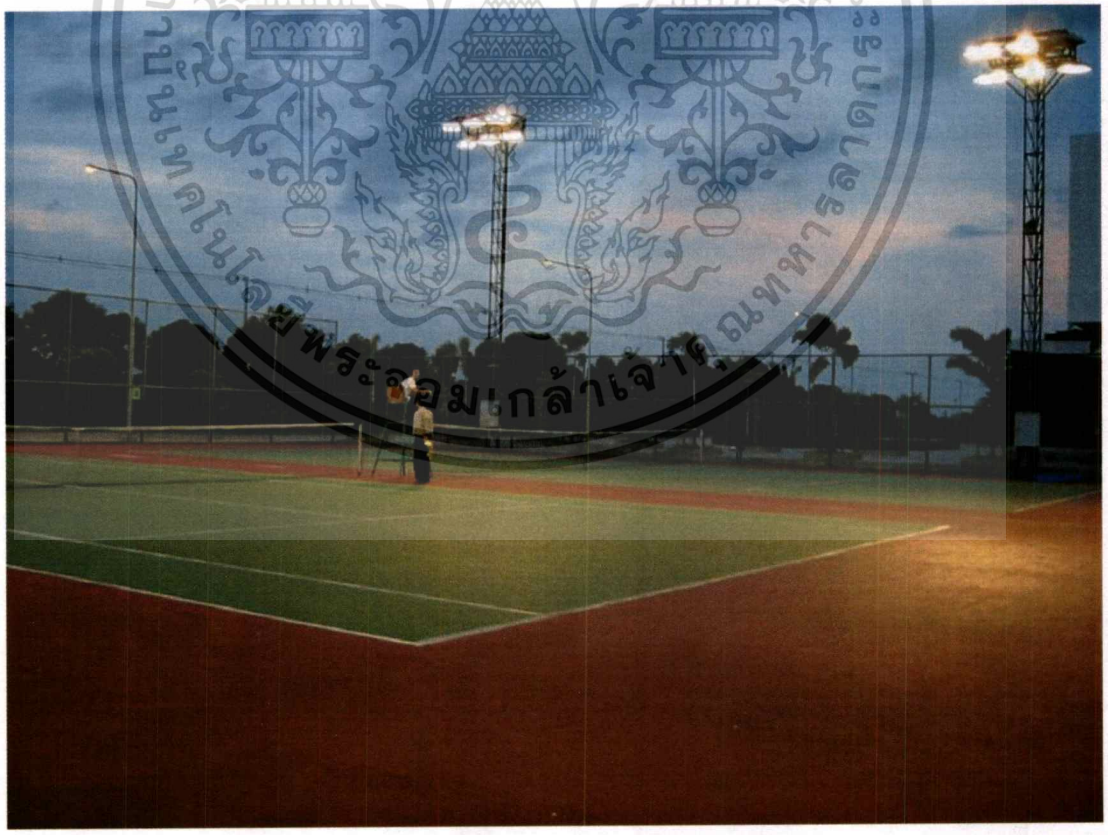
6.2.2 การทดสอบสนามเทนนิสแบบ 2 สนาม

พื้นที่ทดสอบเป็นสนามเทนนิสแบบ 2 สนาม ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ขนาดกว้าง 29.5 เมตร และยาว 31.35 เมตรติดตั้งโคมฉายสูง 11.5 เมตร จำนวน 4 เสา ๆละ 6 โคม ใช้หลอด High Pressure Sodium (ϕ/lamp =85000 ลูเมน) และมีการกำหนดตำแหน่งติดตั้งกล้องถ่ายโทรทัศน์ สำหรับถ่ายทอดการแข่งขันจำนวน 4 ตัว โดยถือว่ากล้องตัวที่ 1 (จุดสังเกตการณ์) และกล้องตัวที่ 3 (จุดสังเกตการณ์) คือตำแหน่งของกรรมการ และเป็นจุดสังเกตการณ์อ้างอิง และใช้ลักซ์มิเตอร์ทำการวัดค่าความเข้มแสงจำนวน 100 จุด โดยมีข้อกำหนดในการให้แสงสำหรับสนามเทนนิส (การแข่งขันสมัครเล่นระดับชาติ) คือ $E_{h,ave} \geq 400$ lux , $U_1 \geq 0.3, U_0 \geq 0.5$, $GR_{\max} \leq 50$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.33 พื้นที่สนามเทนนิสแบบ 2 สนาม การจัดวางตำแหน่งโคม และตำแหน่งจุดที่ทำการคำนวณ



รูปที่ 6.34 ภาพถ่ายสนามเทนนิสแบบ 2 สนามของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.19 ข้อมูลการติดตั้งโคมไฟ

Luminaire No.	Type	Lumen	Position			Aiming Point		
			X	Y	Z	X	Y	Z
1	Snf111_1NB	85000	-4	5.5	11.5	-3.45	5.3	0
2	Snf111_1NB	85000	-4	6.5	11.5	-3.45	6.5	0
3	Snf111_1NB	85000	-4	7.5	11.5	-3.45	7.7	0
4	Snf111_1NB	85000	-3.25	5.5	11.5	-2.85	5.3	0
5	Snf111_1NB	85000	-3.25	6.5	11.5	-2.85	6.5	0
6	Snf111_1NB	85000	-3.25	7.5	11.5	-2.85	7.7	0
7	Snf111_1NB	85000	-4	23.85	11.5	-3.8	24.05	0
8	Snf111_1NB	85000	-4	24.85	11.5	-3.8	24.95	0
9	Snf111_1NB	85000	-4	25.85	11.5	-3.8	26.25	0
10	Snf111_1NB	85000	-3.25	23.85	11.5	-3.1	24.05	0
11	Snf111_1NB	85000	-3.25	24.85	11.5	-3.1	24.95	0
12	Snf111_1NB	85000	-3.25	25.85	11.5	-3.1	26.25	0
13	Snf111_1NB	85000	30.75	5.5	11.5	30.35	5.3	0
14	Snf111_1NB	85000	30.75	6.5	11.5	30.35	6.5	0
15	Snf111_1NB	85000	30.75	7.5	11.5	30.35	7.7	0
16	Snf111_1NB	85000	31.5	5.5	11.5	31.45	5.3	0
17	Snf111_1NB	85000	31.5	6.5	11.5	31.45	6.5	0
18	Snf111_1NB	85000	31.5	7.5	11.5	31.45	7.7	0
19	Snf111_1NB	85000	30.75	23.85	11.5	30.6	24.05	0
20	Snf111_1NB	85000	30.75	24.85	11.5	30.6	24.95	0
21	Snf111_1NB	85000	30.75	25.85	11.5	30.6	26.25	0
22	Snf111_1NB	85000	31.5	23.85	11.5	31.3	24.05	0
23	Snf111_1NB	85000	31.5	24.85	11.5	31.3	24.95	0
24	Snf111_1NB	85000	31.5	25.85	11.5	31.3	26.25	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.20 ข้อมูลการติดตั้งกล้องถ่ายโทรทัศน์ (จุดสังเกตการณ์)

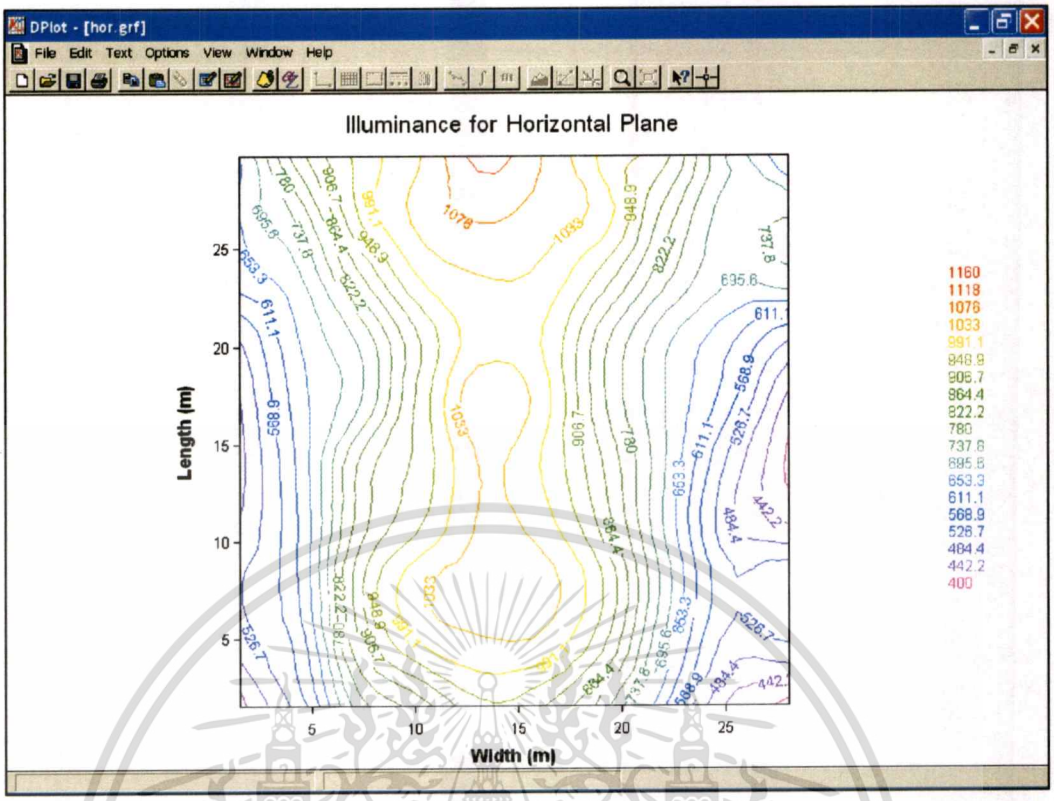
Camera No.	Position		
	X	Y	Z
1 (อ้างอิง)	-1.5	15.675	1.5
2	14.75	0	1.5
3 (อ้างอิง)	31	15.675	1.5
4	14.75	31.35	1.5

6.2.2.1 ความเข้มแสงในแนวราบจากโปรแกรมการคำนวณ

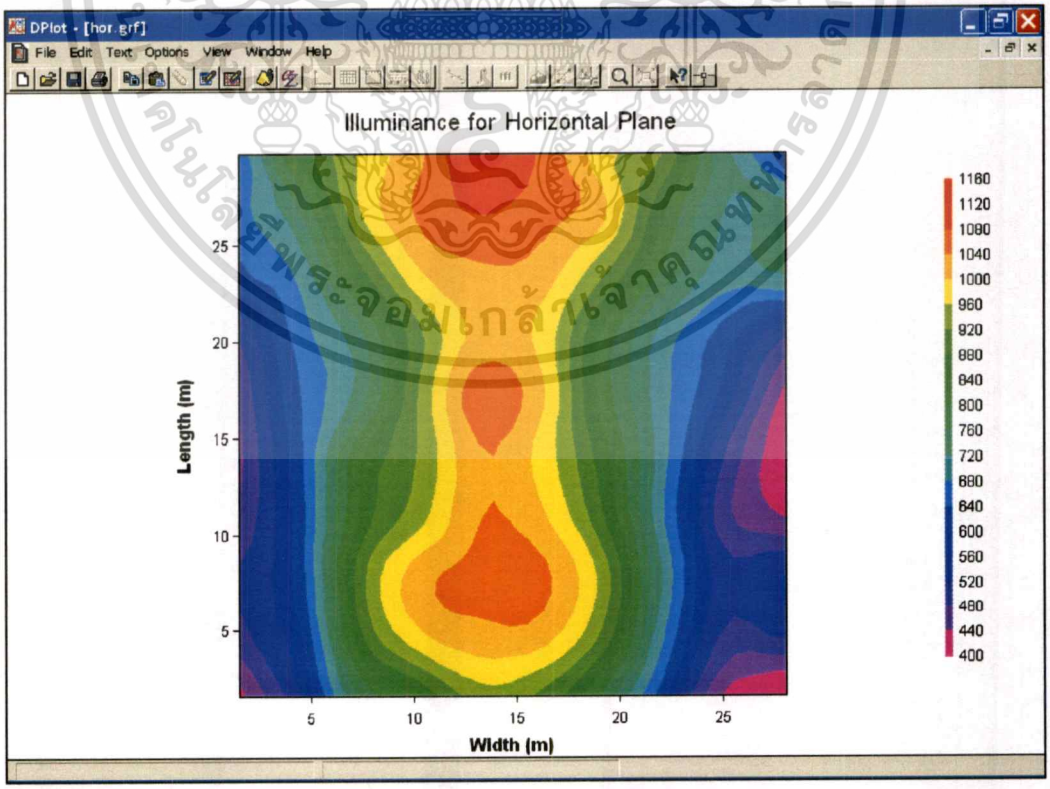
ตารางที่ 6.21 ค่าความเข้มแสงในแนวราบจากโปรแกรมการคำนวณ

X/Y	1.57	4.7	7.84	10.97	14.11	17.24	20.38	23.51	26.65	29.78
1.48	426.87	503.36	523.36	485.17	470.84	483.36	526	627.22	654.22	650.99
4.43	551.84	592.96	618.47	618.84	627.06	636.13	656.23	689.59	754.16	850.27
7.38	766.95	870.32	902.43	848.19	832.38	738.74	749.95	859.33	955.53	963.99
10.32	848.76	992.71	1025.71	947.75	925.81	927.01	912.48	995.32	1048.46	1033.42
13.27	941.66	1027.14	1053.48	1039.76	1037.5	1067.32	1014.76	1032.54	1081.09	1134.9
16.23	909.49	1018.96	1051.22	1007.58	985.75	1007.95	988.09	1021.3	1056.56	1073.9
19.18	795.76	909.24	943.6	884.59	857.93	824.06	833.24	926.42	1009.23	977.91
22.13	612.3	682.73	713.66	684.53	695.62	694.53	705.34	790.68	846.5	919.37
25.08	434.35	513.98	538.18	497.12	522.16	587.86	624.1	703.89	718.81	733.54
28.03	386.43	528.35	561.47	435.69	390.14	429.05	531.88	724.77	736.6	610.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

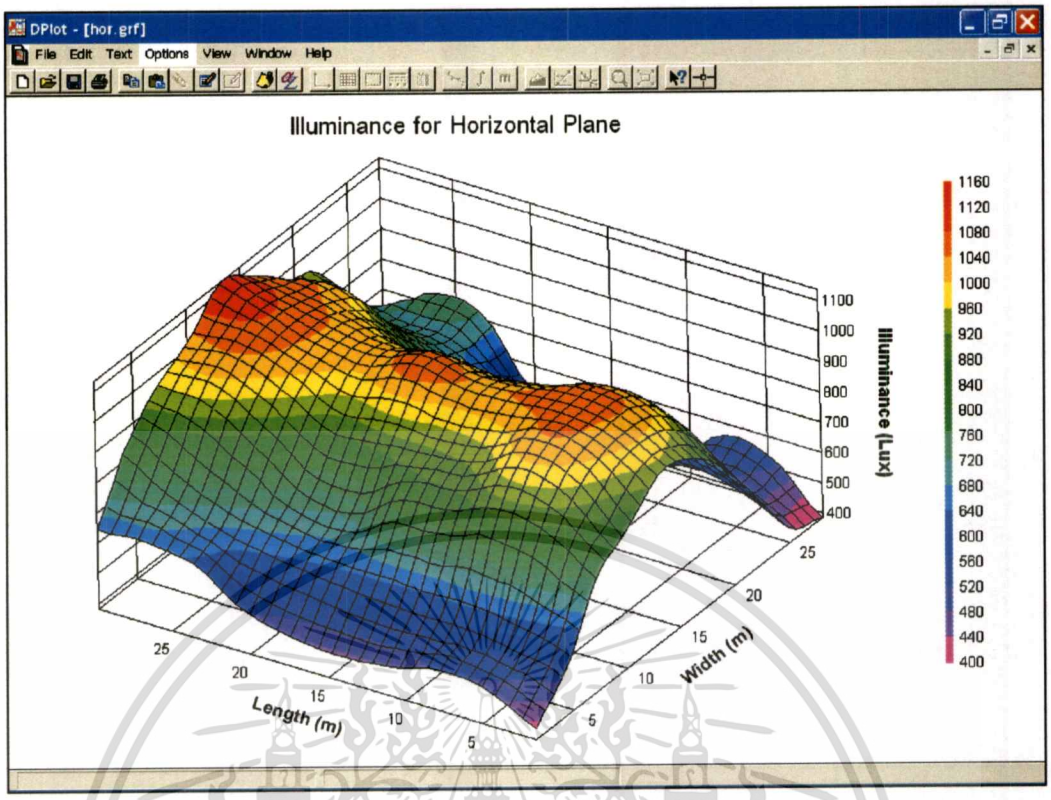


รูปที่ 6.35 ภาพลายเส้นของค่าความเข้มแสงในแนวระนาบจากโปรแกรมการคำนวณ



รูปที่ 6.36 ภาพแรเงาของค่าความเข้มแสงในแนวระนาบจากโปรแกรมการคำนวณ

เอกสารนี้ ... เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



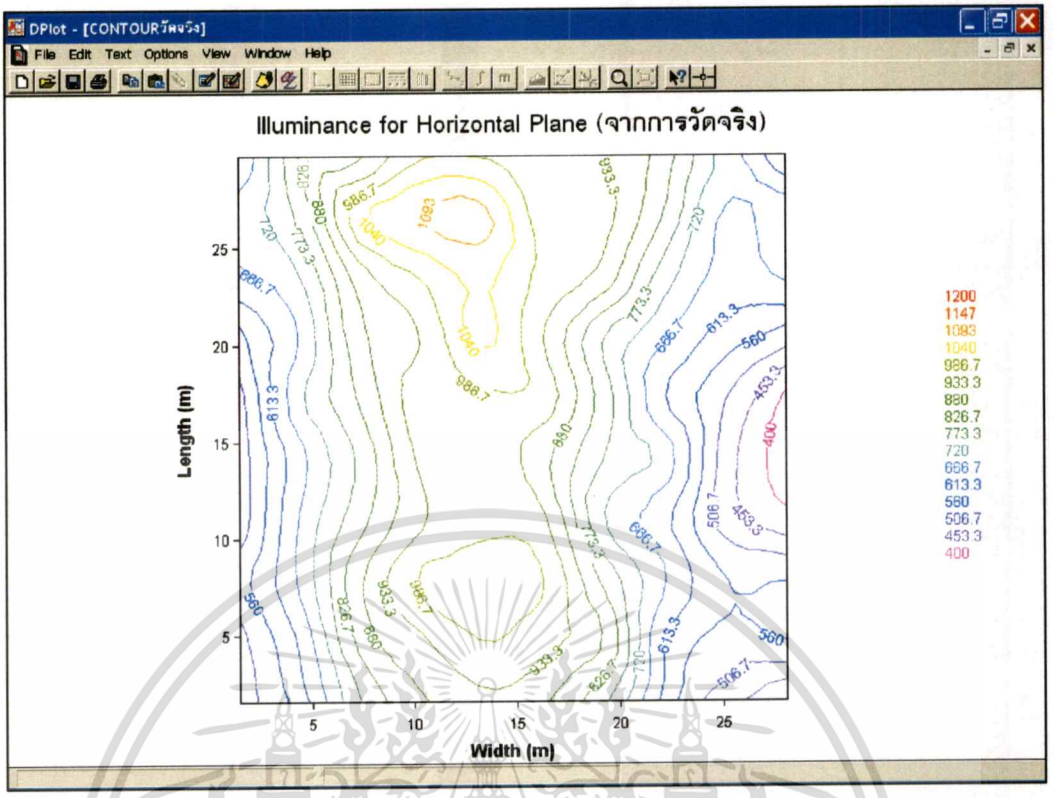
รูปที่ 6.37 ภาพ 3 มิติของค่าความเข้มแสงในแนวระนาบจากโปรแกรมการคำนวณ

6.2.2.2 ความเข้มแสงในแนวราบจากการวัดจริงด้วยลักซ์มิเตอร์

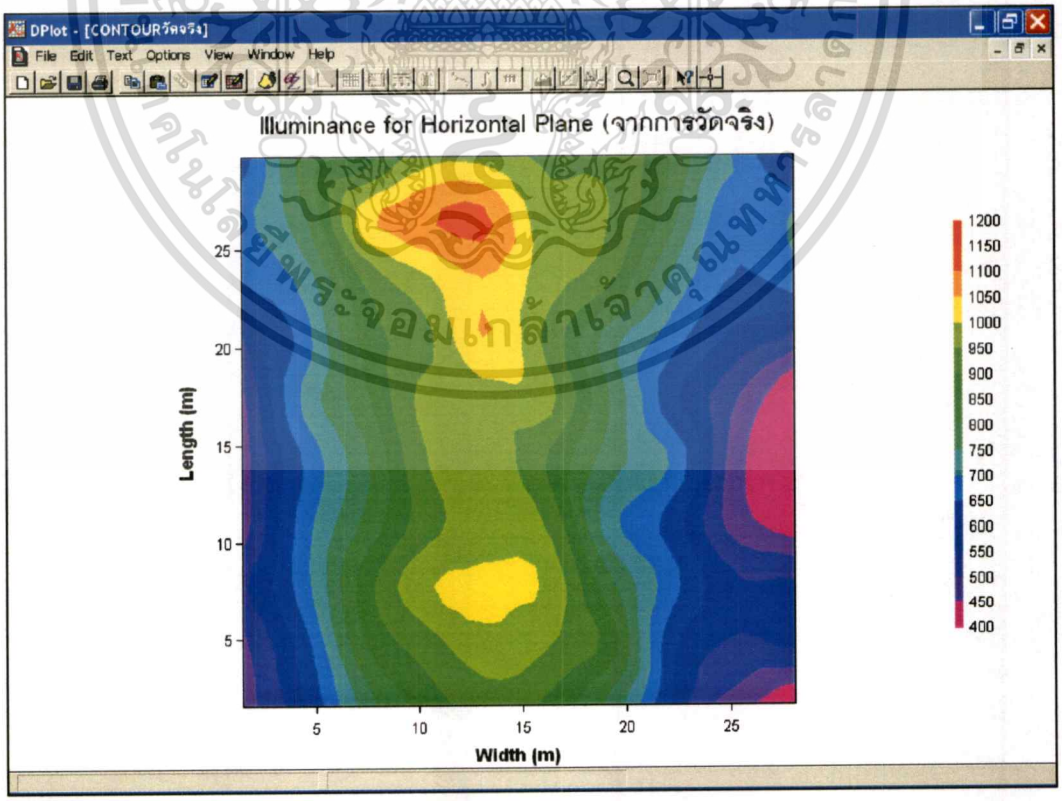
ตารางที่ 6.22 ค่าความเข้มแสงในแนวราบจากการวัดจริง

X/Y	1.57	4.7	7.84	10.97	14.11	17.24	20.38	23.51	26.65	29.78
1.48	470	488	536	476	475	487	540	653	684	623
4.43	589	625	677	672	650	705	670	716	788	815
7.38	772	846	874	811	787	834	865	905	1022	872
10.32	872	925	993	927	945	965	935	990	1093	976
13.27	921	987	1009	976	981	978	1050	1050	1110	982
16.23	887	954	989	943	897	965	938	974	967	941
19.18	785	876	816	724	774	804	777	914	952	940
22.13	595	617	671	630	697	620	674	750	826	856
25.08	475	545	561	484	485	511	589	649	662	701
28.03	404	562	557	415	365	389	534	676	704	568

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

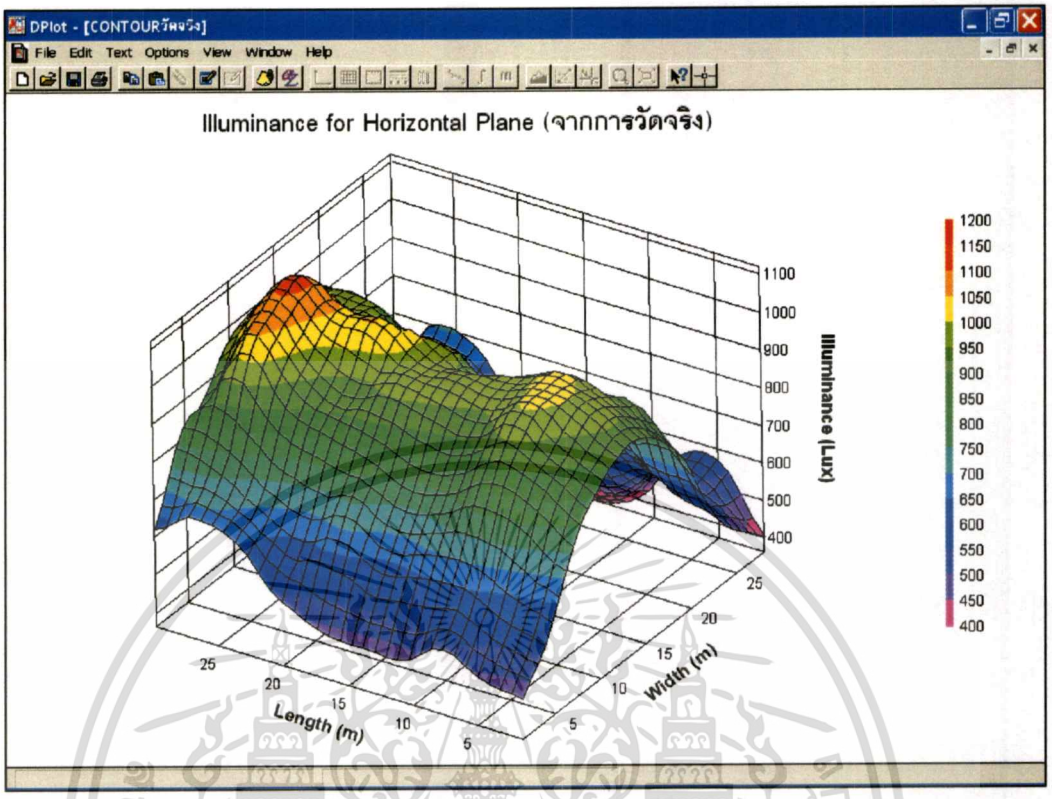


รูปที่ 6.38 ภาพลายเส้นของค่าความเข้มแสงในแนวระนาบจากการวัดจริง



รูปที่ 6.39 ภาพแรเงาของค่าความเข้มแสงในแนวระนาบจากวัดจริง

เอกสารนี้ [illegible] เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.40 ภาพ 3 มิติของค่าความเข้มแสงในแนวระนาบจากการวัดจริง

ตารางที่ 6.23 ผลการคำนวณค่าความเข้มแสงในแนวราบ

ผลการวิเคราะห์	Emax (Lux)	Eave (Lux)	Emin (Lux)	Ul (Emin/Emax)	Uo (Emin/Eave)
โปรแกรมการคำนวณ	1134.9	781.6	386.4	0.34	0.49
การวัดจริง	1110	761.8	365	0.33	0.48

ผลการคำนวณค่าความเข้มแสงในแนวราบจากโปรแกรมการคำนวณ เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริง จะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยเท่ากับ 781.6 ค่าความสม่ำเสมอ U_0 เท่ากับ 0.49 และค่าความสม่ำเสมอ U_l เท่ากับ 0.34 ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานต้องทำการเพิ่มหรือเปลี่ยนจุดเล็งและตำแหน่งของโคมไฟใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.2.3 ความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์

ความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่ 1 (กล้องตัวที่ 1)

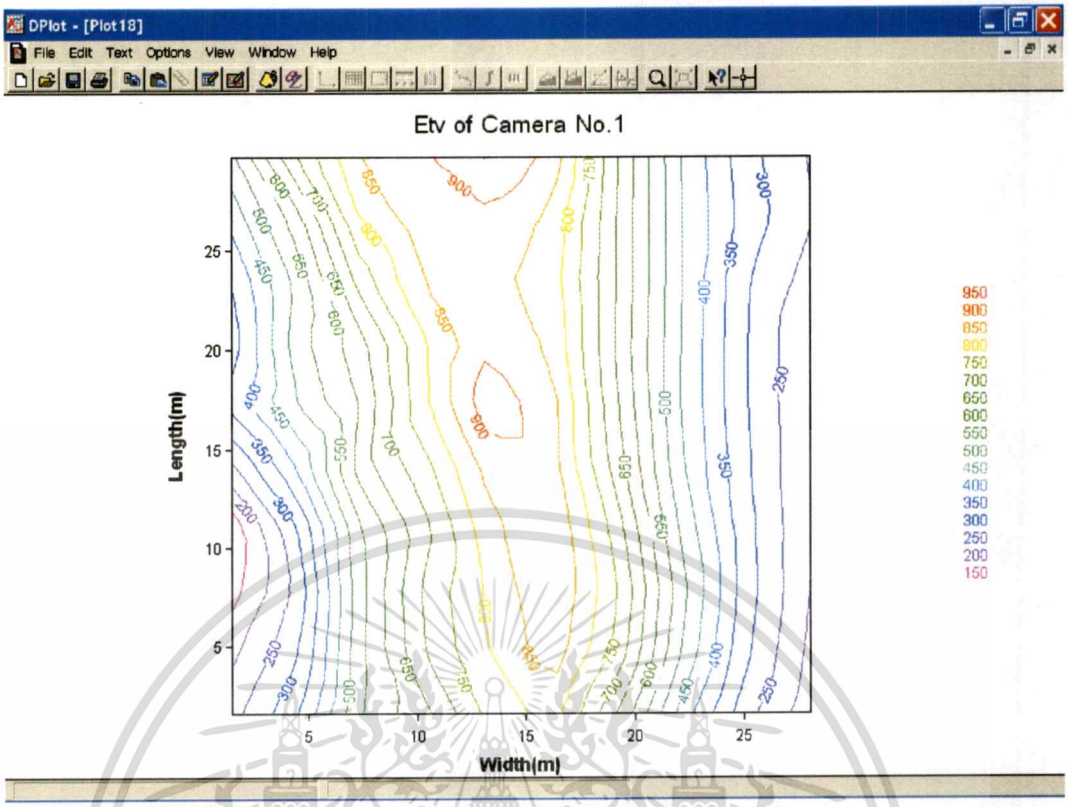
ตารางที่ 6.24 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1)

X/Y	1.57	4.7	7.84	10.97	14.11	17.24	20.38	23.51	26.65	29.78
1.48	232.56	189.5	131.67	116.29	243.21	370.36	327.55	353.38	418.01	490.09
4.43	340.33	287.52	259.31	291.45	402.6	501.29	527.31	513.57	578.11	703.18
7.38	549.11	542.8	536.63	546.42	627.06	604.08	632.44	724.14	804.32	852.04
10.32	637.26	702.25	712.98	684.58	732.4	789.81	793.11	855.17	885.46	891.21
13.27	766.81	799.18	810.19	832.65	869.88	935.63	892.07	868.76	888.48	956.28
16.23	820.95	882.29	899.28	897.25	868.86	867.08	839.23	822.77	838.48	881.59
19.18	653.1	738.2	756.05	724.85	675.32	656.15	642.65	648.26	648.85	653.7
22.13	429.87	498.06	518.09	489.37	458.5	446.15	448.31	452.84	452.3	448.68
25.08	267.45	307.26	322.65	316.51	306.76	300.68	300.83	304.89	328.94	319.09
28.03	169.39	187.06	198.23	201.06	200.29	200.1	201.56	229.95	254.55	245.23

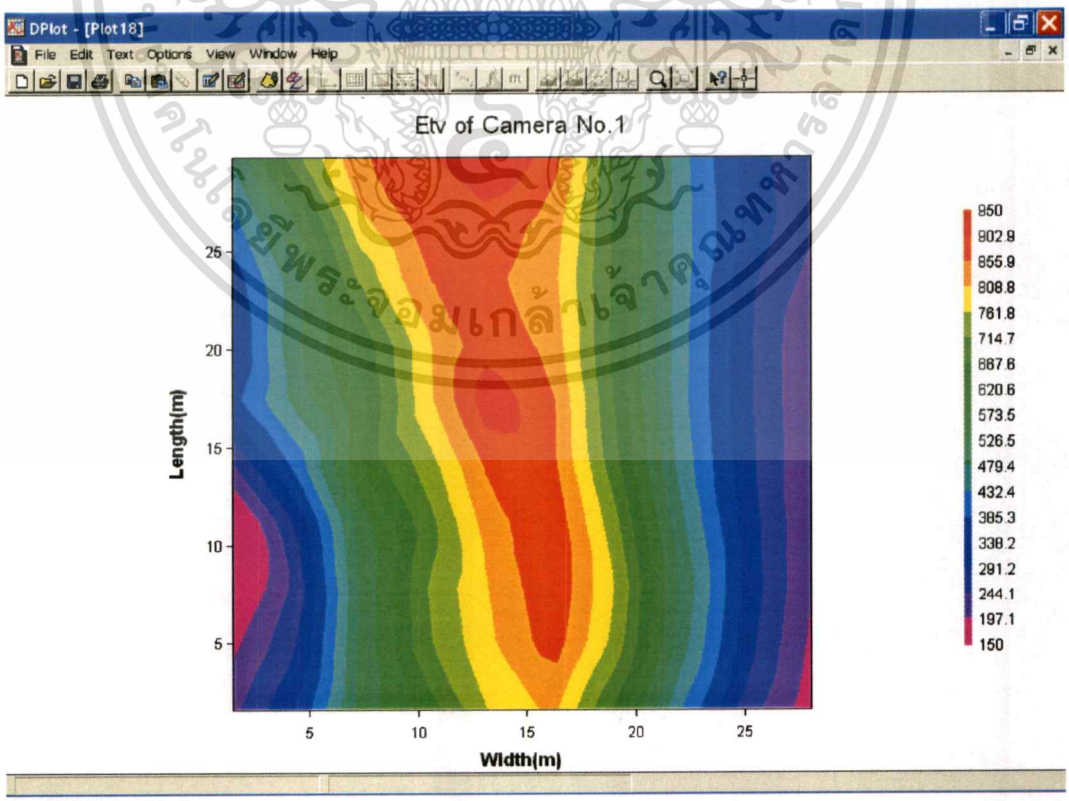
ตารางที่ 6.25 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1)

จำนวนจุดคำนวณ		Emax	Eave	Emin	Ul	Uo
แกน X	แกน Y	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Emin/Emax)	(Emin/Eave)
10	10	956.28	552.2	116.29	0.12	0.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

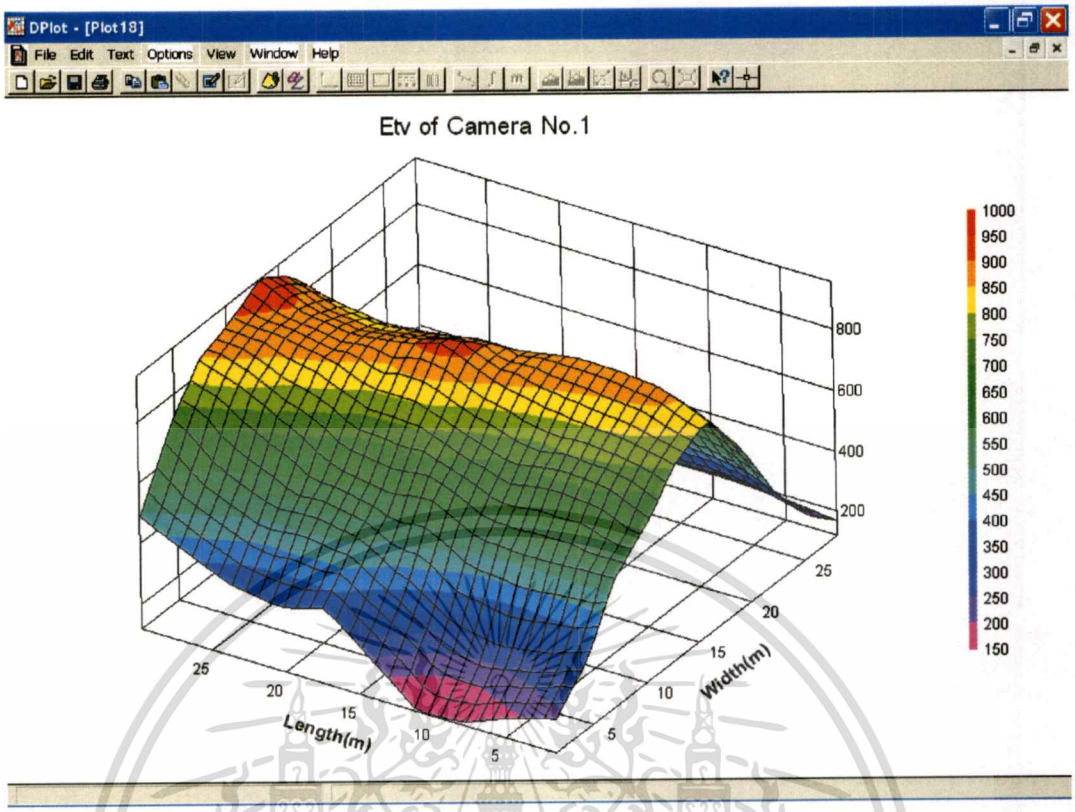


รูปที่ 6.41 ภาพลายเส้นค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1)



รูปที่ 6.42 ภาพแรเงาของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.43 ภาพ 3 มิติของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1)

6.2.2.3.2 ความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่ 2 (กล้องตัวที่ 2)

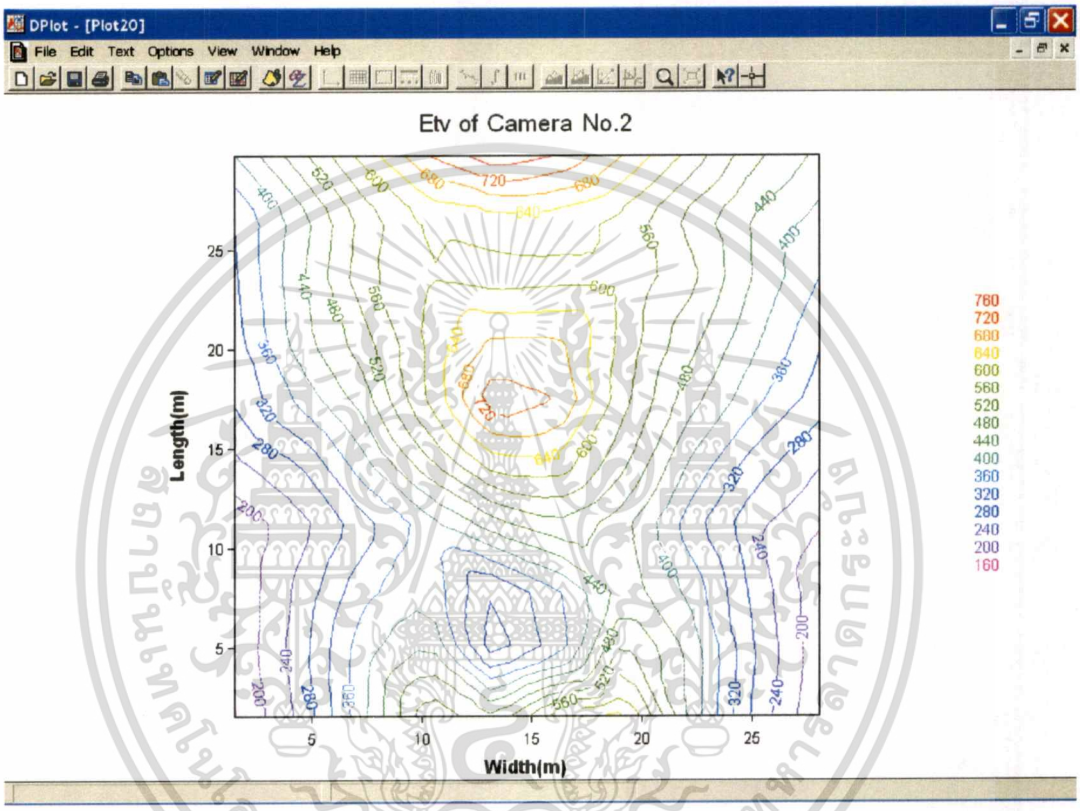
ตารางที่ 6.26 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2)

X/Y	1.57	4.7	7.84	10.97	14.11	17.24	20.38	23.51	26.65	29.78
1.48	158.06	168	167.07	165.22	228.07	284.02	303.18	313.91	321.18	399.45
4.43	247.66	262.41	251.5	221.89	276.77	365.98	423.18	431.05	418.85	506.88
7.38	392.81	388.17	350.51	300.67	385.79	458.53	504.66	547.81	536.6	616.49
10.32	552.98	449.52	387.13	374.92	508.64	606.34	607.26	599.01	609.77	721.57
13.27	479.76	255.96	276.9	454.11	618.79	746.94	689.31	580.14	625.36	790.07
16.23	623.07	341.55	356.47	503.26	621.96	722.48	690.44	586.49	620.82	759.38
19.18	648.53	543.49	462.04	447.36	528.1	571.32	586.24	587.75	586.72	679.56
22.13	433.3	433.45	391.34	336.58	394.2	455.82	495.62	533.74	506.88	590.1
25.08	267.48	280.87	267.62	246.2	297.83	369.76	407.58	435.73	432.76	490.75
28.03	164.2	173.46	170.78	200.24	242.12	296.89	324.74	359.08	389.23	430.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

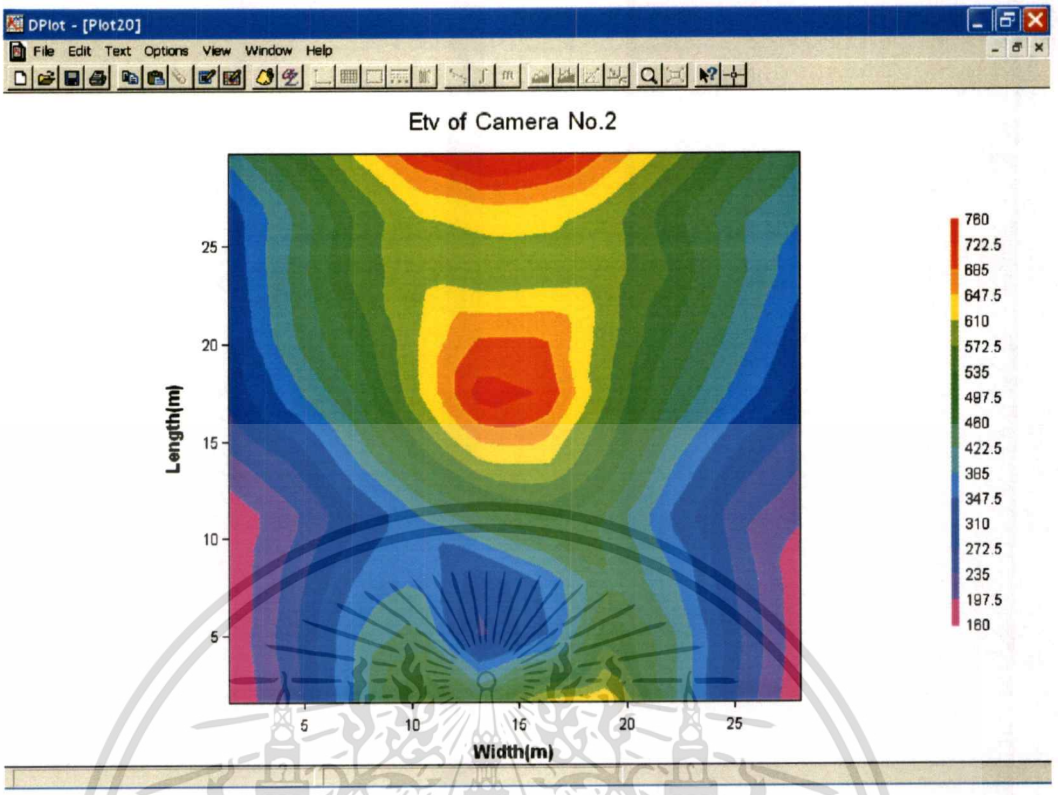
ตารางที่ 6.27 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2)

จำนวนจุดคำนวณ		Emax	Eave	Emin	Ul	Uo
แกน X	แกน Y	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Emin/Emax)	(Emin/Eave)
10	10	790.07	436.16	158.06	0.2	0.36

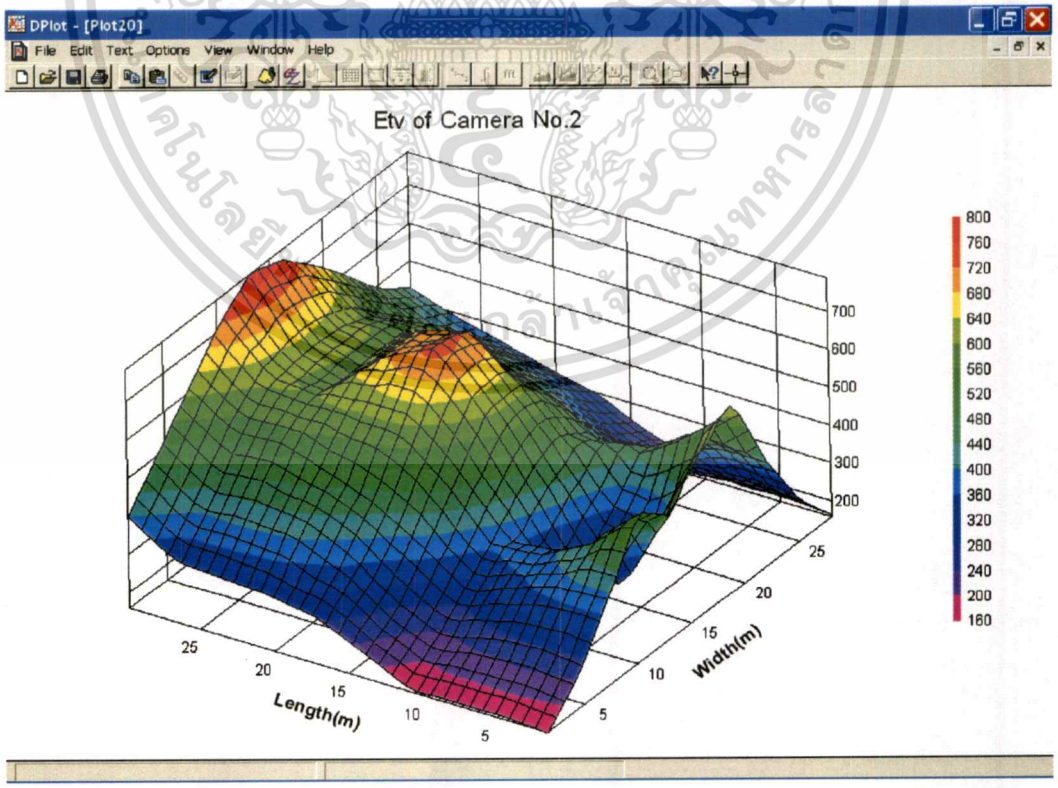


รูปที่ 6.44 ภาพลายเส้นค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.45 ภาพแรเงาของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2)



รูปที่ 6.46 ภาพ 3 มิติของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับจุดสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่ 3 (กล้องตัวที่ 3)

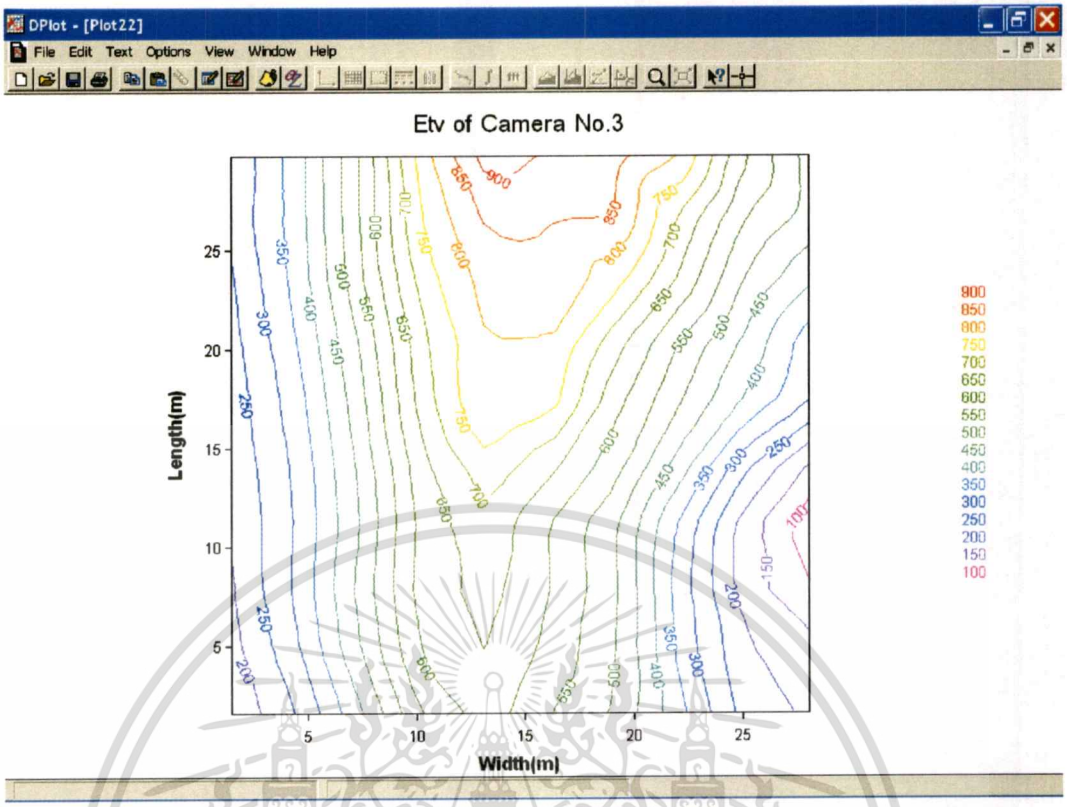
ตารางที่ 6.28 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3)

X/Y	1.57	4.7	7.84	10.97	14.11	17.24	20.38	23.51	26.65	29.78
1.48	160.75	182.75	195.71	203.8	212.15	221.69	232.88	244.45	264.78	256.85
4.43	249.02	288.28	307	301.3	308.98	325.31	345.34	364.42	371.6	373.26
7.38	391.41	448.13	465.36	450.91	460.76	480.19	504.03	538.86	550.02	550.51
10.32	558.77	611.48	628.4	623.24	640.03	675.79	690.09	726.74	759.39	783.47
13.27	625.25	652.23	666.83	683.93	735.42	805.41	799.81	822.18	859.91	925.56
16.23	549.83	582.79	598.24	594.19	661.38	767.19	798.78	835.72	855.32	893.08
19.18	492.12	503.07	509.6	505.6	572.08	613.66	670.03	772.39	853.58	865.11
22.13	362.09	332.57	323.58	337.9	426.86	501.61	547.45	641.74	693.03	802.03
25.08	229.1	206.99	174.17	173.33	263.67	392.36	440.91	496.75	551.1	605.06
28.03	190.36	170.41	104.43	63.13	145.65	300.95	323.84	410.72	485.26	479.55

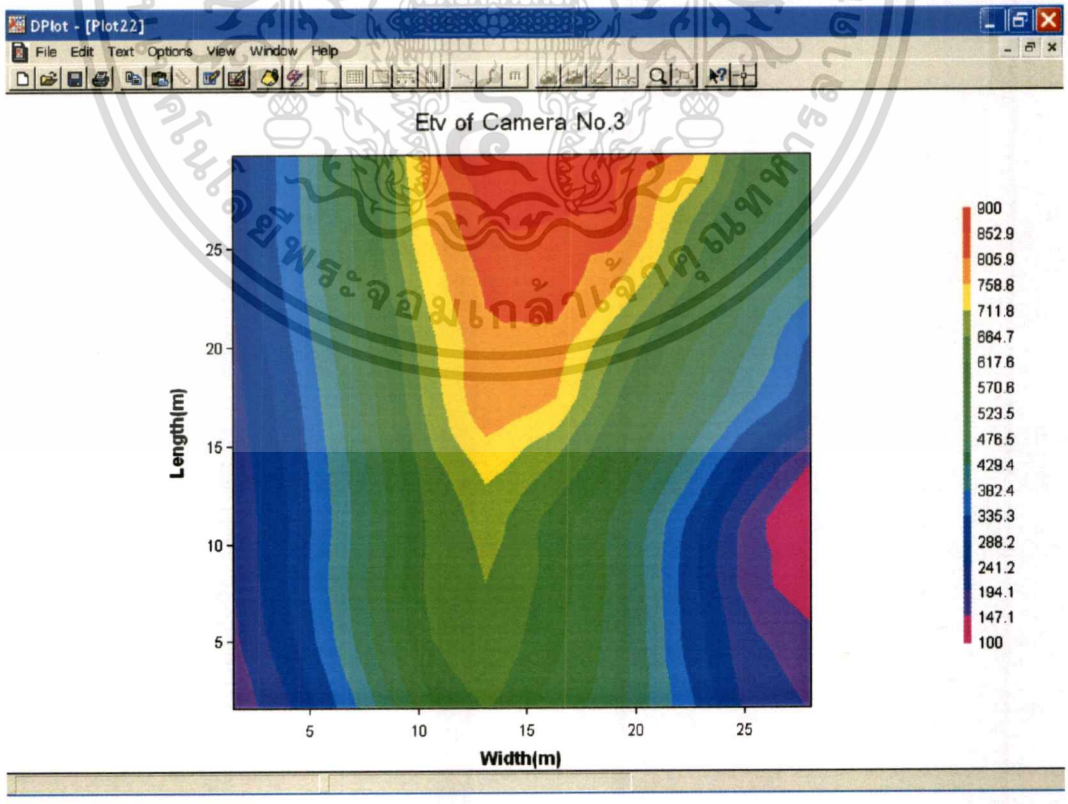
ตารางที่ 6.29 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3)

จำนวนจุดคำนวณ		Emax	Eave	Emin	Ul	Uo
แกน X	แกน Y	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Emin/Emax)	(Emin/Eave)
10	10	925.56	491.95	63.13	0.07	0.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

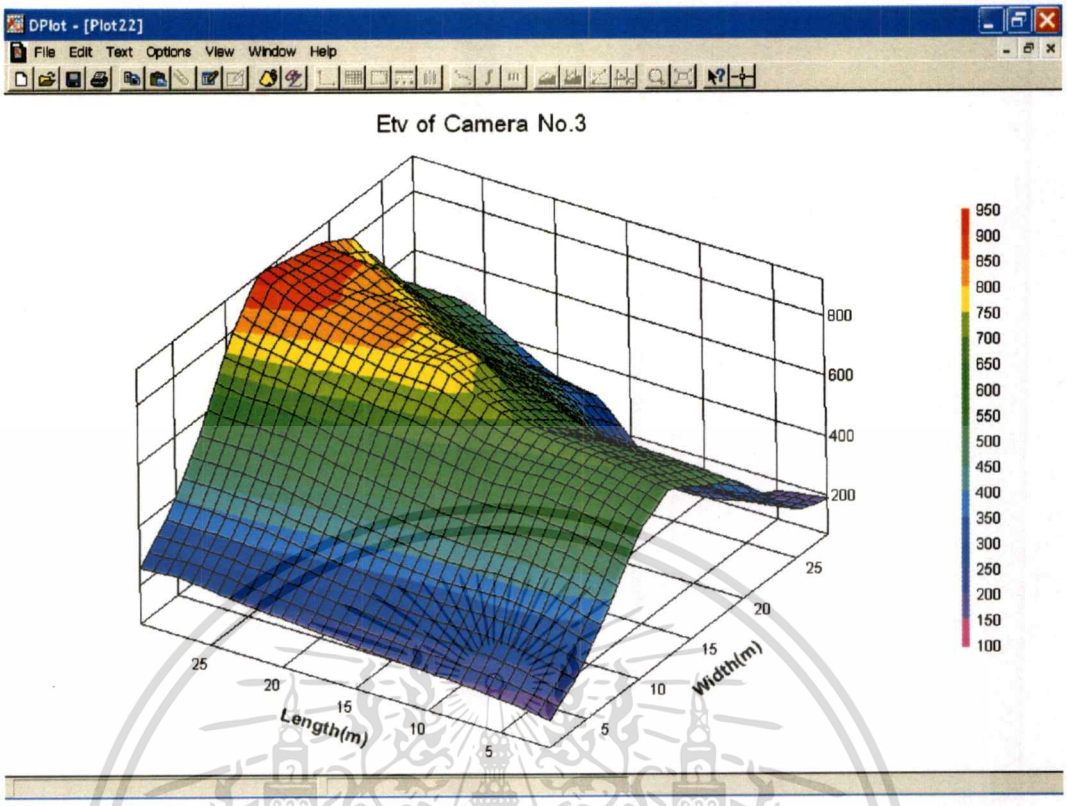


รูปที่ 6.47 ภาพลายเส้นค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3)



รูปที่ 6.48 ภาพแรเงาของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.49 ภาพ 3 มิติของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับจุดสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3)

6.2.2.3.4 ความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่ 4 (กล้องตัวที่ 4)

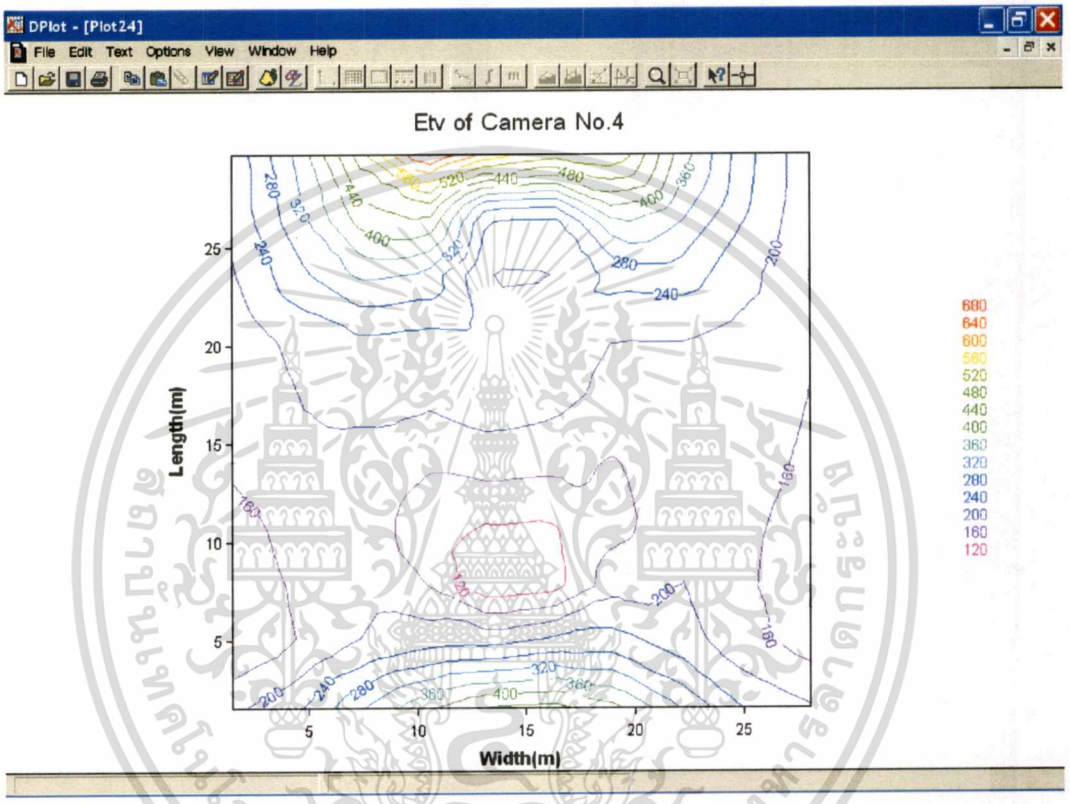
ตารางที่ 6.30 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4)

X/Y	1.57	4.7	7.84	10.97	14.11	17.24	20.38	23.51	26.65	29.78
1.48	191.4	125.24	128.63	145.14	167.97	175.82	169.97	194.93	211.42	210.5
4.43	231.07	159.16	166.89	174.28	194.31	200.2	212.97	264.81	307.08	325.29
7.38	315.58	202.21	186.47	180.96	192.97	205.37	232.78	325.76	423.22	498.96
10.32	390.45	226.91	161.76	140.16	166.28	205.8	225	310.9	451.58	697.97
13.27	442.8	235.87	86.77	118.87	179.52	223.42	228.25	193.97	238.85	586.8
16.23	452.84	261.2	100.06	115.4	172.87	213.66	224.23	196.67	230.26	542.28
19.18	408.41	262.67	184.99	146.33	155.73	185.18	198.82	254.34	375.19	560.33
22.13	315.45	220.37	201.72	188.28	193.8	197.4	199.3	260.09	329.63	383.32
25.08	233.41	171.61	167.73	173.76	190.66	194.4	183.1	213.47	242.34	253.7
28.03	202.15	143.48	121.62	131.46	146.29	158.49	165.06	158.33	170.38	170.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

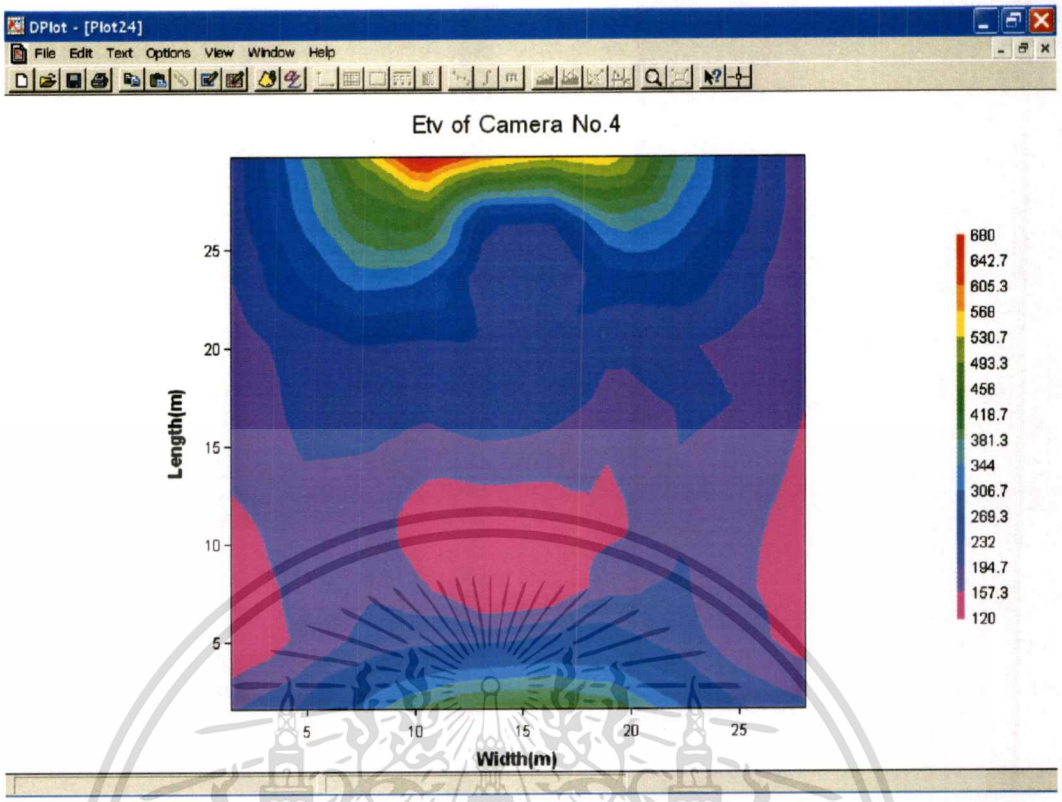
ตารางที่ 6.31 ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4)

จำนวนจุดคำนวณ		Emax	Eave	Emin	Ul	Uo
แกน X	แกน Y	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Emin/Emax)	(Emin/Eave)
10	10	697.97	235.56	86.77	0.12	0.37

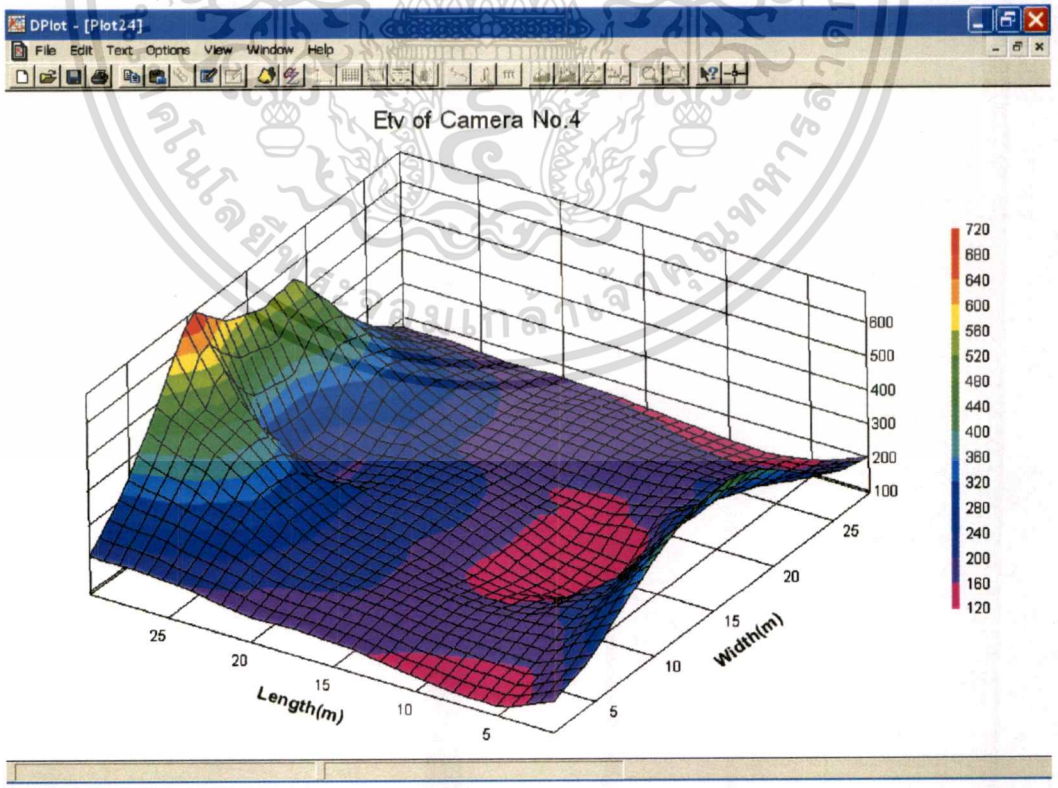


รูปที่ 6.50 ภาพลายเส้นค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.51 ภาพแรเงาของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4)



รูปที่ 6.52 ภาพ 3 มิติของค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4)

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.2.4 พิกัดแสงจ้าแยงตา

ตารางที่ 6.32 ผลการคำนวณพิกัดแสงจ้าแยงตา

จุดสังเกตการณ์	พิกัดแสงจ้าแยงตา (Glare Rating : GR)		
	Maximum	Average	Minimum
กล้องตัวที่ 1	48.09	36.49	13.47
กล้องตัวที่ 2	55.06	38	10
กล้องตัวที่ 3	47.42	33.82	-5.44
กล้องตัวที่ 4	54.96	38.33	10

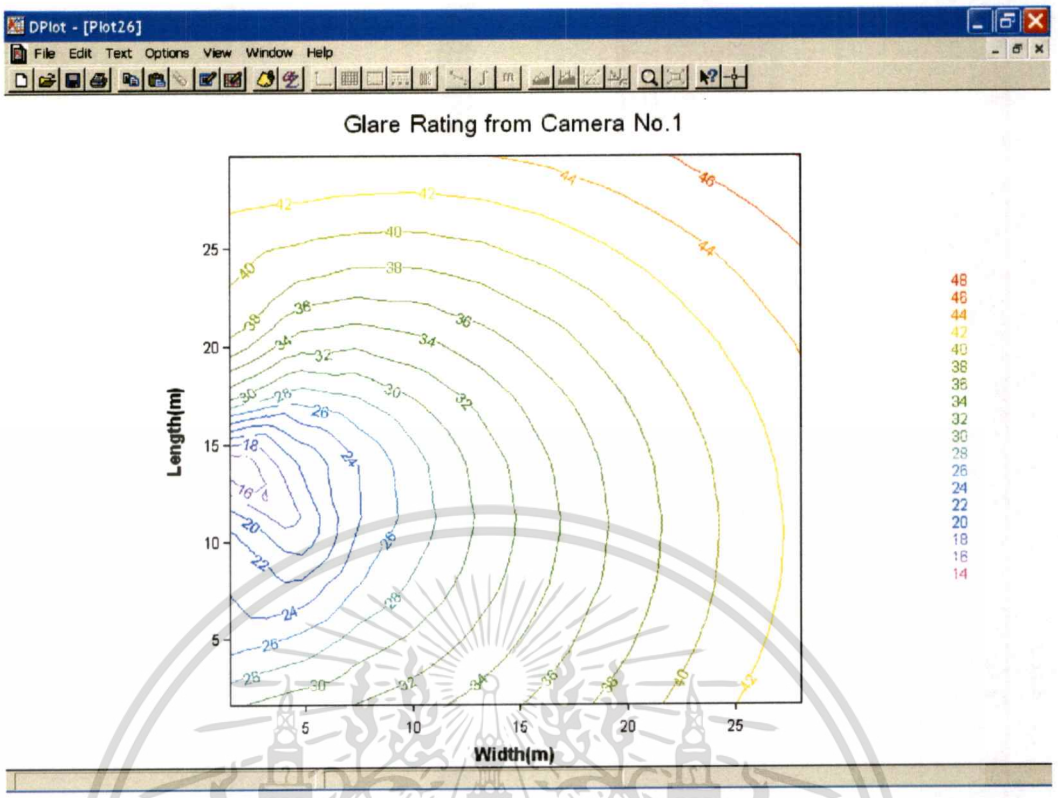
จากตารางที่ 6.32 ผลการคำนวณพิกัดแสงจ้าแยงตาสูงสุดที่มองจากจุดสังเกตการณ์อ้างอิงมีค่าน้อยกว่า 50 จึงผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1)

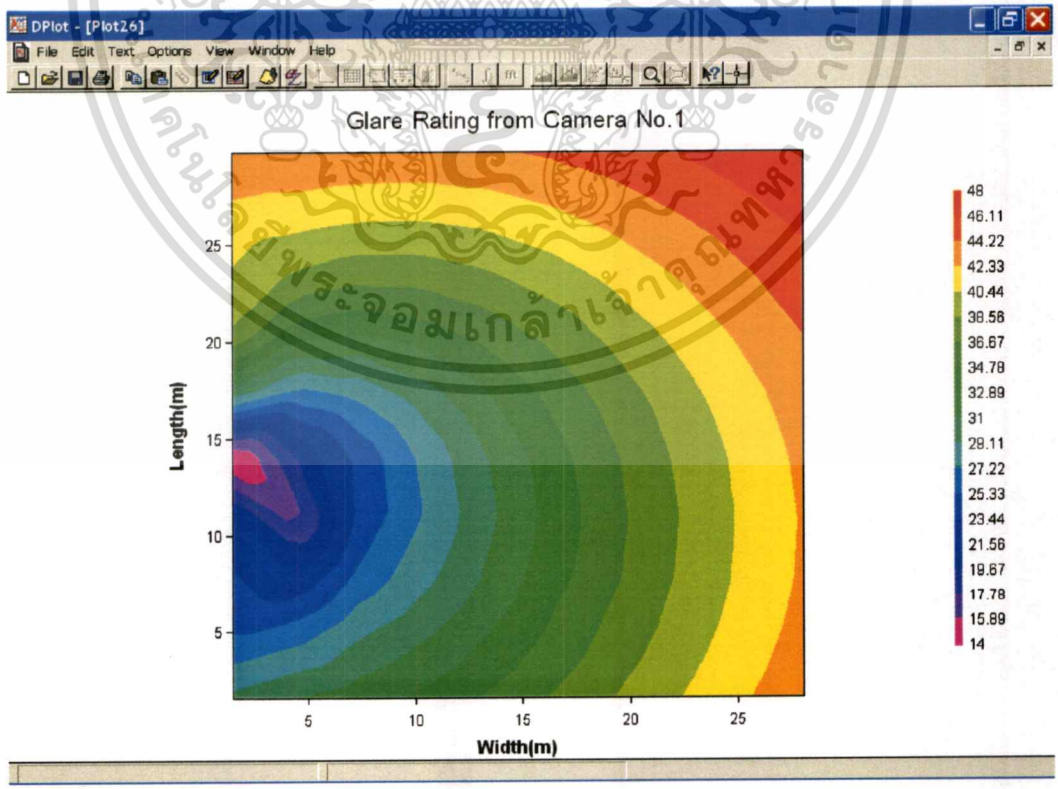
ตารางที่ 6.33 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1)

X/Y	1.57	4.7	7.84	10.97	14.11	17.24	20.38	23.51	26.65	29.78
1.48	29.69	25.27	23.68	21.86	13.47	30.02	38.32	40.25	41.91	43.83
4.43	31.04	26.63	21.82	16.94	19.73	26.25	33.5	38.37	41.5	44.02
7.38	32.04	29.09	25.86	23.78	23.95	27.63	32.81	37.41	41.01	43.83
10.32	33.33	30.78	28.51	27.17	27.61	30.07	33.71	37.48	40.87	43.75
13.27	34.92	32.86	31.22	30.44	30.9	32.66	35.32	38.32	41.27	43.96
16.23	36.69	35.07	33.88	33.4	33.82	35.14	37.16	39.55	42.05	44.46
19.18	38.51	37.23	36.35	36.05	36.42	37.45	39.04	40.97	43.07	45.19
22.13	40.3	39.28	38.62	38.43	38.75	39.59	40.86	42.45	44.23	46.08
25.08	42.03	41.22	40.71	40.58	40.87	41.56	42.61	43.93	45.44	47.06
28.03	43.69	43.02	42.63	42.54	42.8	43.38	44.26	45.38	46.68	48.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

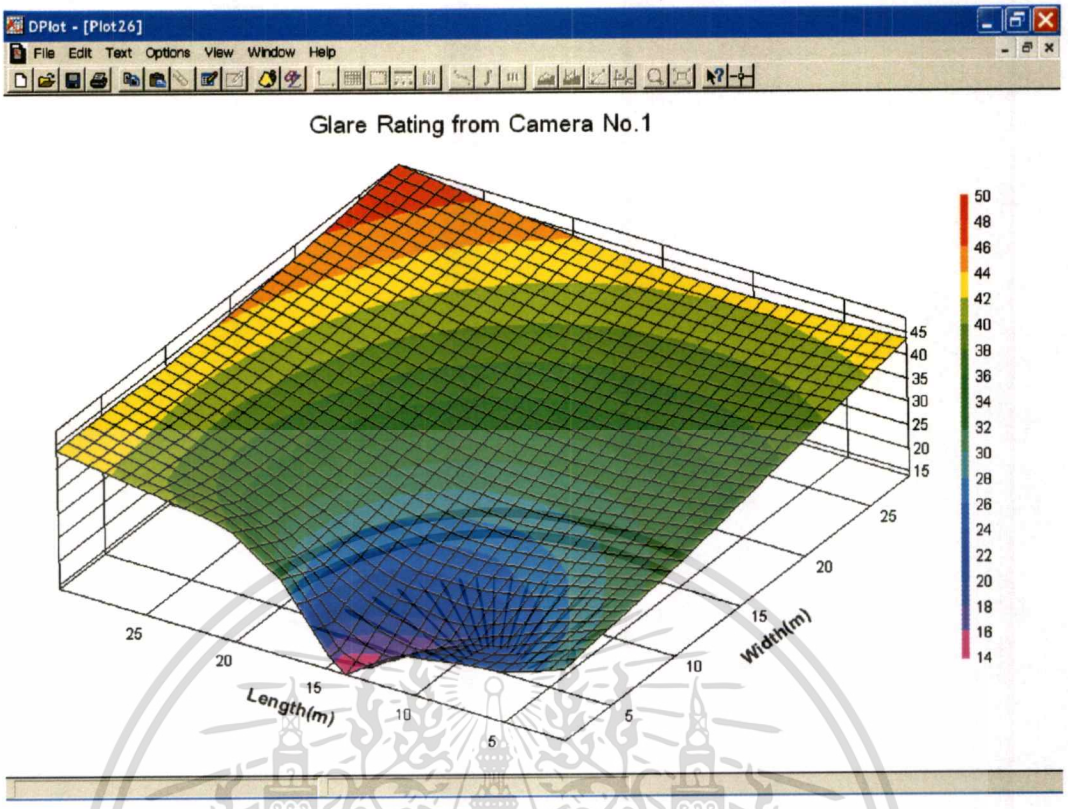


รูปที่ 6.53 ภาพลายเส้นของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1)



รูปที่ 6.54 ภาพแรเงาของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



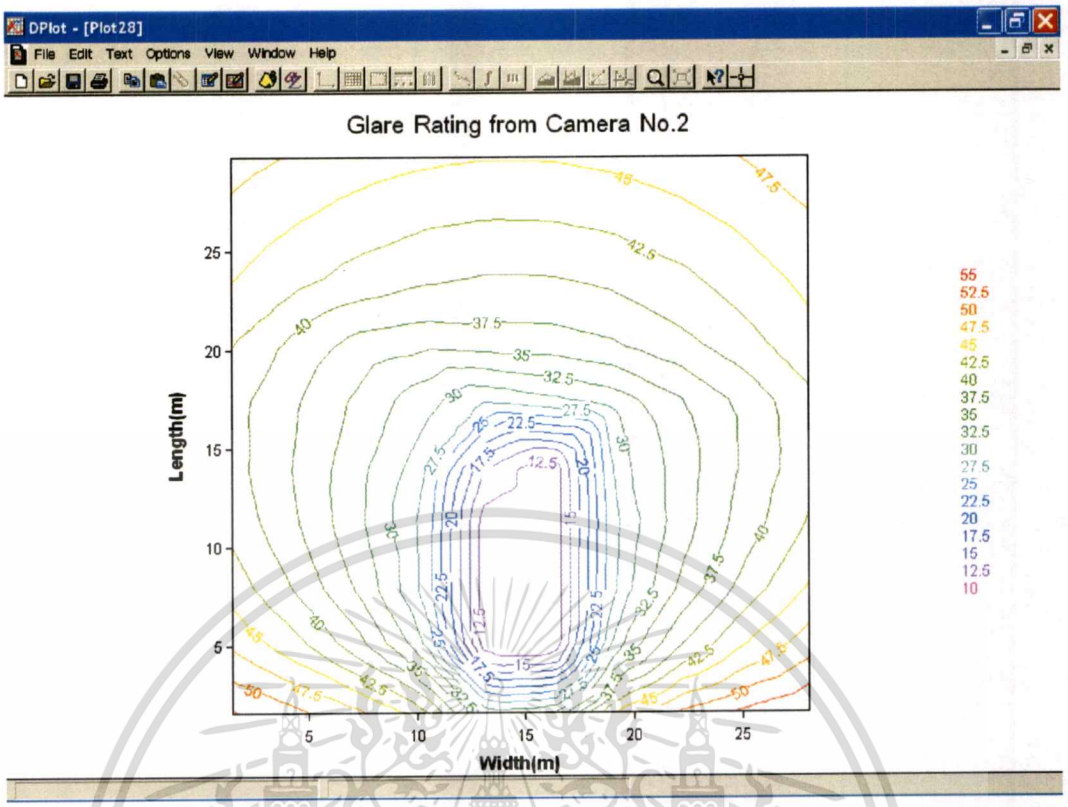
รูปที่ 6.55 ภาพ 3 มิติของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่1 (กล้องตัวที่1)

6.2.2.4.2 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2)

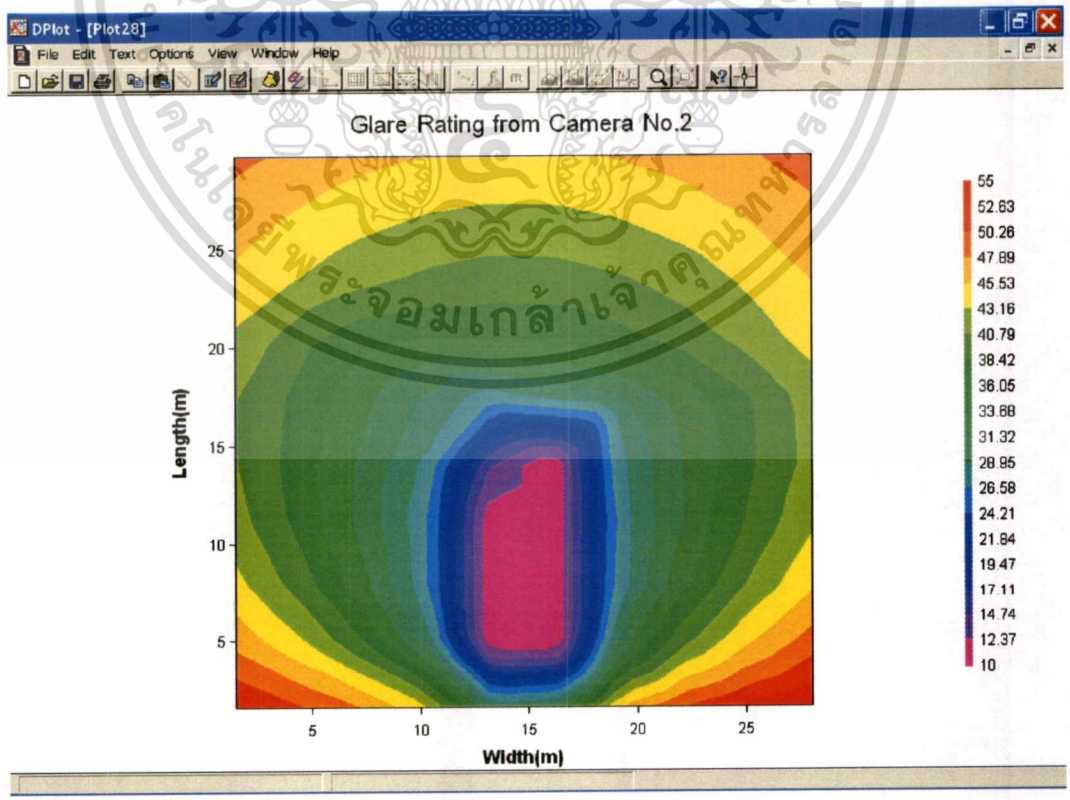
ตารางที่ 6.34 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2)

X/Y	1.57	4.7	7.84	10.97	14.11	17.24	20.38	23.51	26.65	29.78
1.48	52.72	47.54	43.92	41.82	40.88	40.77	42.64	45.03	46.77	48.53
4.43	50.56	43.83	39.74	37.78	37.25	37.63	39.18	43.11	45.21	47.24
7.38	47.88	38.77	34.37	32.92	33.14	34.25	36.61	41.48	43.94	46.21
10.32	43.54	31.04	27.12	27.02	28.56	30.73	35.9	40.3	43.03	45.5
13.27	30.55	10	10	10	14.66	27.22	36.42	39.7	42.59	45.16
16.23	31.65	10	10	10	10	28.94	36.53	39.78	42.66	45.22
19.18	45.62	32.4	28.05	27.58	28.82	30.77	37.6	40.55	43.24	45.68
22.13	50.27	40.34	35.5	33.71	33.64	34.51	39.38	41.88	44.27	46.5
25.08	52.96	45.51	40.97	38.68	37.88	38.03	41.66	43.64	45.66	47.63
28.03	55.06	49.26	45.23	42.8	41.61	41.85	44.15	45.66	47.32	49.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

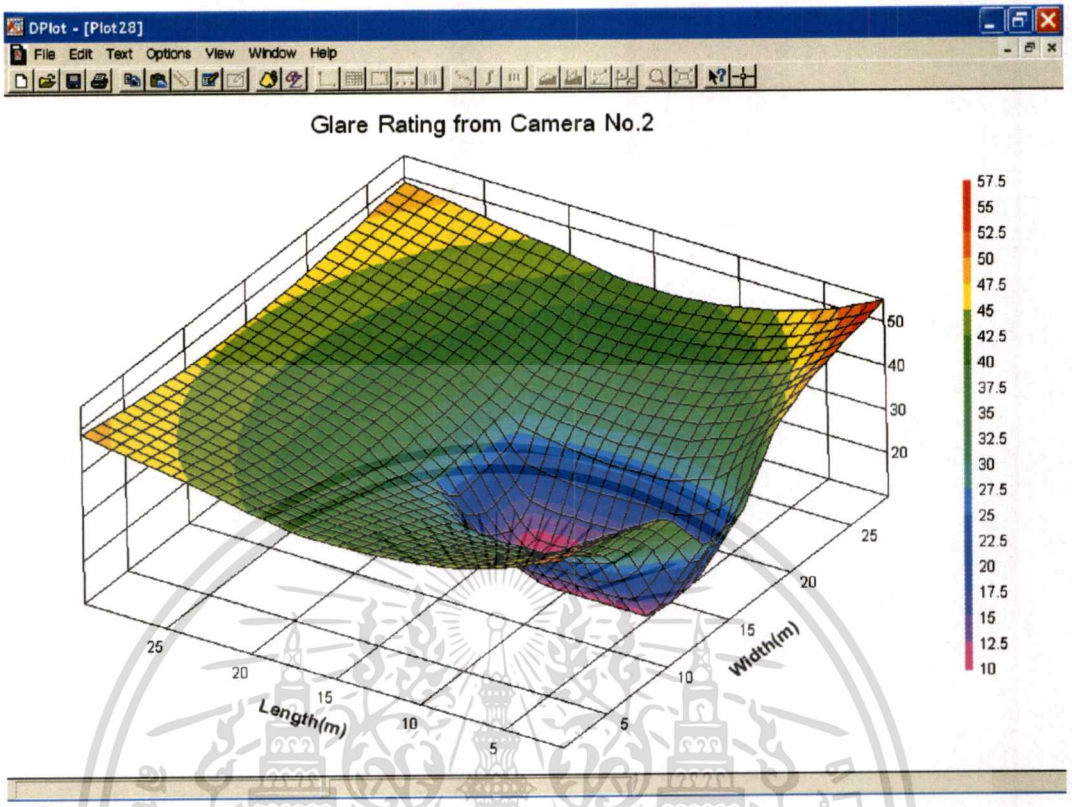


รูปที่ 6.56 ภาพลายเส้นของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2)



รูปที่ 6.57 ภาพแรเงาของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2)

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



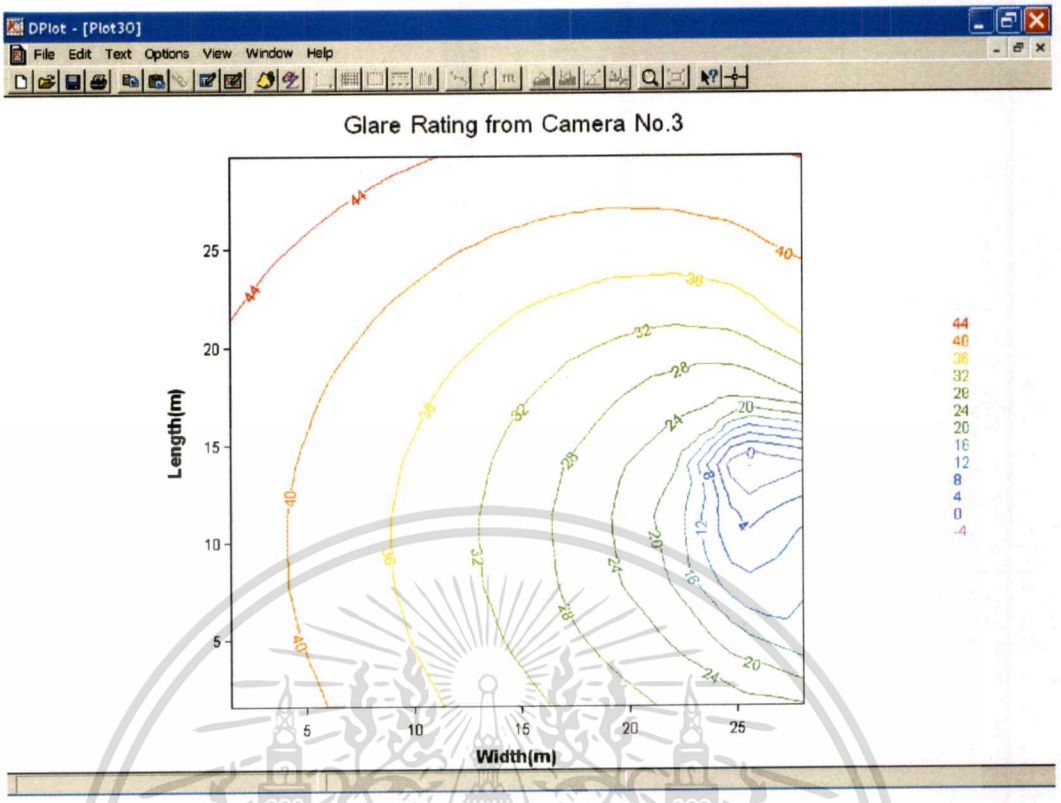
รูปที่ 6.58 ภาพ 3 มิติของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่2 (กล้องตัวที่2)

6.2.2.4.3 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3)

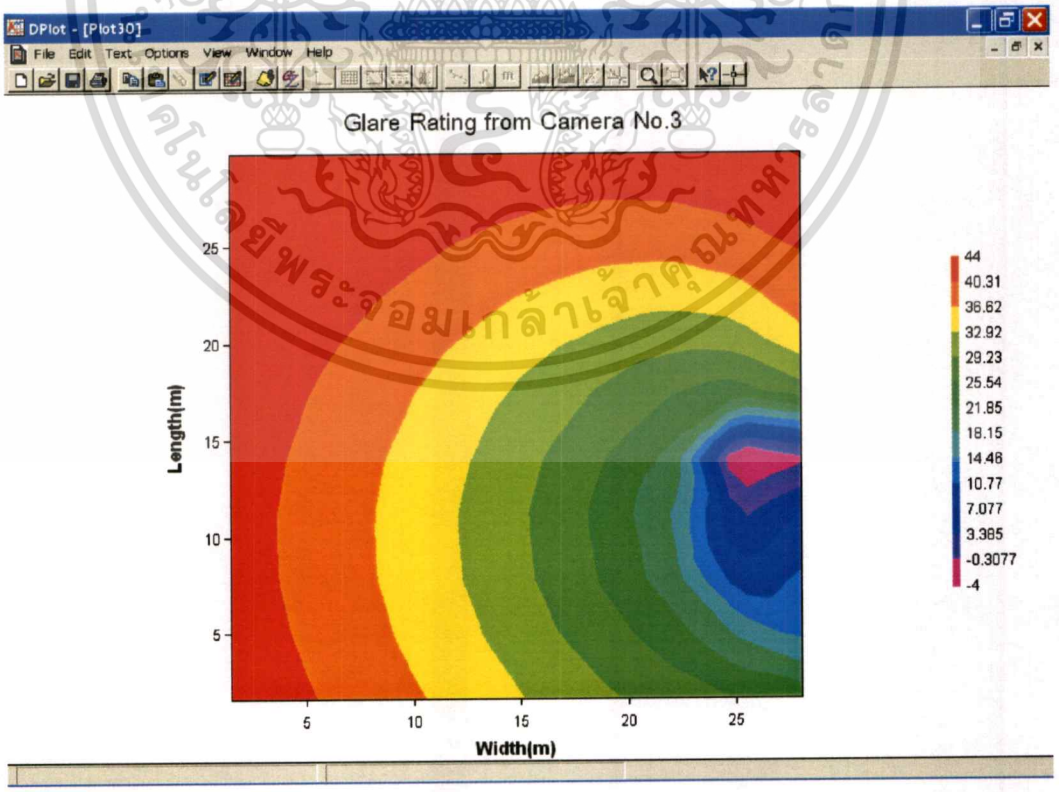
ตารางที่ 6.35 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3)

X/Y	1.57	4.7	7.84	10.97	14.11	17.24	20.38	23.51	26.65	29.78
1.48	42.92	42.27	41.9	41.85	42.14	42.74	43.63	44.74	46.03	47.42
4.43	41.03	40.25	39.79	39.72	40.06	40.8	41.87	43.19	44.71	46.31
7.38	39.01	38.03	37.45	37.36	37.78	38.68	40	41.61	43.39	45.25
10.32	36.83	35.6	34.85	34.7	35.23	36.39	38.04	40.01	42.14	44.29
13.27	34.5	32.92	31.9	31.67	32.36	33.87	36.01	38.46	41	43.47
16.23	32.05	29.96	28.53	28.15	29.06	31.14	33.97	37.07	40.1	42.91
19.18	29.58	26.81	24.71	24	25.25	28.26	32.16	36.07	39.62	42.69
22.13	27.27	23.65	19.46	17.86	20.78	25.48	30.98	35.82	39.74	42.9
25.08	25.43	17.92	8.39	2.9	-5.44	23.53	31.55	36.86	40.56	43.49
28.03	24.25	13.66	11.23	7.88	-1.49	27.3	36.09	39.37	41.84	44.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

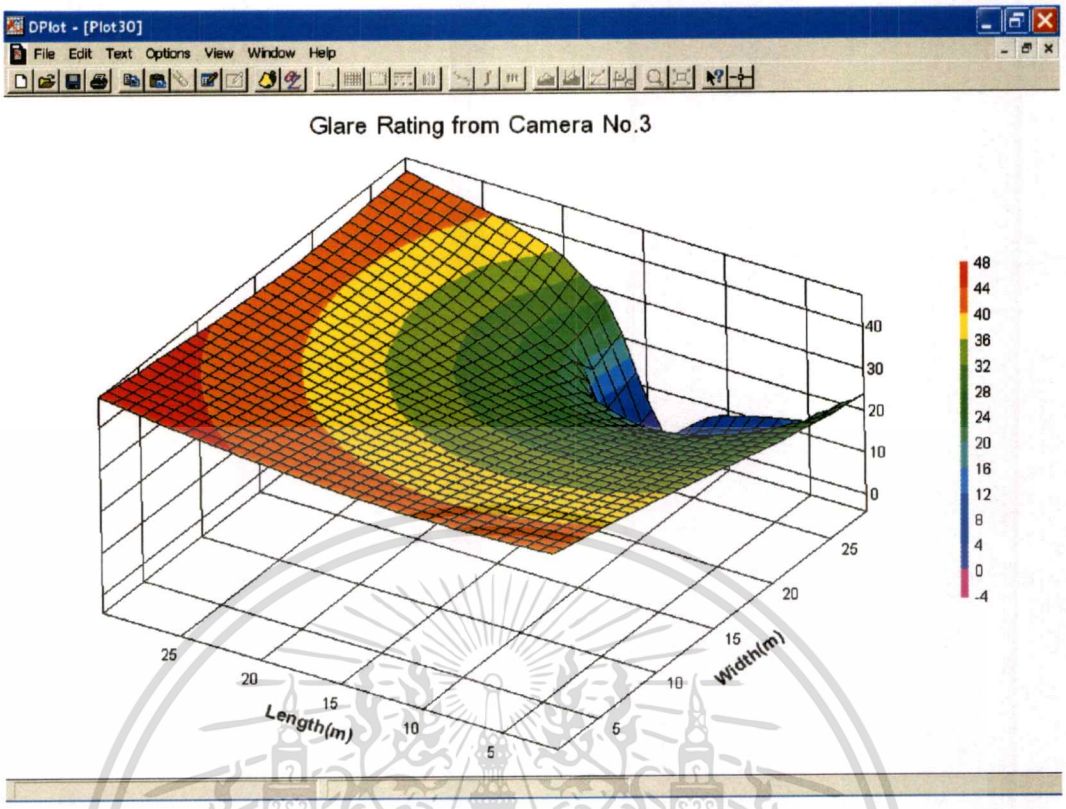


รูปที่ 6.59 ภาพลายเส้นของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3)



รูปที่ 6.60 ภาพแรเงาของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3)

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



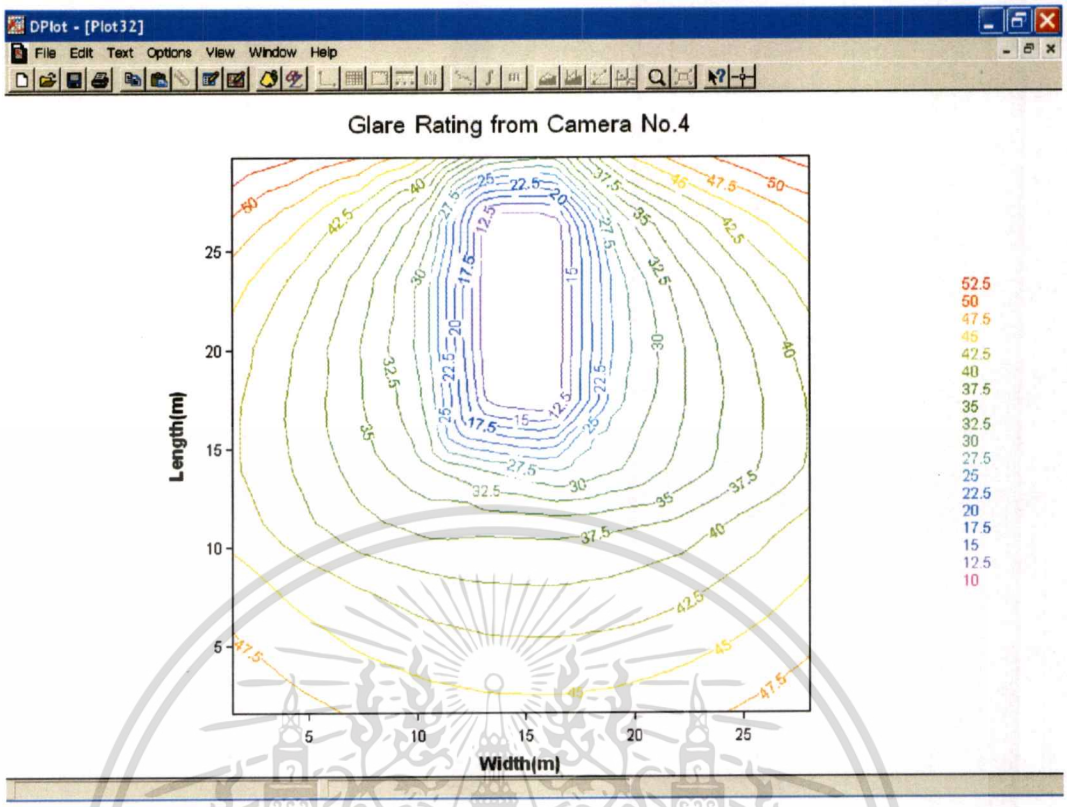
รูปที่ 6.61 ภาพ 3 มิติของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่3 (กล้องตัวที่3)

6.2.2.4.4 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่ 4 (กล้องตัวที่4)

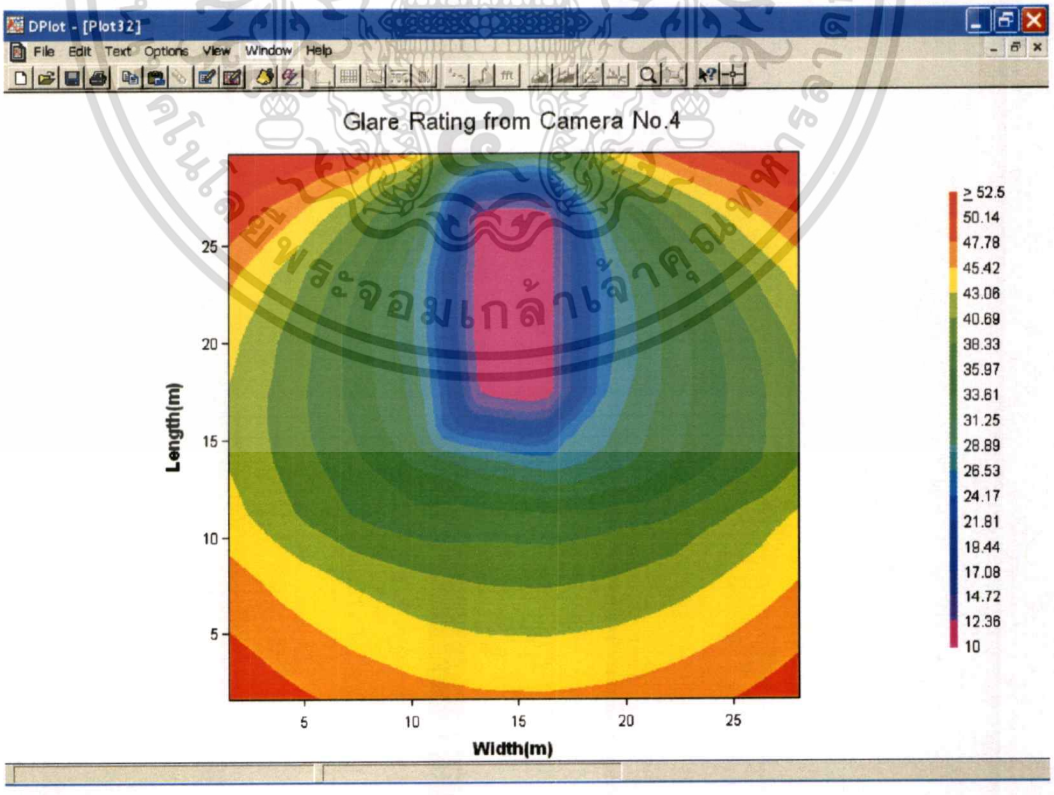
ตารางที่ 6.36 พิกัดแสงจ้าแยงตาที่มองจากจุดสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4)

X/Y	1.57	4.7	7.84	10.97	14.11	17.24	20.38	23.51	26.65	29.78
1.48	49.74	48.03	46.36	44.11	42.84	42.94	43.87	46.08	49.74	54.96
4.43	48.3	46.33	44.35	40.89	39.68	39.29	39.82	41.78	45.95	52.76
7.38	47.14	44.93	42.58	38.21	36.28	35.15	34.92	36.38	40.79	50.03
10.32	46.3	43.87	41.19	36.77	32.72	30.51	28.94	29.05	33.01	45.48
13.27	45.82	43.24	40.34	37.06	29.14	11.67	10	10	10	32.48
16.23	45.73	43.11	40.15	36.78	26.6	10	10	10	10	30.11
19.18	46.05	43.5	40.66	37.5	29.3	27.33	26.05	26.52	30.87	44.07
22.13	46.76	44.38	41.8	38.45	33.07	32.18	32.23	34.01	38.83	48.88
25.08	47.8	45.66	43.42	41.16	36.61	36.44	37.22	39.5	44.2	51.62
28.03	49.25	47.32	45.37	43.59	40.18	40.17	41.35	43.96	47.97	53.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

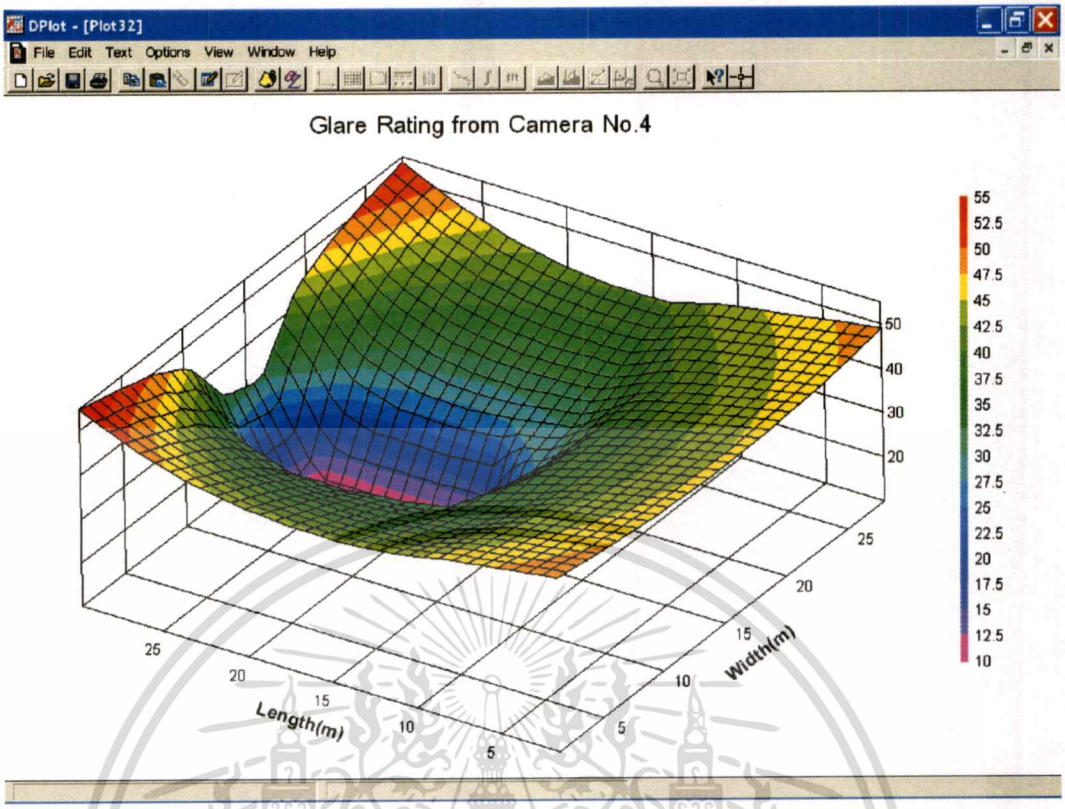


รูปที่ 6.62 ภาพลายเส้นของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4)



รูปที่ 6.63 ภาพแรเงาของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4)

เอกสารนี้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



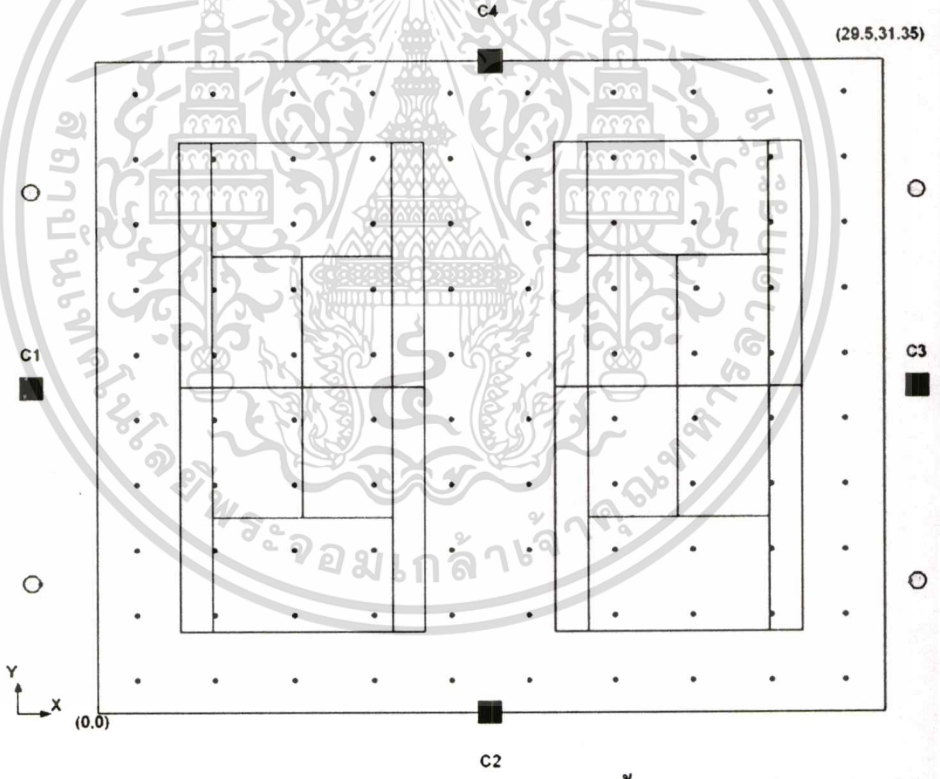
รูปที่ 6.64 ภาพ 3 มิติของพิกัดแสงจ้าแยงตาที่จุดสังเกตการณ์ที่4 (กล้องตัวที่4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 การทดสอบโปรแกรมในส่วนของการออกแบบ

ตัวอย่างที่ 1 การทดสอบโปรแกรมกรณีต้องการออกแบบหาแบบโคมและจำนวนของโคมในแต่ละแบบ และพิกัดจุดเล็งที่เหมาะสมโดยจะทำการออกแบบสนามเทนนิสแบบ 2 สนามของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กว้าง 29.5 เมตร ยาว 31.35 เมตร ดังรูปที่ 6.65 โดยมีข้อกำหนดในการออกแบบคือ

- ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย 750 lux
- ค่าความสม่ำเสมอ U0 $\geq$ 0.5 U1 $\geq$ 0.38
- พิกัดแสงจ้าแยงตา (GRmax) $\leq$ 50
- ตำแหน่งกล้องถ่ายโทรทัศน์ C3(31 ,15.675 ,1.5)



รูปที่ 6.65 สนามเทนนิสแบบ 2 สนาม และการตำแหน่งการติดตั้งโคมและกล้องถ่ายโทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่6.37 แบบของโคมและราคาที่ให้เลือก

Luminaire No.	Luminaire Code	Lumen	Price (Baht)
1	51201	80000	19250
2	MVF480	85000	30000
3	SNF111	85000	30000

ตารางที่ 6.38 ข้อมูลเสาและจุดเล็งอ้างอิงของแต่ละเสา

Pole No.	Position			Aiming Point		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	-3.5	6.5	11.5	14.75	15.675	0
2	-3.5	24.85	11.5	14.75	15.675	0
3	31	6.5	11.5	14.75	15.675	0
4	31	24.85	11.5	14.75	15.675	0

ตารางที่ 6.39 ผลการคำนวณแบบและจำนวนโคมจากโปรแกรมการออกแบบ

Pole No.	Luminaire Code	Number of Luminaire
1	MVF480	6
2	MVF480	5
3	MVF480	5
4	MVF480	6

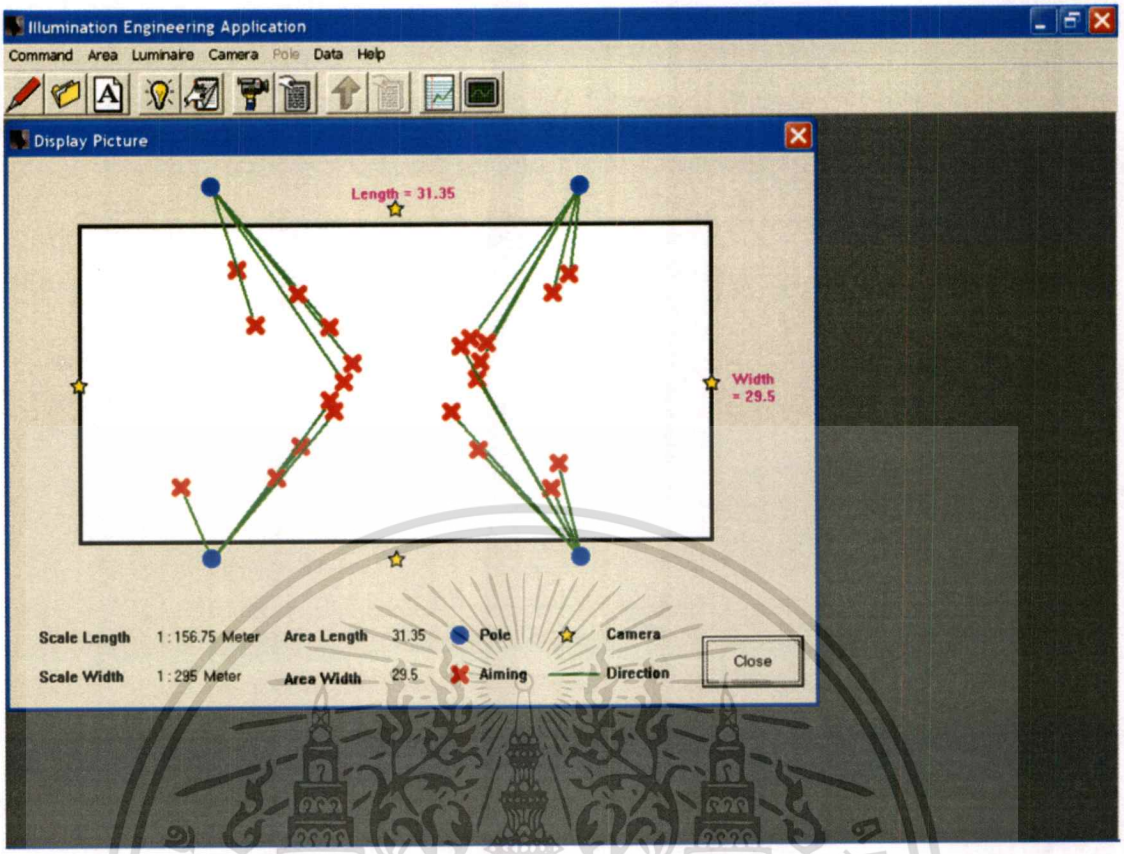
รวม 22 โคม ราคา 660,000 บาท และ Eav = 765.7089 lux

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.40 ผลการคำนวณ จุดเล็งของโคมแต่ละโคม

Pole No.	Luminaire Code	Aim X	Aim Y	Aim Z
1	MVF480	12.84	13.49	0
1	MVF480	4.25	7.79	0
1	MVF480	9.25	8.68	0
1	MVF480	9.51	12.4	0
1	MVF480	6.42	10.79	0
1	MVF480	14.61	13.07	0
2	MVF480	6.49	23.48	0
2	MVF480	12.76	19.85	0
2	MVF480	10.63	19.41	0
2	MVF480	11.05	20.2	0
2	MVF480	4.71	24.3	0
3	MVF480	20.51	10.94	0
3	MVF480	16.32	12.36	0
3	MVF480	23.5	9.71	0
3	MVF480	24.27	4.98	0
3	MVF480	17.32	12.6	0
4	MVF480	14.39	19.71	0
4	MVF480	17.41	18.4	0
4	MVF480	22.29	23.74	0
4	MVF480	24.58	23.38	0
4	MVF480	21	19.75	0
4	MVF480	11.35	18.91	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

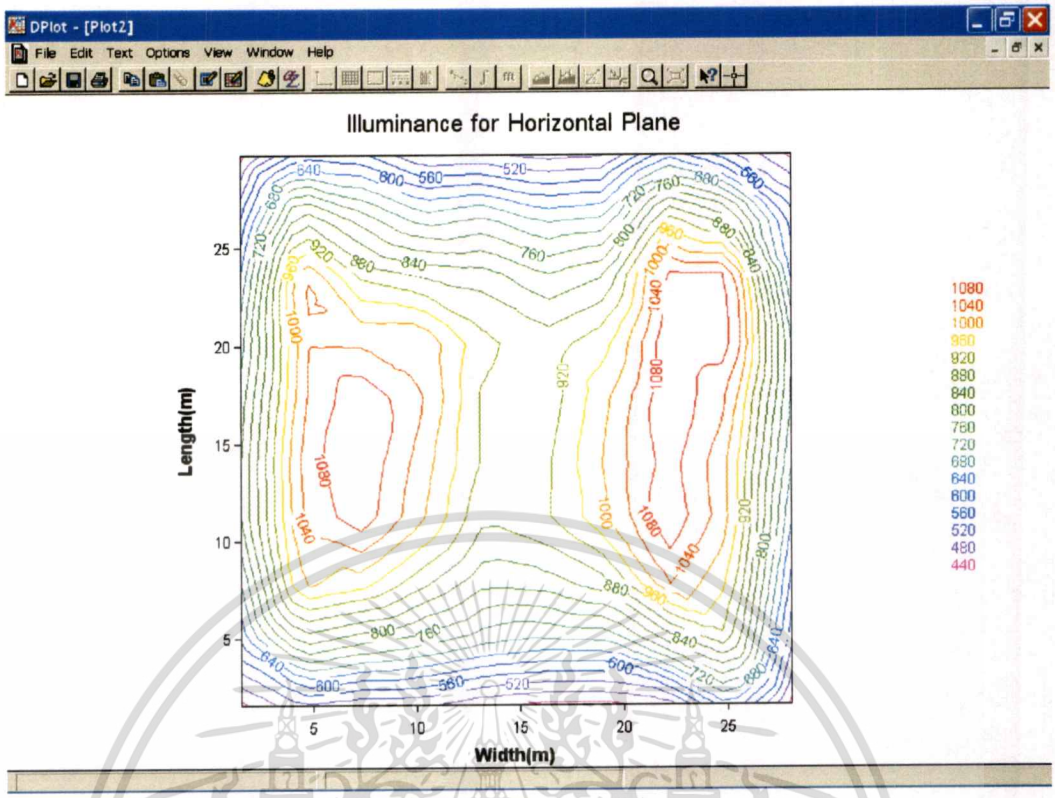


รูปที่ 6.66 ภาพการเล็งของโคมแต่ละโคมที่คำนวณได้

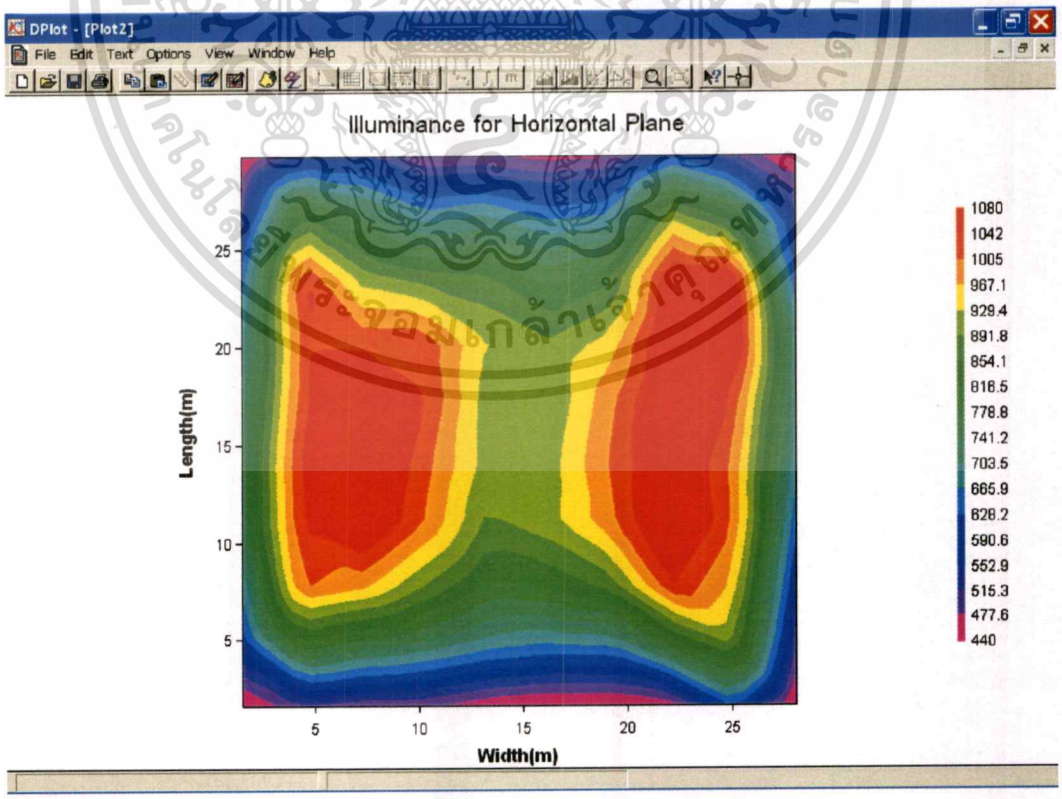
ตารางที่ 6.41 ค่าความเข้มแสง

X/Y	1.57	4.7	7.84	10.97	14.11	17.24	20.38	23.51	26.65	29.78
1.48	426.86	603.43	682.38	757.42	758.84	738.04	699.65	644.08	556.08	423.91
4.43	517.22	808.13	1015.09	1048.55	1060.4	1036.53	1031.07	1054.52	867.02	582.9
7.38	490.42	760.66	978.41	1101.66	1113.31	1114.94	1027.74	912.63	772.85	567.96
10.32	488.48	728.09	890.23	1001.93	1018.52	1045.98	1031.33	879.08	689.6	477.24
13.27	449.71	686.45	810.12	881.84	912.06	910.15	929.39	863.31	717.5	485.39
16.23	431.13	667.46	823.11	914.79	912.19	892.04	894.06	804	659.28	462.82
19.18	430.64	673.44	870.75	992.31	1007.97	992.75	942.14	843.45	674.93	473.1
22.13	459.91	803.02	1045.06	1115.32	1098.19	1114.55	1113.61	1093.66	921.47	622.37
25.08	649.22	897.02	961.6	1010.57	1005.43	1040.9	1108.81	1089.96	840.13	523.53
28.03	427.19	529.4	587.37	641.02	684.63	716.26	720.45	634.4	575.93	427.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

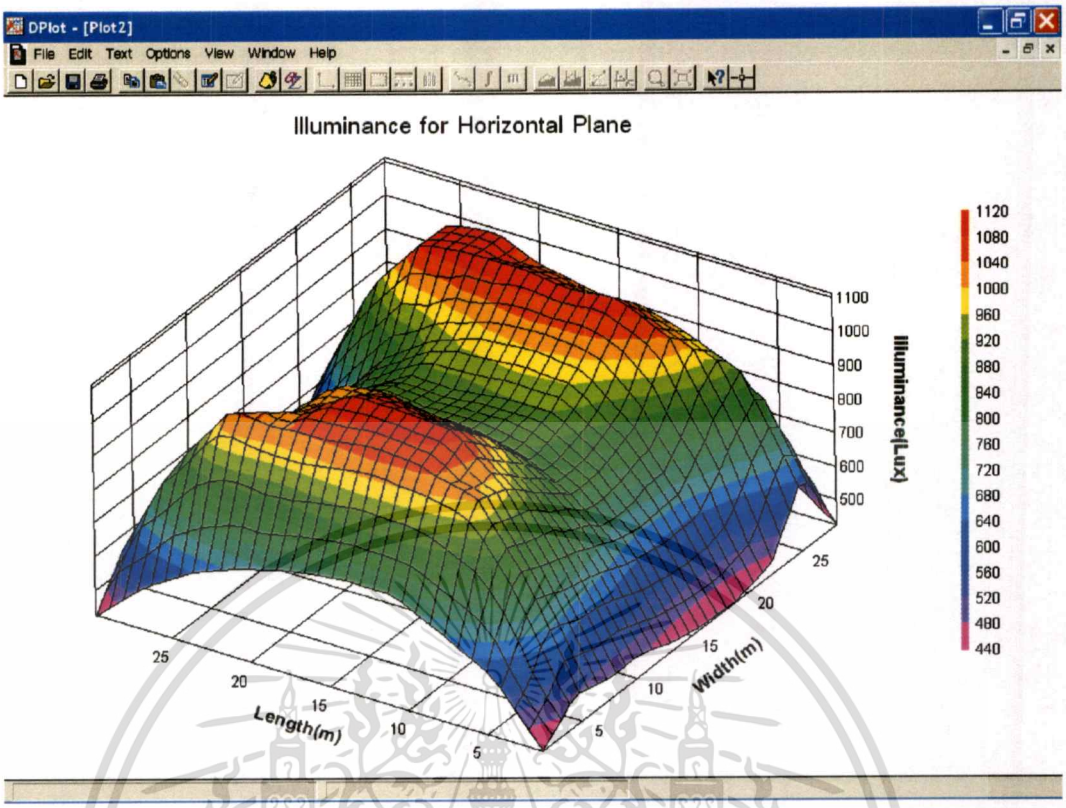


รูปที่ 6.67 ภาพลายเส้นค่าความเข้มแสงในแนวราบ



รูปที่ 6.68 ภาพแรเงาค่าความเข้มแสงในแนวราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.69 ภาพสามมิติค่าความเข้มแสงในแนวราบ

ตารางที่ 6.42 ผลการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากสนามออกแบบและค่าที่ได้จากสนามจริง

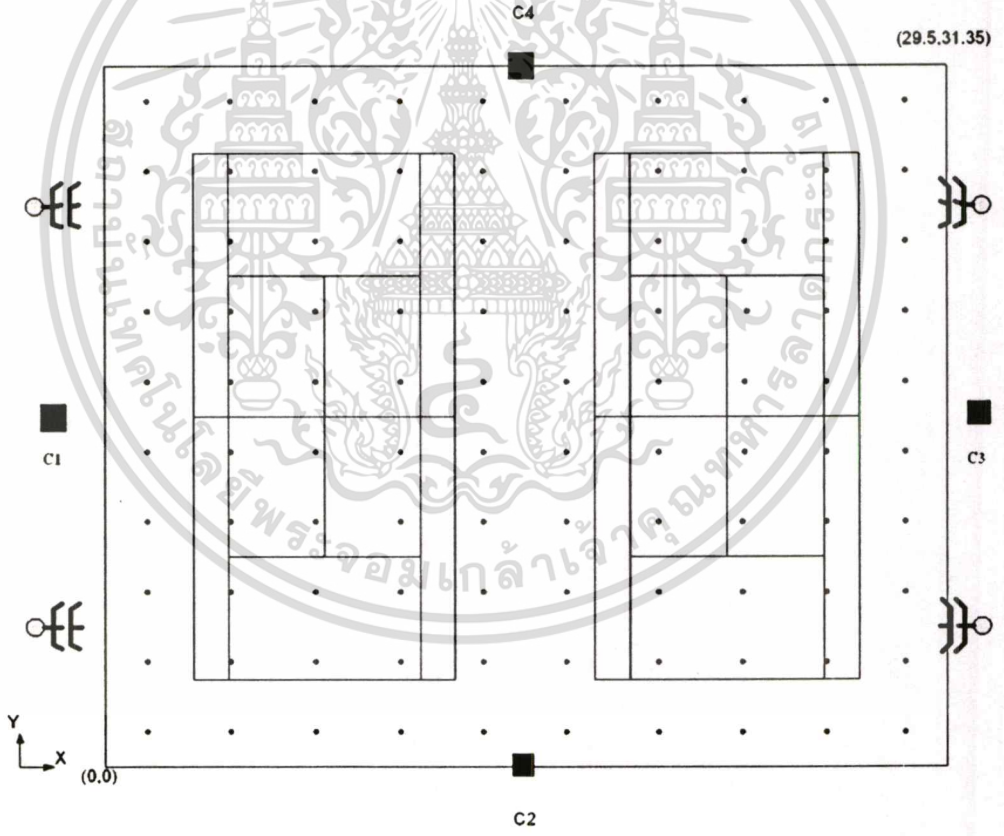
ผลการวิเคราะห์	Emax (Lux)	Eav (Lux)	Emin (Lux)	Uo	Ul	GRmax	Cost (Baht)
โปรแกรมออกแบบ	1115.32	798.693	423.91	0.5307	0.38	46.92	660,000
สนามจริง	1134.9	781.6	386.4	0.49	0.34	47.42	720,000
เปรียบเทียบ	↓ 1.72%	↑2.19%	↑9.7%	↑8.3%	↑11.76%	↓1.05%	↓8.33%

จากตารางที่ 6.42 เมื่อนำผลการคำนวณค่าความเข้มแสงสูงสุด เฉลี่ย และต่ำสุดที่ได้จากการออกแบบมาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณค่าความเข้มแสงสูงสุด เฉลี่ย และต่ำสุดที่ได้จากสนามจริงจะเห็นได้ว่า ผลการคำนวณค่าความเข้มแสงเฉลี่ยจะมีค่าเพิ่มขึ้น 2.19% และค่าความสม่ำเสมอ U_o , U_l จะเพิ่มขึ้น 8.3% และ 11.73% ตามลำดับ พิกัดแสงจ้าแยงตาสูงสุดลดลง 1.05% ราคาโคมที่ใช้ในการติดตั้งลดลงจาก 720,000 บาท เป็น 660,000 บาท ซึ่งลดลง 8.33%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 2 การทดสอบโปรแกรมในส่วนของการหาจุดเล็งเมื่อมีการติดตั้งโคมแล้ว จะทำคำนวณหาจุดเล็งของโคมแต่ละโคมใหม่ ของสนามเทนนิสแบบ 2 สนาม ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ดังรูปที่ 6.70 โดยสนามนี้ได้ทำการติดตั้งโคม SNF111 ของ Philip จำนวน 24 โคม โดยติดตั้งบนเสา 4 ต้น ต้นละ 6 โคม และจากหัวข้อ 6.1.2 จากการคำนวณหาความสม่ำเสมอ จะเห็นได้ว่า สนามนี้มีค่าความสม่ำเสมอ ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นจึงนำโปรแกรมในส่วนของการหาจุดเล็งเมื่อมีการติดตั้งโคมแล้ว มาช่วยคำนวณหาจุดเล็งของโคมแต่ละโคมใหม่ โดยมีข้อกำหนดดังนี้

- ค่าความสม่ำเสมอ $U_0 \geq 0.5$ $U_l \geq 0.4$
- พิกัดแสงจ้าแยงตา $(GR_{max}) \leq 50$
- ตำแหน่งกล้องถ่ายโทรทัศน์ C3(31 ,15.675 ,1.5)



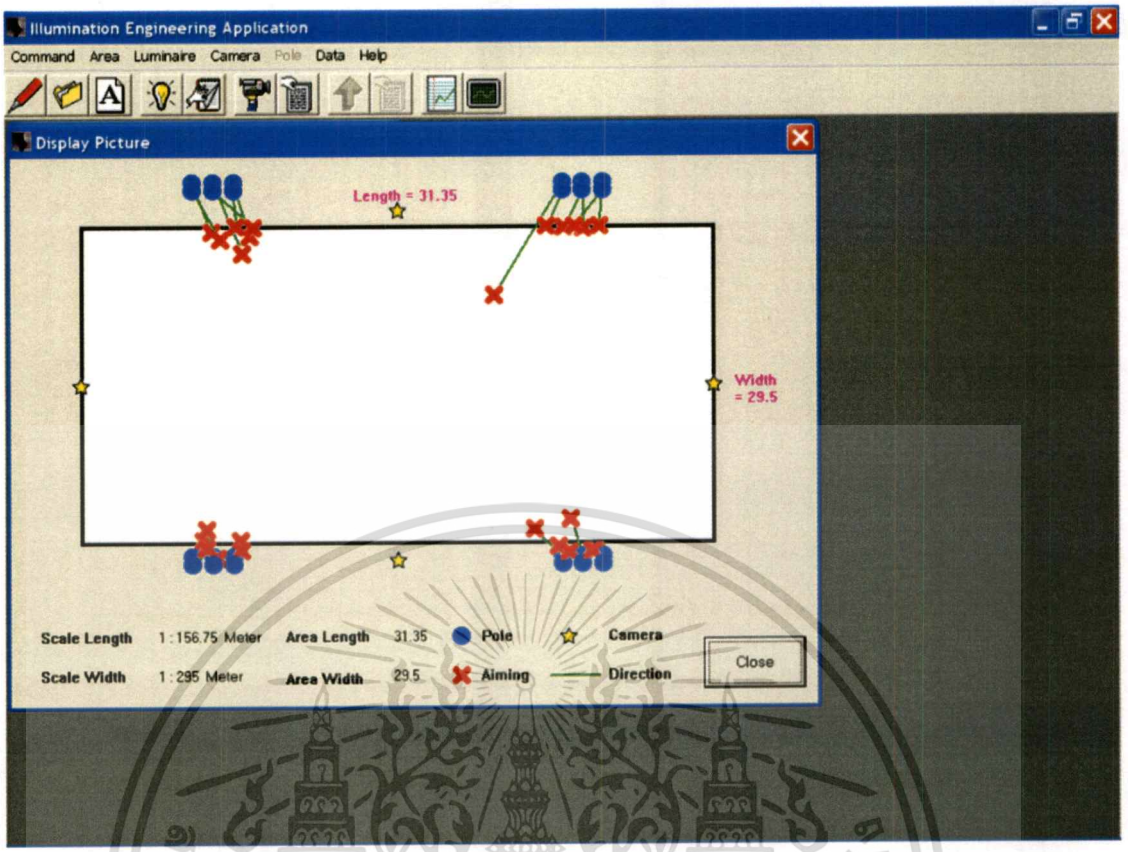
รูปที่ 6.70 ภาพสนามเทนนิสแบบ 2 สนามที่ได้มีการติดตั้งโคมฉายไว้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.43 พิกัดจุดเล็งของโคมแต่ละโคมที่คำนวณได้

Luminaire No.	Luminaire Code	Position X	Position Y	Position Z	Aiming X	Aiming Y	Aiming Z
1	SNF111	-4	5.5	11.5	0.52	6.43	0
2	SNF111	-4	6.5	11.5	2.55	7.96	0
3	SNF111	-4	7.5	11.5	1	8.34	0
4	SNF111	-3.25	5.5	11.5	1.28	6.9	0
5	SNF111	-3.25	6.5	11.5	0.12	8.52	0
6	SNF111	-3.25	7.5	11.5	0.07	7.65	0
7	SNF111	-4	23.85	11.5	6.42	20.44	0
8	SNF111	-4	24.85	11.5	0.22	24.9	0
9	SNF111	-4	25.85	11.5	0.07	25.69	0
10	SNF111	-3.25	23.85	11.5	0.09	23.06	0
11	SNF111	-3.25	24.85	11.5	0.15	23.94	0
12	SNF111	-3.25	25.85	11.5	0.01	24.43	0
13	SNF111	30.75	5.5	11.5	29.23	5.99	0
14	SNF111	30.75	6.5	11.5	28.22	6.19	0
15	SNF111	30.75	7.5	11.5	29.26	7.82	0
16	SNF111	31.5	5.5	11.5	30.02	6.19	0
17	SNF111	31.5	6.5	11.5	30.89	6.73	0
18	SNF111	31.5	7.5	11.5	30.24	7.89	0
19	SNF111	30.75	23.85	11.5	28.26	22.45	0
20	SNF111	30.75	24.85	11.5	27.37	24.26	0
21	SNF111	30.75	25.85	11.5	30.27	25.49	0
22	SNF111	31.5	23.85	11.5	29.84	23.63	0
23	SNF111	31.5	24.85	11.5	30.39	24.2	0
24	SNF111	31.5	25.85	11.5	30.29	25.29	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

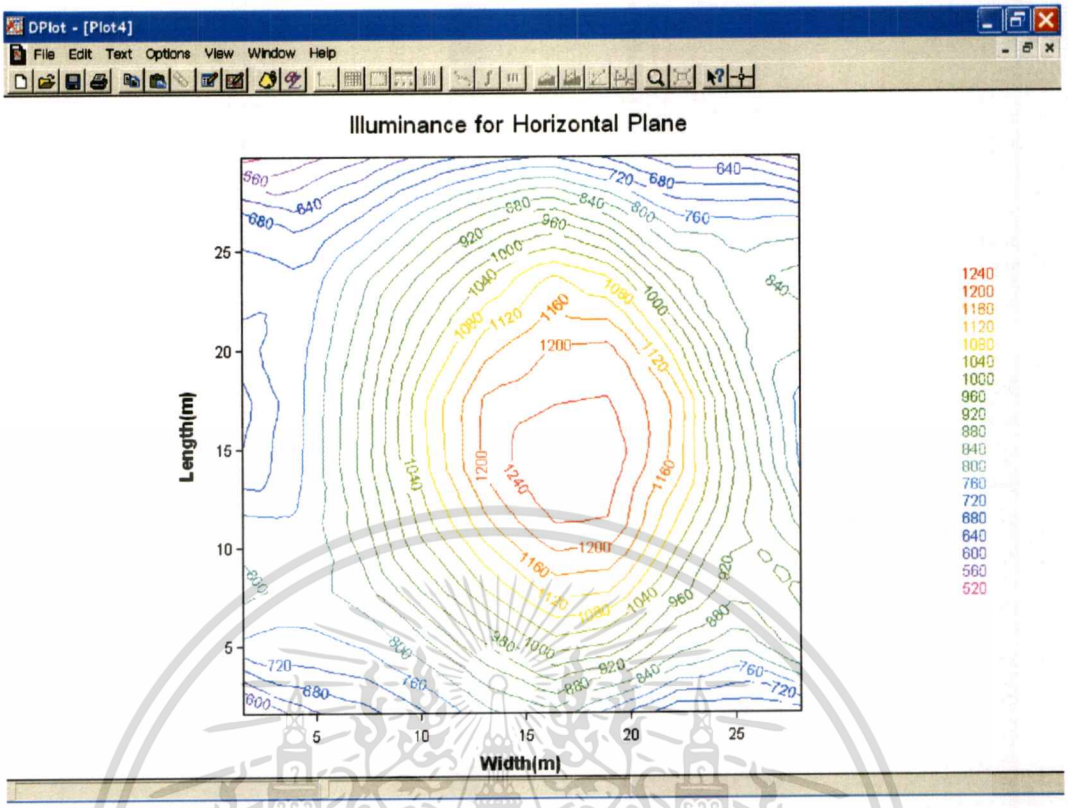


รูปที่ 6.71 ภาพการเล็งของโคมแต่ละโคมที่คำนวณได้

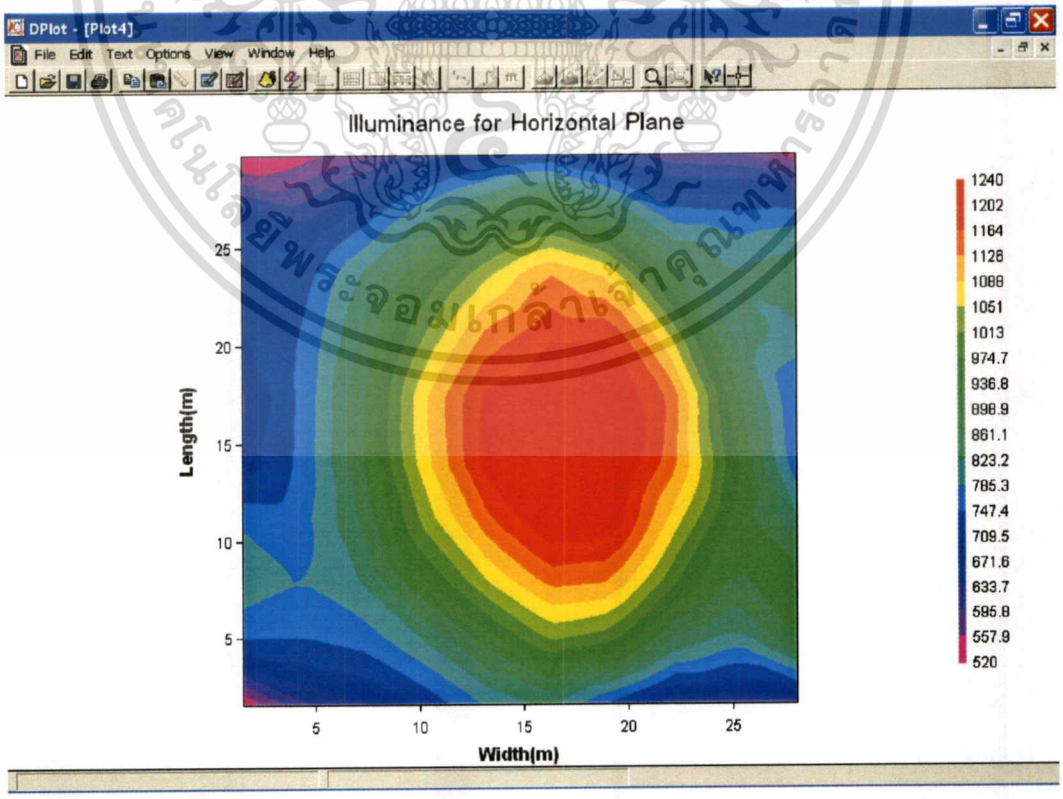
ตารางที่ 6.44 ค่าความเข้มแสง

X/Y	1.57	4.7	7.84	10.97	14.11	17.24	20.38	23.51	26.65	29.78
1.48	426.86	603.43	682.38	757.42	758.84	738.04	699.65	644.08	556.08	423.91
4.43	517.22	808.13	1015.09	1048.55	1060.4	1036.53	1031.07	1054.52	867.02	582.9
7.38	490.42	760.66	978.41	1101.66	1113.31	1114.94	1027.74	912.63	772.85	567.96
10.32	488.48	728.09	890.23	1001.93	1018.52	1045.98	1031.33	879.08	689.6	477.24
13.27	449.71	686.45	810.12	881.84	912.06	910.15	929.39	863.31	717.5	485.39
16.23	431.13	667.46	823.11	914.79	912.19	892.04	894.06	804	659.28	462.82
19.18	430.64	673.44	870.75	992.31	1007.97	992.75	942.14	843.45	674.93	473.1
22.13	459.91	803.02	1045.06	1115.32	1098.19	1114.55	1113.61	1093.66	921.47	622.37
25.08	649.22	897.02	961.6	1010.57	1005.43	1040.9	1108.81	1089.96	840.13	523.53
28.03	427.19	529.4	587.37	641.02	684.63	716.26	720.45	634.4	575.93	427.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

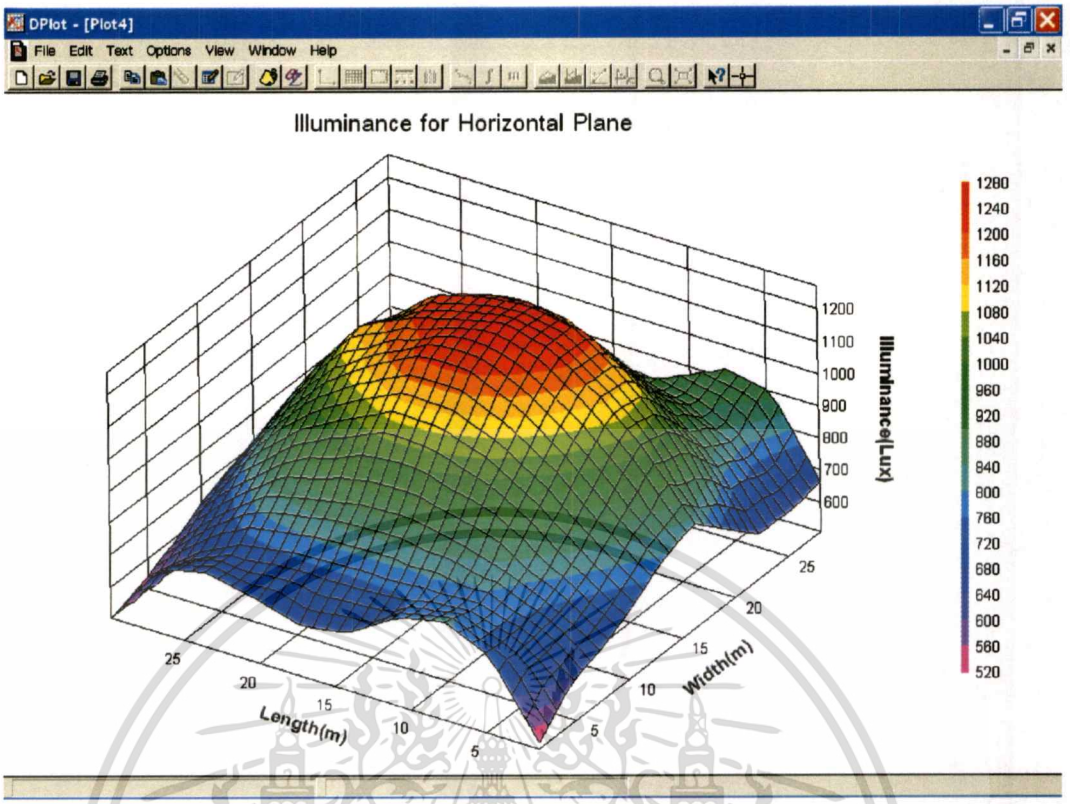


รูปที่ 6.72 ภาพลายเส้นค่าความเข้มแสง



รูปที่ 6.73 ภาพแรเงาค่าความเข้มแสง

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.74 ภาพสามมิติค่าความเข้มแสง

ตารางที่ 6.45 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการออกแบบจุดเล็งใหม่ กับค่าที่ได้จากจุดเล็งเก่าที่มีการติดตั้งโคมไว้แล้ว

ผลการวิเคราะห์	Emax (Lux)	Eav (Lux)	Emin (Lux)	Uo	Ul	GRmax
โปรแกรมออกแบบ	1274.33	874.98	505.3	0.58	0.4	49.2
สนามจริง	1134.9	781.6	386.4	0.49	0.34	47.42
การเปรียบเทียบ	↑12.28%	↑11.95%	↑30.77%	↑18.63%	↑18.37%	↑3.75%

จากตารางที่ 6.45 จะเห็นได้ว่าค่าความเข้มแสงสูงสุ เฉลี่ย และต่ำสุดจากการคำนวณจุดเล็งใหม่จะมีค่าสูงขึ้น 12.28%, 11.95% และ 30.77% ตามลำดับ สำหรับค่าความสม่ำเสมอ Uo, Ul มีค่าสูงขึ้น 18.6% และ 18.37% ตามลำดับ และสำหรับพิกัดแสงจ้าแยงตาสูงสุดถึงแม้จะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 47.42 เป็น 49.2 แต่ก็ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคือน้อยกว่า 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 บทสรุป

จากผลการทดสอบโปรแกรมทั้งในส่วนของการคำนวณและการออกแบบ จะเห็นได้ว่าสามารถลดขั้นตอนและเวลาในการคำนวณลงได้มาก และยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง โดยค่าความเข้มแสงเฉลี่ยมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ค่าความสม่ำเสมอ และพิกัดแสงจ้าแยงตาก็มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอีกด้วย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ในการออกแบบระบบส่องสว่างสำหรับสนามกีฬาภายนอกอาคารโดยทั่วไป ส่วนใหญ่จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อหาจำนวนของโคมไฟที่จะติดตั้ง และจะต้องมีการทดลองกำหนดจุดเล็งของโคมไฟแต่ละโคม แล้วจึงให้โปรแกรมคำนวณค่าความเข้มแสงเฉลี่ย ค่าความสม่ำเสมอของค่าความเข้มแสง และพิกัดแสงจ้าแยงตาว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่ ซึ่งจะทำให้เสียเวลาในการออกแบบและค่าที่ได้หลังจากการทดลองกำหนดจุดเล็งอาจจะไม่ใช่ค่าที่ดีที่สุดก็ได้

ในงานด้านออกแบบระบบส่องสว่างของสนามกีฬาภายนอกอาคาร มีปัจจัยหลายประการที่ต้องคำนึงถึง คือปริมาณของแสง คุณภาพของแสง และค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง โดยการออกแบบจะต้องออกแบบให้มีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยและคุณภาพของแสง (พิกัดแสงจ้าแยงตา และความสม่ำเสมอของค่าความเข้มแสง) อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งถ้าออกแบบให้ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยและคุณภาพของแสงมีค่าสูงมาก ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งก็จะมากตามไปด้วย แต่ถ้าออกแบบให้ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งต่ำ ก็จะทำให้ปริมาณของแสง และคุณภาพของแสงมีค่าต่ำหรืออาจจะต่ำกว่ามาตรฐาน ดังนั้นการออกแบบที่เหมาะสม โดยคำนึงถึงปัจจัยทั้ง 3 จึงเป็นสิ่งที่จำเป็น ซึ่งจะต้องหาชนิดของโคมไฟ และจำนวนของโคมไฟที่เหมาะสม เพื่อให้เสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้งต่ำที่สุด โดยจะต้องมีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยไม่ต่ำกว่าที่กำหนดด้วย และจำต้องหาตำแหน่งของจุดเล็งของโคมไฟที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยสูงสุด และความสม่ำเสมอของค่าความเข้มแสงไม่ต่ำกว่าที่กำหนดด้วย ดังนั้นการนำเอาเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) เข้ามาช่วยในการออกแบบระบบไฟฟ้าส่องสว่าง จะทำให้ได้การออกแบบที่เหมาะสม

ในการคำนวณด้านส่องสว่าง จะต้องใช้เวลาในการคำนวณมาก เนื่องจากเป็นการคำนวณแบบซ้ำๆ อีกทั้งยังต้องมีการ interpolation ในขั้นตอนการคำนวณอีกด้วย ดังนั้นการคำนวณด้วยมืออาจจะได้การคำนวณที่ไม่ละเอียดพอในแต่ละจุด การนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการออกแบบและคำนวณด้านส่องสว่าง จะทำให้สามารถคำนวณและออกแบบได้อย่างรวดเร็ว ละเอียดเหมาะสม และยังสามารถคาดคะเนปริมาณและคุณภาพของแสงหลังการติดตั้งได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลลัพธ์ของโปรแกรมในส่วนของการคำนวณ จะแสดงค่าความเข้มแสงในแนวราบ ค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ ค่าความสม่ำเสมอของค่าความเข้มแสง และพิกัดแสงจ้าแยงตา โดยจะแสดงผลในรูปของตารางตัวเลข ภาพลายเส้น ภาพแรเงา และภาพ3มิติ ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการพิจารณา และผลลัพธ์ในส่วนของการออกแบบจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้งน้อยที่สุด และได้ปริมาณของแสงและคุณภาพของแสงที่เหมาะสม ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอีกด้วย

จากตัวอย่างการทดสอบโปรแกรม ได้ผลลัพธ์ดังนี้คือ

1. การใช้โปรแกรมช่วยคำนวณค่าความเข้มแสงเฉลี่ย , ค่าความสม่ำเสมอ และพิกัดแสงจ้าแยงตา จะช่วยให้ประหยัดเวลาในการคำนวณมากขึ้น อีกทั้งยังสามารถคาดคะเนการกระจายแสงบนพื้นสนาม โดยแสดงผลในรูปของภาพลายเส้น ภาพแรเงา และภาพ 3 มิติ
2. การใช้โปรแกรมช่วยออกแบบในการหาจำนวน และจุดเล็งที่เหมาะสม จะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายลงได้ระดับหนึ่ง โดยปริมาณของแสง และคุณภาพของแสงก็ดีขึ้นด้วย โดยโปรแกรมใช้เวลาในการออกแบบประมาณ 3 ชั่วโมง
3. ในกรณีที่สนามที่ได้มีการติดตั้งโคมไฟแล้ว มีปริมาณของแสง และคุณภาพของแสงต่ำกว่ามาตรฐาน โปรแกรมการออกแบบนี้ สามารถช่วยคำนวณจุดเล็งใหม่ที่เหมาะสมที่จะทำให้ปริมาณของแสง และคุณภาพของแสง มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน โดยโปรแกรมใช้เวลาในการออกแบบประมาณ 3 ชั่วโมง

7.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการดำเนินการต่อไป

1. ในส่วนของการออกแบบที่เหมาะสม ควรจะคำนึงถึงค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ และค่าความสม่ำเสมอในแนวดิ่งด้วย
2. ในส่วนของการออกแบบเพื่อหาจำนวนโคม การกำหนดจุดเล็งอ้างอิงของแต่ละเสา มีผลต่อจำนวนโคมที่คำนวณได้ ซึ่งผู้ที่ทำการออกแบบ จะต้องมีความชำนาญในด้านการออกแบบจึงจะทำให้ผลการคำนวณจำนวนของโคม ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ คือเสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้งน้อยที่สุด
3. เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสม มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ดังนั้นการประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดกับการออกแบบในระบบส่องสว่าง จึงยังสามารถพัฒนาต่อไปได้อีก
4. ข้อจำกัดของโปรแกรมคือ สามารถออกแบบสนามเทนนิสขนาดใหญ่ไม่เกิน 4 สนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ศุลี บรรจงจิตร. "วิศวกรรมการส่องสว่าง". บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2538

[2] อุดม จงสวัสดิ์. "การออกแบบเหมาะสมที่สุดสำหรับการส่องสว่างพื้นที่". วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538

[3] กาญจนี วงศ์วิภาพร. "การจัดตารางเรียนแบบจำลองโดยจีเนติกอัลกอริทึม".วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541

[4] รุจิพรรณ สัมปัณณา. "การประเมินคุณภาพของการส่องสว่างด้านแสงจ้าแยงตาและการเกิดเงา". วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543

[5] ธีวินท์ จิตรสถาพร, นรา รัตน์นราทร, นฤป บุญศิริพันธ์,ธนิต ศิริปการ, "โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบแสงสว่าง (ดวงโคมฉาย)". ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543

[6] ไชยะ แช่มช้อย. "พื้นฐานวิศวกรรมการส่องสว่าง เล่มที่ 1". บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด, 2544

[7] ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. "การออกแบบระบบแสงสว่าง". หนังสือเผยแพร่ของ กลุ่มบริษัท แสงมิตรกรุ๊ป จำกัด

[8] CIE, "Photometry of Floodlights", Publication CIE N.43 (TC-2.4), 1979

[9] J.E. Kaufman, "IES Lighting Handbook" Illuminating Engineering Society, NewYork, 1981

[10] G. V. Reklaitis. "Engineering Optimization". John Wiley and Sons, Inc., 1983

[11] CIE, "Guide for the Lighting of Sports Events for Color Television and Film System",Publication CIE N.83, 2nd. 1989.

[12] CIE112-1994, "Glare Evaluation System for Use Within Outdoor Sport and Area Lighting",CIE Technical Report

[13] CIE12-1998, "Guide for Lighting Exterior Work Area", CIE Technical Report

[14] Ashok D. Belegundu, Ph.D. "Optimization Concepts and Applications in Engineering". PrenticeHall, 1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

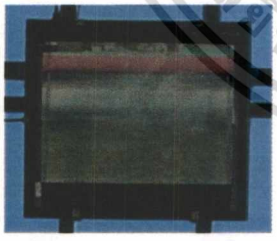
ภาคผนวก ก

ข้อมูลการกระจายแสงของโคมไฟ

1. 51201 : โคมไฟส่อง ยี่ห้อวีนิค ขนาด 1000 W.

2. MVF480 : โคมไฟส่อง ยี่ห้อฟิลลิป ขนาด 1000 W

3. SNF111_NB : โคมไฟส่อง ยี่ห้อฟิลลิป ขนาด 1000 W



(ดูในเอกสารแนบด้านล่างนี้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลการกระจายแสง

51201 Cd/1000lm

H/V	-90	-87.5	-85	-82.5	-80	-77.5	-75	-72.5
-90	1	1	1	1	1	1	1	1
-87.5	1	1	1	1	1	1	1	1
-85	1	1	1	1	1	1	1	1
-82.5	1	1	1	1	1	1	1	1
-80	1	1	1	1	1	1	1	1
-77.5	1	1	1	1	1	1	1	1
-75	1	1	1	1	1	1	1	1
-72.5	1	1	1	1	1	1	1	1
-70	1	1	1	1	1	1	1	1
-67.5	1	1	1	1	1	1	1	1
-65	1	1	1	1	1	1	1	1
-62.5	1	1	1	1	1	1	1	1
-60	1	1	1	1	1	1	1	1
-57.5	1	1	1	1	1	1	1	1
-55	1	1	1	1	1	1	1	1
-52.5	1	1	1	1	1	1	1	1
-50	1	1	1	1	1	1	1	2
-47.5	1	1	1	1	1	1	1	2
-45	1	1	1	1	1	1	2	2
-42.5	1	1	1	1	1	1	2	2
-40	1	1	1	1	1	1	2	2
-37.5	1	1	1	1	1	1	2	2
-35	1	1	1	1	1	1	1	2
-32.5	1	1	1	1	1	1	1	2
-30	1	1	1	1	1	1	1	2
-27.5	0	1	1	1	1	1	1	2
-25	0	1	1	1	1	1	2	2
-22.5	0	1	1	1	1	1	2	2
-20	0	1	1	1	1	1	2	2
-17.5	0	1	1	1	1	2	2	2
-15	0	1	1	1	1	2	2	3
-12.5	0	1	1	1	1	2	2	3
-10	0	1	1	1	1	2	2	3
-7.5	0	1	1	1	1	2	2	3
-5	0	1	1	1	1	2	2	3
-2.5	0	1	1	1	1	2	2	3
0	0	1	1	1	1	2	2	3
2.5	0	1	1	1	1	2	2	3
5	0	1	1	1	1	2	2	3
7.5	0	1	1	1	1	2	2	3
10	0	1	1	1	1	2	2	3
12.5	0	1	1	1	1	2	2	3
15	0	1	1	1	1	2	2	3
17.5	0	1	1	1	1	2	2	2
20	0	1	1	1	1	1	2	2
22.5	0	1	1	1	1	1	2	2
25	0	1	1	1	1	1	2	2
27.5	0	1	1	1	1	1	1	2
30	1	1	1	1	1	1	1	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H/V	-90	-87.5	-85	-82.5	-80	-77.5	-75	-72.5
32.5	1	1	1	1	1	1	2	2
35	1	1	1	1	1	1	2	2
37.5	1	1	1	1	1	1	2	2
40	1	1	1	1	1	1	2	2
42.5	1	1	1	1	1	1	2	2
45	1	1	1	1	1	1	2	2
47.5	1	1	1	1	1	1	1	2
50	1	1	1	1	1	1	1	2
52.5	1	1	1	1	1	1	1	1
55	1	1	1	1	1	1	1	1
57.5	1	1	1	1	1	1	1	1
60	1	1	1	1	1	1	1	1
62.5	1	1	1	1	1	1	1	1
65	1	1	1	1	1	1	1	1
67.5	1	1	1	1	1	1	1	1
70	1	1	1	1	1	1	1	1
72.5	1	1	1	1	1	1	1	1
75	1	1	1	1	1	1	1	1
77.5	1	1	1	1	1	1	1	1
80	1	1	1	1	1	1	1	1
82.5	1	1	1	1	1	1	1	1
85	1	1	1	1	1	1	1	1
87.5	1	1	1	1	1	1	1	1
90	1	1	1	1	1	1	1	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H/V	-70	-67.5	-65	-62.5	-60	-57.5	-55	-52.5
-90	1	1	1	1	1	1	1	1
-87.5	1	1	1	1	1	1	1	1
-85	1	1	1	1	1	1	1	1
-82.5	1	1	1	1	1	1	1	1
-80	1	1	1	1	1	1	1	1
-77.5	1	1	1	1	1	1	1	1
-75	1	1	1	1	1	1	1	1
-72.5	1	1	1	1	1	1	1	1
-70	1	1	1	1	1	1	1	1
-67.5	1	1	1	1	1	1	2	2
-65	1	1	1	1	2	2	2	2
-62.5	1	1	1	2	2	2	2	3
-60	1	1	2	2	2	2	2	3
-57.5	1	2	2	2	2	2	3	5
-55	2	2	2	2	2	2	2	4
-52.5	2	2	2	2	2	2	2	3
-50	2	2	2	2	2	2	3	3
-47.5	2	2	2	2	2	2	3	3
-45	2	2	2	2	2	3	3	4
-42.5	2	2	2	2	2	3	3	4
-40	2	2	2	2	2	3	3	4
-37.5	2	2	2	2	3	3	3	3
-35	2	2	2	2	3	3	3	3
-32.5	2	2	2	2	3	3	3	3
-30	2	2	2	2	3	3	3	3
-27.5	2	2	2	2	2	3	3	3
-25	2	2	2	2	3	3	3	3
-22.5	2	2	2	3	3	3	3	4
-20	2	3	3	3	3	4	4	4
-17.5	3	3	3	3	4	4	4	5
-15	3	3	3	4	4	5	5	5
-12.5	3	3	3	4	5	5	5	5
-10	3	3	3	4	5	5	5	5
-7.5	3	3	3	4	5	5	5	5
-5	3	3	3	4	5	5	5	5
-2.5	3	2	3	3	5	5	5	5
0	3	2	3	3	5	5	5	6
2.5	3	2	3	3	5	5	5	5
5	3	3	3	4	5	5	5	5
7.5	3	3	3	4	5	5	5	5
10	3	3	3	4	5	5	5	5
12.5	3	3	3	4	5	5	5	5
15	3	3	3	4	4	5	5	5
17.5	3	3	3	3	4	4	4	5
20	2	3	3	3	3	4	4	4
22.5	2	2	2	3	3	3	3	4
25	2	2	2	2	3	3	3	3
27.5	2	2	2	2	2	3	3	3
30	2	2	2	2	3	3	3	3
32.5	2	2	2	2	3	3	3	3
35	2	2	2	2	3	3	3	3
37.5	2	2	2	2	3	3	3	3

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H/V	-70	-67.5	-65	-62.5	-60	-57.5	-55	-52.5
40	2	2	2	2	2	3	3	4
42.5	2	2	2	2	2	3	3	4
45	2	2	2	2	2	3	3	4
47.5	2	2	2	2	2	2	3	3
50	2	2	2	2	2	2	3	3
52.5	2	2	2	2	2	2	2	3
55	2	2	2	2	2	2	2	4
57.5	1	2	2	2	2	2	3	5
60	1	1	2	2	2	2	2	3
62.5	1	1	1	2	2	2	2	3
65	1	1	1	1	2	2	2	2
67.5	1	1	1	1	1	1	2	2
70	1	1	1	1	1	1	1	1
72.5	1	1	1	1	1	1	1	1
75	1	1	1	1	1	1	1	1
77.5	1	1	1	1	1	1	1	1
80	1	1	1	1	1	1	1	1
82.5	1	1	1	1	1	1	1	1
85	1	1	1	1	1	1	1	1
87.5	1	1	1	1	1	1	1	1
90	1	1	1	1	1	1	1	1

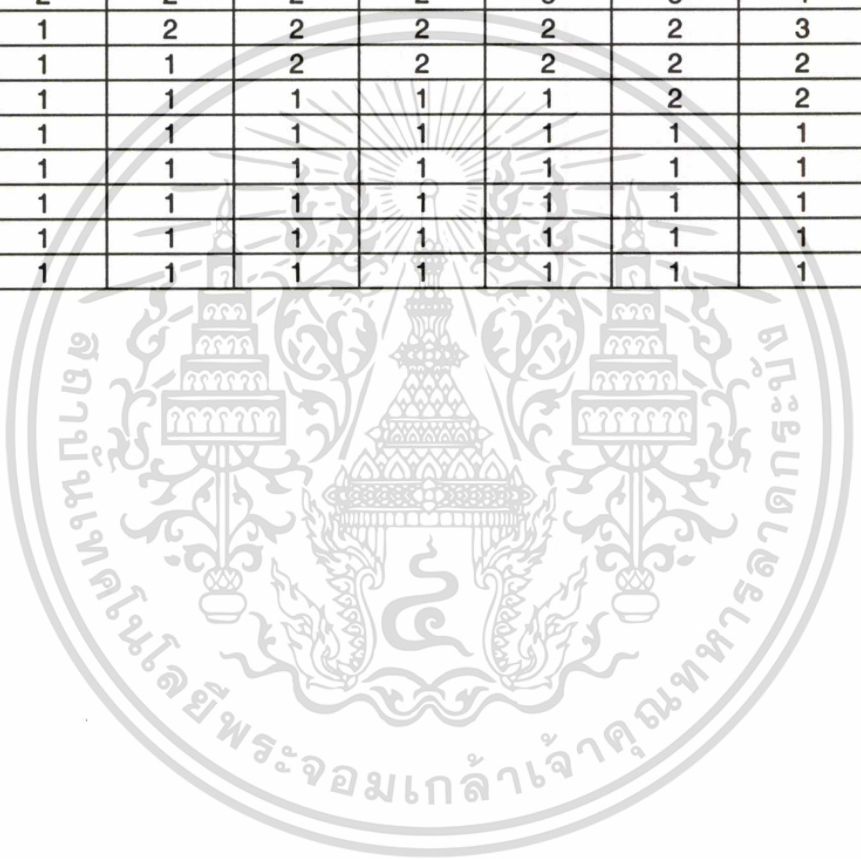
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H/V	-50	-47.5	-45	-42.5	-40	-37.5	-35	-32.5
-90	1	1	1	1	1	1	1	1
-87.5	1	1	1	1	1	1	1	1
-85	1	1	1	1	1	1	1	1
-82.5	1	1	1	1	1	1	1	1
-80	1	1	1	1	1	1	1	1
-77.5	1	1	1	1	1	2	2	2
-75	1	1	2	2	2	2	2	2
-72.5	1	2	2	2	2	2	3	3
-70	2	2	2	2	3	3	4	4
-67.5	2	2	3	3	4	6	9	13
-65	2	3	4	7	12	17	21	23
-62.5	3	6	10	15	18	22	26	29
-60	6	10	13	16	20	23	27	31
-57.5	7	10	13	16	19	23	27	32
-55	5	8	11	14	18	23	29	36
-52.5	3	5	8	13	19	27	35	44
-50	4	5	7	15	25	37	49	57
-47.5	4	7	13	23	39	55	60	65
-45	5	10	18	32	48	58	67	69
-42.5	7	12	23	35	45	54	63	71
-40	7	13	22	30	40	49	61	70
-37.5	4	8	15	24	34	52	66	74
-35	4	6	9	18	41	60	73	79
-32.5	4	6	11	26	52	70	79	84
-30	5	7	13	34	54	73	85	86
-27.5	5	7	18	34	53	72	84	88
-25	4	7	16	30	52	74	88	91
-22.5	4	5	10	25	54	81	92	95
-20	4	.	10	29	61	89	97	99
-17.5	5	6	11	32	65	89	100	102
-15	5	7	13	33	64	92	101	103
-12.5	5	7	13	31	64	92	103	105
-10	6	6	10	28	64	94	105	107
-7.5	6	7	11	29	68	96	107	108
-5	6	7	11	28	71	98	107	108
-2.5	6	7	11	25	71	99	108	108
0	6	7	11	22	68	99	109	108
2.5	6	7	11	25	71	99	108	108
5	6	7	11	28	71	98	107	108
7.5	6	7	11	29	68	96	107	108
10	6	6	10	28	64	94	105	107
12.5	5	7	13	31	64	92	103	105
15	5	7	13	33	64	92	101	103
17.5	5	6	11	32	65	89	100	102
20	4	6	10	29	61	89	97	99
22.5	4	5	10	25	54	81	92	95
25	4	7	16	30	52	74	88	91
27.5	5	7	18	34	53	72	84	88
30	5	7	13	34	54	73	85	86
32.5	4	6	11	26	52	70	79	84
35	4	6	9	18	41	60	73	79
37.5	4	8	15	24	34	52	66	74

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H/V	-50	-47.5	-45	-42.5	-40	-37.5	-35	-32.5
40	7	13	22	30	40	49	61	70
42.5	7	12	23	35	45	54	63	71
45	5	10	18	32	48	58	67	69
47.5	4	7	13	23	39	55	60	65
50	4	5	7	15	25	37	49	57
52.5	3	5	8	13	19	27	35	44
55	5	8	11	14	18	23	29	36
57.5	7	10	13	16	19	23	27	32
60	6	10	13	16	20	23	27	31
62.5	3	6	10	15	18	22	26	29
65	2	3	4	7	12	17	21	23
67.5	2	2	3	3	4	6	9	13
70	2	2	2	2	3	3	4	4
72.5	1	2	2	2	2	2	3	3
75	1	1	2	2	2	2	2	2
77.5	1	1	1	1	1	2	2	2
80	1	1	1	1	1	1	1	1
82.5	1	1	1	1	1	1	1	1
85	1	1	1	1	1	1	1	1
87.5	1	1	1	1	1	1	1	1
90	1	1	1	1	1	1	1	1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H/V	-30	-27.5	-25	-22.5	-20	-17.5	-15	-12.5
-90	1	1	1	1	1	1	1	1
-87.5	1	1	1	1	1	1	1	1
-85	1	1	1	1	1	1	1	1
-82.5	1	1	1	1	1	1	1	1
-80	1	1	2	2	2	2	2	2
-77.5	2	2	2	2	2	2	2	2
-75	2	2	3	3	3	3	3	4
-72.5	3	4	4	4	5	5	6	6
-70	5	6	9	11	13	14	16	17
-67.5	16	19	21	22	23	24	25	26
-65	25	27	29	30	31	32	33	34
-62.5	32	33	35	36	38	39	40	41
-60	35	39	41	43	44	46	47	49
-57.5	37	42	46	48	50	52	54	56
-55	41	47	52	55	57	60	62	64
-52.5	52	57	60	62	64	66	68	70
-50	61	64	66	68	70	72	75	79
-47.5	67	69	71	73	74	76	80	85
-45	71	73	74	76	77	78	80	87
-42.5	73	75	76	78	79	80	80	87
-40	75	77	78	80	81	82	83	86
-37.5	78	79	80	82	83	85	87	89
-35	82	82	82	83	85	88	90	94
-32.5	84	85	85	86	87	90	94	98
-30	87	87	88	88	89	92	97	101
-27.5	89	89	90	91	92	94	100	104
-25	92	91	92	94	97	100	104	109
-22.5	95	95	95	98	101	106	110	115
-20	98	98	99	102	106	111	115	121
-17.5	101	101	103	106	109	113	119	125
-15	103	104	105	108	112	116	120	126
-12.5	105	105	107	110	113	116	120	124
-10	106	106	108	110	113	115	119	123
-7.5	107	107	107	110	112	114	118	121
-5	107	107	107	110	110	113	116	120
-2.5	107	106	106	109	110	112	115	119
0	106	106	106	108	110	112	114	118
2.5	107	106	106	109	110	112	115	119
5	107	107	107	110	110	113	116	120
7.5	107	107	107	110	112	114	118	121
10	106	106	108	110	113	115	119	123
12.5	105	105	107	110	113	116	120	124
15	103	104	105	108	112	116	120	126
17.5	101	101	103	106	109	113	119	125
20	98	98	99	102	106	111	115	121
22.5	95	95	95	98	101	106	110	115
25	92	91	92	94	97	100	104	109
27.5	89	89	90	91	92	94	100	104
30	87	87	88	88	89	92	97	101
32.5	84	85	85	86	87	90	94	98
35	82	82	82	83	85	88	90	94
37.5	78	79	80	82	83	85	87	89

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H/V	-30	-27.5	-25	-22.5	-20	-17.5	-15	-12.5
40	75	77	78	80	81	82	83	86
42.5	73	75	76	78	79	80	80	87
45	71	73	74	76	77	78	80	87
47.5	67	69	71	73	74	76	80	85
50	61	64	66	68	70	72	75	79
52.5	52	57	60	62	64	66	68	70
55	41	47	52	55	57	60	62	64
57.5	37	42	46	48	50	52	54	56
60	35	39	41	43	44	46	47	49
62.5	32	33	35	36	38	39	40	41
65	25	27	29	30	31	32	33	34
67.5	16	19	21	22	23	24	25	26
70	5	6	9	11	13	14	16	17
72.5	3	4	4	4	5	5	6	6
75	2	2	3	3	3	3	3	4
77.5	2	2	2	2	2	2	2	2
80	1	1	2	2	2	2	2	2
82.5	1	1	1	1	1	1	1	1
85	1	1	1	1	1	1	1	1
87.5	1	1	1	1	1	1	1	1
90	1	1	1	1	1	1	1	1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H/V	-10	-7.5	-5	-2.5	0	2.5	5	7.5
-90	1	1	1	1	1	1	1	1
-87.5	1	1	1	1	1	1	1	1
-85	1	1	1	1	1	1	1	1
-82.5	1	1	1	1	1	1	1	1
-80	2	2	2	2	2	2	2	2
-77.5	2	3	3	3	3	3	3	3
-75	4	4	4	4	4	5	5	5
-72.5	6	7	7	7	7	8	9	9
-70	18	18	19	19	19	21	22	23
-67.5	26	26	27	27	27	29	31	33
-65	35	35	36	36	36	39	41	43
-62.5	42	43	44	44	45	49	52	56
-60	50	51	52	52	53	59	65	71
-57.5	58	59	60	61	62	72	81	90
-55	66	67	69	70	71	84	96	108
-52.5	72	74	75	77	78	91	104	117
-50	84	89	94	99	103	112	121	130
-47.5	91	98	104	111	117	123	129	135
-45	94	102	110	117	125	128	131	135
-42.5	95	103	112	120	129	130	131	133
-40	95	104	113	121	130	130	130	131
-37.5	96	105	114	122	130	130	129	129
-35	99	107	115	122	129	128	127	126
-32.5	102	109	116	122	128	125	123	121
-30	105	110	116	122	128	125	122	119
-27.5	108	112	118	123	128	129	130	127
-25	113	117	122	125	128	140	149	152
-22.5	121	128	133	134	133	153	169	174
-20	129	139	147	145	141	154	169	182
-17.5	132	143	156	151	144	149	160	193
-15	131	141	155	154	145	147	173	228
-12.5	129	137	152	158	145	147	180	253
-10	127	137	151	161	147	147	171	219
-7.5	126	133	152	159	148	151	179	261
-5	126	134	149	160	149	154	177	249
-2.5	124	132	149	162	151	159	196	278
0	123	130	145	164	152	162	188	300
2.5	124	132	149	162	151	159	196	278
5	126	134	149	160	149	154	177	249
7.5	126	133	152	159	148	151	179	261
10	127	137	151	161	147	147	171	219
12.5	129	137	152	158	145	147	180	253
15	131	141	155	154	145	147	173	228
17.5	132	143	156	151	144	149	160	193
20	129	139	147	145	141	154	169	182
22.5	121	128	133	134	133	153	169	174
25	113	117	122	125	128	140	149	152
27.5	108	112	118	123	128	129	130	127
30	105	110	116	122	128	125	122	119
32.5	102	109	116	122	128	125	123	121
35	99	107	115	122	129	128	127	126
37.5	96	105	114	122	130	130	129	129

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H/V	-10	-7.5	-5	-2.5	0	2.5	5	7.5
40	95	104	113	121	130	130	130	131
42.5	95	103	112	120	129	130	131	133
45	94	102	110	117	125	128	131	135
47.5	91	98	104	111	117	123	129	135
50	84	89	94	99	103	112	121	130
52.5	72	74	75	77	78	91	104	117
55	66	67	69	70	71	84	96	108
57.5	58	59	60	61	62	72	81	90
60	50	51	52	52	53	59	65	71
62.5	42	43	44	44	45	49	52	56
65	35	35	36	36	36	39	41	43
67.5	26	26	27	27	27	29	31	33
70	18	18	19	19	19	21	22	23
72.5	6	7	7	7	7	8	9	9
75	4	4	4	4	4	5	5	5
77.5	2	3	3	3	3	3	3	3
80	2	2	2	2	2	2	2	2
82.5	1	1	1	1	1	1	1	1
85	1	1	1	1	1	1	1	1
87.5	1	1	1	1	1	1	1	1
90	1	1	1	1	1	1	1	1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H/V	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5
-90	1	1	1	1	1	1	1	1
-87.5	1	1	1	1	1	1	1	1
-85	1	1	1	1	1	1	1	1
-82.5	1	1	1	1	2	2	2	2
-80	2	2	2	2	2	2	2	2
-77.5	3	3	3	3	3	3	3	3
-75	5	5	5	5	5	5	5	4
-72.5	10	10	10	10	10	10	9	9
-70	24	25	25	24	24	22	20	18
-67.5	34	36	37	38	39	40	40	39
-65	44	46	47	49	50	51	51	51
-62.5	58	61	62	63	63	62	61	62
-60	76	80	82	84	85	84	83	80
-57.5	98	104	109	112	113	112	112	123
-55	119	128	137	144	149	151	167	180
-52.5	129	142	155	168	179	197	218	241
-50	139	150	161	175	194	219	246	273
-47.5	142	151	161	176	202	228	255	284
-45	140	146	153	176	204	233	263	292
-42.5	136	139	149	173	200	231	263	297
-40	132	134	148	168	193	222	256	294
-37.5	130	133	147	164	184	209	242	291
-35	126	134	147	161	178	200	233	289
-32.5	121	131	143	157	173	197	233	281
-30	121	128	138	151	169	200	234	275
-27.5	129	132	140	146	167	201	235	275
-25	148	146	149	151	161	187	233	275
-22.5	169	163	157	154	157	174	216	290
-20	185	177	163	156	155	174	234	306
-17.5	201	184	166	155	158	181	240	336
-15	230	189	166	159	162	177	235	339
-12.5	225	183	169	163	165	178	225	338
-10	220	188	173	164	166	181	236	347
-7.5	226	191	175	167	168	183	240	358
-5	227	191	175	167	169	183	231	359
-2.5	215	190	174	165	167	182	220	377
0	214	189	173	163	166	183	219	406
2.5	215	190	174	165	167	182	220	377
5	227	191	175	167	169	183	231	359
7.5	226	191	175	167	168	183	240	358
10	220	188	173	164	166	181	236	347
12.5	225	183	169	163	165	178	225	338
15	230	189	166	159	162	177	235	339
17.5	201	184	166	155	158	181	240	336
20	185	177	163	156	155	174	234	306
22.5	169	163	157	154	157	174	216	290
25	148	146	149	151	161	187	233	275
27.5	129	132	140	146	167	201	235	275
30	121	128	138	151	169	200	234	275
32.5	121	131	143	157	173	197	233	281
35	126	134	147	161	178	200	233	289
37.5	130	133	147	164	184	209	242	291

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H/V	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5
40	132	134	148	168	193	222	256	294
42.5	136	139	149	173	200	231	263	297
45	140	146	153	176	204	233	263	292
47.5	142	151	161	176	202	228	255	284
50	139	150	161	175	194	219	246	273
52.5	129	142	155	168	179	197	218	241
55	119	128	137	144	149	151	167	180
57.5	98	104	109	112	113	112	112	123
60	76	80	82	84	85	84	83	80
62.5	58	61	62	63	63	62	61	62
65	44	46	47	49	50	51	51	51
67.5	34	36	37	38	39	40	40	39
70	24	25	25	24	24	22	20	18
72.5	10	10	10	10	10	10	9	9
75	5	5	5	5	5	5	5	4
77.5	3	3	3	3	3	3	3	3
80	2	2	2	2	2	2	2	2
82.5	1	1	1	1	2	2	2	2
85	1	1	1	1	1	1	1	1
87.5	1	1	1	1	1	1	1	1
90	1	1	1	1	1	1	1	1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H/V	30	32.5	35	37.5	40	42.5	45	47.5
-90	1	1	1	1	1	1	1	1
-87.5	1	1	1	1	1	1	1	1
-85	1	1	1	1	1	1	1	1
-82.5	1	1	1	1	1	1	1	1
-80	2	2	2	2	2	2	2	2
-77.5	3	3	3	3	2	2	2	2
-75	4	4	4	3	3	3	3	3
-72.5	8	7	7	6	5	5	4	4
-70	16	15	14	12	10	8	7	6
-67.5	36	33	28	23	19	18	16	13
-65	51	51	50	48	43	38	31	28
-62.5	62	65	69	70	69	67	59	50
-60	86	89	94	96	95	92	87	80
-57.5	130	134	135	133	131	126	118	109
-55	189	193	192	187	181	171	160	146
-52.5	255	262	266	259	245	231	214	195
-50	298	326	338	338	329	306	268	230
-47.5	316	349	381	414	400	365	311	258
-45	321	355	394	418	430	403	364	300
-42.5	330	363	397	423	434	434	400	352
-40	342	400	436	452	460	453	436	390
-37.5	362	436	492	516	510	494	466	429
-35	360	447	538	589	592	560	514	463
-32.5	345	433	542	643	683	631	565	498
-30	333	411	520	640	697	692	622	544
-27.5	322	405	519	625	712	723	678	597
-25	338	430	547	646	719	753	732	652
-22.5	354	450	574	698	756	784	765	693
-20	368	451	593	742	805	796	767	707
-17.5	391	465	595	729	798	788	765	714
-15	425	480	600	734	791	781	756	708
-12.5	436	499	622	746	791	777	747	701
-10	443	520	644	775	813	775	741	696
-7.5	466	525	640	776	816	771	737	694
-5	452	506	618	768	813	766	732	690
-2.5	441	491	605	766	808	759	726	684
0	433	483	602	768	801	751	718	675
2.5	441	491	605	766	808	759	726	684
5	452	506	618	768	813	766	732	690
7.5	466	525	640	776	816	771	737	694
10	443	520	644	775	813	775	741	696
12.5	436	499	622	746	791	777	747	701
15	425	480	600	734	791	781	756	708
17.5	391	465	595	729	798	788	765	714
20	368	451	593	742	805	796	767	707
22.5	354	450	574	698	756	784	765	693
25	338	430	547	646	719	753	732	652
27.5	322	405	519	625	712	723	678	597
30	333	411	520	640	697	692	622	544
32.5	345	433	542	643	683	631	565	498
35	360	447	538	589	592	560	514	463
37.5	362	436	492	516	510	494	466	429

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H/V	30	32.5	35	37.5	40	42.5	45	47.5
40	342	400	436	452	460	453	436	390
42.5	330	363	397	423	434	434	400	352
45	321	355	394	418	430	403	364	300
47.5	316	349	381	414	400	365	311	258
50	298	326	338	338	329	306	268	230
52.5	255	262	266	259	245	231	214	195
55	189	193	192	187	181	171	160	146
57.5	130	134	135	133	131	126	118	109
60	86	89	94	96	95	92	87	80
62.5	62	65	69	70	69	67	59	50
65	51	51	50	48	43	38	31	28
67.5	36	33	28	23	19	18	16	13
70	16	15	14	12	10	8	7	6
72.5	8	7	7	6	5	5	4	4
75	4	4	4	3	3	3	3	3
77.5	3	3	3	3	2	2	2	2
80	2	2	2	2	2	2	2	2
82.5	1	1	1	1	1	1	1	1
85	1	1	1	1	1	1	1	1
87.5	1	1	1	1	1	1	1	1
90	1	1	1	1	1	1	1	1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H/V	50	52.5	55	57.5	60	62.5	65	67.5
-90	1	1	1	1	1	1	1	1
-87.5	1	1	1	1	1	1	1	1
-85	1	1	1	1	1	1	1	1
-82.5	1	1	1	1	1	1	1	1
-80	2	2	2	1	1	1	1	1
-77.5	2	2	2	2	2	2	2	1
-75	3	3	3	2	2	2	2	2
-72.5	4	3	3	3	3	2	2	2
-70	5	4	4	4	3	3	3	2
-67.5	11	9	6	5	4	3	3	3
-65	23	18	14	9	5	5	4	3
-62.5	42	35	27	20	13	6	5	4
-60	69	56	46	35	25	15	7	5
-57.5	99	85	70	55	41	28	14	6
-55	132	116	99	79	61	43	26	10
-52.5	169	142	121	100	81	61	40	21
-50	194	162	137	118	99	80	57	34
-47.5	218	182	149	129	113	96	74	48
-45	241	200	165	135	122	109	93	64
-42.5	278	219	177	146	126	118	105	80
-40	327	242	192	155	129	123	111	91
-37.5	369	297	230	185	150	129	118	98
-35	412	359	290	229	176	138	125	103
-32.5	446	398	345	283	204	156	132	110
-30	477	426	387	341	251	180	141	117
-27.5	507	447	415	382	305	208	150	124
-25	551	474	432	402	335	215	149	124
-22.5	588	493	442	412	342	220	154	123
-20	608	505	453	424	337	226	154	121
-17.5	617	520	465	431	341	226	151	118
-15	621	529	472	439	351	220	145	114
-12.5	622	530	475	446	364	215	142	113
-10	624	531	475	448	375	218	143	114
-7.5	624	530	473	451	381	218	144	115
-5	620	525	470	454	383	216	143	116
-2.5	612	517	467	456	379	211	142	116
0	600	507	462	456	372	204	141	116
2.5	612	517	467	456	379	211	142	116
5	620	525	470	454	383	216	143	116
7.5	624	530	473	451	381	218	144	115
10	624	531	475	448	375	218	143	114
12.5	622	530	475	446	364	215	142	113
15	621	529	472	439	351	220	145	114
17.5	617	520	465	431	341	226	151	118
20	608	505	453	424	337	226	154	121
22.5	588	493	442	412	342	220	154	123
25	551	474	432	402	335	215	149	124
27.5	507	447	415	382	305	208	150	124
30	477	426	387	341	251	180	141	117
32.5	446	398	345	283	204	156	132	110
35	412	359	290	229	176	138	125	103
37.5	369	297	230	185	150	129	118	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H/V	50	52.5	55	57.5	60	62.5	65	67.5
40	327	242	192	155	129	123	111	91
42.5	278	219	177	146	126	118	105	80
45	241	200	165	135	122	109	93	64
47.5	218	182	149	129	113	96	74	48
50	194	162	137	118	99	80	57	34
52.5	169	142	121	100	81	61	40	21
55	132	116	99	79	61	43	26	10
57.5	99	85	70	55	41	28	14	6
60	69	56	46	35	25	15	7	5
62.5	42	35	27	20	13	6	5	4
65	23	18	14	9	5	5	4	3
67.5	11	9	6	5	4	3	3	3
70	5	4	4	4	3	3	3	2
72.5	4	3	3	3	3	2	2	2
75	3	3	3	2	2	2	2	2
77.5	2	2	2	2	2	2	2	1
80	2	2	2	1	1	1	1	1
82.5	1	1	1	1	1	1	1	1
85	1	1	1	1	1	1	1	1
87.5	1	1	1	1	1	1	1	1
90	1	1	1	1	1	1	1	1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H/V	70	72.5	75	77.5	80	82.5	85	87.5	90
-90	1	1	1	1	1	1	1	1	1
-87.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
-85	1	1	1	1	1	1	1	1	1
-82.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
-80	1	1	1	1	1	1	1	1	1
-77.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
-75	2	1	1	1	1	1	1	1	1
-72.5	2	2	2	1	1	1	1	1	1
-70	2	2	2	2	1	1	1	1	1
-67.5	2	2	2	2	1	1	1	1	1
-65	3	2	2	2	2	1	1	1	1
-62.5	3	3	2	2	2	1	1	1	1
-60	3	3	2	2	2	1	1	1	1
-57.5	4	3	3	2	2	2	1	1	1
-55	5	3	3	2	2	2	1	1	1
-52.5	6	4	3	2	2	2	1	1	1
-50	10	5	3	2	2	2	1	1	1
-47.5	21	6	3	2	2	2	1	1	1
-45	34	7	4	2	2	2	1	1	1
-42.5	47	16	6	3	2	2	1	1	1
-40	60	31	13	4	2	2	1	1	1
-37.5	70	43	21	5	2	2	1	1	1
-35	78	53	31	8	3	1	1	1	1
-32.5	84	61	43	14	3	1	1	1	1
-30	88	67	52	21	4	1	1	1	1
-27.5	91	72	57	27	5	1	1	1	1
-25	96	75	60	33	6	1	1	1	1
-22.5	98	78	63	38	7	1	1	1	1
-20	99	80	66	43	8	1	1	1	1
-17.5	99	82	68	47	9	1	1	1	1
-15	98	83	70	52	10	1	1	1	1
-12.5	97	85	71	54	9	1	1	1	1
-10	98	86	72	57	8	1	1	1	1
-7.5	99	86	72	59	7	1	1	1	1
-5	100	87	73	60	6	1	1	1	1
-2.5	100	88	73	61	4	1	1	1	1
0	100	88	73	62	3	1	1	1	1
2.5	100	88	73	61	4	1	1	1	1
5	100	87	73	60	6	1	1	1	1
7.5	99	86	72	59	7	1	1	1	1
10	98	86	72	57	8	1	1	1	1
12.5	97	85	71	54	9	1	1	1	1
15	98	83	70	52	10	1	1	1	1
17.5	99	82	68	47	9	1	1	1	1
20	99	80	66	43	8	1	1	1	1
22.5	98	78	63	38	7	1	1	1	1
25	96	75	60	33	6	1	1	1	1
27.5	91	72	57	27	5	1	1	1	1
30	88	67	52	21	4	1	1	1	1
32.5	84	61	43	14	3	1	1	1	1
35	78	53	31	8	3	1	1	1	1
37.5	70	43	21	5	2	2	1	1	1

เอกสารนี้ออกเพื่อสวนดุสิตโพลเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H/V	70	72.5	75	77.5	80	82.5	85	87.5	90
40	60	31	13	4	2	2	1	1	1
42.5	47	16	6	3	2	2	1	1	1
45	34	7	4	2	2	2	1	1	1
47.5	21	6	3	2	2	2	1	1	1
50	10	5	3	2	2	2	1	1	1
52.5	6	4	3	2	2	2	1	1	1
55	5	3	3	2	2	2	1	1	1
57.5	4	3	3	2	2	2	1	1	1
60	3	3	2	2	2	1	1	1	1
62.5	3	3	2	2	2	1	1	1	1
65	3	2	2	2	2	1	1	1	1
67.5	2	2	2	2	1	1	1	1	1
70	2	2	2	2	1	1	1	1	1
72.5	2	2	2	1	1	1	1	1	1
75	2	1	1	1	1	1	1	1	1
77.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
80	1	1	1	1	1	1	1	1	1
82.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
85	1	1	1	1	1	1	1	1	1
87.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
90	1	1	1	1	1	1	1	1	1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลการกระจายแสง

MVF480 : Cd/85000lm.

H/V	-90	-85	-80	-75	-70	-65	-60	-55
-90	0	0	0	0	0	0	0	0
-85	28	36	43	49	56	62	67	72
-80	57	71	85	99	111	123	134	132
-75	85	107	128	148	165	162	159	155
-70	43	72	103	133	148	161	169	199
-65	0	37	74	112	145	183	260	319
-60	43	63	85	126	167	263	375	730
-55	85	85	97	145	200	274	613	1095
-50	85	112	148	197	244	404	901	1812
-45	85	144	201	256	308	722	1433	2724
-40	85	150	235	343	485	1120	2194	3629
-35	85	155	276	474	892	1726	3198	4835
-30	43	153	351	653	1263	2427	4107	5773
-25	0	154	441	851	1559	2946	4600	6370
-20	0	81	318	657	1460	3274	4920	7168
-15	0	82	171	492	1642	3743	5473	7396
-10	0	0	82	188	1347	4024	5933	7198
-5	0	0	0	203	560	4319	5974	7024
0	0	0	85	170	680	6800	5865	6715
5	0	0	0	203	560	4319	5974	7024
10	0	0	82	188	1347	4024	5933	7198
15	0	82	171	492	1642	3743	5473	7396
20	0	81	318	657	1460	3274	4920	7168
25	0	154	441	851	1559	2946	4600	6370
30	43	153	351	653	1263	2427	4107	5773
35	85	155	276	474	892	1726	3198	4835
40	85	150	235	343	485	1120	2194	3629
45	85	144	201	256	308	722	1433	2724
50	85	112	148	197	244	404	901	1812
55	85	85	97	145	200	274	613	1095
60	43	63	85	126	167	263	375	730
65	0	37	74	112	145	183	260	319
70	43	72	103	133	148	161	169	199
75	85	107	128	148	165	162	159	155
80	57	71	85	99	111	123	134	132
85	28	36	43	49	56	62	67	72
90	0	0	0	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H/V	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15
-90	0	0	0	0	0	0	0	0
-85	76	80	83	86	88	89	90	89
-80	129	125	122	118	114	109	105	100
-75	151	155	165	173	178	182	184	184
-70	221	235	250	286	337	402	475	554
-65	408	483	461	384	655	922	1178	1416
-60	1034	1325	1660	1743	1672	1909	2374	2755
-55	1973	2995	3738	3939	3942	3832	4048	4447
-50	3035	4249	5337	6040	6121	6068	6087	6349
-45	4182	5612	6830	7501	7288	7187	7719	8049
-40	5415	6935	8186	8507	8572	8881	9783	10433
-35	6469	7953	9004	9533	10058	11459	13517	14350
-30	7301	8818	9888	10473	12156	14104	16428	17786
-25	8312	9694	10608	11683	14267	17073	18482	20744
-20	9101	10092	11014	11699	15362	16586	18307	20547
-15	9087	9889	10472	11851	14617	16162	18031	20216
-10	8963	9291	9651	10815	14264	16341	17952	19326
-5	8571	8431	9446	9628	14247	16311	18519	19282
0	8160	8075	9265	9350	14280	16660	18020	18190
5	8571	8431	9446	9628	14247	16311	18519	19282
10	8963	9291	9651	10815	14264	16341	17952	19326
15	9087	9889	10472	11851	14617	16162	18031	20216
20	9101	10092	11014	11699	15362	16586	18307	20547
25	8312	9694	10608	11683	14267	17073	18482	20744
30	7301	8818	9888	10473	12156	14104	16428	17786
35	6469	7953	9004	9533	10058	11459	13517	14350
40	5415	6935	8186	8507	8572	8881	9783	10433
45	4182	5612	6830	7501	7288	7187	7719	8049
50	3035	4249	5337	6040	6121	6068	6087	6349
55	1973	2995	3738	3939	3942	3832	4048	4447
60	1034	1325	1660	1743	1672	1909	2374	2755
65	408	483	461	384	655	922	1178	1416
70	221	235	250	286	337	402	475	554
75	151	155	165	173	178	182	184	184
80	129	125	122	118	114	109	105	100
85	76	80	83	86	88	89	90	89
90	0	0	0	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H/V	-10	-5	0	5	10	15	20	25
-90	0	0	0	0	0	0	0	0
-85	89	87	85	87	89	89	90	89
-80	95	90	85	90	95	100	105	109
-75	181	177	170	177	181	184	184	182
-70	633	705	765	705	633	554	475	402
-65	1631	1813	1955	1813	1631	1416	1178	922
-60	3051	3264	3400	3264	3051	2755	2374	1909
-55	4664	4728	4675	4728	4664	4447	4048	3832
-50	6491	6464	6290	6464	6491	6349	6087	6068
-45	8041	7873	7565	7873	8041	8049	7719	7187
-40	11750	14382	16915	14382	11750	10433	9783	8881
-35	16548	24904	33405	24904	16548	14350	13517	11459
-30	23136	34231	45815	34231	23136	17786	16428	14104
-25	29679	45073	60690	45073	29679	20744	18482	17073
-20	30417	50969	67830	50969	30417	20547	18307	16586
-15	31114	56405	77945	56405	31114	20216	18031	16162
-10	30431	60184	85255	60184	30431	19326	17952	16341
-5	30646	63196	89845	63196	30646	19282	18519	16311
0	28560	67065	99620	67065	28560	18190	18020	16660
5	30646	63196	89845	63196	30646	19282	18519	16311
10	30431	60185	85255	60185	30431	19326	17952	16341
15	31114	56405	77945	56405	31114	20216	18031	16162
20	30417	50969	67830	50969	30417	20547	18307	16586
25	29679	45073	60690	45073	29679	20744	18482	17073
30	23136	34231	45815	34231	23136	17786	16428	14104
35	16548	24904	33405	24904	16548	14350	13517	11459
40	11750	14382	16915	14382	11750	10433	9783	8881
45	8041	7873	7565	7873	8041	8049	7719	7187
50	6491	6464	6290	6464	6491	6349	6087	6068
55	4664	4728	4675	4728	4664	4447	4048	3832
60	3051	3264	3400	3264	3051	2755	2374	1909
65	1631	1813	1955	1813	1631	1416	1178	922
70	633	705	765	705	633	554	475	402
75	181	177	170	177	181	184	184	182
80	95	90	85	90	95	100	105	109
85	89	87	85	87	89	89	90	89
90	0	0	0	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H/V	30	35	40	45	50	55	60	65
-90	0	0	0	0	0	0	0	0
-85	88	86	83	80	76	72	67	62
-80	114	118	122	125	129	132	134	123
-75	178	173	165	155	151	155	159	162
-70	337	286	250	235	221	199	169	161
-65	655	384	461	483	408	319	260	183
-60	1672	1743	1660	1325	1034	730	375	263
-55	3942	3939	3738	2995	1973	1095	613	274
-50	6121	6040	5337	4249	3035	1812	901	404
-45	7288	7501	6830	5612	4182	2724	1433	722
-40	8572	8507	8186	6935	5415	3629	2194	1120
-35	10058	9533	9004	7953	6469	4835	3198	1726
-30	12156	10473	9888	8818	7301	5773	4107	2427
-25	14267	11683	10608	9694	8312	6370	4600	2946
-20	15362	11699	11014	10092	9101	7168	4920	3274
-15	14617	11851	10472	9889	9087	7396	5473	3743
-10	14264	10815	9651	9291	8963	7198	5933	4024
-5	14247	9628	9446	8431	8571	7024	5974	4319
0	14280	9350	9265	8075	8160	6715	5865	6800
5	14247	9628	9446	8431	8571	7024	5974	4319
10	14264	10815	9651	9291	8963	7198	5933	4024
15	14617	11851	10472	9889	9087	7396	5473	3743
20	15362	11699	11014	10092	9101	7168	4920	3274
25	14267	11683	10608	9694	8312	6370	4600	2946
30	12156	10473	9888	8818	7301	5773	4107	2427
35	10058	9533	9004	7953	6469	4835	3198	1726
40	8572	8507	8186	6935	5415	3629	2194	1120
45	7288	7501	6830	5612	4182	2724	1433	722
50	6121	6040	5337	4249	3035	1812	901	404
55	3942	3939	3738	2995	1973	1095	613	274
60	1672	1743	1660	1325	1034	730	375	263
65	655	384	461	483	408	319	260	183
70	337	286	250	235	221	199	169	161
75	178	173	165	155	151	155	159	162
80	114	118	122	125	129	132	134	123
85	88	86	83	80	76	72	67	62
90	0	0	0	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลการกระจายแสง

SNF111_1NB : Cd/85000 lm.

H/V	-90	-85	-80	-75	-70	-67.5	-65	-64
-90	0	0	0	0	0	0	0	0
-85	0	0	0	0	0	0	0	0
-80	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	0	0	0	0	1	12	22	26
-70	0	0	0	1	29	43	56	62
-65	0	0	0	22	56	73	91	99
-60	0	0	0	41	82	91	100	104
-55	0	0	10	52	78	81	84	84
-50	0	0	16	54	74	82	85	85
-45	0	0	18	50	77	85	85	85
-40	0	0	16	47	85	85	85	85
-35	0	0	10	47	85	85	87	94
-30	0	0	1	51	85	85	89	92
-25	0	0	0	61	85	84	77	80
-20	0	0	0	69	85	75	70	79
-10	0	0	0	81	85	38	76	116
0	0	0	0	85	85	0	85	170
10	0	0	0	81	85	38	76	116
20	0	0	0	69	85	75	70	79
25	0	0	0	61	85	84	77	80
30	0	0	1	51	85	85	89	92
35	0	0	10	47	85	85	87	94
40	0	0	16	47	85	85	85	85
45	0	0	18	50	77	85	85	85
50	0	0	16	54	74	82	85	85
55	0	0	10	52	78	81	84	84
60	0	0	0	41	82	91	100	104
65	0	0	0	22	56	73	91	99
70	0	0	0	1	29	43	56	62
75	0	0	0	0	1	12	22	26
80	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H/V	-63	-62	-61	-60	-59	-58	-57	-56
-90	0	0	0	0	0	0	0	0
-85	0	0	0	0	0	0	0	0
-80	0	0	0	0	2	5	7	10
-75	30	34	38	41	45	49	53	56
-70	67	72	77	82	90	101	112	123
-65	107	116	125	135	145	155	166	177
-60	110	115	122	129	136	147	159	172
-55	85	85	85	85	85	85	85	85
-50	85	85	85	85	85	85	99	115
-45	85	85	86	100	115	130	138	124
-40	90	102	113	125	114	102	91	101
-35	102	108	101	93	85	105	141	155
-30	91	89	86	92	132	147	98	99
-25	83	86	95	161	102	88	135	172
-20	91	114	145	105	105	161	199	159
-10	126	128	138	154	220	258	254	230
0	85	170	170	170	340	340	340	170
10	126	128	138	154	220	258	254	230
20	91	114	145	105	105	161	199	159
25	83	86	95	161	102	88	135	172
30	91	89	86	92	132	147	98	99
35	102	108	101	93	85	105	141	155
40	90	102	113	125	114	102	91	101
45	85	85	86	100	115	130	138	124
50	85	85	85	85	85	85	99	115
55	85	85	85	85	85	85	85	85
60	110	115	122	129	136	147	159	172
65	107	116	125	135	145	155	166	177
70	67	72	77	82	90	101	112	123
75	30	34	38	41	45	49	53	56
80	0	0	0	0	2	5	7	10
85	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H/V	-55	-54	-53	-52	-51	-50	-49	-48
-90	0	0	0	0	0	0	0	0
-85	0	0	0	0	0	0	0	0
-80	12	15	17	19	22	24	26	28
-75	60	64	67	71	74	78	81	85
-70	135	147	158	170	183	195	208	221
-65	189	201	213	228	247	267	288	310
-60	187	202	219	237	256	276	298	321
-55	90	102	121	152	185	220	256	290
-50	132	149	152	136	120	103	87	123
-45	110	96	96	135	157	169	157	151
-40	132	161	153	133	134	152	170	170
-35	115	116	145	170	171	186	200	199
-30	155	170	156	149	188	173	143	146
-25	145	101	171	170	108	141	172	178
-20	178	185	153	143	170	174	194	192
-10	196	211	170	202	268	257	214	170
0	340	170	170	340	340	340	170	170
10	196	211	170	202	268	257	214	170
20	178	185	153	143	170	174	194	192
25	145	101	171	170	108	141	172	178
30	155	170	156	149	188	173	143	146
35	115	116	145	170	171	186	200	199
40	132	161	153	133	134	152	170	170
45	110	96	96	135	157	169	157	151
50	132	149	152	136	120	103	87	123
55	90	102	121	152	185	220	256	290
60	187	202	219	237	256	276	298	321
65	189	201	213	228	247	267	288	310
70	135	147	158	170	183	195	208	221
75	60	64	67	71	74	78	81	85
80	12	15	17	19	22	24	26	28
85	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H/V	-47	-46	-45	-42.5	-40	-35	-30	-25
-90	0	0	0	0	0	0	0	0
-85	0	0	0	0	0	0	0	0
-80	31	33	35	40	45	54	62	69
-75	94	104	115	141	167	220	272	323
-70	234	248	261	296	338	448	563	681
-65	332	355	379	441	508	664	869	1081
-60	345	381	421	525	636	875	1269	1860
-55	306	327	351	432	668	1211	2059	2904
-50	166	168	170	232	452	1170	1900	2858
-45	152	161	170	227	261	262	1237	2412
-40	208	246	232	184	173	315	336	1433
-35	171	167	169	222	269	287	378	444
-30	175	194	216	192	238	299	380	536
-25	184	185	125	196	220	256	383	513
-20	126	155	170	170	170	210	332	485
-10	170	170	170	170	170	234	294	373
0	170	170	170	170	170	255	255	340
10	170	170	170	170	170	234	294	373
20	126	155	170	170	170	210	332	485
25	184	185	125	196	220	256	383	513
30	175	194	216	192	238	299	380	536
35	171	167	169	222	269	287	378	444
40	208	246	232	184	173	315	336	1433
45	152	161	170	227	261	262	1237	2412
50	166	168	170	232	452	1170	1900	2858
55	306	327	351	432	668	1211	2059	2904
60	345	381	421	525	636	875	1269	1860
65	332	355	379	441	508	664	869	1081
70	234	248	261	296	338	448	563	681
75	94	104	115	141	167	220	272	323
80	31	33	35	40	45	54	62	69
85	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H/V	-20	-10	0	10	20	25	30	35
-90	0	0	0	0	0	0	0	0
-85	0	0	0	0	0	0	0	0
-80	75	82	85	97	100	98	93	85
-75	371	454	510	880	1093	1109	1052	915
-70	799	1019	1190	2017	2603	2764	2929	3156
-65	1340	1863	2295	3208	3862	4885	6667	8390
-60	2585	4296	5610	6462	7782	9606	10776	11874
-55	3804	5810	7650	7979	10465	13179	16397	18909
-50	3933	6469	9180	8623	10403	12678	16547	21198
-45	3863	6632	9520	8780	9017	10931	14589	19702
-40	2769	5798	9095	8548	8555	9803	12418	17863
-35	1711	4594	7650	8558	8542	9572	12052	16403
-30	662	3854	7735	8471	8617	9794	12084	17121
-25	695	3225	8245	8747	8821	9965	13685	21637
-20	679	2613	10625	9260	9039	10631	14103	21000
-10	552	3114	11815	9458	9325	10586	13198	19334
0	510	1530	10965	9775	9350	10370	12495	18870
10	552	3114	11815	9458	9325	10586	13198	19334
20	679	2613	10625	9260	9039	10631	14103	21000
25	695	3225	8245	8747	8821	9965	13685	21637
30	662	3854	7735	8471	8617	9794	12084	17121
35	1711	4594	7650	8558	8542	9572	12052	16403
40	2769	5798	9095	8548	8555	9803	12418	17863
45	3863	6632	9520	8780	9017	10931	14589	19702
50	3933	6469	9180	8623	10403	12678	16547	21198
55	3804	5810	7650	7979	10465	13179	16397	18909
60	2585	4296	5610	6462	7782	9606	10776	11874
65	1340	1863	2295	3208	3862	4885	6667	8390
70	799	1019	1190	2017	2603	2764	2929	3156
75	371	454	510	880	1093	1109	1052	915
80	75	82	85	97	100	98	93	85
85	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H/V	40	42.5	45	46	47	48	49	50
-90	0	0	0	0	0	0	0	0
-85	0	0	0	0	0	0	0	0
-80	74	67	60	56	53	50	46	42
-75	696	557	396	324	249	180	174	168
-70	2837	2612	2394	2294	2186	2070	1947	1816
-65	8550	8119	7441	7100	6722	6305	5850	5358
-60	13296	13990	14495	14643	14658	14120	13565	12995
-55	19667	19497	19496	19392	19229	19008	18945	18877
-50	25217	26616	27735	27783	27754	27467	27095	26483
-45	26956	30848	34297	35173	35903	36236	36363	36333
-40	25199	29731	35135	37223	39252	41099	42461	43164
-35	24073	28346	33617	36470	39458	42899	46124	49015
-30	29579	36130	41161	43256	45810	48939	52672	56833
-25	34654	41320	44539	45241	46137	47652	49820	52594
-20	31133	36680	40348	40979	41568	42675	44517	46910
-10	29741	35852	40502	40943	41522	42580	44476	47041
0	30005	36890	41225	41395	41735	42840	44710	47345
10	29741	35852	40502	40943	41522	42580	44476	47041
20	31133	36680	40348	40979	41568	42675	44517	46910
25	34654	41320	44539	45241	46137	47652	49820	52594
30	29579	36130	41161	43256	45810	48939	52672	56833
35	24073	28346	33617	36470	39458	42899	46124	49015
40	25199	29731	35135	37223	39252	41099	42461	43164
45	26956	30848	34297	35173	35903	36236	36363	36333
50	25217	26616	27735	27783	27754	27467	27095	26483
55	19667	19497	19496	19392	19229	19008	18945	18877
60	13296	13990	14495	14643	14658	14120	13565	12995
65	8550	8119	7441	7100	6722	6305	5850	5358
70	2837	2612	2394	2294	2186	2070	1947	1816
75	696	557	396	324	249	180	174	168
80	74	67	60	56	53	50	46	42
85	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H/V	51	52	53	54	55	56	57	58
-90	0	0	0	0	0	0	0	0
-85	0	0	0	0	0	0	0	0
-80	39	35	31	26	22	18	13	9
-75	162	155	149	142	135	127	120	112
-70	1678	1533	1381	1222	1056	884	705	520
-65	4830	4319	4086	3913	3717	3497	3255	2991
-60	12410	11810	11196	10567	9924	9268	8598	7914
-55	18766	18614	18422	17881	17116	16244	15227	14168
-50	25786	25007	24147	23249	22275	21188	19990	18665
-45	35919	35320	34419	33147	31659	30079	28412	26309
-40	43399	43026	42168	40975	39448	37847	36105	34298
-35	51407	52970	53515	53075	51788	49166	46758	44428
-30	61101	64871	68143	70738	72254	71753	68976	64914
-25	55904	59654	63808	67560	70651	72439	72760	71541
-20	49776	53090	56961	61004	64730	67760	69488	69414
-10	50045	53608	57821	62513	67092	70770	72896	72973
0	50660	54060	58480	63495	68255	72250	74715	74800
10	50045	53608	57821	62513	67092	70770	72896	72973
20	49776	53090	56961	61004	64730	67760	69488	69414
25	55904	59654	63808	67560	70651	72439	72760	71541
30	61101	64871	68143	70738	72254	71753	68976	64914
35	51407	52970	53515	53075	51788	49166	46758	44428
40	43399	43026	42168	40975	39448	37847	36105	34298
45	35919	35320	34419	33147	31659	30079	28412	26309
50	25786	25007	24147	23249	22275	21188	19990	18665
55	18766	18614	18422	17881	17116	16244	15227	14168
60	12410	11810	11196	10567	9924	9268	8598	7914
65	4830	4319	4086	3913	3717	3497	3255	2991
70	1678	1533	1381	1222	1056	884	705	520
75	162	155	149	142	135	127	120	112
80	39	35	31	26	22	18	13	9
85	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H/V	59	60	61	62	63	64	65	67.5
-90	0	0	0	0	0	0	0	0
-85	0	0	0	0	0	0	0	0
-80	4	0	0	0	0	0	0	0
-75	104	95	87	78	70	61	51	28
-70	329	227	214	200	187	173	159	122
-65	2706	2401	2075	1730	1366	985	586	244
-60	7253	6734	6185	5608	5002	4370	3712	1962
-55	13067	11926	10747	9532	8283	7282	6364	4185
-50	17149	15581	13962	12296	10584	8829	7033	3925
-45	24044	21707	19300	17153	14997	12812	10599	4949
-40	32406	30429	27414	24331	21210	18397	15881	9518
-35	41678	38899	35850	32548	28853	25046	21167	13956
-30	60141	54800	49072	43400	37549	31812	26936	16274
-25	68708	64569	58876	52448	45250	37933	30676	17575
-20	67501	63941	58965	52674	45481	38458	31632	18563
-10	70997	67454	62543	55998	48377	40578	33387	18922
0	72675	68765	63920	57460	49640	41480	33660	18785
10	70997	67454	62543	55998	48377	40578	33387	18922
20	67501	63941	58965	52674	45481	38458	31632	18563
25	68708	64569	58876	52448	45250	37933	30676	17575
30	60141	54800	49072	43400	37549	31812	26936	16274
35	41678	38899	35850	32548	28853	25046	21167	13956
40	32406	30429	27414	24331	21210	18397	15881	9518
45	24044	21707	19300	17153	14997	12812	10599	4949
50	17149	15581	13962	12296	10584	8829	7033	3925
55	13067	11926	10747	9532	8283	7282	6364	4185
60	7253	6734	6185	5608	5002	4370	3712	1962
65	2706	2401	2075	1730	1366	985	586	244
70	329	227	214	200	187	173	159	122
75	104	95	87	78	70	61	51	28
80	4	0	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H/V	70	75	80	85	90
-90	0	0	0	0	0
-85	0	0	0	0	0
-80	0	0	0	0	0
-75	3	0	0	0	0
-70	84	4	0	0	0
-65	189	75	0	0	0
-60	317	162	0	0	0
-55	2154	251	82	24	0
-50	2469	318	154	54	0
-45	2081	559	190	60	0
-40	3063	951	220	65	0
-35	7179	1516	219	1	0
-30	9768	1988	248	0	0
-25	10760	2169	345	0	0
-20	10858	2064	373	0	0
-10	10417	1975	330	0	0
0	9945	1955	255	0	0
10	10417	1975	330	0	0
20	10858	2064	373	0	0
25	10760	2169	345	0	0
30	9768	1988	248	0	0
35	7179	1516	219	1	0
40	3063	951	220	65	0
45	2081	559	190	60	0
50	2469	318	154	54	0
55	2154	251	82	24	0
60	317	162	0	0	0
65	189	75	0	0	0
70	84	4	0	0	0
75	3	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

วิธีการใช้งานโปรแกรม

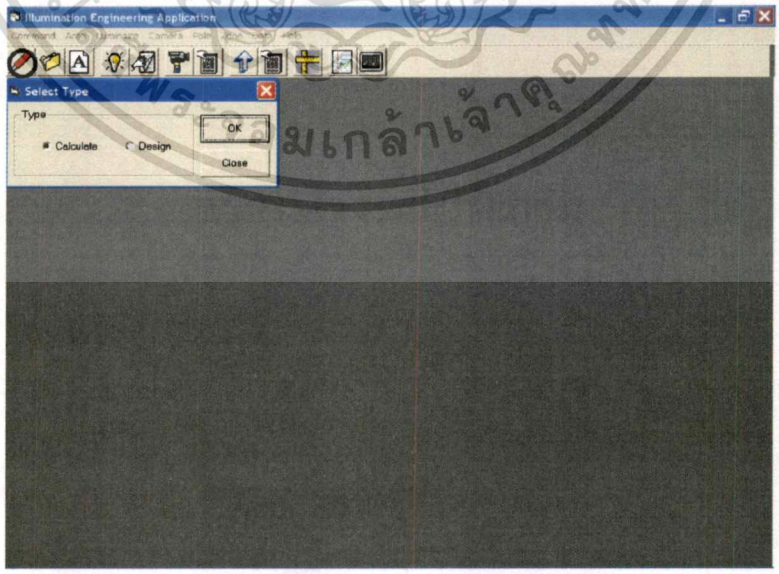
ความต้องการขั้นพื้นฐานของโปรแกรม

- Pentium III processor ขึ้นไป
- Ram 256 MB ขึ้นไป
- ระบบปฏิบัติการ Window 98 SE ขึ้นไป
- Vb runtime 6.0
- Microsoft Access 97 ขึ้นไป

การติดตั้งโปรแกรม

ที่โฟลเดอร์ Illumination Engineering คลิกปุ่ม Illuminance Engineering Application เพื่อเริ่มการใช้งานโปรแกรม

เริ่มต้นการใช้งานโปรแกรม โดยกดปุ่มป้อนข้อมูลพื้นที่ จะแสดงหน้าต่างให้เลือกว่าต้องการเลือกโปรแกรมในส่วนของการคำนวณ หรือการออกแบบ หลังจากกดปุ่มโอเค จะมีหน้าต่างขึ้นมาให้ป้อนข้อมูลพื้นที่ที่ต้องการคำนวณหรือออกแบบ



รูปที่ ข.1 หน้าจอเข้าโปรแกรมการคำนวณหรือออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.1 วิธีการใช้โปรแกรมในส่วนของการคำนวณ

1. ทำการป้อนข้อมูลพื้นที่ ซึ่งประกอบไปด้วย

    1.1 ชื่อโปรเจค

    1.2 ความกว้าง (เมตร), ความยาว (เมตร)

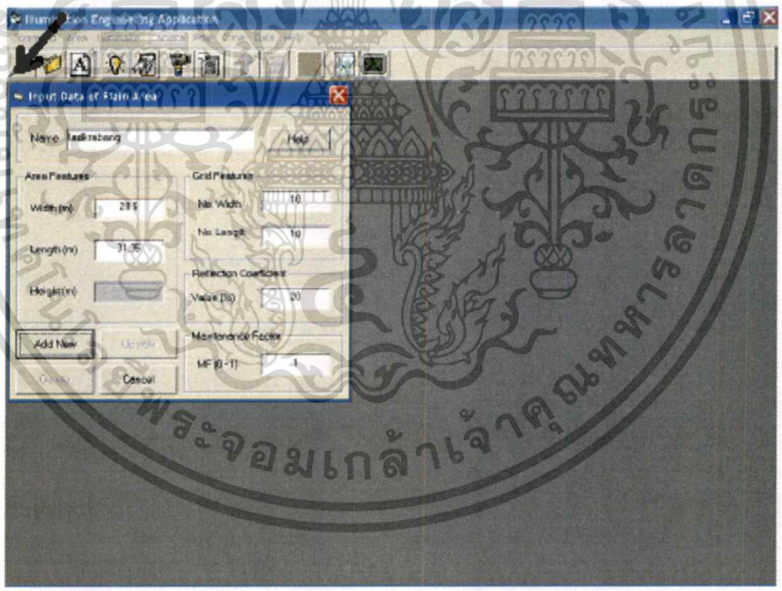
    1.3 จำนวนจุดในด้านกว้างที่ต้องการคำนวณ

    1.4 จำนวนจุดในด้านยาวที่ต้องการคำนวณ

    1.5 เปอร์เซนต์ของการสะท้อนแสงของพื้นสนาม

    1.6 แฟคเตอร์การบำรุงรักษา

เมื่อป้อนข้อมูลครบเรียบร้อยแล้ว จึงทำการกดปุ่ม Add New ซึ่งโปรแกรมจะทำการบันทึกชื่อโปรเจคและข้อมูลพื้นที่เอาไว้ หากต้องการนำมาเรียกใช้ในภายหลัง ให้กดปุ่มเปิด เพื่อทำการเรียกไฟล์นั้นๆ ออกมาใช้อีก หลังจากป้อนข้อมูลครบเรียบร้อยแล้วเราสามารถเรียกดูข้อมูลที่ป้อนได้ ด้วยการกดปุ่มข้อมูลพื้นที่



รูปที่ ข.2 หน้าจอการป้อนข้อมูลพื้นที่การคำนวณ

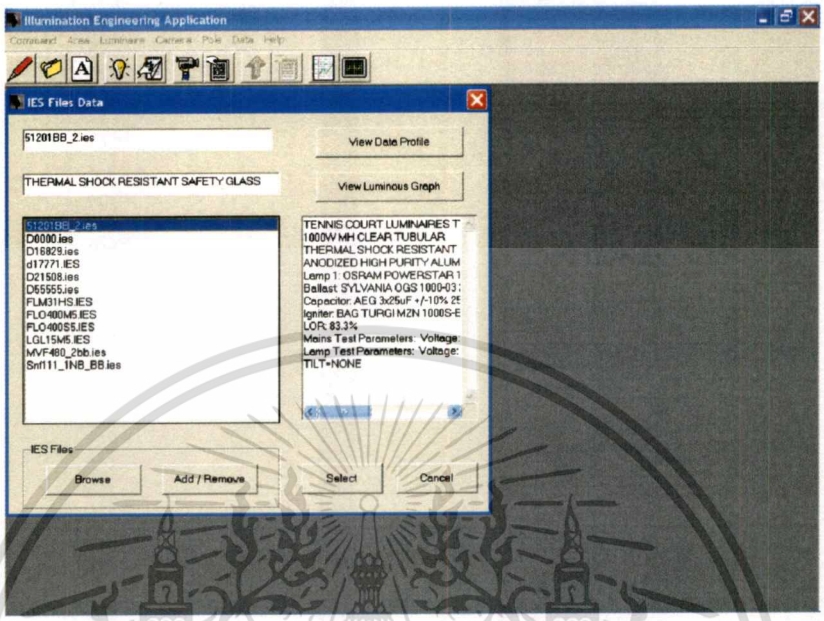
2. ทำการป้อนข้อมูลการติดตั้งโคมไฟ

    2.1 ทำการเลือกแบบของโคมไฟ จาก IES FILES

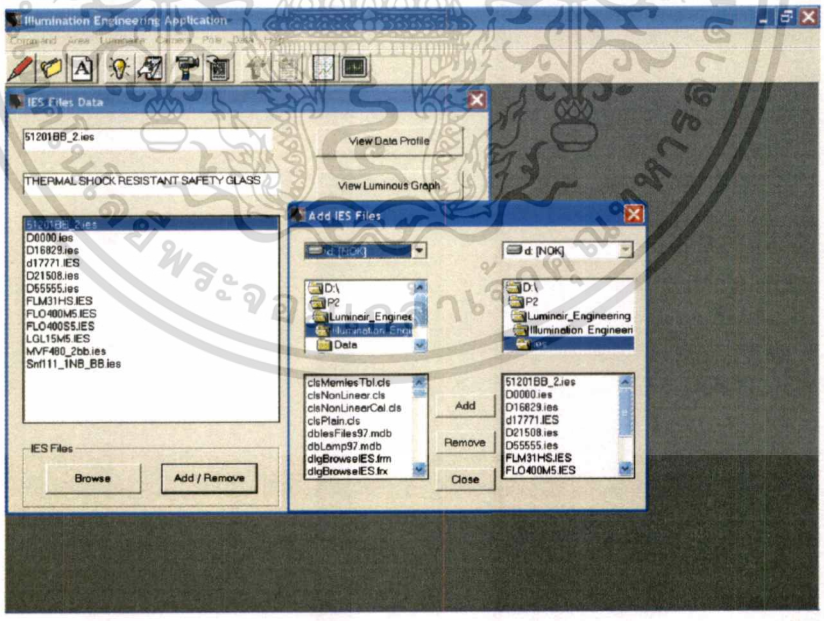
การเลือกแบบของโคมไฟ จาก IES FILES สามารถเลือกได้จากโฟลเดอร์ที่เก็บ IES FILES ดังรูปที่ ข.3 โดยกดปุ่ม Browse แล้วจึงทำการ Add เข้ามาเก็บไว้ในโปรแกรม ซึ่งเมื่อทำการคลิกชื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IES FILES หน้าจอจะแสดงข้อมูลคุณสมบัติของโคม และสามารถเรียกดู IES FILES นั้นโดยการกดปุ่ม View Data Profiles ดังรูปที่ ข.4



รูปที่ ข.3 หน้าจอการเลือก IES FILES



รูปที่ ข.4 หน้าจอการเพิ่ม IES FILES

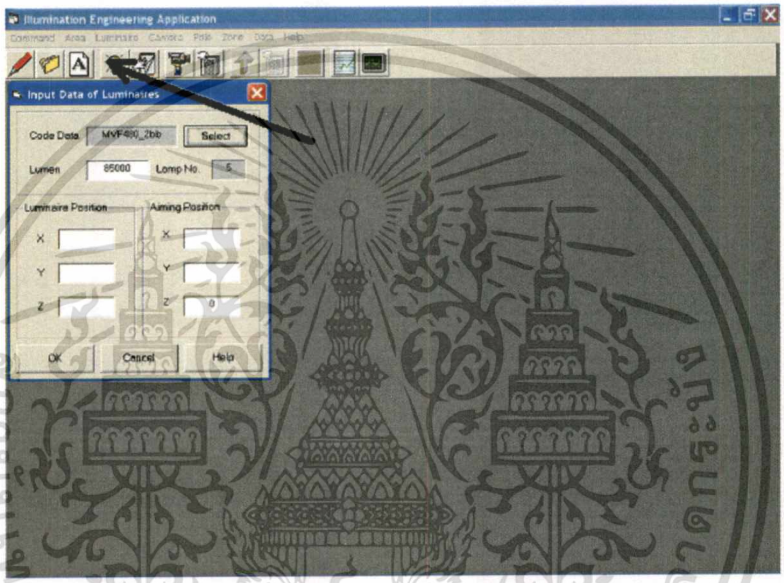
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ป้อนลูเมนของหลอดไฟที่ใช้

2.3 ป้อนตำแหน่งพิกัดที่ติดตั้งโคมไฟ

2.4 ป้อนตำแหน่งพิกัดจุดเล็งของโคมไฟ

กดปุ่มโอเค แล้วทำการป้อนข้อมูลโคมไฟ จนครบตามจำนวนที่ติดตั้ง และหลังจากป้อนข้อมูลโคมไฟครบเรียบร้อยแล้ว สามารถเรียกดูข้อมูลโคมไฟที่ป้อนทุกโคมได้โดยกดปุ่มข้อมูลโคมไฟ โดยจะแสดง ตำแหน่ง และจุดเล็งของโคมไฟแต่ละโคมที่ป้อน

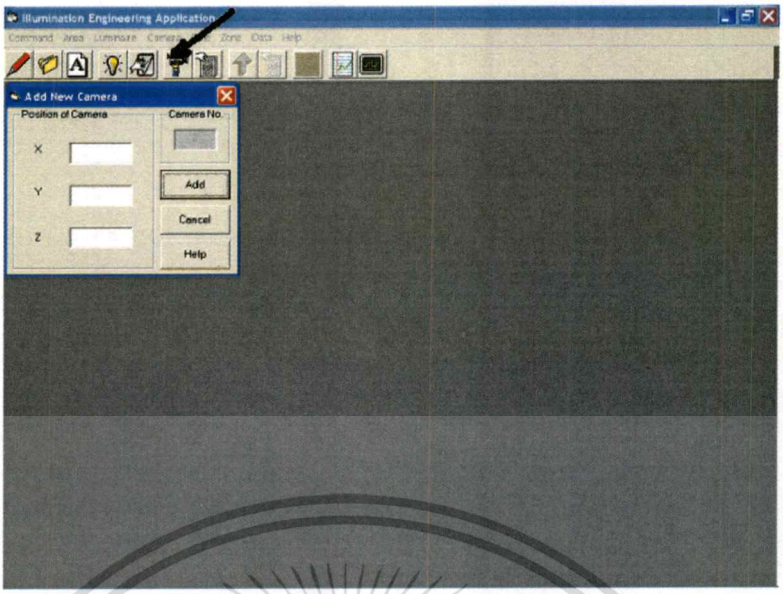


รูปที่ ข.5 หน้าจอการป้อนข้อมูลโคม

3. ทำการป้อนข้อมูลกล้องถ่ายโทรทัศน์ (จุดสังเกตการณ์)

โดยป้อนพิกัดตำแหน่งการติดตั้งกล้องถ่ายโทรทัศน์จนครบทุกตัว ซึ่งสามารถเรียกดูข้อมูลตำแหน่งการติดตั้งกล้องถ่ายโทรทัศน์ (จุดสังเกตการณ์) ได้โดยกดปุ่มข้อมูลกล้อง

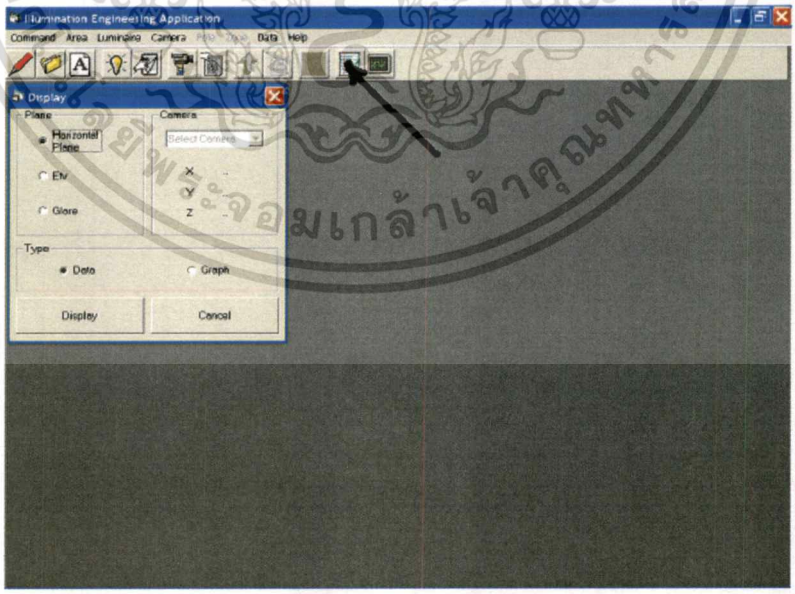
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.6 หน้าจอการป้อนตำแหน่งการติดตั้งกล้องถ่ายโทรทัศน์

4. กดปุ่มคำนวณ

โดยโปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่าความเข้มแสงในแนวราบ ความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ และพิกัดแสงจ้าแยงตา โดยผลลัพธ์ที่ได้สามารถเรียกดูได้ในรูปของตารางตัวเลข ภาพลายเส้น ภาพแรเงา และภาพสามมิติ



รูปที่ ข.7 หน้าจอการแสดงผล หลังจากกดปุ่มคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2 วิธีการใช้โปรแกรมในส่วนของการออกแบบ

1. ทำการป้อนข้อมูลพื้นที่ ซึ่งประกอบไปด้วย

1.1 ชื่อโปรเจค

1.2 ความกว้าง (เมตร)

1.3 ความยาว (เมตร)

1.4 ความเข้มแสงเฉลี่ยที่ต้องการ (Lux)

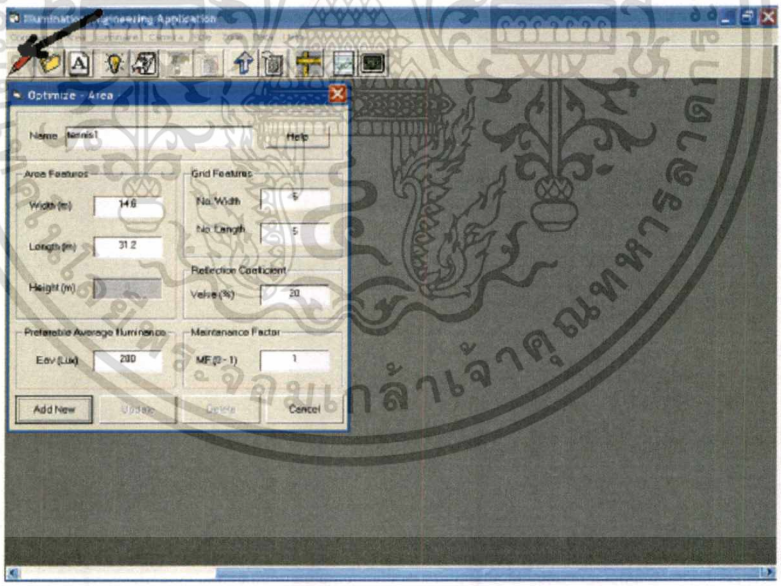
1.5 จำนวนจุดในด้านกว้างที่ต้องการคำนวณ

1.6 จำนวนจุดในด้านยาวที่ต้องการคำนวณ

1.7 เปอร์เซนต์ของการสะท้อนแสงของพื้นสนาม

1.8 แฟคเตอร์การบำรุงรักษา

เมื่อป้อนข้อมูลครบเรียบร้อยแล้ว จึงทำการกดปุ่ม Add New ซึ่งโปรแกรมจะทำการบันทึกชื่อโปรเจคและข้อมูลพื้นที่เอาไว้ หากต้องการนำมาเรียกใช้ในภายหลัง ให้กดปุ่มเปิด เพื่อทำการเรียกไฟล์นั้นๆ ออกมาใช้อีก หลังจากป้อนข้อมูลครบเรียบร้อยแล้วเราสามารถเรียกดูข้อมูลที่ป้อนได้ ด้วยการกดปุ่มข้อมูลพื้นที่



รูปที่ ข.8 หน้าจอการป้อนข้อมูลพื้นที่การออกแบบ

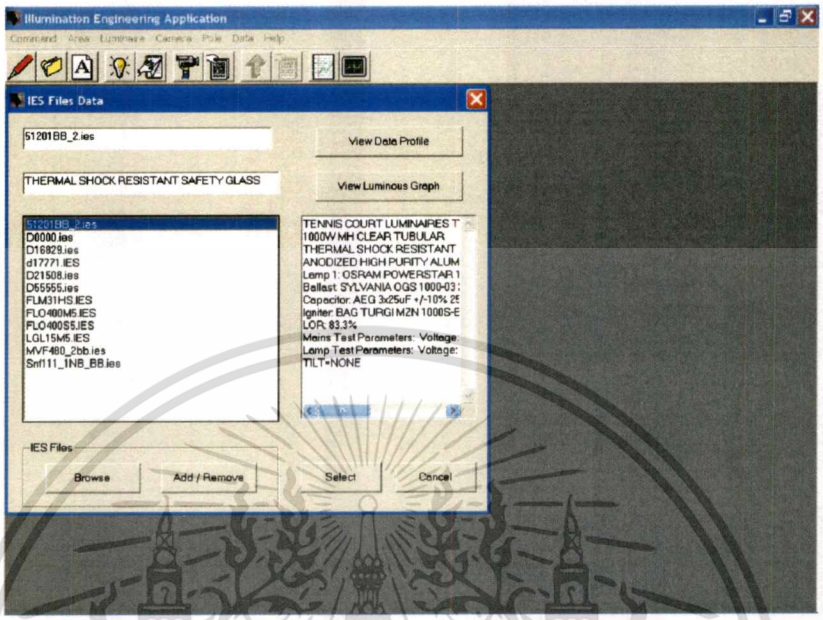
2. เลือกแบบโคมที่ต้องการนำมาออกแบบ

2.1 ทำการเลือกแบบของโคมไฟ จาก IES FILES

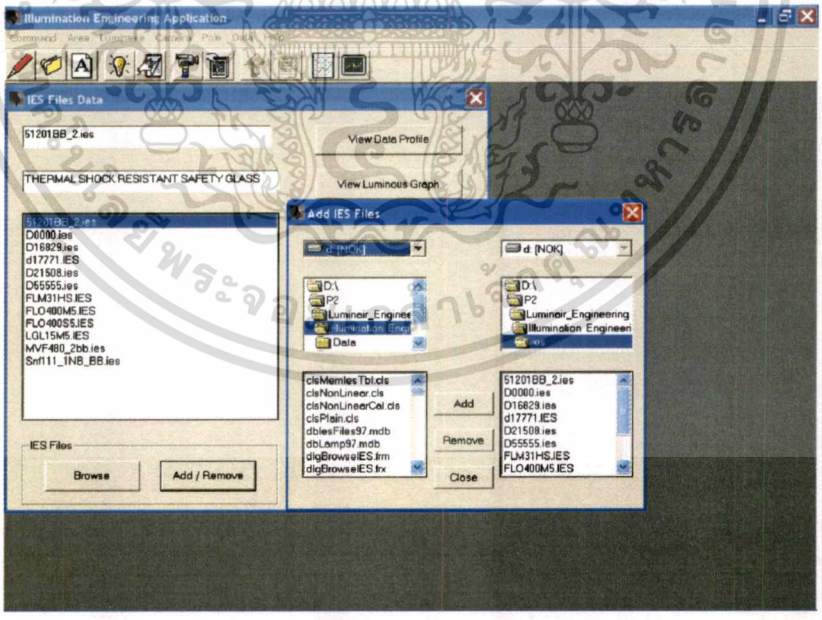
การเลือกแบบของโคมไฟ จาก IES FILES สามารถเลือกได้จากโฟลเดอร์ที่เก็บ IES FILES ดังรูปที่ ข.9 โดยกดปุ่ม Browse แล้วจึงทำการ Add เข้ามาเก็บไว้ในโปรแกรม ซึ่งเมื่อทำการคลิกชื่อ

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IES FILES หน้าจอจะแสดงข้อมูลคุณสมบัติของโคม และสามารถเรียกดู IES FILES นั้นโดยการกดปุ่ม View Data Profiles ดังรูปที่ ข.10



รูปที่ ข.9 หน้าจอการเลือก IES FILES



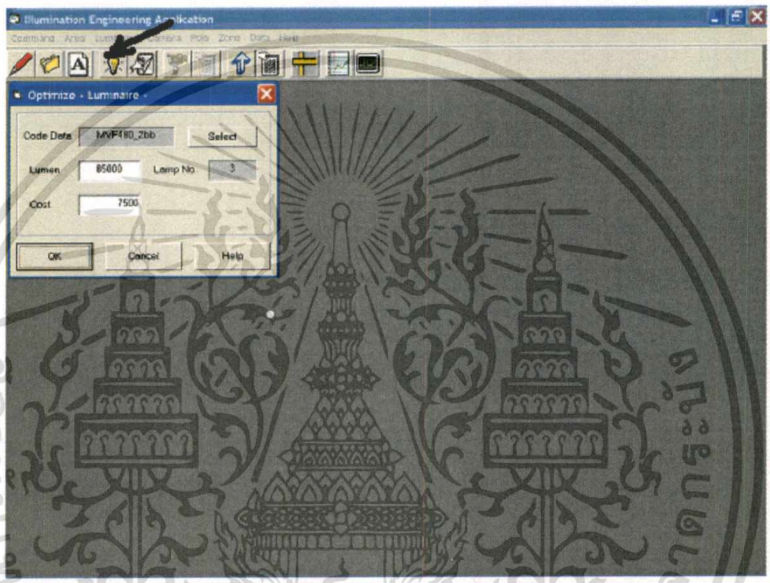
รูปที่ ข.10 หน้าจอการเพิ่ม IES FILES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ป้อนลูเมนของหลอดไฟที่ใช้

2.3 ป้อนราคาของโคมไฟแต่ละแบบ

กดปุ่มโอเค แล้วทำการป้อนข้อมูลแบบโคม จนครบตามที่ต้องการที่จะนำมาให้โปรแกรมออกแบบ เลือกหาแบบและจำนวนที่เหมาะสม หลังจากป้อนข้อมูลแบบโคมเรียบร้อยแล้ว สามารถเรียกดูข้อมูลแบบโคมที่เลือกทุกโคมได้โดยกดปุ่มข้อมูลโคมไฟ โดยจะแสดง แบบและราคาของโคมไฟแต่ละโคมที่เลือก

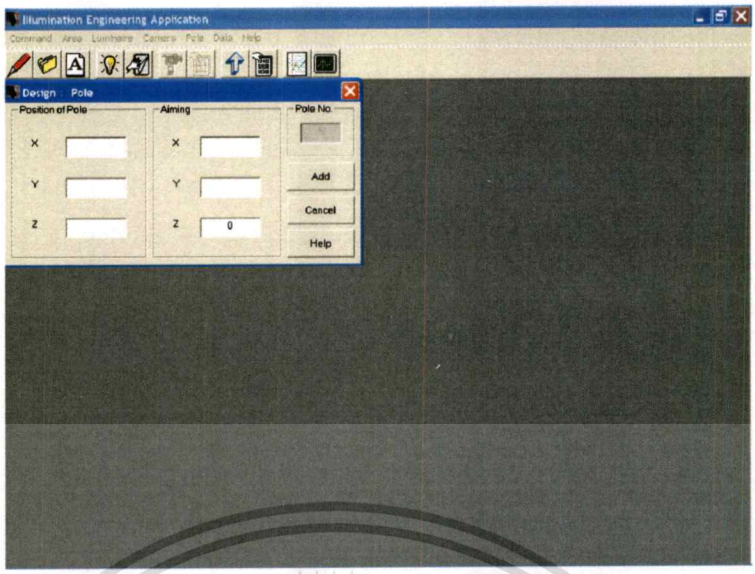


รูปที่ ข.11 หน้าจอการเลือกแบบและป้อนราคาโคม

3. ทำการป้อนข้อมูลเสาไฟ

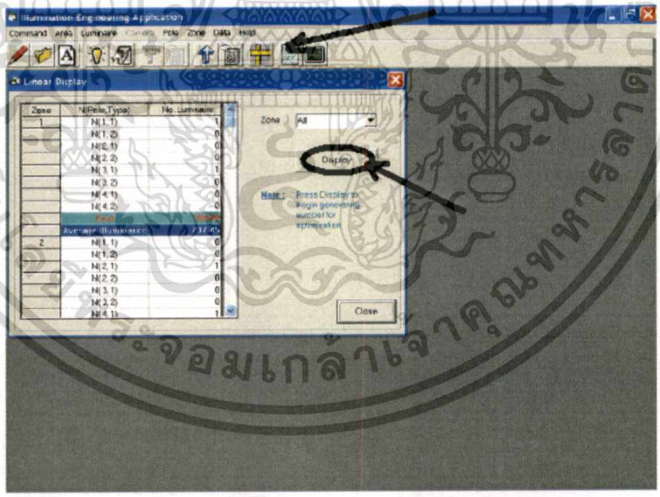
โดยป้อนข้อมูลพิกัดการติดตั้งเสาไฟ และพิกัดจุดเล็งอ้างอิงของแต่ละเสา จนครบทุกเสา ซึ่งสามารถเรียกดูข้อมูลตำแหน่งการติดตั้งเสาไฟและพิกัดจุดเล็งได้โดยกดปุ่มข้อมูลเสาไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.12 หน้าจอการป้อนพิกัดตำแหน่งเสาไฟและจุดเล็งอ้างอิง

4. กดปุ่ม Calculate All Function เพื่อคำนวณหาจำนวนของโคมไฟแต่ละแบบ และกดปุ่ม Display เพื่อแสดงจำนวนของโคมไฟแต่ละแบบ



รูปที่ ข.13 ปุ่มคำนวณ และหน้าจอแสดงผลจำนวนของโคมในแต่ละแบบ

5. ทำการป้อนค่าความสม่ำเสมอและพิกัดแสงจ้าแยงตามาตรฐาน และตำแหน่งการติดตั้งกล้องถ่ายโทรทัศน์ (จุดสังเกตการณ์) โดยกดปุ่ม Nonlinear Function

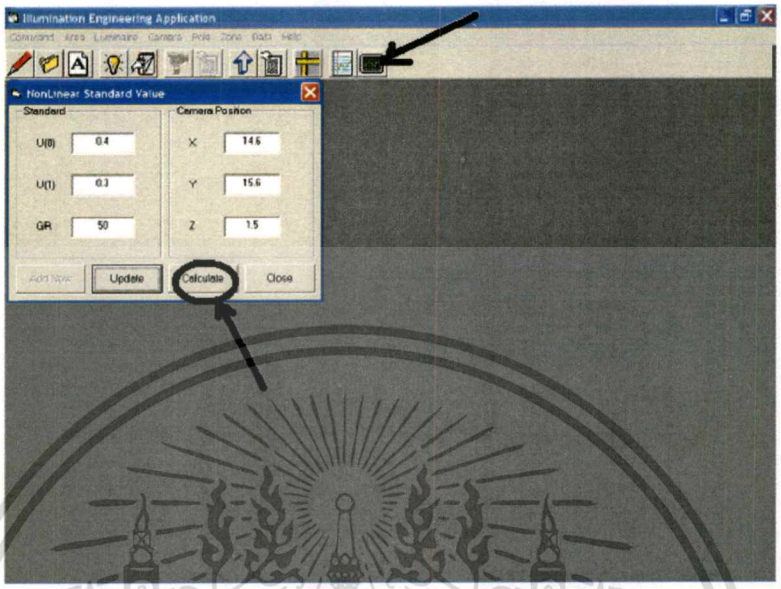
5.1 ทำการป้อนค่าความสม่ำเสมอมาตรฐาน U0

5.2 ทำการป้อนค่าความสม่ำเสมอมาตรฐาน U1

5.3 ทำการป้อนค่าพิกัดแสงจ้าแยงตาสูงสุดมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

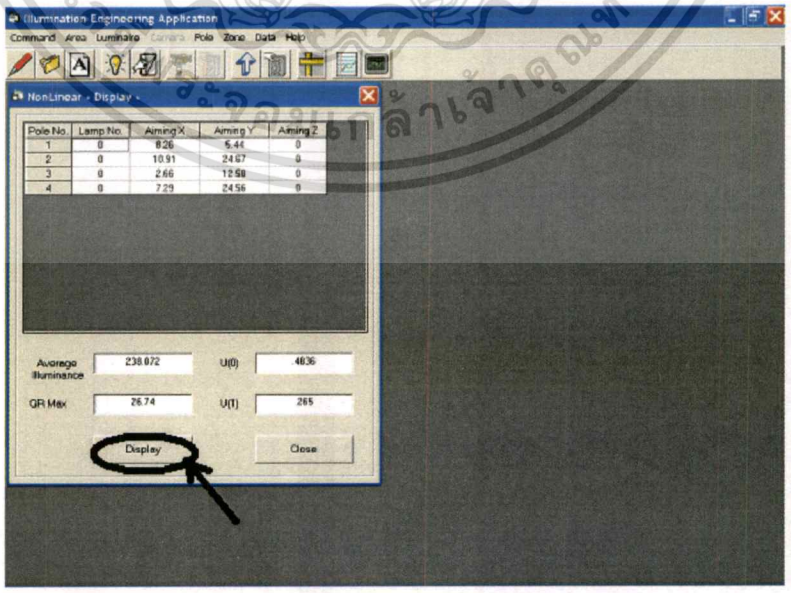
5.4 ทำการป้อนตำแหน่งการติดตั้งกล้องถ่ายโทรทัศน์ (จุดสังเกตการณ์)
หลังจากทำการป้อนค่าครบทุกค่าแล้ว กดปุ่ม Add New แล้วจึงกดปุ่ม Calculate



รูปที่ ข.14 หน้าจอการป้อนค่ามาตรฐาน และปุ่มคำนวณ

6. กดปุ่ม Calculate เพื่อหาจุดเล็งที่เหมาะสมของแต่ละโคม

โดยผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงตำแหน่งพิกัดจุดเล็งของแต่ละโคมที่เหมาะสม และ คำนวณค่าความเข้มแสงเฉลี่ย ความสม่ำเสมอ U0 และ U1 และพิกัดแสงจ้าแยงตา



รูปที่ ข.15 หน้าจอแสดงพิกัดตำแหน่งจุดเล็งของแต่ละโคม และค่า Eave, U0, U1, GR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ แสวงหาประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าความเข้มแสง

รูปที่ ค.1 เครื่องมือวัดค่าความเข้มแสงยี่ห้อ Extech

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือวิธีใช้ลักซ์มิเตอร์

EXTECH

INSTRUCTION MANUAL

English / Español

Model 407026
Heavy Duty Light Meter

- Selectable Lighting Types
- Data Record / Recall
- Relative % Display Mode
- PC Interface

1. INTRODUCTION

Congratulations on your purchase of Extech's Heavy Duty Light Meter. This professional meter, with proper care, will provide years of safe reliable service.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. SPECIFICATIONS

2.1 General Specifications

Circuit	Custom one-chip LSI microprocessor circuit.
Display	Dual function 0.5" (13 mm Super large 3-1/2 digit (2000 count) LCD display with contrast adjustment
Measurement & Ranges	LUX: 0 to 50,000 LUX (3 range); Fc: 0 to 5000 Fc (3 range); Relativity - 0 to 1999%
Data hold	Freezes Display
Lighting Types	Sodium, Daylight/Tungsten, Fluorescent or Mercury
Sensor Structure	Cosine/color corrected photo-diode meets C.I.E.
Memory Store/Recall	Records/Recalls Max/Min/Avg readings
Sample rate	0.4 sec. approx.
Zero Adjust	Push button
Auto Power Off	After approx. 10 min of non-use
Data Output	RS 232 PC serial interface (optional SW)
Operating conditions	32 °F to 122 °F (0 °C to 50 °C); <80% RH
Power Supply	006P DC 9V battery (Heavy duty type).
Power consumption	Approx. 5 mA DC. (approx. 200 hr battery life)
Weight	0.71 lbs. (320 g)
Dimensions	Instrument: 7.1 x 2.8 x1.3" (180 x 72 x 32 mm) Sensor: 3.3 x 2.2 x 0.7" (85 x 55 x 17.5 mm)

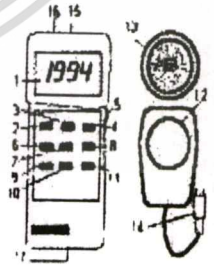
2.2 Range Specifications

Measurement	Range	Display	Resolution	Accuracy
LUX	2,000 LUX	0-1,999 LUX	1 LUX	±(4% + 2 d)
	20,000 LUX	2,000-19,990 LUX	10 LUX	of full scale
	50,000 LUX	20,000-50,000 LUX	100 LUX	
Foot Candle	200 Fc	0-186.0 Fc	0.1 Fc	
	2,000 Fc	187-1,860 Fc	1 Fc	
	5,000 Fc	1,870-5,000 Fc	10 Fc	
Relativity	0-1999%		1%	

Note: The accuracy specification above applies to calibration performed using a precision standard incandescent tungsten light source of 2856°K with meter on the tungsten setting.

3. FRONT PANEL DESCRIPTION

1 LCD Display
2 "POWER" Off/On
3 Data "HOLD"
4 LUX/Fc Selection
5 LCD Contrast Adj.
6 Memory "RECORD"
7 Memory "RECALL"
8 Light Selection
9 ZERO button
10 % button
11 RANGE Switch
12 Light Sensor
13 Sensor Cover
14 Sensor Plug
15 Sensor Input Socket (top)
16 RS-232 Output jack (top)
17 Battery Compartment



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. OPERATION

4.1 Press the "Power Off/On" key to power the meter. Check the battery & display does not indicate characters.

4.2 Zero Calibration for Sensor

a) Place the "Sensor Cover" over the "Light Sensor".
b) Select the "2,000 LUX" range via the "Range Switch".
c) Press the "Zero" key. The display will null (display zero).
d) Remove the Sensor Cover from the Light Sensor.

4.3 Select the desired unit of measure by pressing the "LUX/Fc" key. The display will indicate "LUX" or "Fc" as selected.

4.4 Select the type of lighting to be measured by pressing the "Light Source Select". The display will indicate the lighting type icon from the list below:

L = Tungsten/Daylight; F = Fluorescent; S = Sodium; C = Mercury

(For Halogen and Metal Halide light use the Tungsten setting)

4.5 When making measurements always start at the highest range and work down (use the "Range Switch" to select ranges). If the display indicates "---", the input exceeds the maximum for the range. Select a higher range. If the display indicates "____", the input is too low. Select a lower range.

4.6 Hold the "Light Sensor" so that the sensor faces the light source to be measured. The display will indicate the light intensity value. In the 20,000 LUX and 5,000 Fc ranges, the last digit will appear on the lower line of the LCD display. In the 50,000 LUX range, the last two digits will appear on the lower line of the LCD display.

4.7 Data Hold: During the measurement, pressing "Data Hold" will freeze the displayed value and the LCD will display the "D.H" indicator. Press "Hold" again to release the data hold function.

4.8 Relative % Mode: During measurements, pressing the "%" key causes the display to read 100%. This means that the reading on the LCD at the time of the key-press = 100% and all subsequent readings will be relative to that reading. For example if 100 Fc was on the display at the time of the key-press and the next reading was 50 Fc, the display would read 50% since 50 Fc is 50% of 100 Fc. New % values are calculated as:

$$\frac{\text{Measured Light Value}}{\text{Reference Light Value (when \% is pressed)}} \times 100$$

Press the "%" key again to release the relative % light function and return to normal operation.

4.9 Data Record (MAX/MIN/AVG Readings)

When selected, the DATA RECORD function records and stores the maximum, minimum and average readings. To start the DATA RECORD function:

a) Press "RECORD" once. The "REC" indicator will appear on the display.
b) Press "RECALL" once to retrieve the "Max" reading. The "Max" indicator along with the maximum values will appear on the LCD display.
c) Press "RECALL" once, the "Min" indicator along with the minimum values will appear on the LCD display.
d) Press "RECALL" once, the "AVG" indicator along with the average values will appear on the LCD display.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

e) To disable the "Data Record " function, press "Record" again. The display indicators "REC", "Max", "Min", "AVG" will disappear.

5. MEASUREMENT CONSIDERATIONS

5.1 The meter is designed with an "Auto shut off" feature to save battery life. The power will automatically power down if a function button is not pressed in any 10 minutes period. To disable "Auto shut off", press the "RECORD" and engage the record function.

5.2 It may be necessary to adjust the display contrast due to a change in viewing angle or voltage drift. Use the "LCD Contrast adjustment" located on the right side of the meter to set the preferred contrast.

5.3 The Zero recalibration procedure should be followed whenever the meter is powered up.

5.4 When recalibrating use a tungsten lamp (2856 °K) and be sure to select "Tungsten" as the light source.

6. RS232 DATA BUS OUTPUT

The meter is designed with a built-in RS232 serial data port. This interface was designed to operate with the Extech Data Acquisition Software (p/n 407000) and enables the user to capture, store and display readings on a PC. For more information, contact Extech or refer to the 407000 manual for details on the interface.

7. BATTERY REPLACEMENT

The low battery indication appears as a "LBT" on the left corner of the display. When the "LBT" appears, replace the battery as soon as possible. Reliable readings can be obtained for several hours after the first appearance of the low battery indication. To replace the battery:

a) Pry the Battery Cover off using a small coin or screwdriver and remove the battery.
b) Replace with 9V battery (heavy duty type) and reinstall the cover.
c) Make sure the battery cover is secured after changing the battery.

8. CALIBRATION / REPAIR SERVICES

Extech offers complete repair and calibration services for all of the products we sell. For periodic calibration, NIST certification, or repair of any Extech product, call customer service for details on services available. Extech recommends that calibration be performed on an annual basis to insure calibration integrity.

9. WARRANTY

EXTECH INSTRUMENTS CORPORATION warrants this instrument to be free of defects in parts and workmanship for three years from date of shipment (a six month limited warranty applies on sensors and cables). If it should become necessary to return the instrument for service during or beyond the warranty period, contact the Customer Service Department at (781) 890-7440 ext. 210 for authorization. A Return Authorization (RA) number must be issued before any product is returned to Extech. The sender is responsible for shipping charges, freight, insurance and proper packaging to prevent damage in transit.

This warranty does not apply to defects resulting from action of the user such as misuse, improper wiring, operation outside of specification, improper maintenance or repair, or unauthorized modification. Extech specifically disclaims any implied warranties or merchantability or fitness for a specific purpose and will not be liable for any direct, indirect, incidental or consequential damages. Extech's total liability is limited to repair or replacement of the product.

The warranty set forth above is inclusive and no other warranty, whether written or oral is expressed or implied.

Copyright © 1999 Extech Instruments Corporation. All rights reserved including the right of reproduction in whole or in part in any form.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL LIGHT LEVELS

Lux	Foot Candles		Lux	Foot Candles	
		Factories			Home
20-75	2-7	Emergency Stairs, Warehouse	100-150	10-15	Washing
75-150	7-15	Exit/Entrance Passages	150-200	15-20	Recreational Activities
150-300	15-30	Packing Work	200-300	20-30	Drawing Room, Table
300-750	30-75	Visual Work: Production Line	300-500	30-50	Makeup
750-1,500	75-150	Typesetting; Inspection Work	500-1,500	50-150	Reading, Study
1,500-3,000	150-300	Electronic Assembly, Drafting	1,000-2,000	100-200	Sewing
		Office			Restaurant
75-100	7-10	Indoor Emergency Stairs	75-150	7-15	Corridor Stairs
100-200	10-20	Corridor Stairs	150-300	15-30	Entrance, Wash Room
200-750	20-75	Conference, Reception Room	300-750	30-75	Cooking Room, Dining Table
750-1,500	75-150	Clerical Work	750-1,500	75-150	Show Window
1,500-2,000	150-2000	Typing, Drafting			
		Store			Hospital
75-150	7-15	Indoors	30-75	3-7	Emergency Stairs
150-200	15-20	Corridor/Stairs	75-100	7-10	Stairs
200-300	20-30	Reception	100-150	10-15	Sick Room, Warehouse
300-500	30-50	Display Stand	150-200	15-20	Waiting Room
500-750	50-75	Elevator	200-750	20-75	Medical Exam Room
750-1,500	75-150	Show Window, Packing Table	750-1,500	75-150	Operating Room
1,500-3,000	150-300	Storefront, Show Window	5,000-10,000	500-1000	Eye Inspection

COMMON CONVERSION FACTORS

Illuminance (Visible Flux Density)	1 lm/m^2 =	1 lux (lx)
		10^{-4} lm/cm^2
		10^{-4} phot (ph)
		9.290×10^{-2} lm/ft^2
		9.290×10^{-2} foot-candles
Luminance (Visible Flux Density per Solid Angle)	1 $lm/m^2/sr$ =	1 candela/m^2
Luminous Intensity (Visible Flux per Solid Angle)	1 lm/sr =	1 candella
Luminous Flux (Visible Flux)	1 lumen (lm) =	1.464×10^{-3} watts @ 555 nm

Tech Support Hotlines
781-890-7440 ext 200
extech@extech.com
www.extech.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

1. การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณค่าความเข้มแสงแต่ละจุดบนพื้นสนามกีฬาภายนอกอาคาร (สนามเทนนิส) ตีพิมพ์ในวิศวสารลาดกระบัง ปีที่ 20 ฉบับที่ 2 เดือนมิถุนายน 2546
2. การใช้คอมพิวเตอร์ประเมินค่าพิกัดแสงจ้าแยงตาของไฟสนามกีฬาภายนอกอาคาร (สนามเทนนิส) ตีพิมพ์ในวิศวสารลาดกระบัง ปีที่ 20 ฉบับที่ 2 เดือนมิถุนายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าปก

ISSN 0125-1724

วิศวสาร ลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

ปีที่ 20 ฉบับที่ 2 มิถุนายน 2546

1. วงจรไดเร็คบูตสแตรปซีมอสชมิทท์ทริกเกอร์ความเร็วสูง 1
คำผอง คงสมบูรณ์ สุกัญญา แพรสมบูรณ์ สุรพล บุญจันทร์ กอบชัย เดชหาญ

2. วงจรบูตสแตรปไบซีมอสไดนามิคส์ความเร็วสูงและแกว่งได้เต็มย่าน 7
ทวิช ชูเมือง กอบชัย เดชหาญ กิตติภัทร์ ภู่ระหงษ์ สุรพล บุญจันทร์

3. วงจรคูณสัญญาณแบบ 4 ควอดแรนท์ใช้แหล่งจ่าย 1.5 โวลท์ 13
มนตรี คำเงิน กอบชัย เดชหาญ พันทิพย์ภา บุญสมพงษ์ สุรพล บุญจันทร์

4. การออกแบบและสร้างตัวกรองเชิงเลขแบบ Notch โดยปรับปรุงอัลกอริทึมการวาง Pole-Zero 17
สุรพันธ์ ยิ้มมั่น วัชรพงศ์ หินจีตร์ สมพงษ์ จองสถาพร ฟูศักดิ์ ชีวสุวิทย์ ชูสิทธิ์ ประดับเพ็ชร์

5. การหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของซินเฟตแบบพลานาร์ 23
กุลนาถ ทีปประพันธ์มณี สุรศักดิ์ เนียมเจริญ

6. การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยและโครงข่ายประสาทชนิด Probabilistic สำหรับระบุตำแหน่งฟอลต์ในสายส่ง 29
อรรถพล เจ่าพิทักษ์กุล ศุลี บรรจงจิตร

7. การประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเล็ตและโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับแบ่งประเภทฟอลต์ในสายส่งวงจรเดี่ยว 35
อรรถพล เจ่าพิทักษ์กุล ศุลี บรรจงจิตร

8. การใช้คอมพิวเตอร์ประเมินค่าพิกัดแสงจ้าแยงตาของไฟสนามกีฬาภายนอกอาคาร (สนามเทนนิส) 41
นวลวรรณ จิรวิวัฒนา จงรักษ์ บุญเสิ่ง

9. การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณค่าความเข้มแสงแต่ละจุดบนพื้นสนามกีฬาภายนอกอาคาร (สนามเทนนิส) 47
นวลวรรณ จิรวิวัฒนา จงรักษ์ บุญเสิ่ง

10. การเลือกสายไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบจำหน่าย 22 เควีของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 53
พรงวุฒิ พรพันธ์เดชวิทยา สมชาติ จิรัวิภากร

11. การศึกษาเครื่องยนต์แก๊สธรรมชาติระบบหัวฉีดประจำสูบ 59
สมศักดิ์ เพ็ชร์กุล จินดา เจริญพรพาณิชย์

12. การประยุกต์ใช้หัวเผาน้ำมันพืชในโดยใช้วัสดุพรุน 65
จารุวัตร เจริญสุข อรรณพ ผาบเพ็ง

13. การวิเคราะห์ผลกระทบของค่าครึ่งมุมของแม่พิมพ์ในกระบวนการดึงขึ้นรูปเส้นลวดด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ 71
อดิศักดิ์ ชมมิ สมชัย นรเศรษฐ์โศภน

14. การศึกษาลักษณะสนามการไหลเชิงตัวเลขของลำเจ็ทคู่ขนาน 76
ปรีดา บัวสาคร ธวัชชัย นาคพิพัฒน์ สมิทธ์ เอี่ยมสอาด

15. การสอบเทียบกล้องสเตริโอร่วมกับ Epipolar Rectification 82
ธีรวัฒน์ เทพมณี เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์

16. การสืบค้นข้อมูลแบบเป็นลำดับชั้นในพื้นที่ที่สนใจและการทำดัชนีสำหรับระบบค้นคืนข้อมูลรูปภาพ 88
ทา บุนทัน อรฉัตร จิตต์โสภักตร์ สมศักดิ์ มิตะถา

17. อัลกอริธึมสร้างเส้นทางแบบคำนึงถึงคุณภาพของการให้บริการที่มีความสามารถในการตอบสนองต่อความผิดพลาดของการกำหนดเส้นทาง 94
สมพร กันทะวงศ์ มยุรี เลิศเวชกุล ประกิจ ตังติสานนท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้คอมพิวเตอร์ประเมินค่าพิกัดแสงจ้าแยงตาของไฟสนามกีฬาภายนอกอาคาร(สนามเทนนิส)

Computer Usage to Evaluate Glare Rating in Outdoor Sports (Tennis Court)

นวลวรรณ จิรวิวัฒนา จงรักษ์ บุญเส็ง

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการใช้คอมพิวเตอร์เพื่อประเมินคุณภาพการส่องสว่างของไฟสนามกีฬาภายนอกอาคาร โดยพิจารณาค่าความเข้มแสงเฉลี่ย ค่าความสม่ำเสมอของค่าความเข้มแสง (Illuminance Uniformity) และค่าพิกัดแสงจ้าแยงตา (Glare Rating) โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน CIE (International Commission On Illumination) และใช้วิธีการคำนวณแบบจุด (Point By Point Method) โดยแสดงผลลัพธ์ในรูปของ ภาพ 3 มิติ ภาพลายเส้น และภาพแรเงา ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินจะเป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพการส่องสว่างเพื่อให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ต่อไป

Abstract

This paper presents computer usage to evaluate lighting quality in outdoor sport. To consider average illuminance, illuminance uniformity and glare rating based on the standard of CIE (International Commission On Illumination). Using point by point and the results are presented in the form of 3D, contour lines and shading pictures. The results of this evaluation will be guided in lighting quality modification to obtain standard value.

1. บทนำ

การออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างของสนามกีฬาภายนอกอาคาร เป็นการออกแบบที่ต้องใช้งานหรือเกี่ยวข้องกับคนจำนวนมาก โดยแสงที่ให้จะเกี่ยวข้องกับผู้เล่นในสนาม กรรมการ กล้องถ่ายทอดโทรทัศน์ ซึ่งแต่ละบุคคลที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้า ย่อมมีความต้องการในเรื่องของการมองเห็นแตกต่างกันออกไป การมองเห็นของบุคคลจะมีได้ทุกทิศทาง ดังนั้นปัญหาที่พบในเรื่องของการมองคือแสงจ้าแยงตา ระดับความเข้มแสงของระบบไฟฟ้าสนามกีฬาโดยทั่วไปจะมีค่าต่ำ แม้ว่าในบางครั้งจะมีปัญหาต่อการมอง ที่เป็นเช่นนี้เพราะ ในระบบไฟฟ้าสนามกีฬาภายนอกอาคาร จะครอบคลุมพื้นที่โล่งกว้าง การติดตั้งโคมก็จะอยู่บนเสาสูง ทั้งนี้เพราะถ้าติดตั้งต่ำ ก็จะลดความสม่ำเสมอของความเข้มแสงลง ทำให้เกิดความไม่สบายตาในการมองเห็น ดังนั้นในการประเมินคุณภาพการส่องสว่าง จะต้องคำนึงถึง ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย พิกัดแสงจ้าแยงตา ค่าความสม่ำเสมอ โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน CIE

การคำนวณแบบจุดต่อจุด (Point By Point) จะเป็นวิธีการคำนวณที่ให้ความละเอียด แม่นยำ เพราะสามารถคำนวณได้ทุกจุดที่ต้องการทราบค่าความเข้มแสง แต่จะต้องเวลาในการคำนวณมาก ดังนั้นการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาคำนวณ จึงทำให้เกิดความสะดวก ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทฤษฎี

2.1 ค่าความเข้มแสง (Illuminance)

การคำนวณค่าความเข้มแสงแบบจุดต่อจุดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$E_h = \frac{I \cos\theta_h}{LP^2} \qquad (1)$$

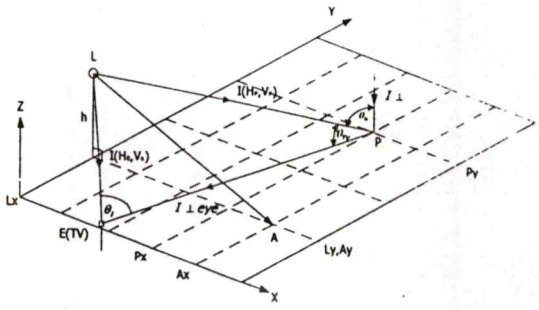
โดยที่

E_h = ความเข้มแสงบนพื้นระนาบที่จุด P (ลักซ์)

I = ความเข้มส่องสว่าง (แคนเดลา)

θ_h = มุมระหว่างแนวแสงตกกระทบจุด P กับแนวดิ่ง

LP = ระยะห่างจากโคมถึงจุดที่ต้องการคำนวณ (เมตร)



รูปที่ 1 การคำนวณพิกัดแสงจ้าแยงตา

2.2 ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity)

การหาค่าความสม่ำเสมอของค่าความเข้มแสงสามารถหาได้จากสมการที่ 2และ 3

$$U_0 = \frac{E_{min}}{E_{av}} \qquad (2)$$

$$U_1 = \frac{E_{min}}{E_{max}} \qquad (3)$$

2.2 พิกัดแสงจ้าแยงตา (Glare Rating ; GR)

แสงจ้าแยงตาคือแสงที่เข้าตาแล้วทำให้มองเห็นวัตถุได้ยาก ไม่ชัดเจนหรือมองไม่เห็นเลย โดยลักษณะการเกิดแสงจ้าแยงตาสามารถเกิดได้จาก 2 ประเภทคือ

2.2.1 แสงจ้าแยงตาโดยตรง (Direct Glare) เกิดจากแหล่งกำเนิดแสงที่มีความส่องสว่างมาก มาอยู่ในแนวมองของผู้สังเกตการณ์ (Observer)

2.2.2 แสงจ้าแยงตา ที่เกิดจากการสะท้อน (Reflected Glare) เกิดจากการสะท้อนของแสงจากพื้นผิวของวัตถุมาเข้าตาของผู้สังเกตการณ์ (Observer)

แสงจ้าแยงตาโดยตรง สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ แสงจ้าพร่านัยน์ตา และแสงจ้าระคายตา แสงจ้าพร่านัยน์ตาจะทำให้ความสามารถในการมองเห็นลดลง ส่วนแสงจ้าระคายตาทำให้เกิดความไม่สบายตา และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป และจากมาตรฐาน CIE [3] สามารถคำนวณพิกัดแสงจ้าแยงตา ได้จากสมการที่ 4

$$GR = 27 + 24\log\left[\frac{L_{vl}}{(L_{ve})^{0.9}}\right] \qquad (4)$$

$$L_{vl} = 10\sum\left\{\frac{E_{eye,i}}{\theta_i^2}\right\} \qquad (5)$$

$$\cos\theta_i = \frac{LE^2 + \widehat{EP}^2 - LP^2}{2xLExEP} \qquad (6)$$

$$E_{eye,i} = \frac{I(H_E, V_E)\cos\theta_i}{LE^2} \qquad (7)$$

$$L_{ve} = 0.035xE_{h,av}x\frac{\rho}{\pi} \qquad (8)$$

$$E_{h,av} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}E_{h_{i,j}}}{nm} \qquad (9)$$

โดยที่

L_{vl} = ความส่องสว่างที่เกิดจากโคมส่องมาที่ดวงตา

$E_{eye,i}$ = ความเข้มแสงจากโคมดวงที่ i ที่แก้วตา บนระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ (ลักซ์)

θ_i = มุมระหว่างแนวมองกับแนวแสงตกกระทบแก้วตา โดยมุม θ_i มีค่าอยู่ระหว่าง1.5°ถึง 60° (องศา)

L_{ve} = ความส่องสว่างที่เกิดจากการสะท้อนแสงของพื้นสนาม

ρ = ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นสนาม

CIE กำหนดมาตรฐานพิกัดแสงจ้าแยงตาสำหรับสนามกีฬาดังตารางที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

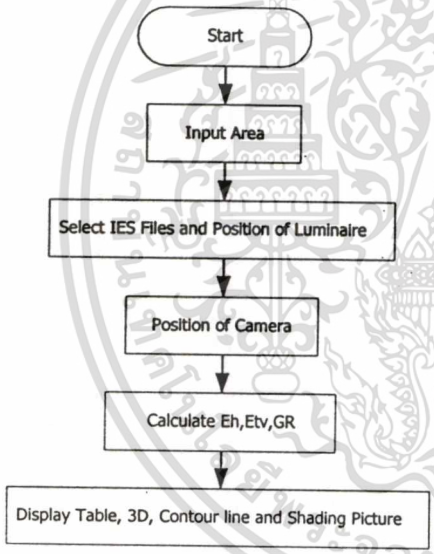
Ladkrabang Engineering Journal, Vol.20, No. 2, June 2003

ตารางที่ 1

Type of Application	GR_{max}
Lighting for training purpose	55
Lighting for competition purposes (Including CTV broadcasting)	50

3. การออกแบบโปรแกรม

ในการออกแบบโปรแกรมการประเมินคุณภาพไฟส่องสว่างของสนามกีฬาภายนอกอาคาร ใช้ภาษา Visual Basic ในการเขียนโปรแกรมและแสดงผลในรูปของ ตารางตัวเลข, กราฟ 3 มิติ, ภาพลายเส้น และรูปแรงเงา โดยมีขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 2

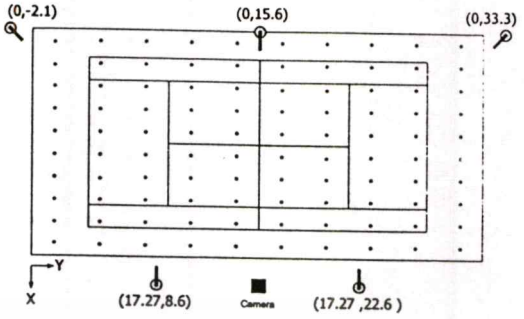


รูปที่ 2 โฟล์วชาร์ทการทำงานของโปรแกรม

4. ผลการทดสอบโปรแกรม

4.1 การทดสอบสนามเทนนิสแบบ 1 สนาม

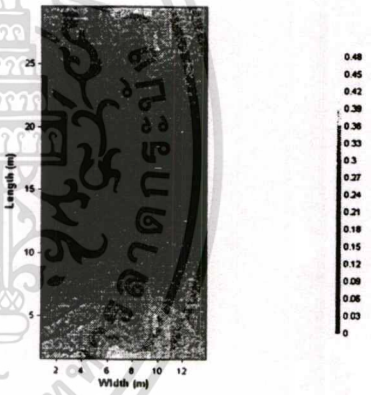
พื้นที่ทดสอบเป็นสนามเทนนิสแบบ 1 สนาม ของมหาวิทยาลัยชินวัตรขนาดกว้าง 14.6 เมตร และยาว 31.2 เมตรติดตั้งโคมฉายสูง 8 เมตร จำนวน 5 โคม (ϕ/lamp =80000 ลูเมน) และมีการกำหนดตำแหน่งติดตั้งกล้องถ่ายโทรทัศน์ สำหรับถ่ายทอดการแข่งขันจำนวน 1 ตัว และใช้ลักซ์มิเตอร์ทำการวัดค่าความเข้มแสงจำนวน 100 จุด ดังแสดงในรูปที่ 3



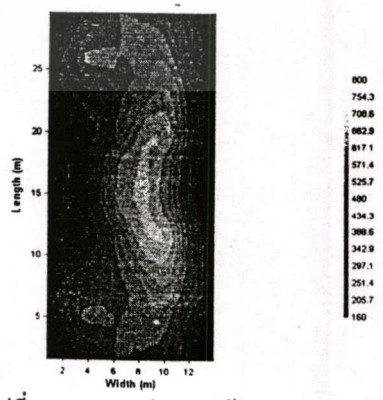
รูปที่ 3 การจัดวางโคมไฟในสนามเทนนิสแบบ 1 สนาม

ข้อกำหนดในการให้แสงสำหรับสนามเทนนิส (การแข่งขันสมัครเล่นระดับชาติ) คือ

1. $E_{h,ave} \geq 400$ lux , $U_1 \geq 0.3, U_0 \geq 0.5$
2. $GR_{max} \leq 50$

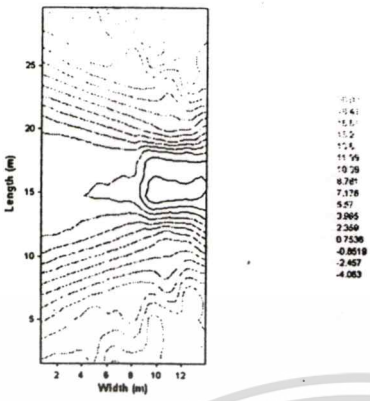


รูปที่ 4 ภาพแรงเงาค่าความส่องสว่างที่เกิดจากโคมทุกโคมส่องมาที่จุดสังเกตการณ์ (กล้องถ่ายโทรทัศน์)

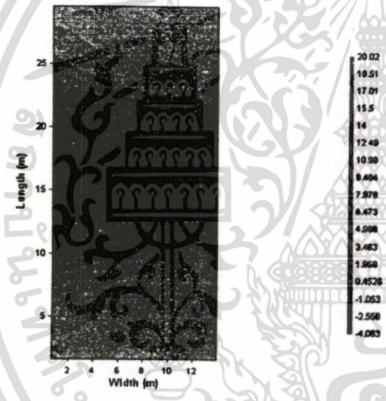


รูปที่ 5 ภาพแรงเงาค่าความเข้มแสง

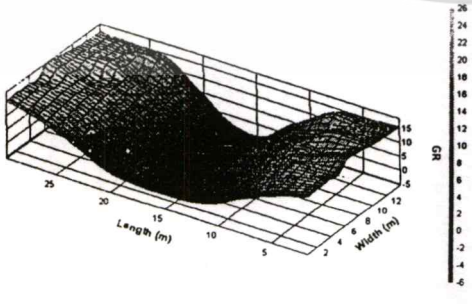
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 ภาพลายเส้นของพิกัดแสงจ้าจาก จุดสังเกตการณ์ (กล้องถ่ายโทรทัศน์)



รูปที่ 7 ภาพแรเงาของพิกัดแสงจ้าจาก จุดสังเกตการณ์ (กล้องถ่ายโทรทัศน์)



รูปที่ 8 ภาพ 3 มิติของพิกัดแสงจ้าจาก จุดสังเกตการณ์ (กล้องถ่ายโทรทัศน์)

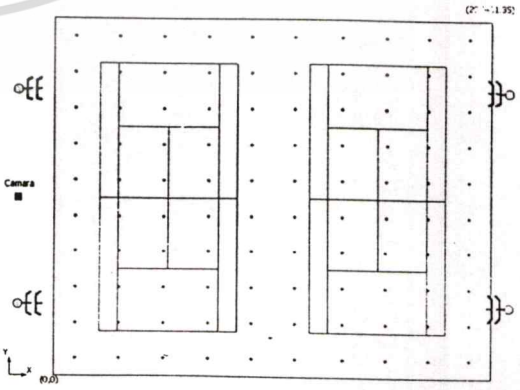
ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์	Max	Min	Ave	U_0	U_1
L_{vl}	0.41	0.05	0.197	-	-
L_{ve}	0.9	0.9	0.9	-	-
E_h	670.6	166.9	405.3	0.41	0.25
GR	18.62	-3.4	9.1	-	-

- ผลการ คำนวณพิกัดแสงจ้าแยงตาสูงสุด มีค่าเท่ากับ 18.62 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 50 จึงผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
- ผลการคำนวณ ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 405.3 ลักซ์ ค่าความสม่ำเสมอ U_0 เท่ากับ 0.41 และค่าความสม่ำเสมอ U_1เท่ากับ 0.25 ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานต้องทำการเพิ่มจำนวนโคม หรือเปลี่ยนจุดเสาและตำแหน่งของโคมไฟใหม่

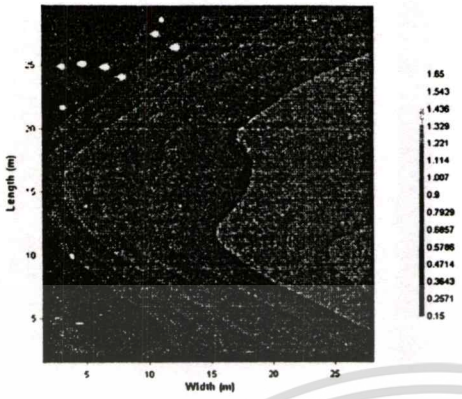
4.2 การทดสอบสนามเทนนิสแบบ 2 สนาม

พื้นที่ทดสอบเป็นสนามเทนนิสแบบ 2 สนาม ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ขนาดกว้าง 29.5 เมตร และยาว 31.35 เมตรติดตั้งโคมฉายสูง 11.5 เมตร จำนวน 4 เสา ๆละ 6 โคม (ϕ/lamp =85000 ลูเมน) และมีการกำหนดตำแหน่งติดตั้งกล้องถ่ายโทรทัศน์สำหรับถ่ายทอดการแข่งขันจำนวน 1 ตัว และใช้ลักซ์มิเตอร์ทำการวัดค่าความเข้มแสงจำนวน 100 จุด ดังแสดงในรูปที่ 9

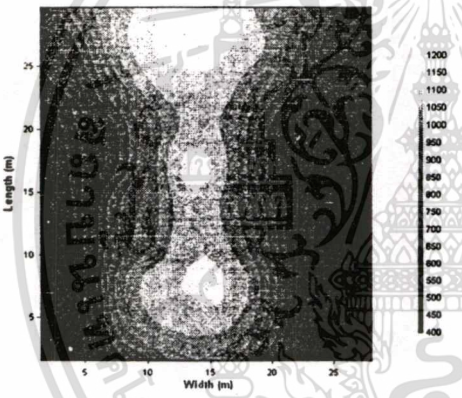


รูปที่ 9 การจัดวางโคมไฟในสนามเทนนิสแบบ 2 สนาม

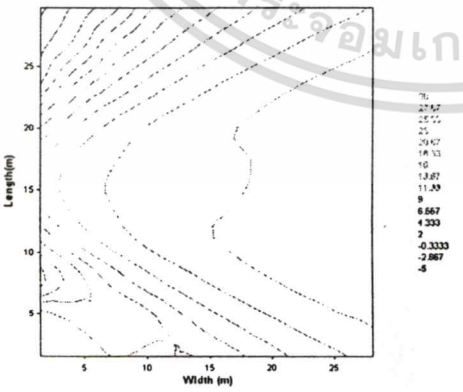
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



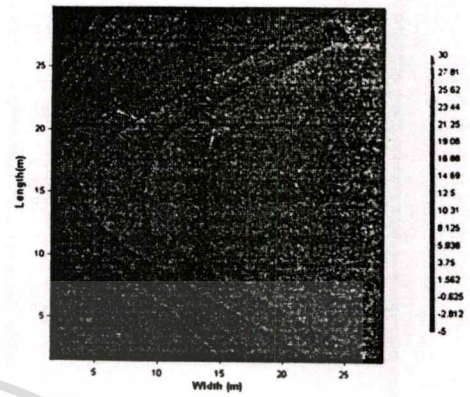
รูปที่ 10 ภาพแรเงาค่าความส่องสว่างที่เกิดจากโคมทุกโคมส่องมาที่จุดสังเกตการณ์ (กล้องถ่ายโทรทัศน์)



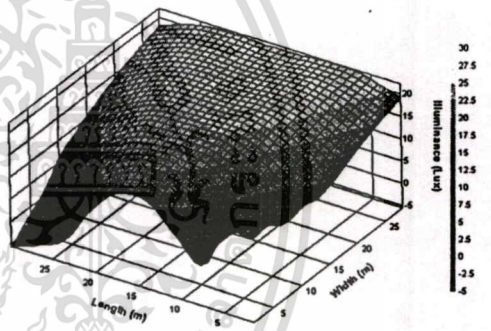
รูปที่ 11 ภาพแรเงาค่าความเข้มแสง



รูปที่ 12 ภาพลายเส้นของพิกัดแสงจ้าจากจุดสังเกตการณ์ (กล้องถ่ายโทรทัศน์)



รูปที่ 13 ภาพแรเงาของพิกัดแสงจ้าจากจุดสังเกตการณ์ (กล้องถ่ายโทรทัศน์)



รูปที่ 14 ภาพ 3 มิติของพิกัดแสงจ้าจากจุดสังเกตการณ์ (กล้องถ่ายโทรทัศน์)

ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์	Max	Min	Ave	U_0	U_1
L_{vl}	1.03	0.07	0.6394	-	-
L_{vc}	1.74	1.74	1.74	-	-
E_h	1134.9	386.43	781.6	0.49	0.34
GR	22.13	-5.61	15.72	-	-

- ผลการคำนวณ พิกัดแสงจ้าแยงตาสูงสุด มีค่าเท่ากับ 22.13 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 50 จึงผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการคำนวณ ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 781.6 ลักซ์ ค่าความสม่ำเสมอ U_0 เท่ากับ 0.49 และค่าความสม่ำเสมอ U_l เท่ากับ 0.34 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

จากสมการที่ 4 และผลการทดสอบทั้ง 2 สนาม จะเห็นได้ว่า จุดที่มีค่าความส่องสว่างที่เกิดจากโคมส่องมาที่จุดสังเกตการณ์ (กล้องถ่ายโทรทัศน์) สูง จะมีพิกัดแสงจ้าแยงตาสูงตามไปด้วย เนื่องจากว่า พิกัดแสงจ้าแยงตาขึ้นอยู่กับค่าความส่องสว่างที่เกิดจากโคมส่องมาที่จุดสังเกตการณ์ (กล้องถ่ายโทรทัศน์) และค่าความส่องสว่างที่เกิดจากการสะท้อนแสงของพื้นสนาม แต่จุดใดที่มีค่าความเข้มแสงสูงไม่จำเป็นจะต้องมีพิกัดแสงจ้าแยงตาสูงตามไปด้วย

5. สรุปผลการทดลอง

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเป็นการประเมินคุณภาพการส่องสว่างของไฟสนามกีฬาภายนอกอาคาร โดยคำนึงถึงความเข้มแสงเฉลี่ย ความสม่ำเสมอของค่าความเข้มแสง และพิกัดแสงจ้าแยงตา และแสดงผลในรูป 3 มิติ, ภาพลายเส้น , ภาพแรเงา ซึ่งทำให้ง่ายต่อการพิจารณา และการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยประเมินค่าความส่องสว่าง จะทำให้เกิดความสะดวก ถูกต้องแม่นยำ และยังประหยัดเวลาอีกด้วย โดยผลการประเมินที่ได้ จะเป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพการส่องสว่างของสนามนั้นๆต่อไป เพื่อให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ศุลี บรรจงจิตร. "วิศวกรรมการส่องสว่าง" บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2538

[2] ธีวินท์ จิตรสถาพร, นรา รัตน์นราทร, นฤป บุญศิริพันธ์, ธนิต ศิริปการ, "โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบแสงสว่าง (ดวงโคมฉาย)" ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543

[3] CIE112-1994, "Glare Evaluation System for Use Within Outdoor Sports and Area Lighting", CIE Technical Report

[4] CIE, "Photometry of Floodlights", Publication CIE N.43 (TC-2.4), 1979

[5] J.E. Kaufman, "IES Lighting Handbook" Illuminating Engineering Society, New York, 1981

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณค่าความเข้มแสงแต่ละจุดบนพื้นสนามกีฬาภายนอกอาคาร (สนามเทนนิส)

Computer Usage to Calculate Illuminance in Outdoor Sports (Tennis Court)

นวลวรรณ จิรวิวัฒนา จงรักษ์ บุญเส็ง

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการใช้คอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณค่าความเข้มแสงบนแต่ละจุดของพื้นสนามกีฬาภายนอกอาคาร และคำนวณค่าความเข้มแสงเฉลี่ย ค่าความสม่ำเสมอของความเข้มแสง (Illuminance Uniformity) โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน CIE ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมสามารถนำไปใช้พิจารณาปรับปรุงคุณภาพของการส่องสว่าง เพื่อให้ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย และค่าความสม่ำเสมอของความเข้มแสง ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ต่อไป

Abstract

This paper presents the aid of computer in calculating illuminance and illuminance uniformity based on the standard of CIE (International Commission On Illumination). The results from this program can use to modify lighting quality for illuminance and illuminance uniformity in acceptable standard value.

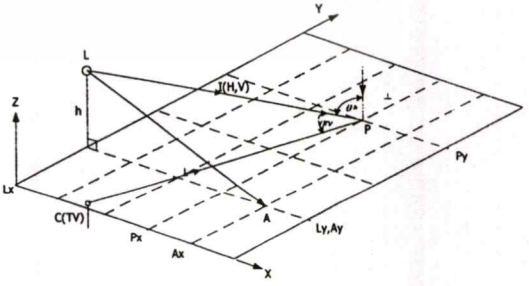
1. บทนำ

ในระบบส่องสว่างของไฟสนามกีฬาภายนอกอาคาร ปริมาณความเข้มของแสงและค่าความสม่ำเสมอของความเข้มแสง เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องคำนึงถึง เนื่องจากในกีฬาแต่ละประเภท จะมีมาตรฐานค่าความเข้มแสงเฉลี่ยและค่าความสม่ำเสมอของค่าความเข้มแสงที่แตกต่างกัน

การคำนวณแบบจุดต่อจุด (Point By Point) เป็นวิธีการคำนวณที่ให้ความละเอียด แม่นยำ เพราะสามารถคำนวณได้ทุกจุดที่ต้องการทราบค่าความเข้มแสง แต่จะต้องเวลาในการคำนวณมาก ดังนั้นการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาคำนวณ จึงทำให้เกิดความสะดวก รวดเร็ว และถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

2. ทฤษฎี

การคำนวณแบบจุดต่อจุด (Point by point) สามารถหาค่าความเข้มแสงในแนวราบได้ จากรูปที่ 1



รูปที่ 1 การคำนวณหาค่าความเข้มแสงในแนวราบและในแนวที่ตั้งฉากกับแนวมอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_h = \frac{I \cos\theta_h}{LP^2} \qquad (1)$$

E_h = ความเข้มแสงบนพื้นระนาบที่จุด P (ลักซ์)

I = ความเข้มส่องสว่าง (แคนเดลา)

θ_h = มุมระหว่างแนวแสงตกกระทบจุด P กับแนวดิ่ง

LP = ระยะห่างจากโคมถึงจุดที่ต้องการคำนวณ (เมตร)

และถ้ามีการติดตั้งกล้องเพื่อถ่ายทอดการแข่งขัน ก็จะต้องคำนวณค่าความเข้มแสงที่จุด P บนระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ดังสมการที่ 2

$$E_{TV} = \frac{I(H,V)\cos\theta_{TV}}{LP^2} \qquad (2)$$

และจากกฎของΔ

$$\cos\theta_{TV} = \frac{LP^2 + CP^2 - LC^2}{2xLPxCP}$$

θ_{TV} = มุมระหว่างแนวแสงตกกระทบจุด P กับแนวระหว่างจุดสังเกตการณ์กับจุด P

2.1 ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity)

การหาค่าความสม่ำเสมอของค่าความเข้มแสงสามารถหาได้จากสูตรที่ 3 และ 4

$$U_0 = \frac{E_{min}}{E_{av}} \qquad (3)$$

$$U_1 = \frac{E_{min}}{E_{max}} \qquad (4)$$

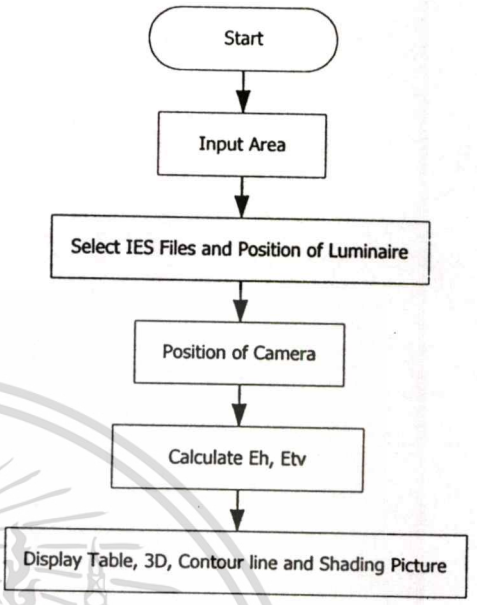
โดยที่ E_{min} = ค่าความเข้มแสงต่ำสุด (ลักซ์)

E_{max} = ค่าความเข้มแสงสูงสุด (ลักซ์)

E_{av} = ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย (ลักซ์)

3. การออกแบบโปรแกรม

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้ใช้ภาษา Visual Basic ในการเขียนโปรแกรมและแสดงผลในรูปของ ตารางตัวเลข กราฟ 3 มิติ, ภาพลายเส้น และรูปแรเงา โดยมีขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 2

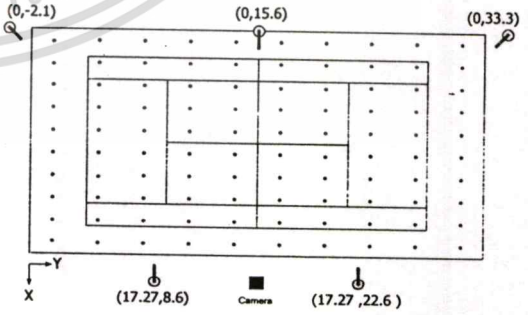


รูปที่ 2 โฟลว์ชาร์ทแสดงการทำงานของโปรแกรม

4. ผลการทดสอบโปรแกรม

4.1 การทดสอบสนามเทนนิสแบบ 1 สนาม

พื้นที่ทดสอบเป็นสนามเทนนิสแบบ 1 สนาม ของมหาวิทยาลัยชินวัตรขนาดกว้าง 14.6 เมตร และยาว 31.2 เมตรติดตั้งโคมฉายสูง 8 เมตร จำนวน 5 โคม (ϕ/lamp =80000 ลูเมน) และมีการกำหนดตำแหน่งติดตั้งกล้องถ่ายโทรทัศน์ สำหรับถ่ายทอดการแข่งขันจำนวน 1 ตัว และใช้ลักซ์มิเตอร์ทำการวัดค่าความเข้มแสงจำนวน 100 จุด ดังแสดงในรูปที่ 3

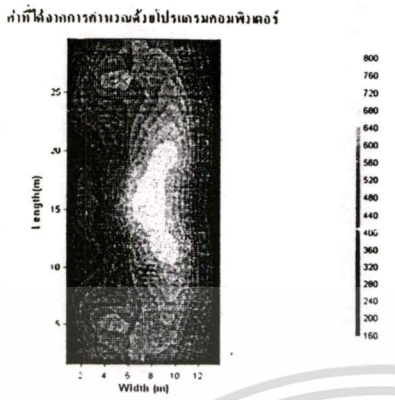


รูปที่ 3 การจัดวางโคมไฟในสนามเทนนิสแบบ 1 สนาม

ข้อกำหนดในการให้แสงสำหรับสนามเทนนิส (การแข่งขันสมัครเล่นระดับชาติ) คือ

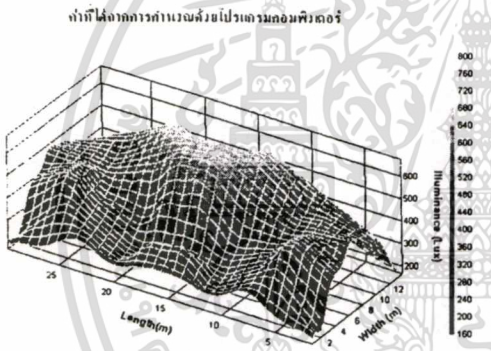
1. $E_{h,ave} \geq 400$ lux , $U_1 \geq 0.3, U_0 \geq 0.5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

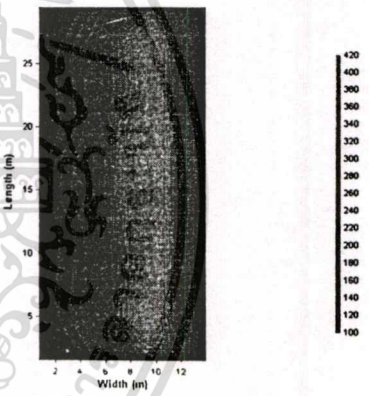


รูปที่ 4 ภาพแรเงาของความเข้มแสงในระนาบนอน
จากการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

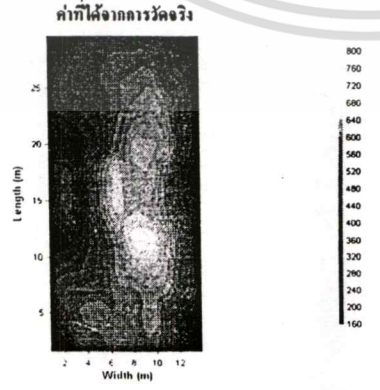
รูปที่ 7 ภาพ 3 มิติของความเข้มแสงในระนาบนอน
จากการวัดจริง



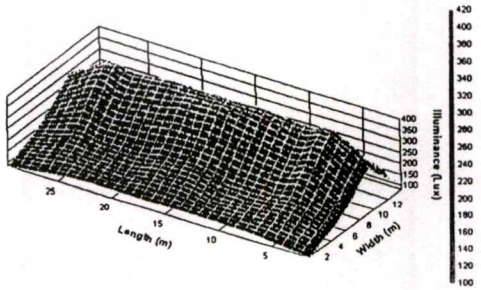
รูปที่ 5 ภาพ 3 มิติของความเข้มแสงในระนาบนอน
จากการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 8 ภาพแรเงาของความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉาก
กับแนวมองของผู้สังเกตการณ์ (กล้อง)



รูปที่ 6 ภาพแรเงาของความเข้มแสงในระนาบนอน
จากการวัดจริง



รูปที่ 9 ภาพ 3 มิติของความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉาก
กับแนวมองของผู้สังเกตการณ์ (กล้อง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

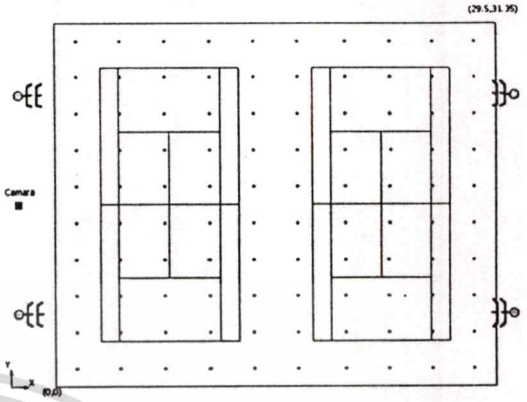
ตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์	Max	Min	Ave	U_0	U_1
E_h:วัดจริง (Lux)	652	148	385.8	0.38	0.23
E_h: คำนวณ (Lux)	670.6	166.9	405.3	0.41	0.25
E⊥C (Lux)	396.8	81.8	216.2	0.38	0.21

- ผลการคำนวณค่าความเข้มแสงในแนวราบเปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริง จะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยเท่ากับ 405.3 ลักซ์ ค่าความสม่ำเสมอ U_0 เท่ากับ 0.41 และค่าความสม่ำเสมอ U_1 เท่ากับ 0.25 ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานต้องทำการเพิ่มหรือเปลี่ยนจุดเล็งและตำแหน่งของโคมไฟใหม่
- ผลการคำนวณค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ (กล้องถ่ายโทรทัศน์) จะมีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยอยู่ที่ 216.2 ลักซ์ และมีค่าความสม่ำเสมอ U_0 เท่ากับ 0.38 และค่าความสม่ำเสมอ U_1 เท่ากับ 0.21

4.2 การทดสอบสนามเทนนิสแบบ 2 สนาม

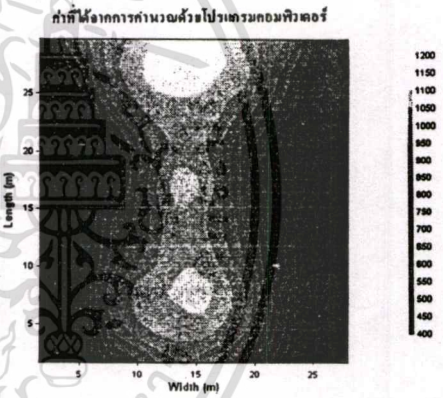
พื้นที่ทดสอบเป็นสนามเทนนิสแบบ 2 สนาม ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ขนาดกว้าง 29.5 เมตร และยาว 31.35 เมตรติดตั้งโคมฉายสูง 11.5 เมตร จำนวน 4 เสา ๆละ 6 โคม (ϕ /lamp =85000 ลูเมน) และมีการกำหนดตำแหน่งติดตั้งกล้องถ่ายโทรทัศน์สำหรับถ่ายทอดการแข่งขันจำนวน 1 ตัว และใช้ลักซ์มิเตอร์ทำการวัดค่าความเข้มแสงจำนวน 100 จุด ดังแสดงในรูปที่ 10



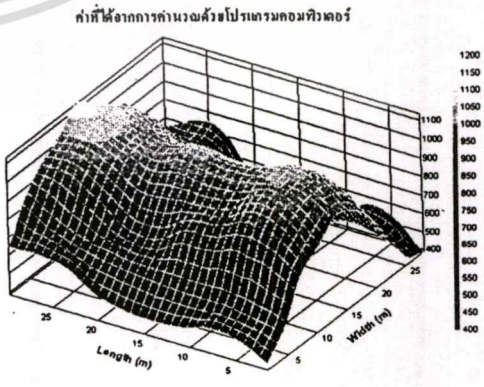
รูปที่ 10 การจัดวางโคมไฟในสนามเทนนิสแบบ2สนาม

ข้อกำหนดในการให้แสงสำหรับสนามเทนนิส (การแข่งขันสมัครเล่นระดับชาติ) คือ

1. $E_{h,ave} \geq 400$ lux , $U_1 \geq 0.3, U_0 \geq 0.5$

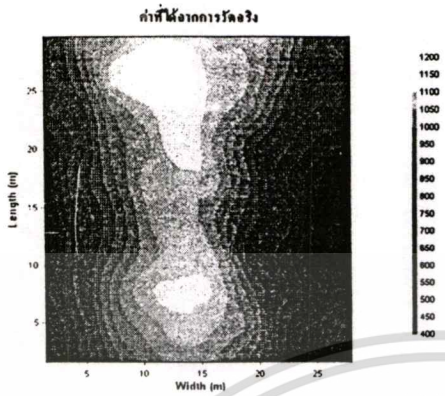


รูปที่ 11 ภาพแรเงาของความเข้มแสงในระนาบนอนจากการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

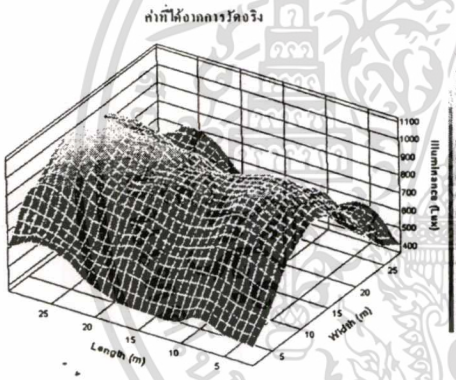


รูปที่ 12 ภาพ 3 มิติของความเข้มแสงในระนาบนอนจากการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

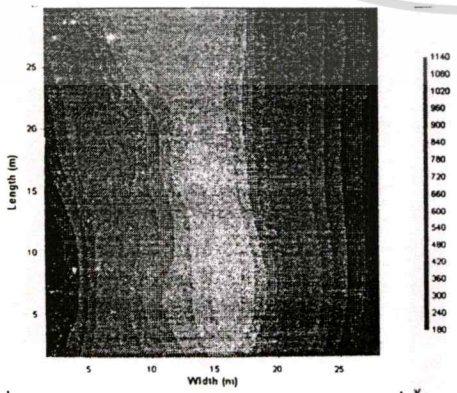
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



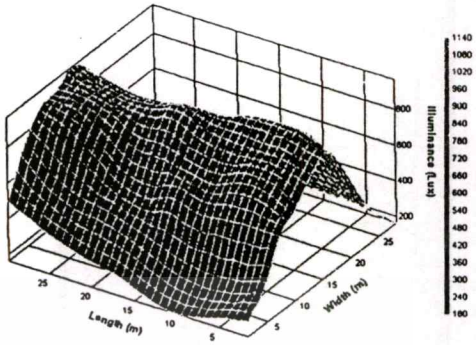
รูปที่ 13 ภาพแรเงาของความเข้มแสงในระนาบนอนจากการวัดจริง



รูปที่ 14 ภาพ 3 มิติของความเข้มแสงในระนาบนอนจากการวัดจริง



รูปที่ 15 ภาพแรเงาของความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวมองของผู้สังเกตการณ์ (กล้อง)



รูปที่ 16 ภาพ 3 มิติของความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวมองของผู้สังเกตการณ์ (กล้อง)

ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์	Max	Min	Ave	U_0	U_1
E_h:วัดจริง (Lux)	1110	365	761.8	0.48	0.33
E_h: คำนวณ (Lux)	1134.9	386.4	781.6	0.49	0.34
E⊥C (Lux)	963.84	165.6	558.3	0.3	0.17

- ผลการคำนวณค่าความเข้มแสงในแนวราบเปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริง จะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยเท่ากับ 781.6 ลักซ์ ค่าความสม่ำเสมอ U_0 เท่ากับ 0.49 และค่าความสม่ำเสมอ U_1 เท่ากับ 0.34 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
- ผลการคำนวณค่าความเข้มแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวสังเกตการณ์ (กล้องถ่ายโทรทัศน์) จะมีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยอยู่ที่ 558.3 ลักซ์ และมีค่าความสม่ำเสมอ U_0 เท่ากับ 0.3 และค่าความสม่ำเสมอ U_1 เท่ากับ 0.17

5. สรุปผลการทดลอง

จากการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงจากการวัดจริงและค่าความเข้มแสงที่คำนวณได้จากโปรแกรม จะเห็นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่ามีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 10% ซึ่งอาจเกิดจากความสกปรกของโคมไฟ การเสื่อมของหลอดไฟ หรือความผิดพลาดจากเครื่องมือวัด ดังนั้นจากผลการทดลองสามารถนำโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้มาประเมินหาปริมาณค่าความเข้มแสงเฉลี่ยว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกีฬานั้นๆ หรือไม่ ซึ่งหากค่าที่ได้ต่ำกว่ามาตรฐาน ก็สามารถทดลองเพิ่มจำนวนโคมหรือปรับจุดเล็งใหม่ในโปรแกรม จนกว่าจะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แล้วจึงทำการติดตั้งจำนวนโคมเพิ่มขึ้น หรือปรับจุดเล็งของโคมใหม่

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยชินวัตร และ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่สนามเทนนิสในการวัดค่าความเข้มแสง

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ศุลี บรรจงจิตร. "วิศวกรรมการส่องสว่าง". บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2538

[2] ธีวินท์ จิตรสถาพร, นรา รัตน์นราทร, นฤป บุญศิริพันธ์, ธนิต ศิริปการ. "โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบแสงสว่าง (ดวงโคมฉาย)". ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543

[3] CIE, "Photometry of Floodlights", Publication CIE N.43 (TC-2.4), 1979

[4] J.E. Kaufman, "IES Lighting Handbook" Illuminating Engineering Society, New York, 1981

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวนวลวรรณ จิรวิวัฒนา เกิดเมื่อวันที่ 22 กันยายน 2518 ที่จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (ไฟฟ้า) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้