การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบระบบแสงสว่าง

COMPUTER AIDS FOR LIGHTING DESIGN

พิศณุ วริวารนันท์

Pissanu Wariwaranun

อัครพล ทัศนเศรษฐ

Akapon Tasanaset

อาจารย์ที่ปรึกษา

ร.ศ.ศุลี บรรจงจิตร

Sulee Banjongit

(Associate Professor)

B.Eng.(KMITT),M.Eng.(KMITL)

ปริญญานิพนธ์นี้สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2532

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2532

ภาควิชาไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบระบบแสงสว่าง

COMPUTER AIDS FOR LIGHTING DESIGN

ผู้จัดทำ

พิศณุ วริวารนันท์

อัครพล ทัศนเศรษฐ

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ร.ศ.ศุลี บรรจงจิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

026967

22 พ.ย. 2533

การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบระบบแสงสว่าง

พิศณุ วริวาวนันท์ 29.1151
อัครพล ทัศนเศรษฐ 29.1296

ว.ศ. ศุลี บรรจงจิตร อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2532

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นเรื่องเกี่ยวกับการออกแบบระบบแสงสว่าง โดยแบ่งงานออกเป็น 2 ส่วน บทที่ 1 และบทที่ 2 เป็นเรื่องการออกแบบไฟส่องพื้นที่ยึดหลักของ IES. ขั้นตอนต่างๆจะใช้คอมพิวเตอร์ช่วยเพื่อความสะดวกและถูกต้อง และส่วนท้ายสุดของการทำงานจะแสดงผลของค่าระดับความสว่างออกมาในรูปกราฟ 3 มิติ เพื่อพิจารณาถึงผลต่อไป

บทที่ 3 และบทที่ 4 เป็นการออกแบบด้วยคอมพิเตอร์เช่นกัน แต่เป็นการออกแบบเกี่ยวกับตัวสะท้อนแสงซึ่งเป็นอุปกรณ์ภายในของดวงโคม เป็นการศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบของและลักษณะการกระจายแสงต่างๆของตัวสะท้อนแสง หลังจากนั้นจึงนำหลักการมาออกแบบรูปร่างของตัวสะท้อนแสง เพื่อให้สามารถใช้งานได้ตามจุดประสงค์ที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPUTER AIDS FOR LIGHTING DESIGN

Pissanu Wariwaranun 29.1151

Akapon Tasanasel. 29.1296

Sulee Banjongit ..Adviser

(Associate Professor)

Abstract

In this thesis describe on Lighting Design. It has 2 section , chapter 1 and 2 concern with Floodlight Design based on IES. Its process use computer to calculate for convenient and accuracy. Ultimately , this process will show its result in 3-Dimension graphics.

Similar to chapter 1 and 2, chapter 3 and 4 use computer for help too , but concern with Luminaires' equipment, Reflector, research in any shapes and any cases of light. Later , determines and designs its shape in order to use effectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อ		
บทที่ 1	ไฟส่องพื้นที่ (FLOODLIGHTING)	1
	1.1 ขั้นตอนในการออกแบบไฟส่องพื้นที่ (FLOODLIGHTING DESIGN PROCFDURE)	1
	1.2 การประยุกต์ใช้ไฟส่องพื้นที่ในงานด้านต่างๆ	3
บทที่ 2	การคำนวณไฟส่องพื้นที่ (FLOODLIGHTING CALCULATIONS)	8
	2.1 The Beam-Lumen Method for Floodlights	8
	2.2 การคำนวณด้วยวิธีจุดต่อจุด (Point by Point Method)	21
	2.3 ตัวอย่างการออกแบบ	25
บทที่ 3	การออกแบบแสงสว่าง	32
	3.1 ดวงโคม (Luminaire)	32
	3.2 ส่วนประกอบโดยทั่วไปของดวงโคม	33
	3.3 ระบบของตัวสะท้อนแสง (reflector system)	35
	3.4 ระบบของตัวหักเหแสง (refractor system)	38
บทที่ 4	การออกแบบตัวสะท้อนแสง	41
	4.1 รูปแบบการสะท้อนแสงของตัวสะท้อนแสง	41
	4.2 ตัวสะท้อนแสงแบบสะท้อนกลับ	43
	4.3 ตัวสะท้อนแสงแบบสะท้อนไป	45
บทสรุป		
ภาคผนวกที่ 1		
ภาคผนวกที่ 2		
ภาคผนวกที่ 3		
กิตติกรรมประกาศ		
บรรณานุกรม		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
คำนำ		
บทคัดย่อ		
บทที่ 1	ไฟส่องพื้นที่ (FLOODLIGHTING)	1
	1.1 ขั้นตอนในการออกแบบไฟส่องพื้นที่ (FLOODLIGHTING DESIGN PROCEDURE)	1
	1.2 การประยุกต์ใช้ไฟส่องพื้นที่ในงานด้านต่างๆ	3
บทที่ 2	การคำนวณไฟส่องพื้นที่ (FLOODLIGHTIG CALCULATIONS)	8
	2.1 The Beam-Lumen Method for Floodlights	8
	2.2 การคำนวณด้วยวิธีจุดต่อจุด (Point by Point Method)	21
	2.3 ตัวอย่างการออกแบบ	25
บทที่ 3	การออกแบบแสงสว่าง	32
	3.1 ดวงโคม (Luminaire)	32
	3.2 ส่วนประกอบโดยทั่วไปของดวงโคม	33
	3.3 ระบบของตัวสะท้อนแสง (reflector system)	35
	3.4 ระบบของตัวหักเหแสง (refractor system)	38
บทที่ 4	การออกแบบตัวสะท้อนแสง	41
	4.1 รูปแบบการสะท้อนแสงของตัวสะท้อนแสง	41
	4.2 ตัวสะท้อนแสงแบบสะท้อนกลับ	43
	4.3 ตัวสะท้อนแสงแบบสะท้อนไป	45
ภาคผนวกที่ 1		
ภาคผนวกที่ 2		
ภาคผนวกที่ 3		
บรรณานุกรม		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

บทที่ 1 ไฟส่องพื้นที่

รูปที่ 1.1-1.5 แสดงความสวยงามของตึกอาคารและอนุสาวรีย์เนื่องจากการใช้ไฟส่องพื้นที่ 4-6

บทที่ 2 การคำนวณไฟส่องพื้นที่

รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างข้อมูลทางแสงของโคมไฟส่อง 15

2.2 Procedure for determining the coefficient of beam utilization for floodlight lighting 17

2.3-2.4 แสดงตัวอย่างการเลือกโคมไฟส่องให้มีความกว้างของลำแสงเหมาะกับพื้นที่ 18

2.5 แสดงความสัมพันธ์เชิงเรขาคณิตของตำแหน่งดวงโคม จุดเล็งและจุดที่ต้องการหาค่าความสว่าง 22

2.6 ขั้นตอนการคำนวณค่าความสว่างด้วยวิธีจุดต่อจุด 24

2.7 กราฟที่ใช้หาค่าวัตต์ต่อตารางเมตร เมื่อกำหนดค่าความสว่างให้ 25

2.8 แสดงตัวอย่างพื้นที่ที่ใช้ในการคำนวณ 26

2.9 แสดงตัวอย่างการติดตั้งดวงโคมเพื่อให้แสงสว่างบนพื้นที่ขนาดใหญ่ 27

2.10 แสดงการลงตำแหน่งของจุดต่างๆลงบนข้อมูลทางแสงของดวงโคมเพื่อใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของลำแสงและความสว่าง 29

2.11 แสดงตัวอย่างรูปกราฟ 3 มิติของค่าความสว่าง 31

บทที่ 3 การออกแบบแสงสว่าง

รูปที่ 3.1 การกระจายแสงของโคมไฟแบบคัทออฟ 32

3.2 การกระจายแสงของโคมไฟแบบเซมิคัทออฟ 33

3.3 อุปกรณ์ภายในดวงโคม 34

3.4 การทำงานของดวงโคม 34

3.5 รูปแบบพื้นฐานของตัวสะท้อนแสง 35

3.6 ความแตกต่างของการกระจายแสง 35

3.7 ตัวสะท้อนแสงแบบพาราโบลา 36

3.8 ตัวสะท้อนแสงแบบวงรี 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 ตัวสะท้อนแสงแบบไฮเปอร์โบลา 37
3.10 การหักเหแสง 38
3.11 การหักเหโดยปริซึม 39
3.12 จุดมืดของการหักเหของปริซึม 39
3.13 ลักษณะของตัวหักเหแสงแบบปริซึม 40
บทที่ 4 การออกแบบตัวสะท้อนแสง
รูปที่ 4.1 ข้อกำหนดเบื้องต้นของตัวสะท้อนแสง 41
4.2 เสาและตวงโคม 42
4.3 การสะท้อนกลับ 42
4.4 การสะท้อนไป 43
4.5 ตัวสะท้อนแสงแบบสะท้อนกลับ 43
4.6 การออกแบบช่วงแรกของตัวสะท้อนแสงแบบสะท้อนกลับ 44
4.7 ตัวสะท้อนแสงแบบสะท้อนไป 45
4.8 การออกแบบช่วงแรกของตัวสะท้อนแสงแบบสะท้อนไป 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

บทที่ 1 ไฟส่องพื้นที่

ตารางที่ 1.1 Data on Typical Floodlight Equipment 2

1.2 Approximate Beam Spreads of Typical Floodlights 2

1.3 NEMA Floodlight Classification System 3

1.4 Approximate Performance 1,000 and 1,500 watts Lamps 7

บทที่ 2 การคำนวณไฟส่องพื้นที่

ตารางที่ 2.1 แสดงค่ามาตรฐานของงานภายนอกอาคาร 9

2.2 แสดงค่า LLD ของหลอดบางชนิด 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
ไฟส่องพื้นที่
(FLOODLIGHTING)

ในปัจจุบันเราใช้ประโยชน์จากไฟส่องพื้นที่ในงานด้านต่างๆมากมาย ทั้งในด้านการตกแต่งอาคารสถานที่ การโฆษณา การจราจร การปกป้องรักษาทรัพย์สินในยามค่ำคืน ให้แสงสว่างในสนามกีฬา สวนสาธารณะ และสถานที่พักผ่อนหย่อนใจต่างๆเป็นต้น

สำหรับในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบและการประยุกต์ใช้ไฟส่องพื้นที่ภายนอกอาคารในงานต่างๆ

1.1 ขั้นตอนในการออกแบบไฟส่องพื้นที่ (FLOODLIGHTING DESIGN PROCEDURE)

ขั้นตอนที่จะช่วยพิจารณาในการออกแบบและติดตั้งไฟส่องพื้นที่ประกอบด้วย

1. กำหนดวัตถุประสงค์ว่าจะใช้งานเพื่อประโยชน์ด้านใด เช่น ตกแต่งเพื่อความสวยงาม ซึ่งต้องกำหนดลงไปด้วยว่าจะให้สวยงามอย่างไร เป็นต้น
2. พิจารณาถึงข้อมูลต่างๆในการใช้งาน เช่น เวลาที่ใช้งาน(operating times) และข้อจำกัดทางไฟฟ้าอื่นๆ
3. กำหนดจุดที่จะติดตั้งดวงโคมไฟส่องพื้นที่ โดยที่ตำแหน่งในการติดตั้งขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดพื้นที่ของงานตลอดจนสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น ในพื้นที่ขนาดใหญ่จะติดตั้งโคมไฟส่องพื้นที่ที่ตำแหน่งต่างๆกระจายทั่วพื้นที่ ส่วนในพื้นที่ขนาดเล็กอาจติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งเดียวก็ได้ ซึ่งจะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมต่างๆเป็นสำคัญ เช่น ความสะดวกในการควบคุม การป้องกันแสงบาดตา(glare) เป็นต้น
4. กำหนดค่าความสว่างที่ต้องการ ซึ่งในงานต่างๆจะต้องการระดับแสงสว่างต่างกัน
5. เลือกอุปกรณ์ต่างๆ เช่น โคมไฟและชุดควบคุมต่างๆ สำหรับโคมไฟส่องพื้นที่สามารถใช้ทั้งชนิด enclosed floodlights และ open floodlights แต่โดยปกติแล้วจะนิยมใช้ดวงโคมชนิด enclosed floodlights เพราะดวงโคมชนิดนี้สามารถรักษาประสิทธิภาพในการรักษาแสงสว่างได้นานกว่า และสามารถควบคุมลำแสงได้ดีกว่าถึงแม้ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งครั้งแรกจะมากกว่า แต่ในระยะยาวแล้วสามารถประหยัดได้มากกว่า ข้อมูลของดวงโคมไฟส่องพื้นที่ชนิดต่างๆได้แสดงตามตารางที่ 1.1 ถึง 1.3
6. คำนวณหาจำนวนโคมไฟ ค่าวัตต์ของหลอดไฟและจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมต่างๆ
7. ตรวจสอบความสว่างว่าครอบคลุมตลอดพื้นที่หรือไม่ และพิจารณาความสม่ำเสมอของแสงสว่าง
8. จัดขั้นตอนสำหรับการทำงานและบำรุงรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ตรวจสอบระบบทั้งหมดว่าได้มาตรฐานหรือไม่

ตารางที่ 1.1 Data on Typical Floodlight Equipment

Floodlight	Advantages	Lamp	Beam spread[a]	Typical beam lumens		
				500-watt	1,000-watt	1,500-watt
Heavy duty or general purpose	Good light control, weathertight, adaptable to wide variety of applications, easy to maintain	Floodlight service	Type 1	3,000	6,600	10,500
		Floodlight or clear general service	Type 2	3,200	8,000	13,500
			Type 3	3,600	8,500	15,000
			Type 4	4,200	10,000	16,000
		Clear general service	Type 5	5,200	11,000	18,000
				1,000-watt		1,500-watt
Ground area enclosed	Good light control; weathertight; easily serviced, good lamp burning position; high efficiency	Clear general service	Type 2	9,000		14,000
			Type 3	10,000		16,000
			Type 4	11,500		18,000
			Type 5	12,000		19,000
			Type 6	12,000		19,000
				1,000-watt		1,500-watt
Ground area open	Light weight, good lamp burning position, low initial cost	Clear general service	Type 4	8,500		13,000
			Type 5	12,000		19,000
			Type 6	15,000		23,000
				75-watt	150-watt	300-watt
Projector or reflector lamp	Low cost, small size, low maintenance cost	PAR-38 spot PAR-38 flood R-40 spot[b] R-40 flood[b]	Type 3	450	1,200	
			Type 4	550	1,500	
			Type 5			3,200
			Type 6			3,200

[a] For classification of beam spreads by Type, see the following table.
[b] Hard glass lamp.

ตารางที่ 1.2 Approximate Beam Spreads of Typical Flooodlights

Lamp type	Enclosed floodlights						Open floodlights
	Narrow-beam			Wide-beam			
	Plain lens	Stippled lens	Med.-spread lens	Plain lens	Stippled lens	Wide-spread lens	
General-purpose Floodlights							
General service...	30 × 30° Type 3	60 × 60° Type 4	35 × 60° Type 3	80 × 80° Type 5	100 × 100° Type 6	85 × 130° Type 5	45 × 45° to 150 × 150° Types 3–6
Heavy-duty Floodlights							
General service....	25 × 25° Type 2	55 × 55° Type 4	25 × 50° Type 2	85 × 85° Type 5	95 × 95° Type 6	85 × 130[b] Type 5	
Floodlight service	15 × 15° Type 1	45 × 45° Type 3	20 × 45° Type 1				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.3 NEMA Floodlight Classification System

Type	Beam spread, average of vertical and horizontal spread for approximately symmetrical units, deg	Enclosed general purpose		Open porcelain enameled	
		Group A, diam less than 17 in.	Group B, diam 17 in. and over	Group C, without auxiliary reflector	Group D, with auxiliary reflector
		Minimum beam efficiency, per cent			
1	10 to less than 18	34	35		
2	18 to less than 29	36	36		
3	29 to less than 46	39	45		
4	46 to less than 70	42	50	...	35
5	70 to less than 100	46	50	...	40
6	100 and over	...	...	55	60

For a floodlight with an elliptical-spread lens, the type is determined by the spread of the minor axis. The lens is designated as medium-spread if it increases the spread in one plane 20 to 40 deg and wide-spread if it increases it 40 deg or more.

1.2 การประยุกต์ใช้ไฟส่องพื้นที่ในงานด้านต่างๆ

สถานที่ที่พบเห็นบ่อยๆในการใช้ไฟส่องพื้นที่ ได้แก่ ตึกอาคารและอนุสาวรีย์ สถานที่ก่อสร้างและสนามกีฬา ซึ่งจะมีวัตถุประสงค์และวิธีการต่างกันไป

1.2.1 ตึกอาคารและอนุสาวรีย์ (Buildings and Monuments)

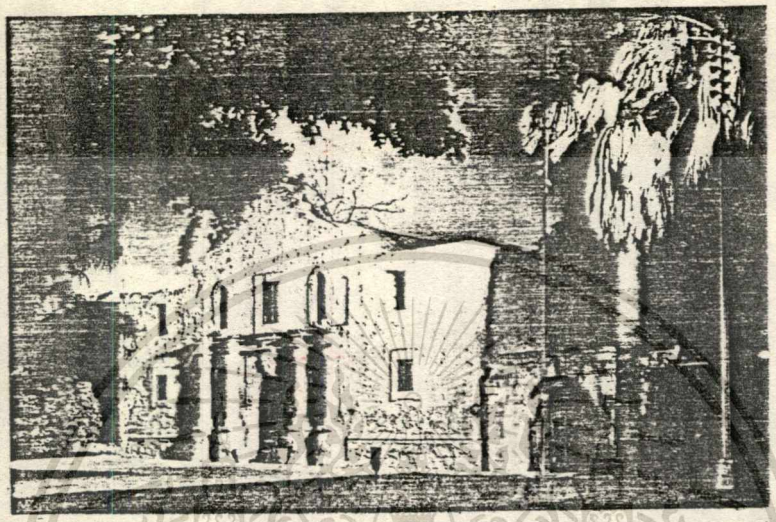
จุดมุ่งหมายที่สำคัญในการใช้ไฟส่องพื้นที่สำหรับตึกอาคารและอนุสาวรีย์ก็เพื่อตกแต่งให้สวยงาม ซึ่งรายละเอียดในการออกแบบจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของตัวอาคารและอนุสาวรีย์ ตัวอย่างเช่น อาคารที่ไม่มีลวดลายทางสถาปัตยกรรมเด่นเป็นพิเศษ จะติดตั้งโคมไฟไว้ที่พื้นดินหรือบนเสาโดยเล็งให้ลำแสงส่องไปยังส่วนบนของตัวอาคารจะทำให้ตัวอาคารนั้นเด่นขึ้นมาได้ เพราะการให้แสงในลักษณะนี้ช่วยให้มองเห็นภาพตัวอาคารสูงกว่าความเป็นจริง ส่วนอาคารที่มีลวดลายทางสถาปัตยกรรมเด่นเป็นพิเศษนั้นมักจะติดตั้งโคมไฟส่องไว้บนยอดของตัวอาคารเพื่อให้แสงสาดลงมาจากส่วนบนของตัวอาคาร ทำให้เกิดเงาเนื่องจากลวดลายทางสถาปัตยกรรมบนตัวอาคารซึ่งจะเป็นการเน้นให้เด่นชัดกว่าส่วนอื่นๆของอาคาร และอาจทำให้เด่นชัดขึ้นอีกโดยใช้แสงไฟที่มีสีต่างๆกันออกไป

สำหรับการใช้โคมไฟส่องเพื่อตกแต่งรูปปั้นและอนุสาวรีย์จะต้องระมัดระวังไม่ให้แสงจากโคมไฟส่องไปทำให้ภาพของรูปปั้นและอนุสาวรีย์ที่มองเห็นมีรูปร่างและความสวยงามเชิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

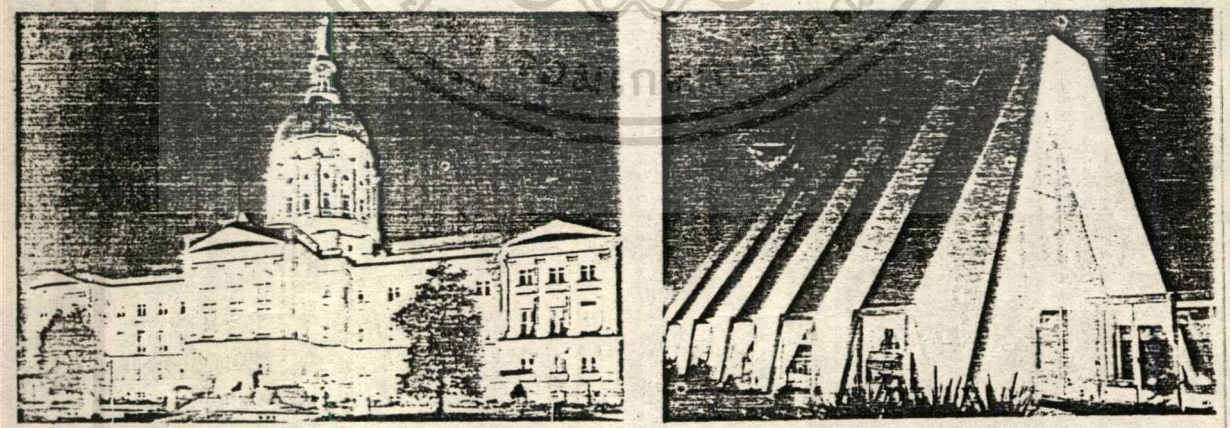
ประติมากรรมผิดเพี้ยนไป

รูปที่ 1.1 ถึง 1.5 แสดงความสวยงามของตึกอาคารและอนุสาวรีย์เนื่องจากการใช้ไฟส่องพื้นที่ตกแต่ง



Key lighting from a single location in front and to the side reveals character of masonry and produces dramatic light and shadow.

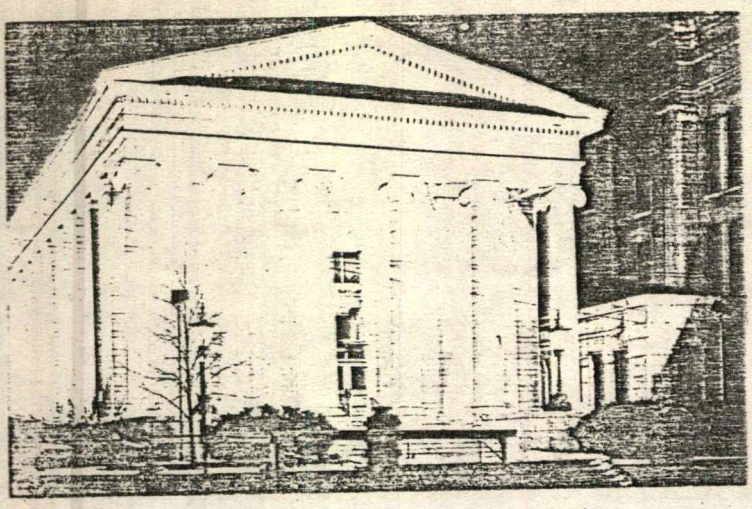
รูปที่ 1.1



Two examples of ground-mounted floodlighting. High pressure sodium floodlighting, on the left, produces essentially a uniform brightness pattern over the entire surface of a large building. On the right, architectural treatment is reenforced with a single floodlight per bay, producing a regular pattern which predominates when seen from a distance. Masonry texture becomes important for close viewing.

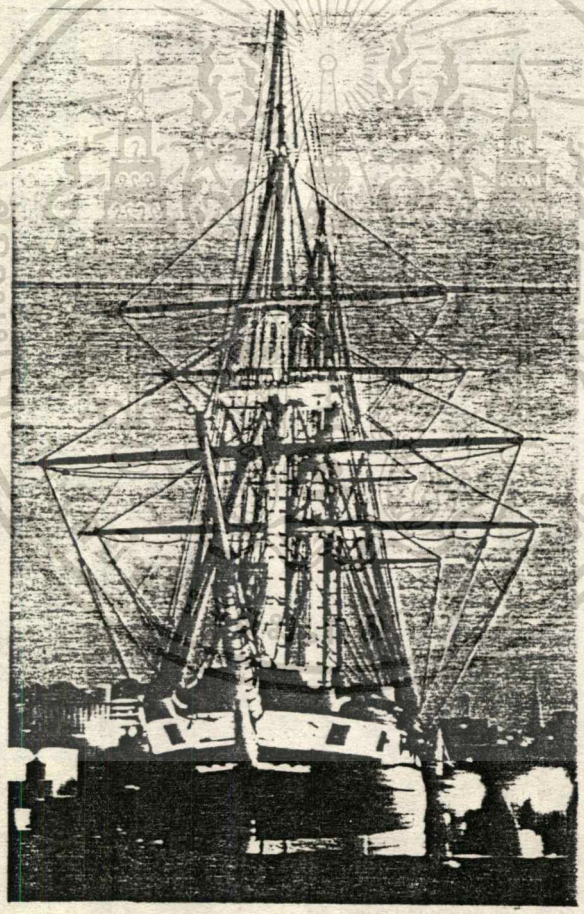
รูปที่ 1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



The cool color effect of metal halide lamps, pole-mounted to light the front and ground-mounted to light the sides, is contrasted with the warmth of tungsten-halogen lamps lighting the portico from the ceiling behind the columns.

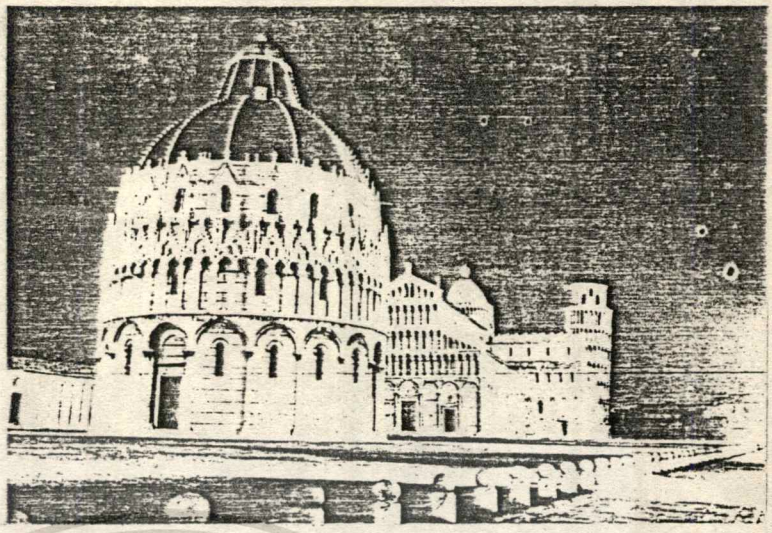
รูปที่ 1.3



The frigate Constellation, a national historical monument, is lighted by tungsten-halogen floodlights of various beam spreads, mounted on the mooring dolphins and aimed upward.

รูปที่ 1.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



A natural daylight appearance is achieved at night at the Piazza dei Miracoli in Piza by use of strategically placed metal halide equipped floodlights.

รูปที่ 1.5

1.2.2 สถานที่ก่อสร้าง (Construction Area)

จุดประสงค์ในการใช้ไฟส่องพื้นที่ในสถานที่ก่อสร้าง ก็เพื่อให้เกิดความสว่างเพียงพอที่จะช่วยให้การปฏิบัติงานเป็นไปด้วยความสะดวก ซึ่งโดยปกติเราจะใช้โคมไฟส่องขนาด 1500 วัตต์ 1 ดวง หรือ 1000 วัตต์ 2 ดวง หรือ 500 วัตต์ 3 ดวง ต่อพื้นที่ของสถานที่ก่อสร้างประมาณ 1000 ถึง 2000 ตารางฟุต โดยจะติดตั้งโคมไฟส่องไว้ที่ความสูง 40 ถึง 70 ฟุต เหนือพื้นดิน เพื่อให้แสงสว่างจากโคมไฟส่องกระจายครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด

1.2.3 ไฟสำหรับสนามกีฬา (Sports lighting)

ระดับความสว่างที่ใช้ในสนามกีฬาขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ประเภทของกีฬาซึ่งเกี่ยวพันถึงความเร็วของเกมส์ที่ใช้ในการแข่งขัน ความชำนาญของนักกีฬา ฯลฯ นอกจากนั้นยังต้องคำนึงถึง จำนวนผู้ชม ระยะจากสนามถึงผู้ชม และที่สำคัญต้องคำนึงถึงความประหยัดทางเศรษฐกิจอีกด้วย

ปกติแล้วสนามกีฬาที่ใช้ไฟน้อยกว่า 500 ชั่วโมงต่อปีนั้นเพื่อความประหยัดมักจะใช้หลอดไฟที่มีอายุการใช้งานสั้นหรืออาจใช้หลอดไฟที่มีอายุการใช้งานมาตรฐาน แต่จะใช้กับแรงดันเกินพิกัดที่กำหนดไว้สำหรับหลอดไฟ (เช่น ถ้าระบบไฟที่ใช้เป็น 220 โวลท์เราก็จะใช้หลอดไฟที่มีพิกัดแรงดัน 210 โวลท์) ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายทางไฟฟ้า(power cost) และลดจำนวนหลอดไฟลงด้วย และสนามกีฬาที่ใช้ไฟน้อยกว่า 200 ชั่วโมงต่อปี ควรใช้แรงดันเกินพิกัดประมาณ 10% และสนามกีฬาที่ใช้ไฟระหว่าง 200 ถึง 500 ชั่วโมงต่อปี ควรใช้แรงดันเกินพิกัดประมาณ 5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.4 แสดงข้อมูลของโคมไฟขนาด 1000 และ 1500 วัตต์ เมื่อใช้ที่พิกัดแรงดันต่างๆ

ตารางที่14 Approximate Performance

1,000 and 1,500 watts lamps

Volatge	Light	Lamp life
Rated	100%	100%
5% over rated	117%	50%
10% over rated	135%	30%

สำหรับรายละเอียดในการติดตั้งไฟส่องพื้นที่ในสนามกีฬาประเภทต่างๆได้ถูกกำหนดไว้แล้วตามมาตรฐานของ IES และ NEMA ดังแสดงตามตารางในภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
การคำนวณไฟส่องพื้นที่
(FLOODLIGHTING CALCULATIONS)

การคำนวณไฟส่องพื้นที่นั้นมีวิธีการที่นิยมใช้กันอยู่ 2 วิธีคือ วิธีจุดต่อจุด(point by point method) และ beam-lumen method วิธีจุดต่อจุดสามารถคำนวณหาค่าความสว่าง ณ.จุดใดๆบนพื้นที่ได้ ทำให้สามารถตรวจสอบความสม่ำเสมอของความสว่างบนพื้นที่ได้ และสามารถระบุได้ว่า ณ.จุดใดบนพื้นที่มีความสว่างสูงสุดหรือต่ำสุด ส่วน beam-lumen method นั้นใช้สำหรับคำนวณหาค่าความสว่างเฉลี่ยตลอดพื้นที่ซึ่งไม่สามารถระบุค่าความสว่างสูงสุดหรือต่ำสุด และไม่สามารถตรวจสอบความสม่ำเสมอของความสว่างได้

2.1 The Beam-Lumen Method for Floodlights

สมการพื้นฐานของการคำนวณ คือ

$$E = (N * BL * CBU * LLF)/A \qquad (2.1)$$

เมื่อ E คือ Illuminance (Average Maintained);luxs
(ความสว่างเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาที่ใช้งาน)

N คือ Quantity of Floodlights
(จำนวณโคมไฟส่องที่ใช้)

BL คือ Beam Lumens ;lumens

CBU คือ Coefficient of Beam Utilization
(สัมประสิทธิการใช้ประโยชน์ของลำแสง)

LLF คือ Light Loss Factor (แฟกเตอร์การสูญเสียแสง)

A คือ Area ;m^2 (พื้นที่ที่ต้องการให้แสง)

โดยทั่วไปแล้วการออกแบบไฟส่องพื้นที่ เรามักจะเริ่มต้นด้วยการคำนวณหาจำนวนโคมไฟส่องที่ต้องการใช้ ดังนั้นเราเขียนสมการ 2.1 ใหม่ดังนี้

$$N = (A * E)/ (BL * CBU * LLF) \qquad (2.2)$$

จากสมการที่ 2.2 เราต้องทราบค่าต่างๆ 5 ค่า จึงจะสามารถคำนวนหาจำนวนโคมไฟส่องที่ต้องการใช้ได้ โดยค่าต่างๆเราสามารถหาได้ดังนี้

2.1.1 Area ;m^2

ขนาดของพื้นที่ที่ต้องการให้แสงจะทราบได้จากการที่กำหนดว่าต้องการให้แสงสว่างบนพื้นที่ใด รูปร่างอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 Illuminance (Average Maintained) ;luxs

สำหรับค่าความสว่างเฉลี่ยของงานภายนอกอาคารและกีฬาประเภทต่างๆได้มีการกำหนดเป็นค่ามาตรฐานไว้แล้วดังตารางที่ 2.1 เช่นถ้าจะให้ความสว่างกับสนามแบดมินตันพบว่าสนามที่ใช้ในการแข่งขันจะต้องใช้ค่าความสว่าง 300 ลักซ์ แต่สำหรับสนามที่ตีเล่นเพื่อการพักผ่อนหย่อนใจจะใช้ค่าความสว่างเพียง 100 ลักซ์ เท่านั้น

อย่างไรก็ตามการให้แสงสว่างสำหรับงานบางประเภทยังต้องพิจารณาถึงเรื่องความสม่ำเสมอของแสงสว่างด้วย นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงเรื่องแสงบาดตา(glare)ด้วย

ตารางที่ 2.1 แสดงค่ามาตรฐานของงานภายนอกอาคาร

Outdoor Facilities

Area/Activity	Lux	Footcandles
Building (construction)		
General construction	100	10
Excavation work	20	2
Building exteriors		
Entrances		
Active (pedestrian and/or conveyance)	50	5
Inactive (normally locked, infrequently used)	10	1
Vital locations or structures	50	5
Building surrounds	10	1
Buildings and monuments, floodlighted		
Bright surroundings		
Light surfaces	150	15
Medium light surfaces	200	20
Medium dark surfaces	300	30
Dark surfaces	500	50
Dark surroundings		
Light surfaces	50	5
Medium light surfaces	100	10
Medium dark surfaces	150	15
Dark surfaces	200	20
Bulletin and poster boards		
Bright surroundings		
Light surfaces	500	50
Dark surfaces	1000	100
Dark surroundings		
Light surfaces	200	20
Dark surfaces	500	50
Central station (see Electric generating stations—exterior)		
Coal yards (protective)	2	0.2
Dredging	20	2
Electric generating stations—exterior		
Boiler areas		
Catwalks, general areas	20	2
Stairs and platforms	50	5
Ground level areas including precipitators, FD and ID fans, bottom ash hoppers	50	5
Cooling towers		
Fan deck, platforms, stairs, valve areas	50	5
Pump areas	20	2
Fuel handling		
Barge unloading, car dumper, unloading hoppers, truck unloading, pumps, gas metering	50	5
Conveyors	20	2
Storage tanks	10	1
Coal storage piles, ash dumps	2	0.2
Hydroelectric		
Powerhouse roof, stairs, platform and intake decks	50	5
Inlet and discharge water area	2	0.2
Intake structures		
Deck and laydown area	50	5
Value pits	20	2
Inlet water area	2	0.2
Parking areas		
Main plant parking	20	2
Secondary parking	10	1
Substation		
Horizontal general area	20	2
Vertical tasks	50	5
Transformer yards		
Horizontal general area	20	2
Vertical tasks	50	5
Turbine areas		
Building surrounds	20	2
Turbine and heater decks, unloading bays	50	5

026967

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Area/Activity	Lux	Footcandles
Entrances, stairs and platforms	50[5]	5[9]
Flags, floodlighted (see Bulletin and poster boards)		
Gardens:[19]		
General lighting	5	0.5
Path, steps, away from house	10	1
Backgrounds—fences, walls, trees, shrubbery	20	2
Flower beds, rock gardens	50	5
Trees, shrubbery, when emphasized	50	5
Focal points, large	100	10
Focal points, small	200	20
Gasoline station (see Service stations in Part II)		
Highways (see page 14-8)		
Loading and unloading platforms	200	20
Freight car interiors	100	10
Logging (see also Sawmills)		
Yarding	30	3
Log loading and unloading	50	5
Log stowing (water)	5	0.5
Active log storage area (land)	5	0.5
Log booming area (water)—foot traffic	10	1
Active log handling area (water)	20	2
Log grading—water or land	50	5
Log bins (land)	20	2
Lumber yards	10	1
Parking areas (see page 14-24)		
Piers		
Freight	200	20
Passenger	200	20
Active shipping area surrounds	50	5
Prison yards	50	5
Quarries	50	5
Railroad yards		
Retarder classification yards		
Receiving yard		
Switch points	20	2
Body of yard	10	1
Hump area (vertical)	200	20
Control tower and retarder area (vertical)	100	10
Head end	50	5
Body	10	1
Pull-out end	20	2
Dispatch or forwarding yard	10	1
Hump and car rider classification yard		
Receiving yard		
Switch points	20	2
Body of yard	10	1
Hump area	50	5
Flat switching yards		
Side of cars (vertical)	50	5
Switch points	20	2
Trailer-on-flatcars		
Horizontal surface of flatcar	50	5
Hold-down points (vertical)	50	5
Container-on-flatcars	30	3
Roadways (see page 14-8)		
Sawmills (see also Logging)		
Cut-off saw	100	10
Log haul	20	2
Log hoist (side lift)	20	2
Primary log deck	100	10
Barker in-feed	300	30
Green chain	200 to 300[26]	20 to 30[26]
Lumber strapping	150 to 200[26]	15 to 20[26]
Lumber handling areas	20	2
Lumber loading areas	50	5
Wood chip storage piles	5	0.5
Service station (at grade)		
Dark surrounding		
Approach	15	1.5
Driveway	15	1.5
Pump island area	200	20
Building faces (exclusive of glass)	100[14]	10[14]
Service areas	30	3
Landscape highlights	20	2
Light surrounding		
Approach	30	3
Driveway	50	5
Pump island area	300	30
Building faces (exclusive of glass)	300[14]	30[14]
Service areas	70	7
Landscape highlights	50	5
Ship yards		
General	50	5
Ways	100	10
Fabrication areas	300	30
Smokestacks with advertising messages (see Bulletin and poster boards)		
Storage yards		
Active	200	20
Inactive	10	1
Streets (see page 14-8)		
Water tanks with advertising messages (see Bulletin and poster boards)		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sports and Recreational Areas

Area/Activity	Lux	Footcandles
Archery (indoor)		
Target, tournament	500[14]	50[14]
Target, recreational	300[14]	30[14]
Shooting line, tournament	200	20
Shooting line, recreational	100	10
Archery (outdoor)		
Target, tournament	100[14]	10[14]
Target, recreational	50[14]	5[14]
Shooting line, tournament	100	10
Shooting line, recreational	50	5
Badminton		
Tournament	300	30
Club	200	20
Recreational	100	10
Baseball		
Major league		
Infield	1500	150
Outfield	1000	100
AA and AAA league		
Infield	700	70
Outfield	500	50
A and B league		
Infield	500	50
Outfield	300	30
C and D league		
Infield	300	30
Outfield	200	20
Semi-pro and municipal league		
Infield	200	20
Outfield	150	15
Recreational		
Infield	150	15
Outfield	100	10
Junior league (Class I and Class II)		
Infield	300	30
Outfield	200	20
On seats during game	20	2
On seats before and after game	50	5
Basketball		
College and professional	500	50
College intramural and high school	300	30
Recreational (outdoor)	100	10
Bathing beaches		
On land	10	1
150 feet from shore	30[14]	3[14]
Billiards (on table)		
Tournament	500	50
Recreational	300	30
Bowling		
Tournament		
Approaches	100	10
Lanes	200	20
Pins	500[14]	50[14]
Recreational		
Approaches	100	10
Lanes	100	10
Pins	300[14]	30[14]
Bowling on the green		
Tournament	100	10
Recreational	50	5
Boxing or wrestling (ring)		
Championship	5000	500
Professional	2000	200
Amateur	1000	100
Seats during bout	20	2
Seats before and after bout	50	5
Casting—bait, dry-fly, wet-fly		
Pier or dock	100	10
Target (at 24 meters [80 feet] for bait casting and 15 meters [50 feet] for wet or dry-fly casting)	50[14]	5[14]
Combination (outdoor)		
Baseball/football		
Infield	200	20
Outfield and football	150	15
Industrial softball/football		
Infield	200	20
Outfield and football	150	15
Industrial softball/6-man football		
Infield	200	20
Outfield and football	150	15
Croquet or Roque		
Tournament	100	10
Recreational	50	5
Curling		
Tournament		
Tees	500	50
Rink	300	30
Recreational		
Tees	200	20
Rink	100	10
Fencing		
Exhibitions	500	50
Recreational	300	30
Football		
Distance from nearest sideline to the farthest row of spectators		
Class I Over 30 meters [100 feet]	1000	100
Class II 15 to 30 meters [50 to 100 feet]	500	50
Class III 9 to 15 meters [30 to 50 feet]	300	30
Class IV Under 9 meters [30 feet]	200	20
Class V No fixed seating facilities	100	10

It is generally conceded that the distance between the spectators and the play is the first consideration in determining the class and lighting requirements. However, the potential seating capacity of the stands should also be considered and the following ratio is suggested: Class I for

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Area/Activity	Lux	Footcandles
over 30,000 spectators; Class II for 10,000 to 30,000; Class III for 5000 to 10,000; and Class IV for under 5000 spectators.		
Football, Canadian—rugby (see Football)		
Football, six-man		
High school or college	200	20
Jr. high and recreational	100	10
Golf		
Tee	50	5
Fairway	10, 30[14]	1, 3[14]
Green	50	5
Driving range		
At 180 meters [200 yards]	50[14]	5[14]
Over tee area	100	10
Miniature	100	10
Practice putting green	100	10
Gymnasiums (refer to individual sports listed)		
General exercising and recreation	300	30
Handball		
Tournament	500	50
Club		
Indoor—four-wall or squash	300	30
Outdoor—two-court	200	20
Recreational		
Indoor—four-wall or squash	200	20
Outdoor—two-court	100	10
Hockey, field	200	20
Hockey, ice (indoor)		
College or professional	1000	100
Amateur	500	50
Recreational	200	20
Hockey, ice (outdoor)		
College or professional	500	50
Amateur	200	20
Recreational	100	10
Horse shoes		
Tournament	100	10
Recreational	50	5
Horse shows	200	20
Jai-alai		
Professional	1000	100
Amateur	700	70
Lacrosse	200	20
Playgrounds	50	5
Quoits	50	5
Racing (outdoor)		
Auto	200	20
Bicycle		
Tournament	300	30
Competitive	200	20
Recreational	100	10
Dog	300	30
Dragstrip		
Staging area	100	10
Acceleration, 400 meters [1320 feet]	200	20
Deceleration, first 200 meters [660 feet]	150	15
Deceleration, second 200 meters [660 feet]	100	10
Shutdown, 250 meters [820 feet]	50	5
Horse	200	20
Motor (midget of motorcycle)	200	20
Racquetball (see Handball)		
Rifle 45 meters [50 yards]—outdoor)		
On targets	500[14]	50[14]
Firing point	100	10
Range	50	5
Rifle and pistol range (indoor)		
On targets	1000[14]	100[14]
Firing point	200	20
Range	100	10
Rodeo		
Arena		
Professional	500	50
Amateur	300	30
Recreational	100	10
Pens and chutes	50	5
Roque (see Croquet)		
Shuffleboard (indoor)		
Tournament	300	30
Recreational	200	20
Shuffleboard (outdoor)		
Tournament	100	10
Recreational	50	5
Skating		
Roller rink	100	10
Ice rink, indoor	100	10
Ice rink, outdoor	50	5
Lagoon, pond, or flooded area	10	1
Skeet		
Targets at 18 meters [60 feet]	300[14]	30[14]
Firing points	50	5
Skeet and trap (combination)		
Targets at 30 meters [100 feet] for trap, 18 meters [60 feet] for skeet	300[14]	30[14]
Firing points	50	5
Ski slope	10	1
Soccer (see Football)		
Softball		
Professional and championship		
Infield	500	50
Outfield	300	30
Semi-professional		
Infield	300	30
Outfield	200	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Area/Activity	Lux	Footcandles
Industrial league		
Infield	200	20
Outfield	150	15
Recreational (6-pole)		
Infield	100	10
Outfield	70	7
Slow pitch, tournament—see industrial league		
Slow pitch, recreational (6-pole)—see recreational (6-pole)		
Squash (see Handball)		
Swimming (indoor)		
Exhibitions	500	50
Recreational	300	30
Underwater—1000 [100] lamp lumens per square meter [foot] of surface area		
Swimming (outdoor)		
Exhibitions	200	20
Recreational	100	10
Underwater—600 [60] lamp lumens per square meter [foot] of surface area		
Tennis (indoor)		
Tournament	1000	100
Club	750	75
Recreational	500	50
Tennis (outdoor)		
Tournament	300	30
Club	200	20
Recreational	100	10
Tennis, platform	500	50
Tennis, table		
Tournament	500	50
Club	300	30
Recreational	200	20
Trap		
Targets at 30 meters [100 feet]	300[14]	30[14]
Firing points	50	5
Volley ball		
Tournament	200	20
Recreational	100	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[1] Include provisions for higher levels for exhibitions.

[2] Specific limits are provided to minimize deterioration effects.

[3] Task subject to veiling reflections. Illuminance listed is not an ESI value. Currently, insufficient experience in the use of ESI target values precludes the direct use of Equivalent Sphere Illumination in the present consensus approach to recommend illuminance values. Equivalent Sphere Illumination may be used as a tool in determining the effectiveness of controlling veiling reflections and as a part of the evaluation of lighting systems.

[4] Illuminance values are listed based on experience and consensus. Values relate to needs during various religious ceremonies.

[5] Degradation factors: Overlays—add 1 weighting factor for each overlay; Used material—estimate additional factors.

[6] Provide higher level over food service or selection areas.

[7] Supplying illumination as in delivery room must be available.

[8] Illuminance values developed for various degrees of store area activity.

[9] Or not less than ⅓ the level in the adjacent areas.

[10] Only when actual equipment service is in process. May be achieved by a general lighting system or by localized or portable equipment.

[11] For color matching, the spectral quality of the color of the light source is important.

[12] Veiling reflections may be produced on glass surfaces. It may be necessary to treat plus weighting factors as minus in order to obtain proper illuminance.

[13] Especially subject to veiling reflections. It may be necessary to shield the task or to reorient it.

[14] Vertical.

[15] Illuminance values may vary widely, depending upon the effect desired, the decorative scheme, and the use made of the room.

[16] Supplementary lighting should be provided in this space to produce the higher levels required for specific seeing tasks involved.

[17] Good to high color rendering capability should be considered in these areas. As lamps of higher luminous efficacy and higher color rendering capability become available and economically feasible, they should be applied in all areas of health care facilities.

[18] Variable (dimming or switching).

[19] Values based on a 25 per cent reflectance, which is average for vegetation and typical outdoor surfaces. These figures must be adjusted to specific reflectances of materials lighted for equivalent brightnesses. Levels give satisfactory brightness patterns when viewed from dimly lighted terraces or interiors. When viewed from dark areas they may be reduced by at least ½; or they may be doubled when a high key is desired.

[20] General lighting should not be less than ⅓ of visual task illuminance nor less than 200 lux [20 footcandles].

[21] Industry representatives have established a table of single illuminance values which, in their opinion, can be used in preference to employing reference 6. Illuminance values for specific operations can also be determined using illuminance categories of similar tasks and activities found in this table and the application of the appropriate weighting factors in Fig. 2–4.

[22] Special lighting such that (1) the luminous area is large enough to cover the surface which is being inspected and (2) the luminance is within the limits necessary to obtain comfortable contrast conditions. This involves the use of sources of large area and relatively low luminance in which the source luminance is the principal factor rather than the illuminance produced at a given point.

[23] Maximum levels—controlled system.

[24] Additional lighting needs to be provided for maintenance only.

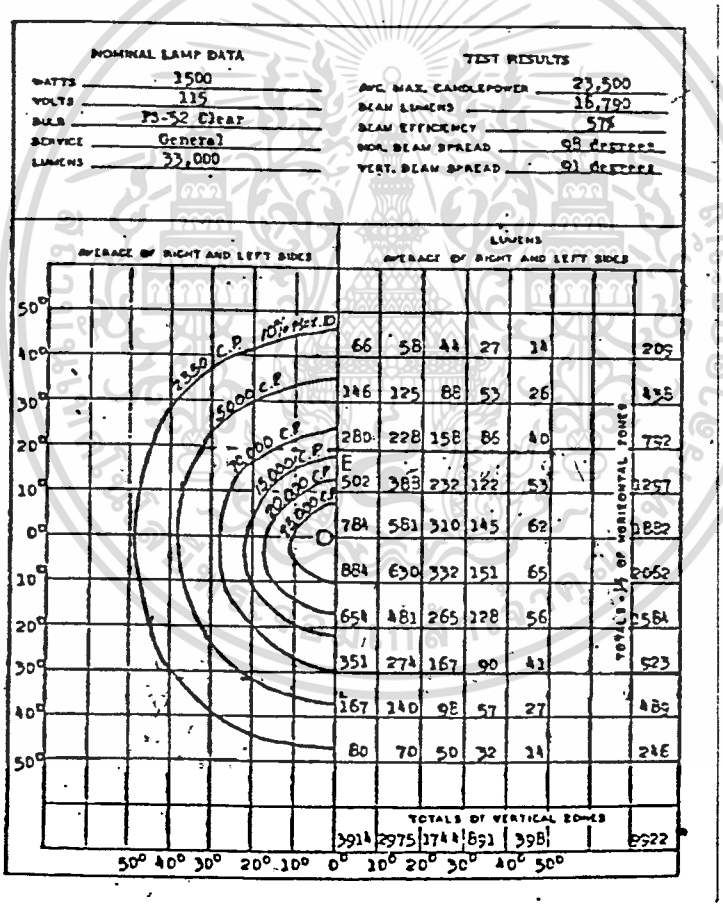
[25] Color temperature of the light source is important for color matching.

[26] Select upper level for high speed conveyor systems. For grading redwood lumber 3000 lux [300 footcandles] is required.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 Beam Lumens ; lumens

คือปริมาณฟลักซ์การส่องสว่างที่อยู่ภายในลำแสง(beam spread) หรือมีค่าเท่ากับฟลักซ์การส่องสว่างของหลอดไฟ(lamp lumens)คูณกับประสิทธิภาพลำแสง(beam efficiency)ของโคมไฟส่อง รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างข้อมูลทางแสงของโคมไฟส่องชนิดหนึ่ง จะเห็นว่า beam lumen มีค่าเท่ากับ 18790 lumens หรือเท่ากับ 33000 * 0.57 ดังนั้น เราจะทราบค่า beam lumens จากข้อมูลทางแสงของโคมไฟส่องที่เราเลือกใช้



รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างข้อมูลทางแสงของโคมไฟส่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 Coefficient of Beam Utilization (CBU)

สมการในการคำนวณหาค่า CBU คือ

CBU = (lumens Initially Reaching the Specified Area Directly from the Floodlight) / Total Beam Lumens (2.3)

ในการคำนวณหาปริมาณลูเมนที่ตกลงบนพื้นที่ที่ต้องการให้แสงจากโคมไฟส่องโดยตรงนั้นทำได้โดยการกำหนดตำแหน่งของโคมไฟส่อง กำหนดตำแหน่งจุดเล็งของโคมไฟส่องเทียบกับพื้นที่ที่ต้องการให้แสงจากนั้นให้เขียนพื้นที่ที่ต้องการให้แสงลงบนตารางข้อมูลทางแสงของโคมไฟส่อง ซึ่งปริมาณลูเมนที่ตกลงบนพื้นที่ที่ต้องการให้แสงจากโคมไฟส่องโดยตรงก็คือผลรวมของลูเมนที่ถูกล้อมรอบด้วยเส้นขอบของพื้นที่ที่อยู่บนตารางข้อมูลทางแสงของโคมไฟส่อง

จากรูป 2.2 พื้นที่ ABCD เป็นสนามแห่งหนึ่งที่ติดตั้งโคมไฟส่องที่จุด F และเล็งโคมไฟส่องไปที่จุด O จะหาว่าการติดตั้งโคมไฟส่องลักษณะดังกล่าวมีค่า CBU เท่าไร

เริ่มต้นด้วยการคำนวณหาค่ามุมในแนวดิ่ง(ก้ม-เงย)และมุมในแนวระดับ(ซ้าย-ขวา)ของจุดต่างๆเมื่อเทียบกับจุด O ซึ่งเป็นจุดเล็งของโคมไฟส่อง เช่น จุด A มีมุมในแนวดิ่งเป็นมุมก้มและมุมในแนวระดับเป็นมุมที่วัดไปทางซ้ายมือเมื่อเทียบกับจุด O โดย

มุมก้มของจุด A = arctan OL/LF

= arctan 25/40

= 32 องศา

มุมที่วัดไปทางซ้ายของจุด A = arctan AL/LF

= arctan 40/40

= 45 องศา

เมื่อได้มุมในแนวดิ่งและแนวระดับแล้วเขียนจุด A ลงบนตารางข้อมูลทางแสงของโคมไฟส่องดังรูป 2.2 โดยที่จุดอื่นๆก็จะมีวิธีการคำนวณเช่นเดียวกัน เมื่อเขียนจุดต่างๆลงบนตารางข้อมูลของโคมไฟส่องแล้ว ก็จะได้พื้นที่ที่ต้องการให้แสงABCDอยู่บนตารางข้อมูลดวงโคมไฟส่องและปริมาณลูเมนที่ตกลงบนพื้นที่ที่กำหนดจากโคมไฟส่องโดยตรงก็คือ ผลรวมของลูเมนที่ถูกล้อมรอบด้วยเส้นขอบของพื้นที่ ซึ่งจะหาได้ดังนี้

0.5*122 + 232 + 388 + 502 + 502 + 388 + 232 + 122 + 0.2*5.3 = 2459

145 + 310 + 581 + 784 + 784 + 581 + 310 + 145 + 0.9*62 = 3696

0.2*65 +151 + 332 +630 + 884 + 884 + 630 + 332 + 151 + 0.9*65 = 4065

0.4*56 +128 +265 + 481 + 654 + 654 + 481 + 265 + 128 + 0.6*56 = 3112

0.2*41 + 90 +167 +274 + 351 + 351 + 274 + 167 + 90 + 0.4*41 = 1788

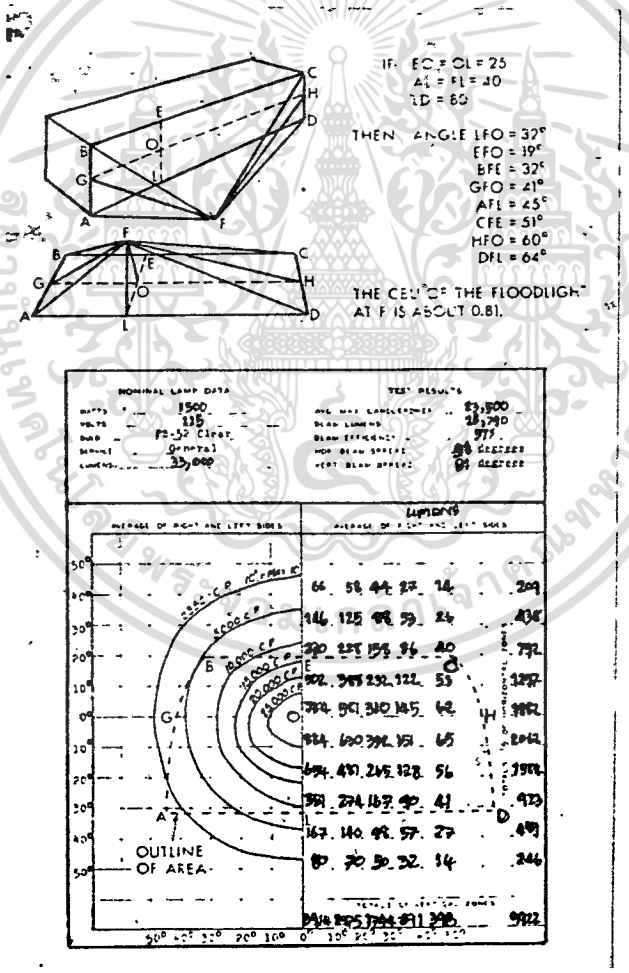
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.2*(57 +98 +140 + 167 + 167 + 140 + 98 + 57) = 185

รวม 15305

ปริมาณลูเมนที่ตกลงบนพื้นที่ที่กำหนดจากโคมไฟส่องโดยตรงคือ 15305 ลูเมน

ปริมาณลูเมนในลำแสงทั้งหมด(beam lumen)จากตารางข้อมูลทางแสงของโคมไฟส่องคือ 18790 CBU = 15305/18790 = .814



รูปที่ 2.2 Procedure for determining the coefficient of beam utilization for floodlighting equipment.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นคือปริมาณฟลักซ์การส่องสว่างในลำแสงของโคมไฟส่องดวงนี้จะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่ABCDจำนวน 81.4%

ในการเลือกโคมไฟส่องจะต้องเลือกโคมไฟส่องที่มีความกว้างของลำแสงเหมาะสมกับพื้นที่ที่ต้องการให้แสง ถ้าเลือกโคมไฟส่องที่มีลำแสงแคบเกินไปจะได้ค่าCBUสูง นั่นคือฟลักซ์การส่องสว่างในลำแสงจะตกลงบนพื้นที่ที่ต้องการให้แสงเกือบทั้งหมด ถ้าไม่มีการจัดให้ลำแสงของโคมไฟส่องที่สาดแสงลงไปบนที่เหลื่อมกันไว้จะทำให้ได้ความสว่างไม่สม่ำเสมอ บางจุดจะสว่างมากแต่บางจุดจะมืดมาก ในทางตรงกันข้ามถ้าเลือกโคมไฟส่องที่มีลำแสงกว้างมากเกินไปจะได้ค่าCBUต่ำ นั่นคือแสงส่วนใหญ่จะตกอยู่นอกพื้นที่ที่ต้องการให้แสงทำให้ระบบแสงสว่างมีประสิทธิภาพต่ำ โดยทั่วไปแล้วค่าCBUที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบแสงสว่างโดยใช้โคมไฟส่องควรมีค่าอยู่ระหว่าง 0.75 ถึง 0.85

รูป 2.3 , 2.4 แสดงตัวอย่างการเลือกโคมไฟส่องให้มีความกว้างลำแสงเหมาะกับพื้นที่ จากรูปที่ 2.3 แม้จะเป็นการให้แสงสว่างบนพื้นที่เดียวกันแต่ให้ตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมต่างกันความกว้างของลำแสงที่ตกลงบนพื้นที่ก็จะแตกต่างกันด้วย รูปที่ 2.4 จะเห็นว่าถ้าเลือกใช้โคมไฟส่องที่มีความกว้างของลำแสงเหมาะสมกับพื้นที่แล้วจะทำให้สามารถลดจำนวนโคมไฟส่องที่จะใช้ได้

2.1.5 Light Loss Factor;LLF

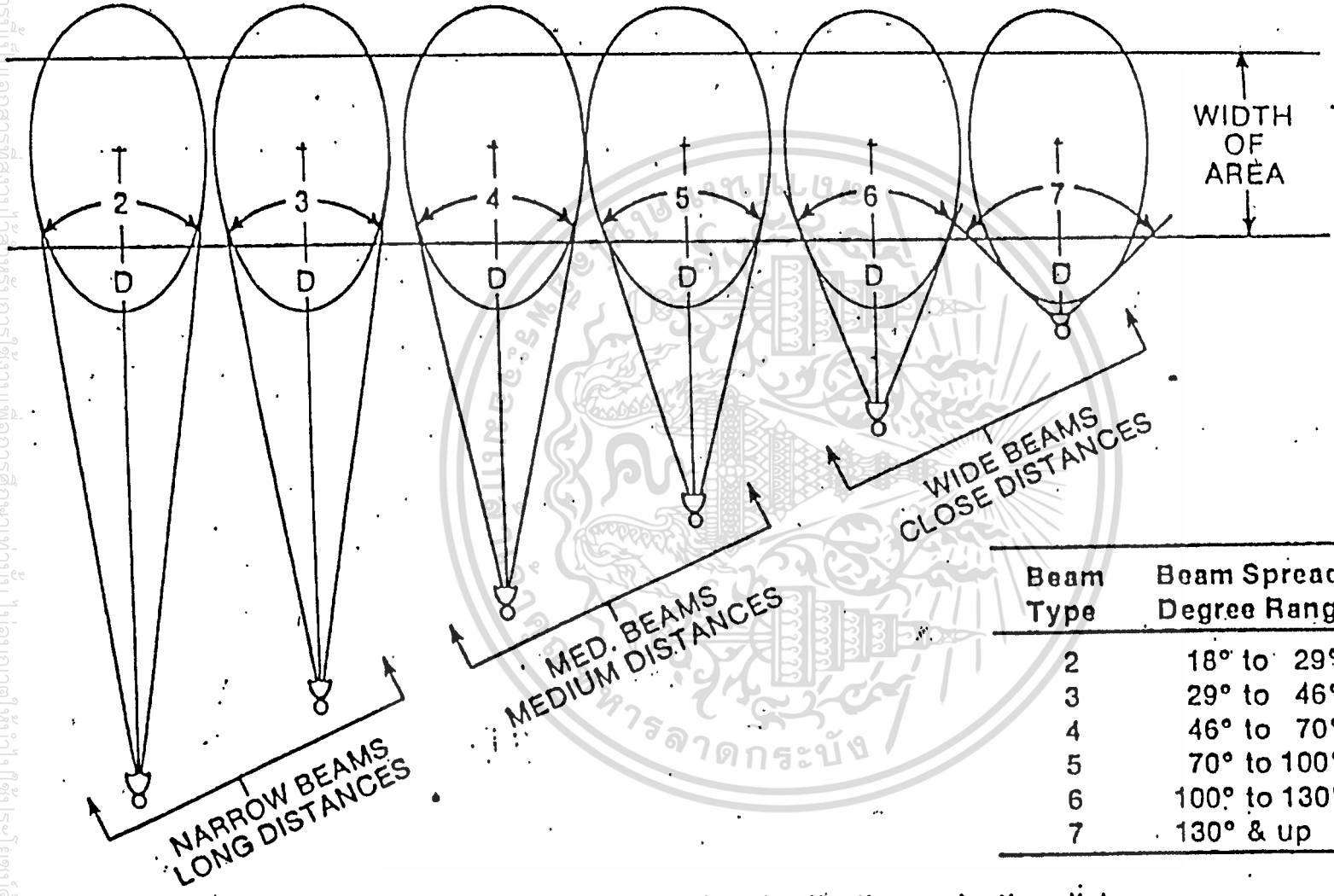
ในการออกแบบระบบแสงสว่างจะต้องมีการออกแบบเผื่อไว้เพื่อให้ได้ความสว่างมีค่าไม่ต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนด โดยค่าLLFจะเป็นตัวกำหนดว่าเราต้องออกแบบเผื่อไว้มากน้อยเพียงใด ซึ่งค่าLLFของระบบแสงสว่างภายนอกอาคารจะประกอบด้วย

-การเสื่อมสภาพของหลอดไฟตามอายุการใช้งาน(Lamp Lumen Depreciation ;LLD)

-ความสกปรกของโคมไฟเนื่องจากฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกที่เกาะอยู่ทั้งภายในและภายนอกดวงโคม(Luminaire Dirt Depreciation ; LDD)โดยโคมไฟส่องชนิด Enclosed Filtered จะใช้ค่าLDDเท่ากับ 0.95 และโคมไฟส่องชนิด Unfiltered จะใช้ค่าLDDเท่ากับ 0.80

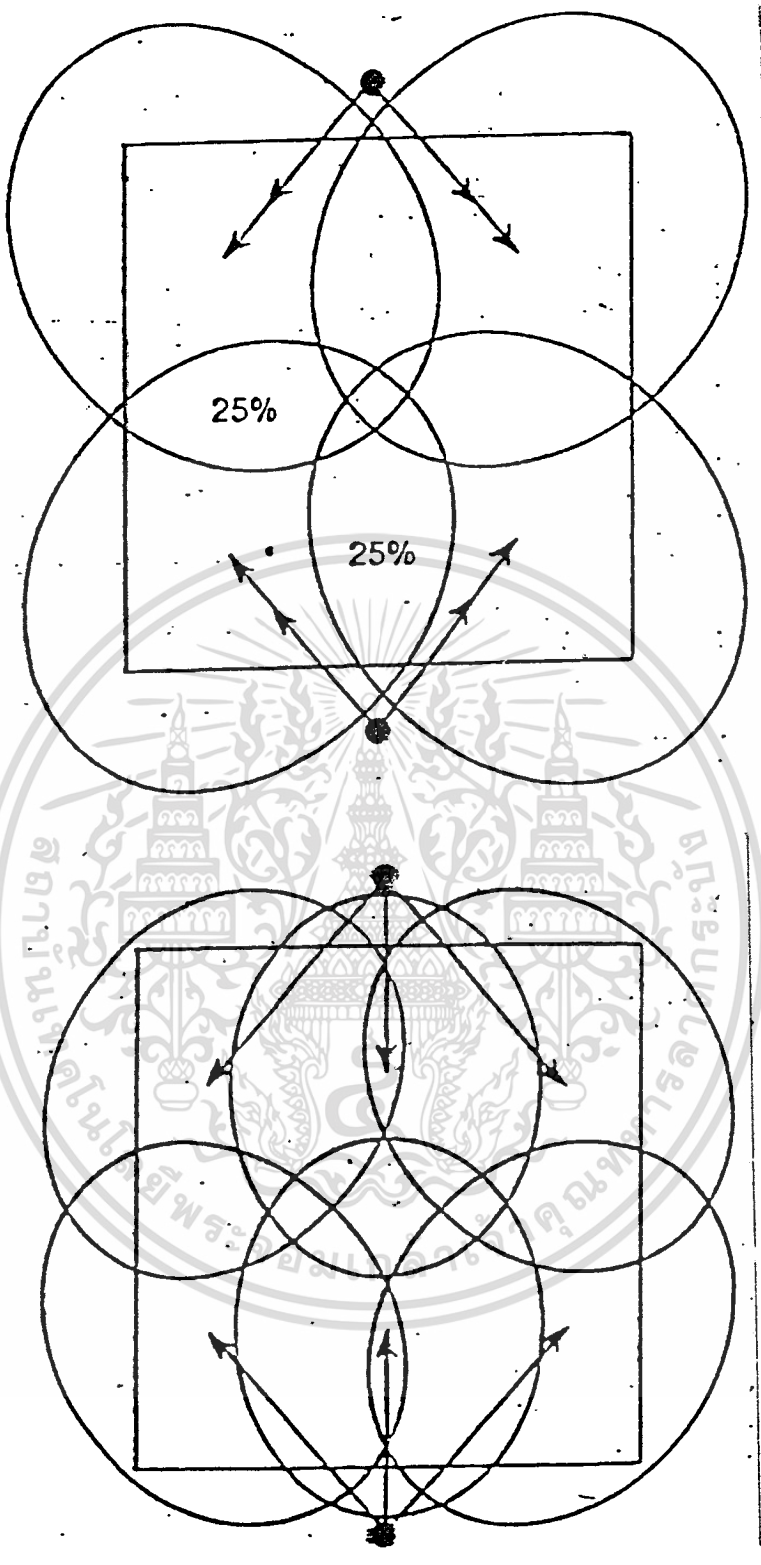
-ผลของการเอียงหลอด(Tilt Correction Factor ; TCF) จะมีผลกับหลอดเมตัลฮาไลด์(Metal Halide)เท่านั้น ส่วนหลอดชนิดไอปรอทความดันสูง(High Pressure Mercury Lamps)ก็มีบ้างแต่ไม่มากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Beam Type	Beam Spread Degree Range	Projection Distance
2	18° to 29°	200' & greater
3	29° to 46°	175' to 200'
4	46° to 70°	145' to 175'
5	70° to 100°	105' to 145'
6	100° to 130°	80' to 105'
7	130° & up	under 80'

IES/NEMA beam spread classifications and their effective projection distances.



รูปที่ 2.4 Floodlight beams must overlap by no less than 50%. Selecting the proper beam spread for specific applications results in better light utilization, lower overall costs, and acceptable beam overlap and uniformlity.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงค่า LLD ของหลอดบางชนิด

LAMP	VERTICAL		HORIZONTAL	
	Mean (2)	End of Life	Mean (2)	End of Life
Mercury(1)				
100W (A)	0.81	0.64	0.77	0.57
(B)	0.84	0.69	0.79	0.63
175W (A)	0.94	0.88	0.90	0.81
(B)	0.85-0.89	0.72-0.79	0.81-0.86	0.65-0.74
250W (A)	0.92	0.85	0.88	0.77
(B)	0.84-0.86	0.63-0.75	0.76-0.82	0.56-0.65
400W (A)	0.91	0.83	0.87	0.75
(B)	0.82-0.85	0.67-0.71	0.77-0.80	0.58-0.63
1000W (A)	0.85	0.72	0.85	0.72
(B)	0.63-0.75	0.48-0.54	0.73-0.80	0.58-0.63
High Pressure Sodium	0.90	0.73	0.9	0.73

หมายเหตุ (1) คิดอายุใช้งานเพียง 16,000 ชั่วโมง

(2) หลอด Mercury คิดที่ 8,000 ชั่วโมง

หลอด High Pressure Sodium คิดที่ 12,000 ชั่วโมง

(A) หลอดใส

(B) หลอดเคลือบฟอสเฟอร์

2.2 การคำนวณด้วยวิธีจุดต่อจุด (Point by Point Method)

การคำนวณด้วยวิธีจุดต่อจุดโดยใช้กฎกำลังสองผกผัน(Inverse-Square's Law) เป็นวิธีที่เสียเวลามากเพราะต้องคำนวณซ้ำๆกัน แต่ผลการคำนวณมีความแม่นยำสูงและสามารถตรวจสอบความสว่าง ณ.จุดที่ต้องการได้ นอกจากนี้ยังสามารถทำให้ตรวจสอบความสม่ำเสมอของความสว่างบนพื้นที่ที่ต้องการให้แสงสว่างได้

การคำนวณค่าความสว่างของพื้นที่ด้วยวิธีจุดต่อจุดจะอาศัยข้อมูลที่สำคัญ 3 ตัว คือ

1.การกระจายค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างของดวงโคม

2.ฟลักซ์การส่องสว่างของหลอดไฟ

3.ความสัมพันธ์เชิงเรขาคณิตของตำแหน่งของโคมไฟส่องและจุดที่ต้องการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

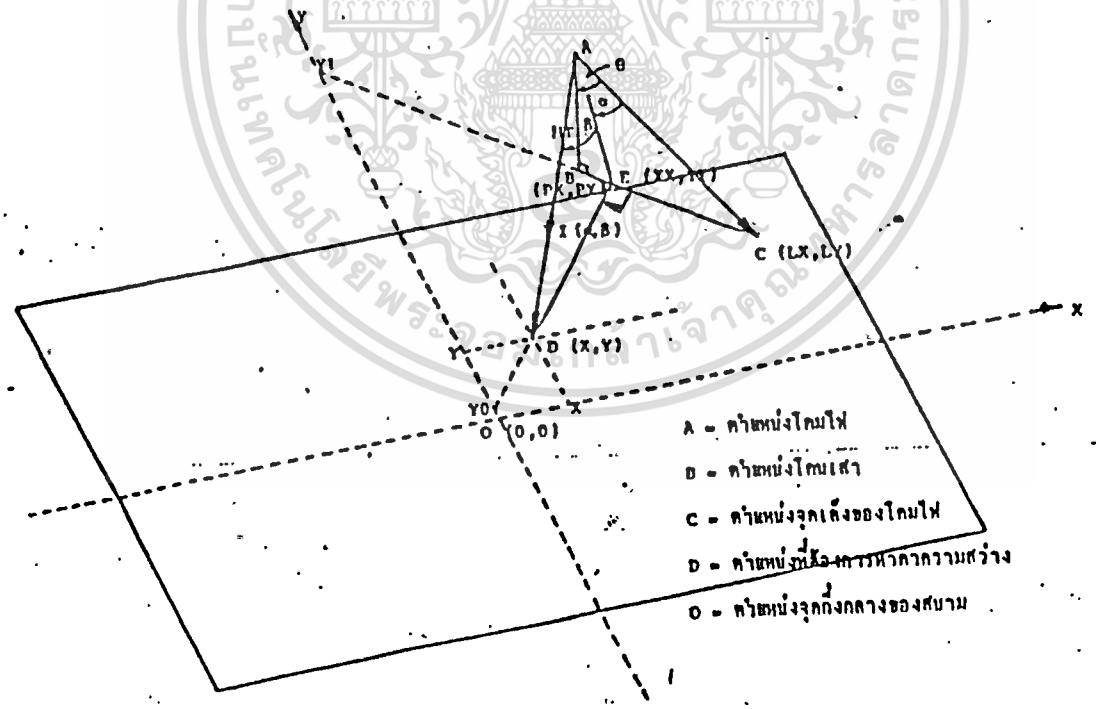
ค่าความสว่าง

2.2.1 การแสดงข้อมูลของโคมไฟส่อง

ข้อมูลของโคมไฟส่องส่วนใหญ่จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.1 ข้อมูลที่ถูกนำไปใช้ในการคำนวณคือค่าฟลักซ์การส่องสว่างของดวงโคมและเส้นไอโซแคนเดลา(Iso-Candela Curves) ซึ่งแสดงลักษณะการกระจายค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างของดวงโคม การหาค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างทำได้โดยการหามุมในแนวดิ่ง(ก้ม-เงย) และแนวระดับ(ซ้าย-ขวา)ของจุดต่างๆ

2.2.2 การคำนวณค่าความสว่างบนพื้นระนาบ

การคำนวณค่าความสว่าง ณ.จุดใดๆบนพื้นสนามจะทำได้โดยพิจารณาจากตำแหน่งของดวงโคม ตำแหน่งจุดเล็งของดวงโคม และตำแหน่งที่ต้องการหาค่าความสว่างทำให้สามารถหาค่ามุมก้ม-เงย(alpha)และมุมซ้าย-ขวา(beta) ซึ่งนิกัดของมุมดังกล่าวจะทำให้ทราบค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างที่ตกลงบนจุดที่ต้องการให้แสงสว่างได้ จากนั้นก็จะคำนวณหาค่าความสว่างโดยใช้กฎกำลังสองผกผัน(Inverse-Square's Law)ออกมาได้



รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์เชิงเรขาคณิตของตำแหน่งดวงโคม จุดเล็งและจุดที่ต้องการหาค่าความสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.5 สมการของเส้นตรง BC ที่ต่อระหว่างโคนเสา B(PX,PY) กับจุดเล็งของโคมไฟ C(LX,LY) คือ

$$y = m.x + Y1 \qquad (2.4)$$

เมื่อ m คือ ความชันของเส้นตรง = (LY-PY)/(LX-PX)

Y1 คือ จุดตัดบนแกน Y = PY - m.PX

สมการของเส้นตรง DE ที่ลากจากจุดที่ต้องการหาค่าความสว่างไปตั้งฉากกับเส้นตรง BC ที่จุด E คือ

$$y = -x/m + YO \qquad (2.5)$$

เมื่อ YO คือจุดตัดบนแกน Y = y + x/m

ซึ่งจะหาค่า XX และ YY ของตำแหน่งจุดตัด E ได้ดังนี้

$$XX = [\, m.(Y-PY) + m^2.PX + X \,]/(\, m^2 + 1\,) \qquad (2.6)$$

$$YY = m.XX + Y1 \qquad (2.7)$$

เมื่อได้ตำแหน่งจุดตัด E แล้ว เราสามารถหาค่ามุมต่างๆ ได้ดังนี้

มุม theta = arctan BC/AB

$$= \arctan\, [\sqrt{(LX-PX)^2 + (LY-PY)^2}\,]/HT \qquad (2.8)$$

alpha = theta - arctan BE/AB

$$= \text{theta} - \arctan\, [\sqrt{(XX-PX)^2 + (YY-PY)^2}\,]/HT \qquad (2.9)$$

beta = arctan DE/AE

$$= \arctan\, [\sqrt{(XX-X)^2 + (YY-Y)^2}\,]/[\sqrt{(XX-PX)^2 + (YY-PY)^2 + HT^2}\,] \qquad (2.10)$$

เมื่อได้มุม alpha(ก้ม-เงย) และ beta(ซ้าย-ขวา) แล้ว ก็จะสามารถหาค่าความเข้มแห่งการส่องสว่าง I(alpha,beta) ได้ และสามารถหาค่าความสว่างบนพื้นสนามที่จุด D ตามกฎกำลังสองผกผันได้ดังนี้

$$E = I(\text{alpha,beta}) * AB/AD^3 \qquad (2.11)$$

เมื่อ E คือ ค่าความสว่าง

I(alpha,beta) คือ ค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างที่พิกัดมุม alpha และ beta

AB คือ ความสูงของดวงโคมจากพื้นดิน

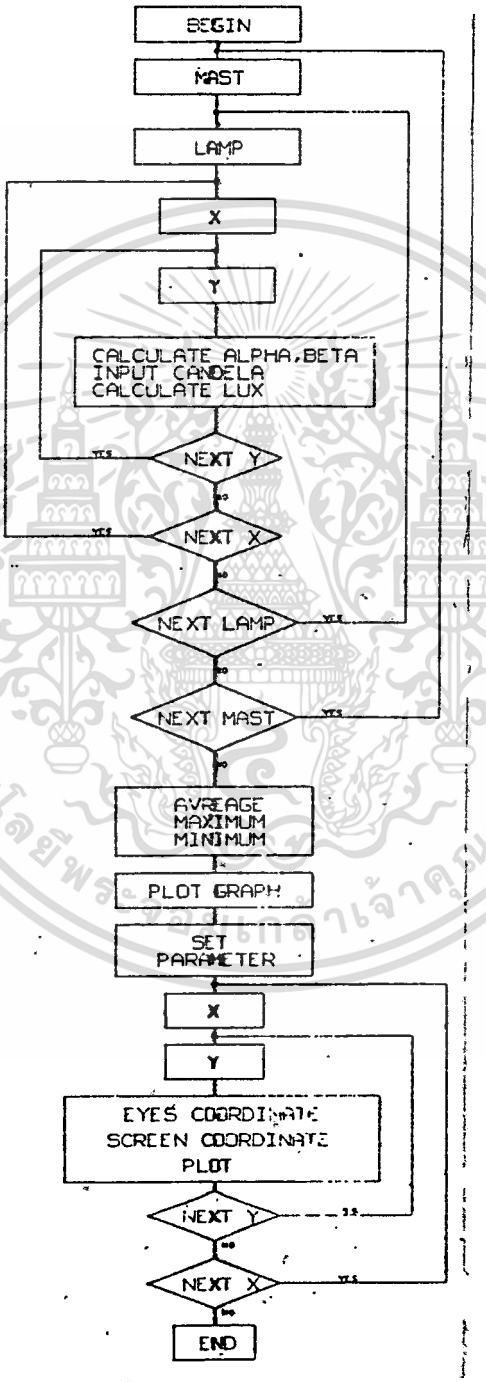
AD คือ ระยะจากดวงโคมไปยังจุดที่ต้องการหาความสว่าง

หรือเขียนได้เป็น

$$E = I(\text{alpha,beta}) * HT \,/\, [\sqrt{(X-PX)^2 + (Y-PY)^2 + HT^2}\,]^{3/2} \qquad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการทั้งหมดเมื่อนำไปเขียนเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะได้ลักษณะแผนภูมิการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งจะเห็นว่าเป็นการคำนวณแบบซ้ำๆตลอดเวลา และระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณขึ้นอยู่กับจำนวนตัวแปรที่ใช้ เช่น จำนวนจุดที่ต้องการหาค่าความสว่าง จำนวนเสาที่ติดตั้งโคมไฟ จำนวนของโคมไฟที่อยู่บนเสาแต่ละต้น เป็นต้น



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการคำนวณค่าความสว่างด้วยวิธีจุดต่อจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ตัวอย่างการออกแบบ

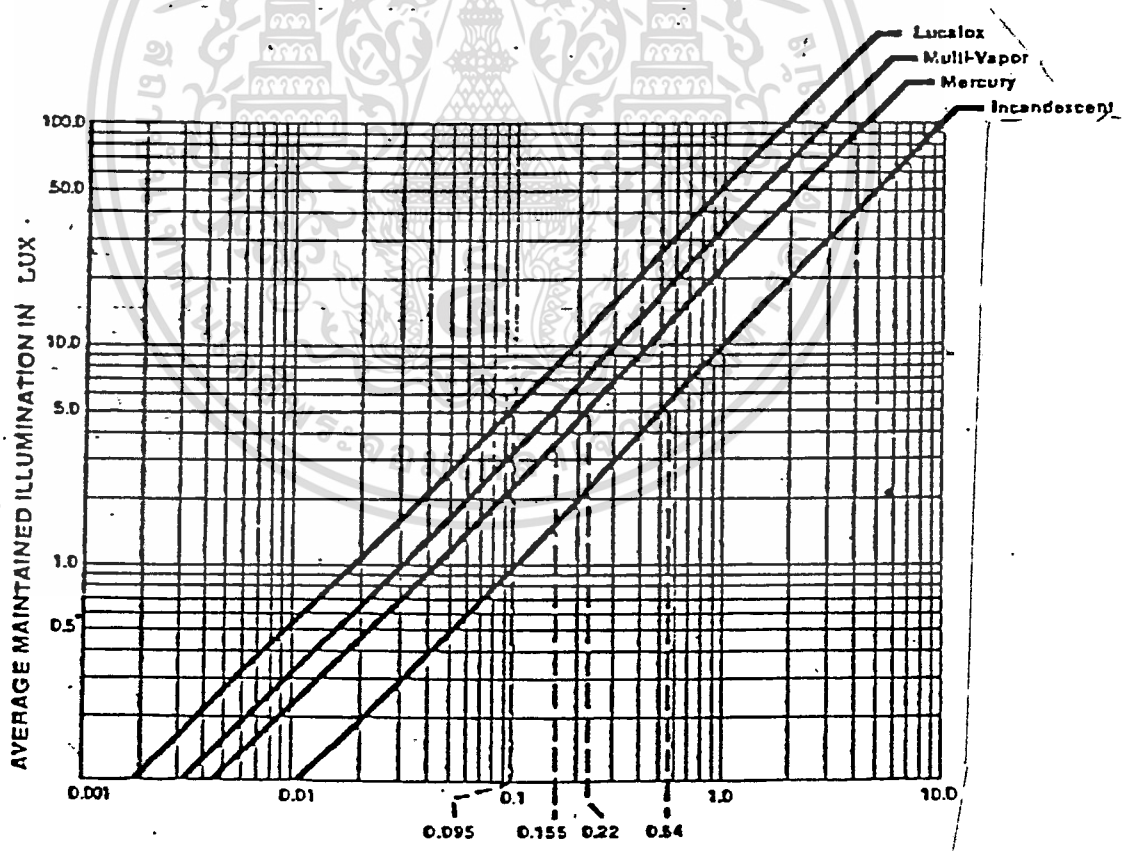
2.3.1 การออกแบบเริ่มต้นด้วยการคำนวนหาค่าวัตต์ต่อตารางเมตรที่สัมพันธ์กับค่าความสว่างที่ต้องการโดยอ่านจากกราฟที่แสดงในรูปที่ 2.7 จากนั้นจะคำนวณจำนวนวัตต์ทั้งหมดเพื่อนำไปคำนวนหาจำนวนโคมไฟที่ใช้ โดยความสัมพันธ์ระหว่างวัตต์ต่อตารางเมตรกับความสว่างตามรูปที่ 2.7 สร้างขึ้นโดยมีข้อกำหนดดังนี้

LDD = 0.95 (Sealed and Filtered Luminaire)

LLD = 0.90 (High Pressure Sodium Lamp)

= 0.85 (Mercury Lamp)

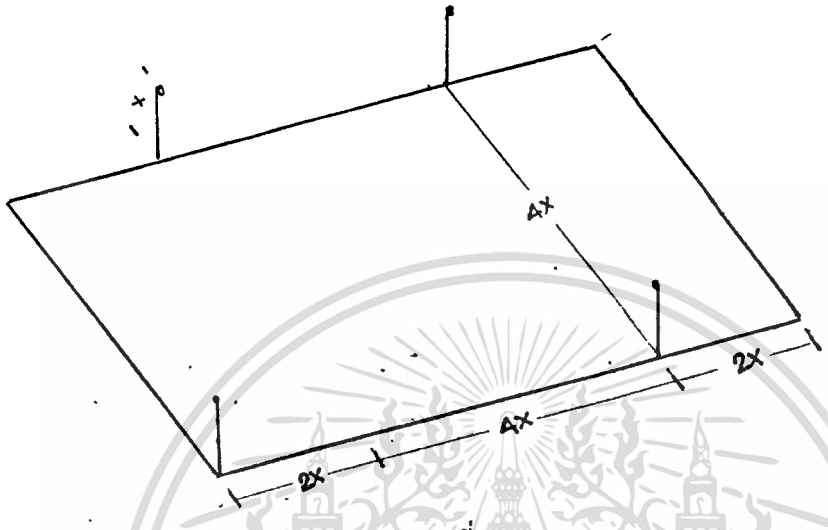
= 0.80 (Metal Halide Lamp)



รูปที่ 2.7 กราฟที่ใช้หาค่าวัตต์ต่อตารางเมตรเมื่อกำหนดค่าความสว่างให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง ต้องการให้แสงสว่างบนพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 45 เมตร * 85 เมตร ซึ่งเป็นลานเก็บกองวัสดุเพื่อให้ได้ความสว่าง 50 ลักซ์ โดยใช้โคมไฟส่องที่ใช้หลอดโซเดียมความดันสูงติดตั้งบนเสาดังรูปที่ 2.8 จงคำนวนหาจำนวนโคมไฟที่ต้องใช้



รูปที่ 2.8

การคำนวณ

1. จากรูปที่ 2.7 จะเห็นว่าที่ความสว่าง 50 ลักซ์ เมื่อใช้หลอดโซเดียมความดันสูงจะได้ค่าวัตต์ต่อตารางเมตรเท่ากับ 0.95
2. คำนวณวัตต์ที่ต้องใช้ทั้งหมดได้เท่ากับ 0.95 * 45 * 85 = 3640 วัตต์

ดังนั้น ถ้าใช้หลอด 1000 วัตต์ จะใช้โคมไฟ 4 ดวง

ถ้าใช้หลอด 400 วัตต์ จะใช้โคมไฟ 10 ดวง

ถ้าใช้หลอด 250 วัตต์ จะใช้โคมไฟ 15 ดวง

ในทางปฏิบัติจะใช้หลอด 1000 วัตต์ ติดตั้งบนเสา 4 ต้นต้นละดวงตามรูปที่ 2.8 สำหรับความสูงของเสาได้ดังนี้(ดูจากรูปที่ 2.8)

8 เท่าความสูงของเสา = 85 เมตร

ความสูงของเสาประมาณ 11 เมตร

4 เท่าความสูงของเสา = 45 เมตร

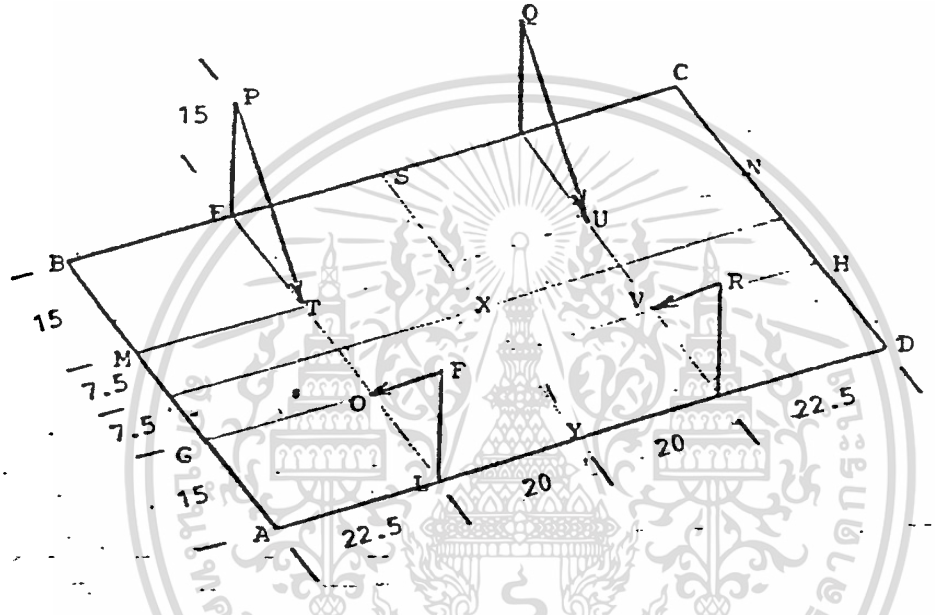
ความสูงของเสาประมาณ 11 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การออกแบบโดยใช้ค่าสัมประสิทธิการใช้ประโยชน์ของลำแสง (CBU)

เมื่อได้จำนวนดวงโคมตามวิธีการในข้อ 2.3.1 แล้ว ต้องการทราบค่าความสว่างเฉลี่ยที่แท้จริงเมื่อติดตั้งดวงโคมที่เลือกใช้และกำหนดจุดเล็งของดวงโคมแล้วว่ามีค่าเท่าใด หรือเมื่อต้องการหาจำนวนโคมไฟที่จะใช้และต้องการค่าความสว่างที่ใกล้เคียงความจริงกว่าวิธีการที่ผ่านมาก็ต้องใช้การคำนวณโดยใช้ค่า CBU

จากตัวอย่างในหัวข้อ 2.3.1 ถ้ากำหนดลักษณะของการติดตั้งดวงโคมตามรูปที่ 2.9 และใช้โคมไฟส่องตามรูปที่ 2.10 ลองตรวจสอบดูว่าค่าความสว่างเฉลี่ยจะเป็นเท่าไร



รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างการติดตั้งดวงโคมเพื่อให้แสงสว่างบนพื้นที่ขนาดใหญ่

คำนวณหามุมของจุดต่างๆโดยเทียบกับโคมไฟ F

จุด	มุมก้มเงย	มุมซ้ายขวา
B	26.5	25.4
E	26.5	0
S	26.5	22.9
C	26.5	52.8
M	18.4	33.8
T	18.4	0
U	18.4	50.0
N	18.4	61.8
X	11.3	36.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

G	0	46.7
O	0	0
V	0	62.0
H	0	71.2
A	45.0	56.3
L	45.0	0
Y	45.0	53.1
D	45.0	76.5

จากสมการ E = (N * BL * CBU * LLF)/A

ในที่นี้ N = 4 ดวง

BL = 86446 ลูเมน

A = 45 * 85 ตารางเมตร

LLF = LLD * LDD * TCF

LLD = 0.9 (หลอด HPS)

LDD = 0.95 (Enclosed Filter)

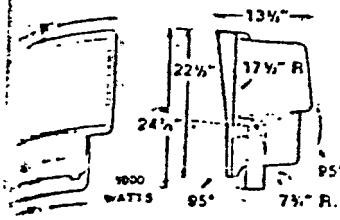
TCF = 1 (หลอด HPS)

CBU = 70%

E = (4 * 86446 * .70 * .9 * .95)/(45 * 85)

= 54 ลักซ์

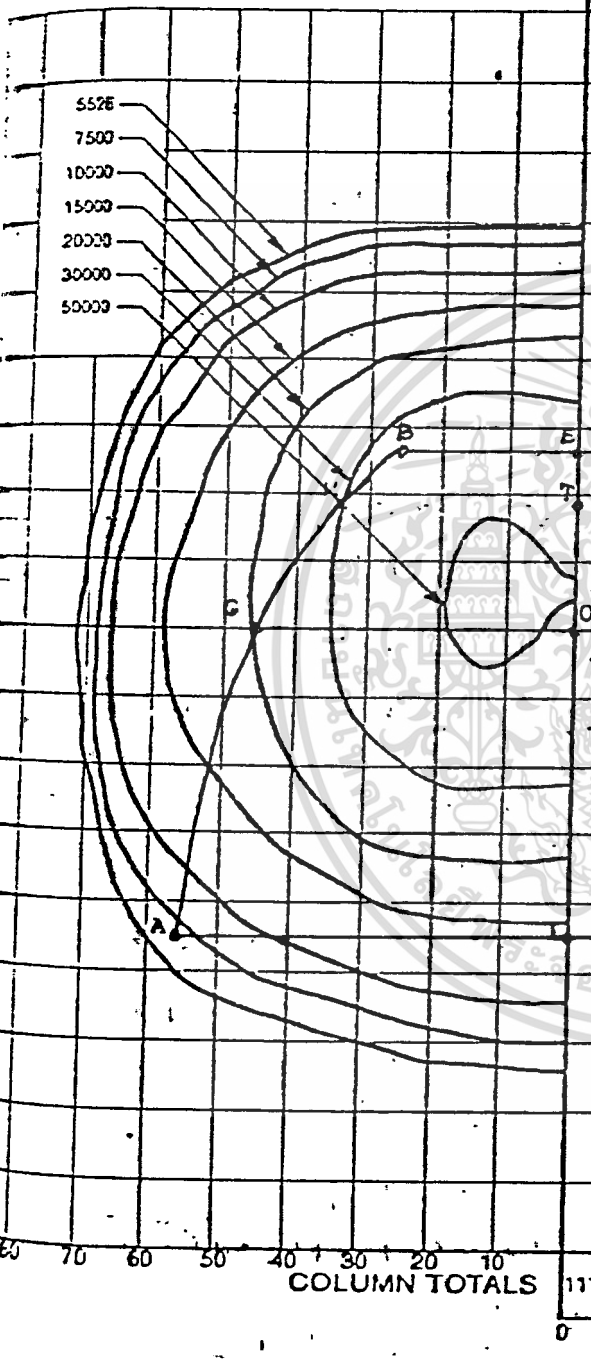
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TEST NO.: HP-00430
SOURCE: HIGH PRESSURE SODIUM
LAMP: LU 1000
WATTS: 1000
LCL: 8.75
LUMENS: 140000
APPROVED:

IES/NEMA TYPE: 7Hx6
BEAM SPREAD HORIZONTAL: 142°
BEAM SPREAD VERTICAL: 124°
BEAM EFFICIENCY: 62%
BEAM LUMENS: 8644
MAX. BEAM CANDLEPOWER: 5526
AVG. MAX. CANDLEPOWER: 5146

ISO-CANDELA CURVES
AVERAGE OF RIGHT - LEFT SIDES



LUMEN DISTRIBUTION AVERAGE OF RIGHT - LEFT SIDES									ROW TOTAL
19	20	16	12	7	5	2	1		82
89	93	67	58	29	15	5	1		357
266	254	226	180	113	40	9	3		1091
540	520	474	367	254	96	35	3		2289
927	896	757	546	367	168	67	4		3752
1293	1261	1061	673	426	265	101	5		5077
1505	1507	1192	741	457	285	135	5		5827
1557	1597	1259	756	462	293	154	5		6083
1436	1480	1174	711	444	285	158	5		5693
1157	1195	966	620	401	261	147	5		4752
833	843	717	507	345	225	116	5		3591
579	571	506	391	261	184	81	4		2597
425	484	358	285	210	135	45	4		1866
290	272	233	181	127	77	11	3		1194
146	142	111	88	59	28	8	2		584
56	55	47	36	22	12	5	2		235
11118	11110	9164	6152	4006	2384	1079	57		45070
0	10	20	30	40	50	60	70	80	

รูปที่ 2.10 แสดงการลงตำแหน่งของจุดต่างๆลงบนข้อมูลทางแสง
ของดวงโคมเพื่อใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของลำแสง และความสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การคำนวณค่าความสว่างที่จุดใดๆโดยใช้วิธีคำนวณแบบจุดต่อจุด

การคำนวณด้วยวิธีนี้ทำให้เราสามารถทราบว่าความสว่างบนพื้นที่มีความสม่ำเสมอเพียงใด และมีค่าสูงสุดต่ำสุดเป็นเท่าใด

จากตัวอย่างในหัวข้อ 2.3.2 จะคำนวณหาค่าความสว่างที่จุดต่างๆเทียบกับดวงโคม F

จุด	I(cd.)	d(m)	$E = I*h/d^3$
B	34500	52.50	3.6
S	36000	51.48	4.0
C	14000	78.46	0.5
T	40000	33.54	15.9
U	17000	52.50	1.8
X	30000	33.63	11.8
O	47000	21.21	73.9
V	12500	45.28	2.0
A	6500	27.04	4.9
Y	7500	25.00	7.2
D	-	64.27	0.0

คำนวณหาค่าความสว่างที่จุด A, O, X, Y เนื่องจากโคมไฟทุกดวง

ความสว่างที่จุด A = 4.9 + 3.6 + 0.5 + 0

= 9 ลักซ์

ความสว่างที่จุด O = 73.9 + 15.9 + 1.8 + 2

= 93.6 ลักซ์

ความสว่างที่จุด X = 4 * 11.8

= 47.2 ลักซ์

ความสว่างที่จุด Y = 2 * (7.2 + 4)

= 22.4 ลักซ์

จะเห็นว่าเราสามารถหาค่าความสว่างที่จุดใดๆก็ได้ ซึ่งจะทำให้สามารถตรวจสอบความสม่ำเสมอของความสว่างได้ และเมื่อเราเขียนรูปของระดับความสว่างออกมาเป็นภาพสามมิติก็จะช่วยให้มองเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

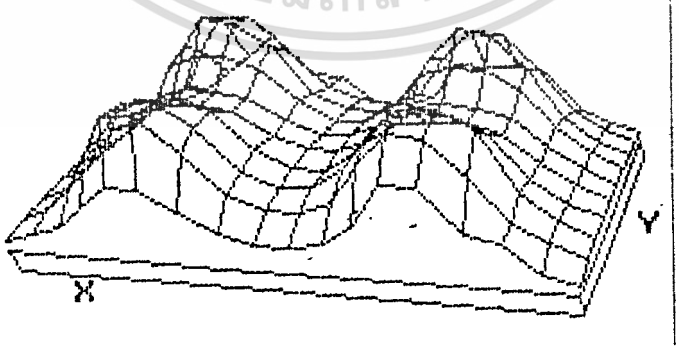
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคำนวณค่าความสว่าง ณ.ที่ตำแหน่ง(x,y)ต่างๆในพื้นที่ABCD และคำนวณหาค่าเฉลี่ย รวมทั้งระบุค่าความสว่างสูงสุดและต่ำสุดโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์จะได้ผลดังนี้

9.35	13.85	16.61	17.76	18.13	18.69	18.75	16.54	16.25	8.29
15.56	23.40	26.51	29.63	30.29	30.43	29.48	29.33	26.61	15.95
26.18	41.16	48.93	52.69	49.48	49.30	49.95	54.34	42.47	42.98
63.28	78.42	89.66	85.73	72.15	71.97	85.79	103.37	78.70	46.08
65.78	106.81	117.94	98.99	78.87	80.31	98.35	118.49	108.35	83.40
66.24	107.85	120.54	99.52	80.30	79.08	99.42	115.46	109.76	83.73
64.47	82.11	94.09	91.02	76.94	76.84	90.68	92.31	83.03	47.46
30.89	48.63	58.41	61.77	58.52	59.96	62.27	62.89	50.16	29.07
23.52	36.28	42.01	46.60	47.27	46.75	45.38	44.43	39.41	24.01
24.27	39.21	44.40	44.85	45.34	46.90	46.38	41.56	38.57	22.82
48.72	49.74	57.66	61.84	57.24	56.91	60.42	55.87	49.74	30.75
49.03	82.99	98.58	90.49	76.90	77.08	89.79	89.38	82.53	48.61
83.73	109.47	115.02	99.32	81.12	80.38	99.48	109.54	112.88	66.31
61.93	108.58	118.46	97.96	80.07	78.82	97.77	108.09	110.80	65.85
46.06	78.67	92.05	85.71	72.10	72.03	86.04	81.48	78.33	45.84
25.91	41.61	46.08	49.36	48.36	48.10	51.05	46.05	44.20	26.20
15.68	26.37	28.94	29.07	30.36	30.25	29.59	26.14	23.40	15.60
8.94	14.13	16.47	18.70	19.02	17.55	17.71	16.18	13.87	9.12

AVERAGE = 58.03822
MAXINUM = 120.5371
MINIMUM = 8.285753

และเมื่อนำค่าความสว่าง ณ.ตำแหน่งต่างๆมาเขียนเป็นรูปกราฟ 3 มิติ จะปรากฏผลดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบแสงสว่าง

พื้นฐานเบื้องต้นของการออกแบบแสงสว่างคือความรู้เกี่ยวกับเรื่องแสง การสะท้อนของแสง การกระจายของแสง ฯลฯ และได้นำหลักการเหล่านี้มาช่วยในการออกแบบให้ได้ตามความต้องการ และลดการสูญเสียของแสงให้มากที่สุด

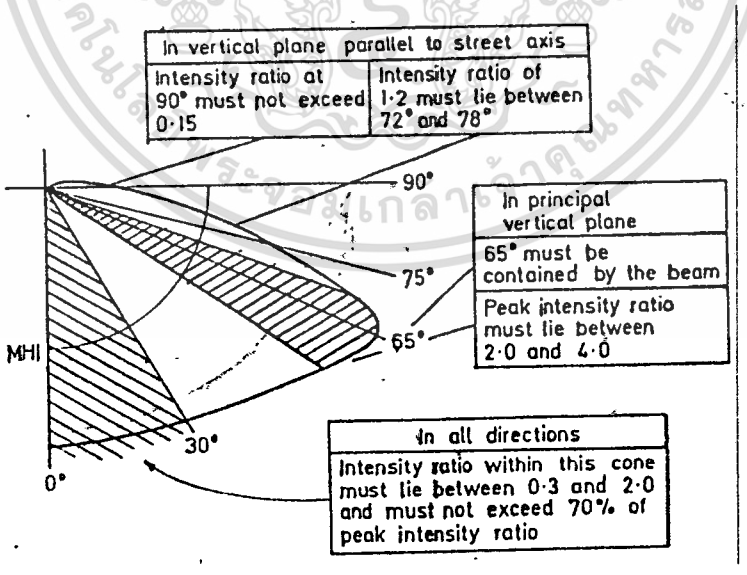
3.1 ดวงโคม (Luminaires)

ดวงโคมคืออุปกรณ์ที่มีไว้สำหรับ

1. รองรับหลอดไฟและช่วยในการต่อวงจรทางไฟฟ้า
2. บังคับและควบคุมแสง
3. ป้องกันอันตรายไม่ให้อยู่ในระดับที่ต้องการ
4. ให้ง่ายต่อการติดตั้งและดูแลรักษา
5. เพื่อความสวยงามและประหยัด

3.1.1 รูปแบบการกระจายแสงของดวงโคมที่สำคัญมี 2 ชนิดคือ

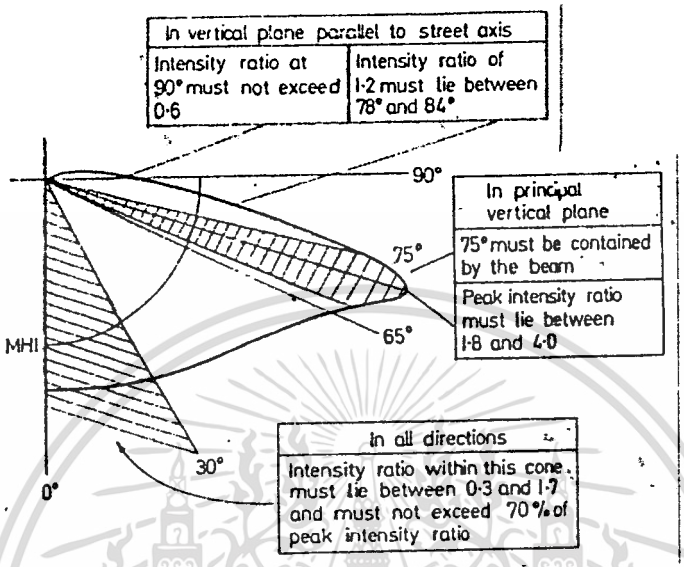
3.1.1 โคมแบบคัทออฟ(cut-off) การกระจายของแสงจะไม่เกิน 65° ทำให้มีค่าแกลร์(glare)น้อยแต่ระยะห่างของเสาจะน้อย ทั้งนี้เพราะการกระจายแสงเป็นมุมแคบ



รูปที่ 3.1 การกระจายแสงของโคมไฟแบบคัทออฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 โคมแบบเซมิคัทออฟ(semi-cut-off) การกระจายของแสงไม่เกิน 75° ดังนั้นจึงมีค่าแกลร์มากเพราะค่าความเข้มของแสงในแนวนอนสูง และระยะห่างของเสาไกลกว่าแบบแรกเพราะกระจายแสงไกลกว่า



รูปที่ 3.2 การกระจายแสงของโคมไฟแบบเซมิคัทออฟ

3.2 ส่วนประกอบโดยทั่วไปของดวงโคม

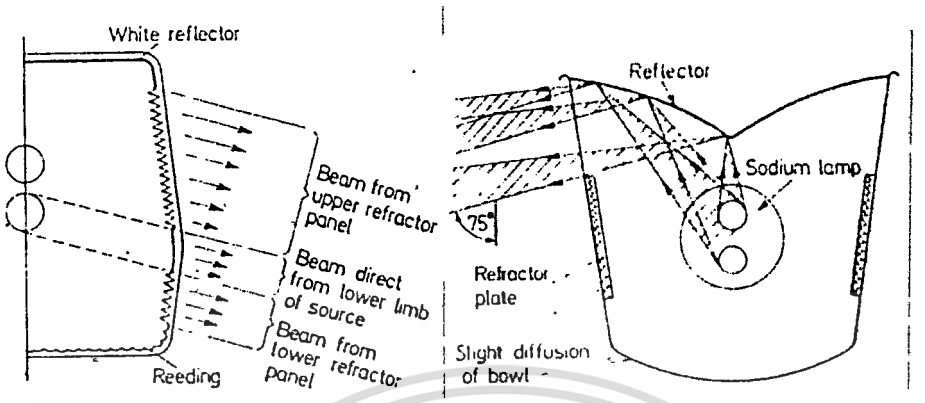
1. ลูเวอร์(LOUVER) ทำหน้าที่บดบังหลอดไฟจากการจ้องมองโดยตรงและบังแสงไม่ให้กระจายไปในส่วนที่ไม่ต้องการ โดยมากแล้วจะทำขึ้นจากวัตถุซึ่งแพร่กระจายแสงดี เช่นโลหะเคลือบ, อลูมิเนียม ,อะคริลิค(acrylic)สีขาว , พลาสติกเคลือบโลหะ

2. ตัวสะท้อนแสง(REFLECTOR) ทำหน้าที่สะท้อนแสงไปตามทิศทางต่างๆ ตามต้องการตามแต่ลักษณะของตัวมัน ตัวสะท้อนแสงส่วนใหญ่จะสร้างขึ้นจาก

Material	Finish	Temperature limit	Total reflection factor
Sheet steel	Stove enamel	90 °C	Up to 80%
	Acrylic resin enamel	90 °C	
	Vitreous enamel	200° C	
Aluminium	Stove enamel	90 °C	
	Sand blasted		
	Etched		
Polyvinylchloride (PVC)		70 °C	
Opal Perspex (acrylic plastic)		80 °C	

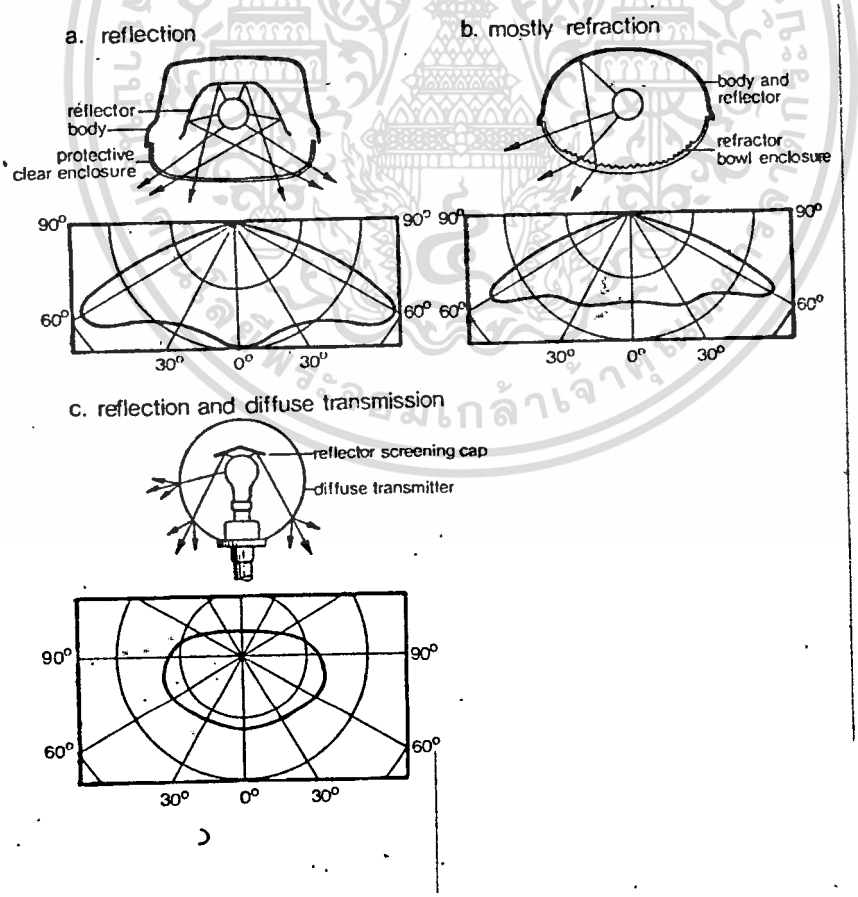
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ดิฟฟิวเซอร์(DIFFUSER) หรือ ตัวหักเหแสง(REFRACTOR) เปลี่ยนแสงและลดความสว่างของแสงในทิศทางที่มีแกลร์สูง จะสร้างขึ้นจากแก้วหรืออะคริลิค



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ภายในดวงโคม

ส่วนประกอบบางอย่างอาจจะมีหรือไม่มีก็ได้ แต่จะทำให้รูปแบบการกระจายแสงเปลี่ยนไป การทำงานอาจจะใช้ส่วนใดส่วนหนึ่งเป็นหลัก หรือทำงานทั้ง 3 ส่วนก็ได้

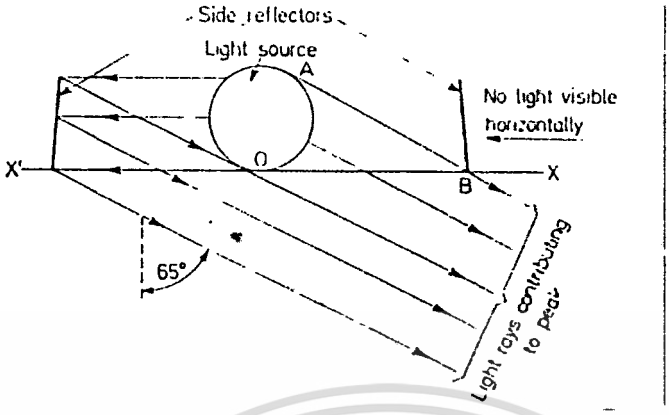


รูปที่ 3.4 การทำงานของดวงโคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ระบบของตัวสะท้อนแสง(REFLECTOR SYSTEM)

รูปแบบเบื้องต้นของตัวสะท้อนแสงซึ่งจะใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงต่อไป เป็นดังนี้



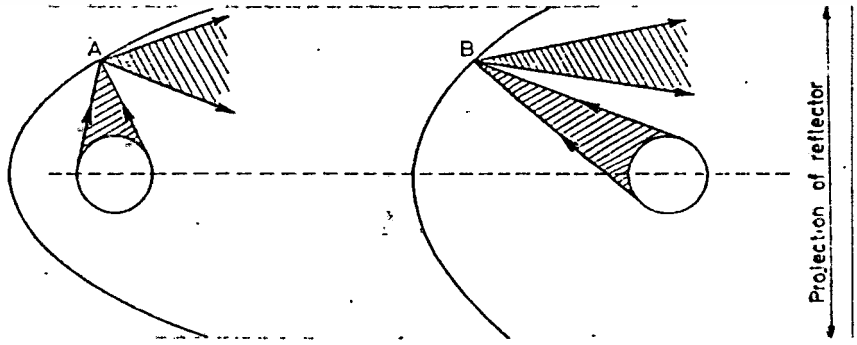
รูปที่ 3.5 รูปแบบพื้นฐานของตัวสะท้อนแสง

แสดงถึงภาพหน้าตัดของหลอดไฟและการสะท้อนแสงของหลอดไฟจาก ตัวสะท้อนแสง ตำแหน่งของตัวสะท้อนแสงนั้นควรจะมีระยะห่างจากหลอดไฟอย่างน้อยที่จุด B

ค่าความเข้มของแสงจะ ไม่ขึ้นกับตัวสะท้อนแสง ไม่ว่าจะเปลี่ยนแปลงขนาดแบบใดก็ตามถ้าต้องการให้ความเข้มเพิ่มขึ้นต้องเพิ่มขนาดความสว่างของหลอดไฟเท่านั้นแต่ตัวสะท้อนแสง จะมีผลต่อตำแหน่งของความเข้มสูงสุดของแสง กำหนดได้โดยมุมของระนาบของมัน

ในบางกรณีหลอดไฟจะอยู่ต่ำกว่าตัวสะท้อนแสง แสงสะท้อนอาจจะไปตกกระทบกับตัวสะท้อนแสง อีกด้านหนึ่งลักษณะแบบนี้จะทำให้เกิดความเข้มสูงสุดเสมือนขึ้นและจะเกิดที่มุมต่ำกว่าค่าจริงเสมอ

รูปแบบของตัวสะท้อนแสงกับตำแหน่งของหลอดไฟก็จะมีผลต่อการกระจายแสง เช่นกันยกตัวอย่างจากรูป3.6 แสดงถึง ตัวสะท้อนแสง A และ B แบบ A นั้นจะมีจุดโฟกัสใกล้กว่าแบบ B และถ้าวางตำแหน่งของหลอดไฟที่จุดโฟกัส การกระจายแสงของ A จะเป็นมุมกว้างกว่าแบบ B

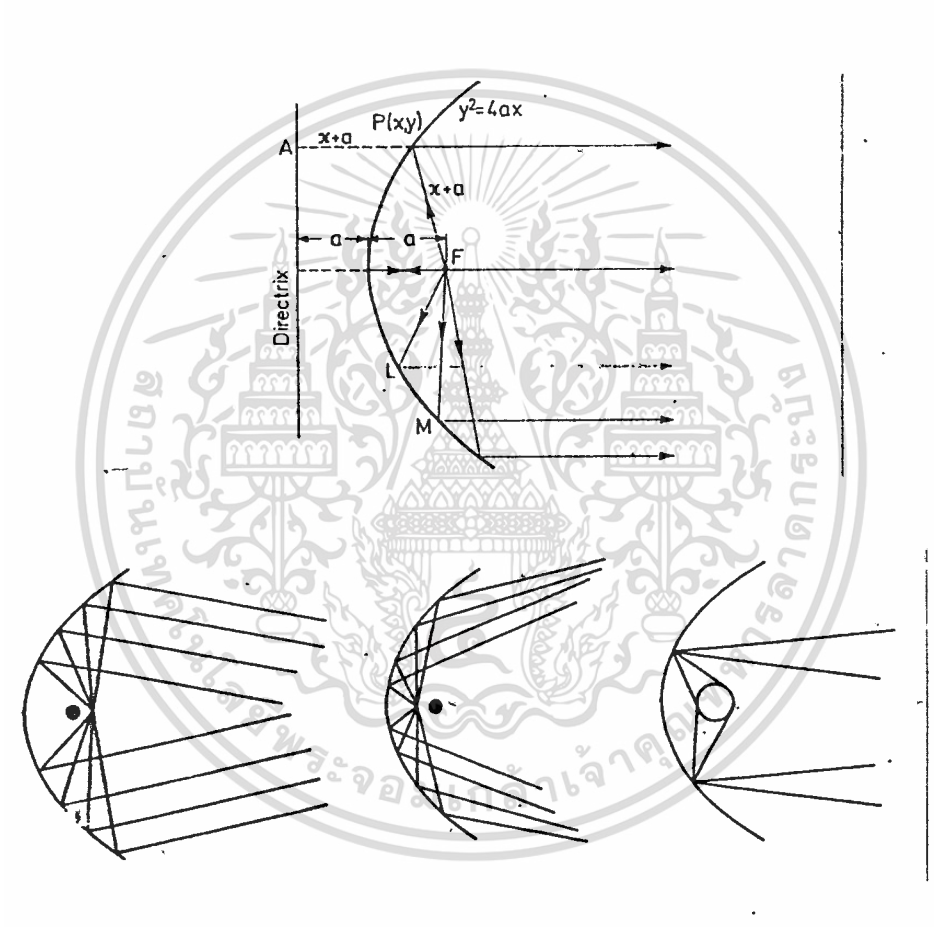


รูปที่ 3.6 ความแตกต่างของการกระจายแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงที่ออกจากแหล่งกำเนิดจะมีลักษณะกระจายไปทั่ว ถ้าต้องการออกแบบให้ตัวสะท้อนแสงสะท้อนแสงไปตกยังจุดที่ต้องการ จะต้องออกแบบให้มีระยะทางที่เปลี่ยนไปตลอดตามมุมตกกระทบของแสง ดังนั้นเฉพาะโดยทั่วไปจึงมีลักษณะโค้ง ลักษณะต่างๆต่อไปนี้เป็นสิ่งที่ต้องศึกษาเบื้องต้นในการออกแบบต่อไป

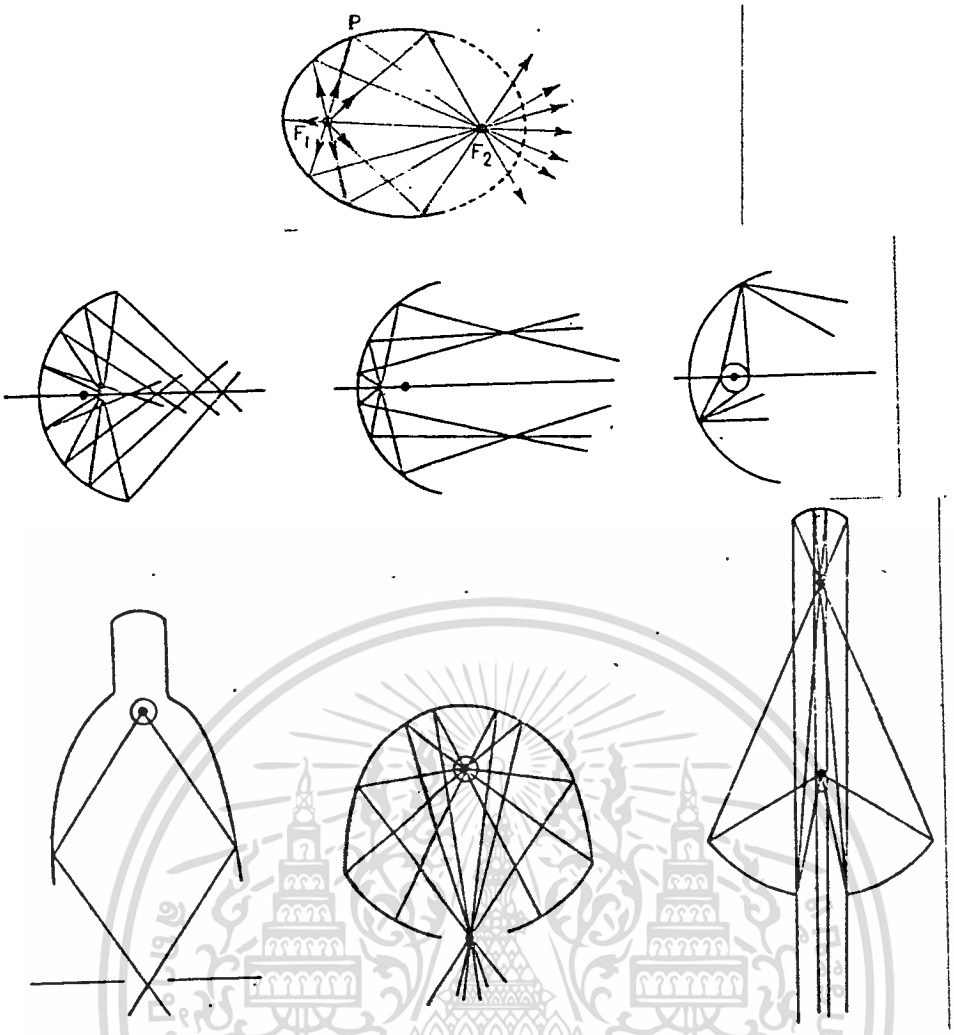
1. พาราโบลา(parabola) ถ้าหลอดอยู่ที่จุดโฟกัสของตัวสะท้อนจะตั้งฉากกับเส้นไดเรคตริกซ์(directrix)ของพาราโบลา ดังนั้นพื้นที่ใต้ตัวสะท้อนแสงจะมีความเข้มสูงสุด ถ้าไม่ต้องการก็ไม่ควรใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบจุดหรืออย่าวางที่ตำแหน่งโฟกัส



รูปที่ 3.7 ตัวสะท้อนแสงแบบพาราโบลา

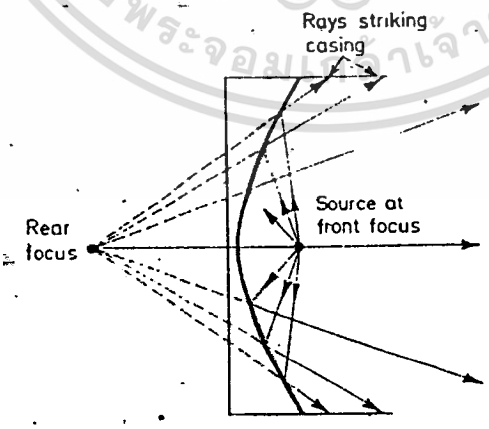
2. แบบวงรี(ellipse) มีจุดโฟกัส 2 จุด ถ้าวางหลอดไฟไว้ที่จุดโฟกัสจุดใดจุดหนึ่ง แสงสะท้อนจะต้องไปผ่านอีกจุดโฟกัสหนึ่งเสมอลักษณะแบบนี้จะเป็นการกระจายแสงแบบพิเศษเหมาะกับการส่องสว่างในกรณีเป็นห้องเล็กๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ตัวสะท้อนแสงแบบวงรี

3. แบบไฮเปอร์โบลา(hyperbola) มี 2 จุดโฟกัสเช่นกัน แต่จุดโฟกัสจะอยู่ตรงข้ามกันดังรูป



รูปที่ 3.9 ตัวสะท้อนแสงแบบไฮเปอร์โบลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ระบบของตัวหักเหแสง(REFRACTOR SYSTEM)

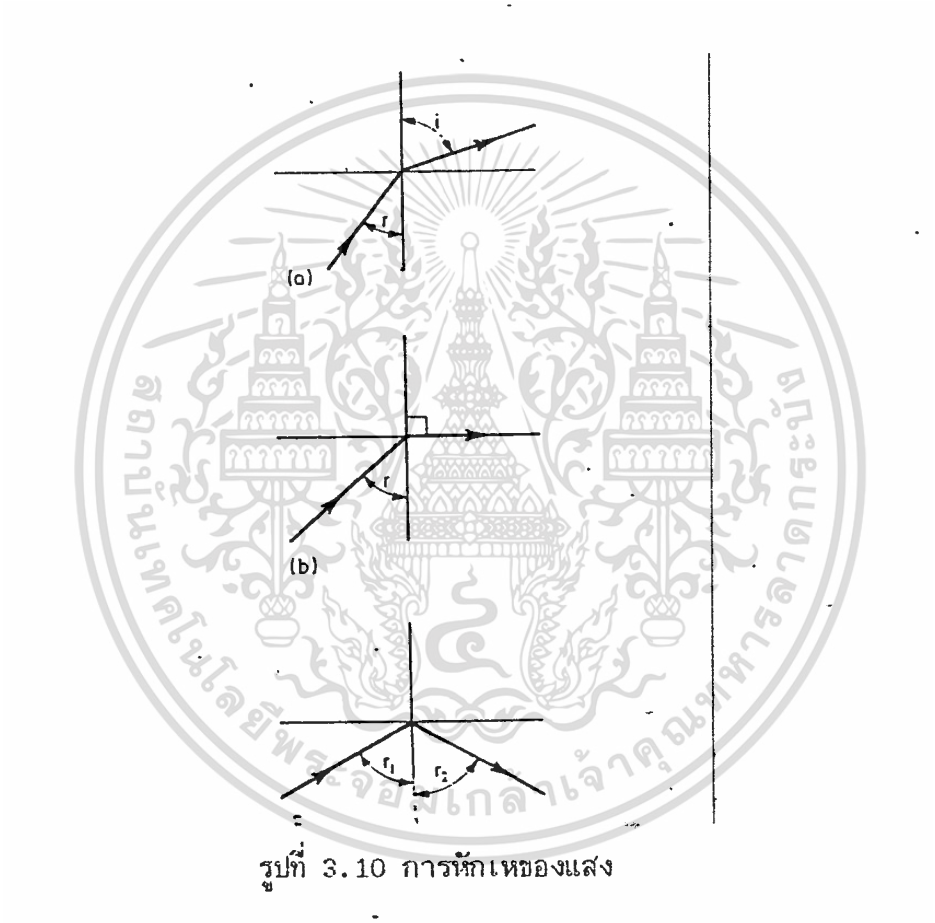
การออกแบบเพื่อควบคุมการกระจายแสงนั้น ใช้หลักการที่ว่าเมื่อแสงผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน เส้นทางการเดินของแสงจะหักเหไป มุมที่หักเหของแสงหาได้จากสมการ

$$\sin i = u * \sin r$$

โดย i = มุมตกกระทบ

r = มุมสะท้อน

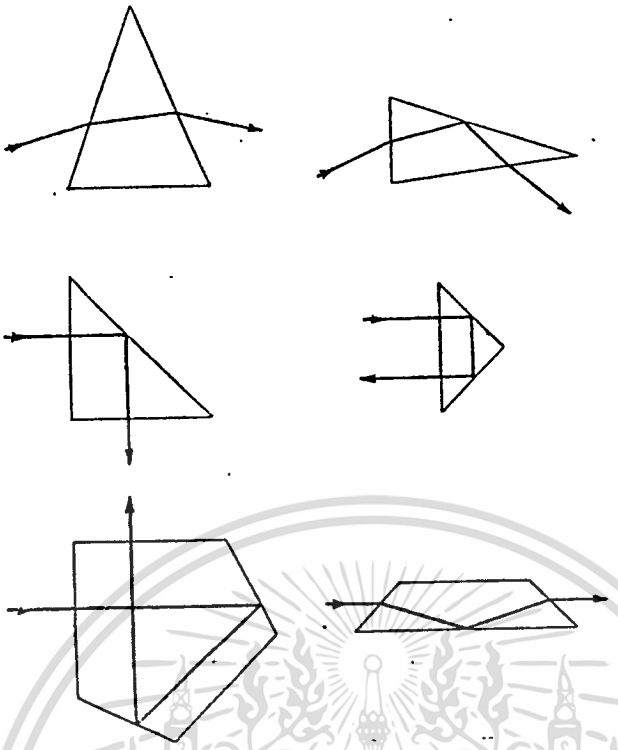
u = ค่าดัชนีหักเห (refractive index)



รูปที่ 3.10 การหักเหของแสง

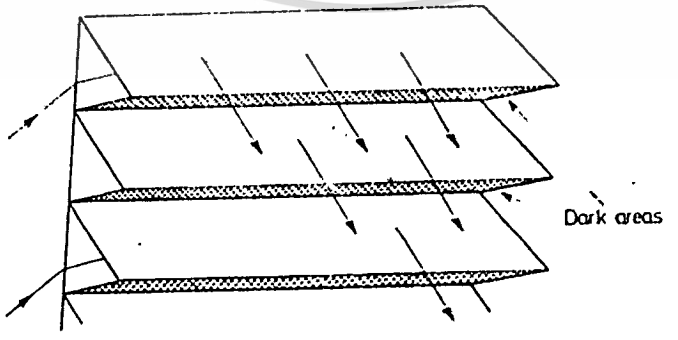
ตัวสะท้อนแสงโดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นปริซึม(prism) ซึ่งมีการหักเหได้หลายแบบตามแต่ลักษณะของปริซึม และเส้นทางเข้าของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 การหักเหโดยปริซึม

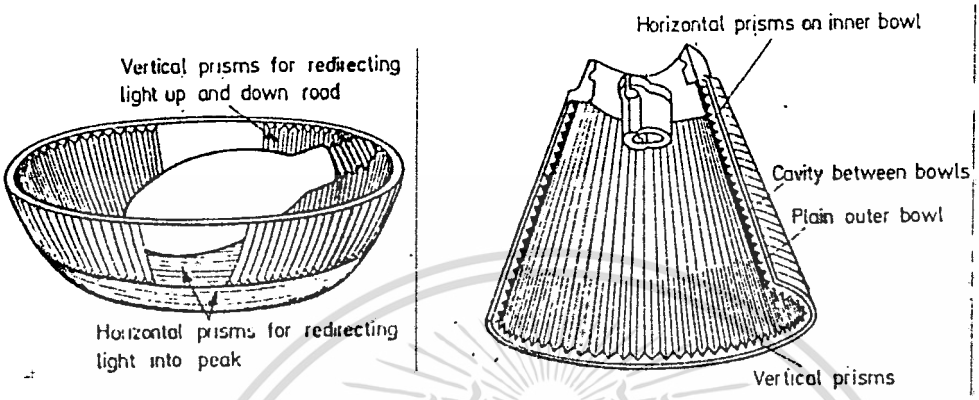
ปริซึมจะติดตั้งไว้ภายในหรือภายนอกดวงโคมก็ได้ แต่ถ้าติดไว้ภายนอกจะมีปัญหาเกี่ยวกับความสกปรกและความสะอาด นอกจากนี้ยังมีปัญหาเกี่ยวกับการสะท้อนแสงอีก คือการหักเหของแสงจะไม่เกิดขึ้นตลอดพื้นที่ บางแห่งจะไม่สามารถหักเหได้และเกิดเป็นจุดมืดขึ้นจากปัญหาต่างๆจึงนิยมติดตั้งปริซึมไว้ภายในดวงโคม โดยอาจจะแยกเป็นส่วนต่างหากติดเข้าไปดังรูป 3.3 การติดตั้งแบบนี้จะทำให้การหักเหแสงเกือบสมบูรณ์ บริเวณของเงามืดแสงจะหักเหขึ้นบนและสูญเสียไป



รูปที่ 3.12 จุดมืดของการหักเหของปริซึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริซึมยังแบ่งการติดตั้งได้อีก 2 แบบคือ ในแนวราบและในแนวดิ่ง ปริซึมในแนวราบจะมีผลต่อการหักเหแสงในการเกิดค่าความเข้มสูงสุด ปริซึมในแนวดิ่งจะทำให้แสงหักเหขึ้นลงตามแนวของการส่องสว่าง



รูปที่ 3.13 ลักษณะของตัวหักเหแสงแบบปริซึม

เนื้อหาของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จะมีเฉพาะส่วนของการออกแบบตัวสะท้อนแสงเท่านั้นส่วนประกอบอื่นๆของดวงโคมเป็นส่วนที่จะต้องศึกษาและจัดการต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบตัวสะท้อนแสง

จากบทที่แล้ว เป้าหมายของตัวสะท้อนแสงก็คือสะท้อนแสงไปตกกระทบที่พื้นผิวที่ต้องการ ตัวสะท้อนแสงจึงมีลักษณะโค้งเพื่อรองรับการกระจายของแสง ในบทนี้จะกล่าวถึงการพิจารณาที่มีในการโค้ง

กฎของแสงกล่าวว่า "มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน" เมื่อคิดเทียบกับระนาบที่ตกกระทบ และถ้าระนาบเปลี่ยนแปลงไปอย่างเหมาะสมแล้ว แสงสะท้อนทั้งหมดจะอยู่ในทิศทางตามต้องการ

4.1 รูปแบบการสะท้อนแสงของตัวสะท้อนแสง

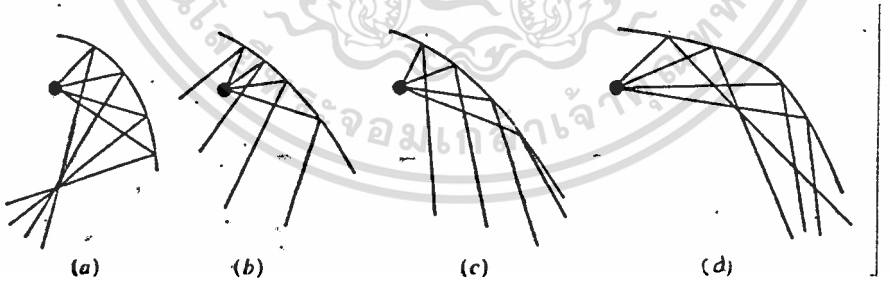
รูปแบบการสะท้อนแสงของตัวสะท้อนแสงโดยรวมๆจะมี 4 แบบ ดังรูป 4.1 แต่ลักษณะการสะท้อนจะมีเพียง 2 ลักษณะคือสะท้อนไป(c, d)และสะท้อนกลับ(a, b) หรืออาจจะเป็นการสะท้อนแบบกระจายหรือสะท้อนแบบรวมแสง การออกแบบในบทนี้จะใช้ลักษณะเหล่านี้เป็นหลัก โดยจะกำหนดตัวแปรพื้นฐานดังนี้

β = ความชันของรังสีตกกระทบ

θ = มุมระนาบของตัวสะท้อนแสงเทียบกับแกน x

γ = มุมสะท้อนเทียบกับแกน y

(X0, Y0) = ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสง



รูปที่ 4.1 ข้อกำหนดเบื้องต้นของตัวสะท้อนแสง

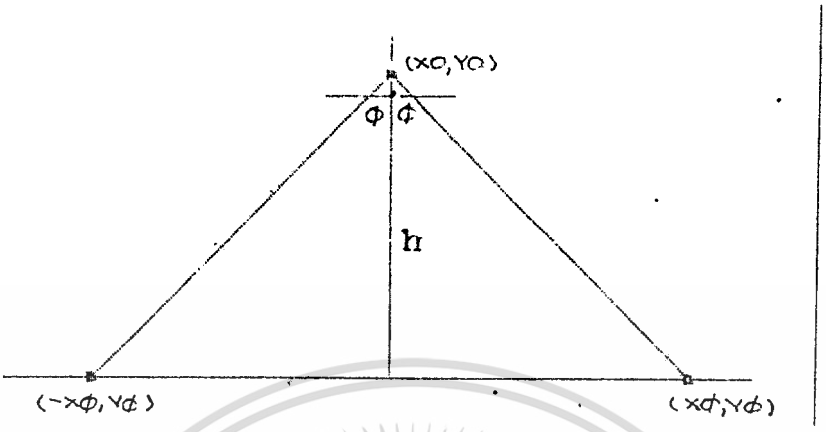
สำหรับมุมสะท้อนนั้นจะมีได้ 2 แบบ ดังนี้

1. ออกแบบให้กระจายแสง ต้องการให้ความสว่างใกล้เคียงกันในทุกพื้นที่ที่ต้องการ ลักษณะแบบนี้มุมจะมีค่าเท่ากันตลอดเพื่อให้แสงตกกระทบทั่วทุกพื้นที่

2. ออกแบบให้รวมแสง จะเกิดค่าความเข้มสูงสุดที่จุดๆหนึ่ง มุมจะมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนไปตลอดเพื่อให้แสงตกที่จุดเดียว ขั้นตอนการหาค่ามุมมีดังนี้



รูปที่ 4.2 เสาและดวงโคม

ตำแหน่งของหลอดไฟอยู่ที่(XO,YO) และเสาสูง h ต้องการให้ความเข้มสูงสุดเกิดที่มุมφ ขั้นตอนแรกที่ต้องทำคือหาจุดตกกระทบก่อน ดังนี้

1. หาจุด (Xφ , Yφ)

Yφ คือ YO+h ส่วนค่าของ Xφ คำนวณดังนี้

$$\text{ระยะ } (XO,YO)-(X\phi,\ Y\phi) = \sqrt{(\ X\phi\ -\ XO\ )^2 + (\ YO+h\ -YO\ )^2}$$

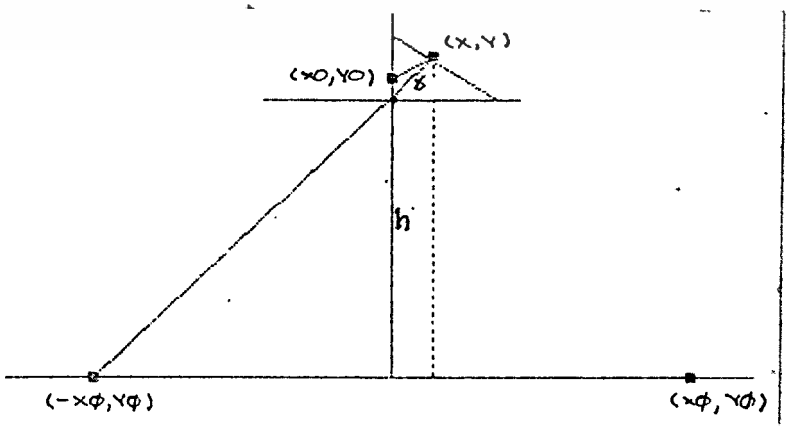
$$= \sqrt{(\ X\phi-XO\ )^2 + h^2}$$

$$\cos\phi = h\ /\ \sqrt{(\ X\phi\ -XO\ )^2 + h^2}$$

$$X\phi = \sqrt{(\ h\ /\ (\ \cos\phi\ )\ )^2 - h^2} + XO \quad .. \ 4.1$$

2. การสะท้อนแสงแบบต่างๆ

2.1 การสะท้อนกลับ เมื่อรู้ตำแหน่งตกกระทบสามารถหามุมสะท้อนได้ดังนี้

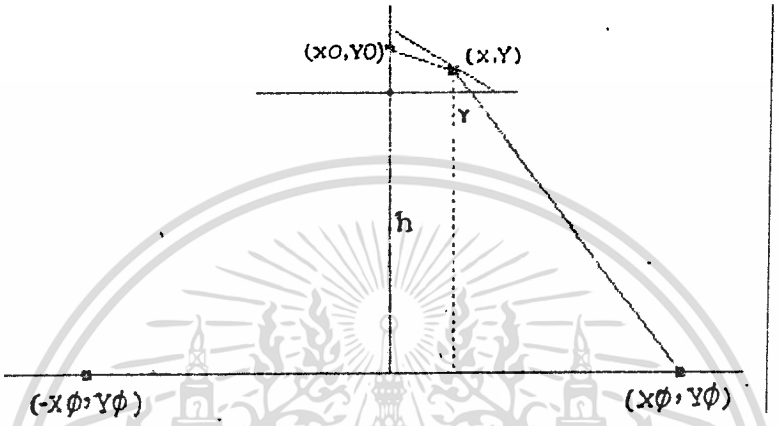


รูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$TAN\ Y = (X + X\phi) / (YO + h) \quad .. 4.2$$

2.2 การสะท้อนไป

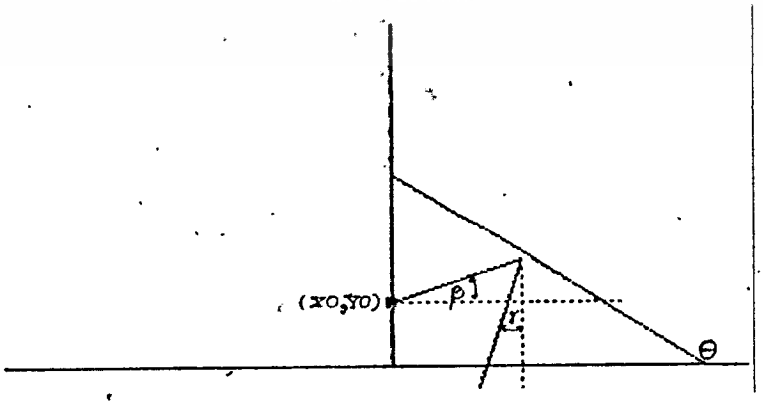


รูปที่ 4.4

$$TAN\ Y = (X\phi - X) / (YO + h) \quad .. 4.3$$

4.2 ตัวสะท้อนแสงแบบสะท้อนกลับ

ตัวสะท้อนแสงชนิดนี้จะมีลักษณะดังรูปที่ 4.5 การออกแบบจะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือการออกแบบซีกซ้ายและการออกแบบซีกขวา



รูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มแรกกำหนดจุดของแหล่งกำเนิดแสง (XO, YO) และมุมที่ต้องการให้แสงกระจายไป(γ)และกำหนดความกว้างของตัวสะท้อนแสง(ดังนั้นในแต่ละซีกจะมีขนาดเท่ากับครึ่งหนึ่งของความกว้าง) และตำแหน่งแรกของการออกแบบจะเริ่มที่ขอบของตัวสะท้อนแสงและสิ้นสุดที่ตำแหน่งเหนือแหล่งกำเนิดแสง

ต่อมาคำนวณหามุมระนาบของตัวสะท้อนแสง (O) ได้ดังนี้

มุมตกกระทบ = มุมสะท้อน

$180 - \theta + \beta = \gamma + \theta - 90$

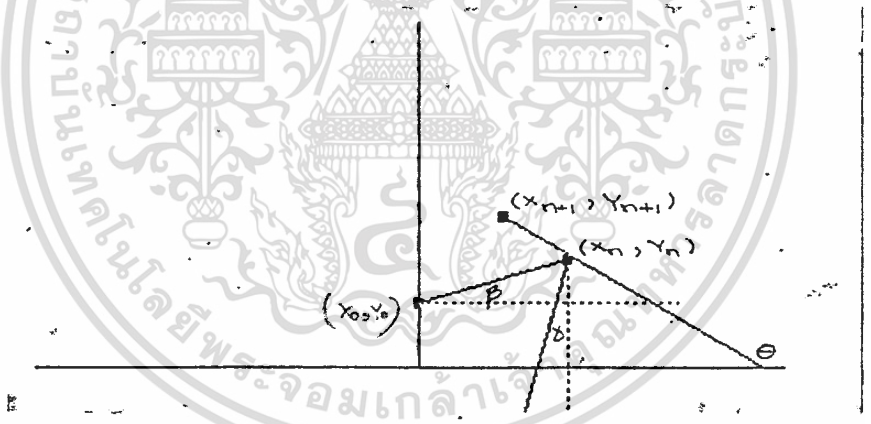
$$\theta_{ขวา} = (270 + \beta - \gamma) / 2 \quad .. 4.4$$

และวิธีเดียวกันจะได้ $$\theta_{ซ้าย} = (\gamma + \beta + 90) / 2 \quad .. 4.5$$

การออกแบบซีกขวา

1. กำหนดจุดเริ่มต้นอยู่ที่ (X_n, Y_n) ในตอนแรก $X_n = X_1$ มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของความกว้างของตัวสะท้อนแสง (เป็นค่า + เพราะอยู่ด้านขวา) $Y_n = Y_1 = 0$ เสมอ

2. คำนวณหามุมของรังสีตกกระทบ ดังนี้



รูปที่ 4.6 การออกแบบช่วงแรกของตัวสะท้อนแสงแบบสะท้อนกลับ

จากรูป $$\beta = \tan^{-1} ((Y_n - YO) / (X_n - XO)) \quad .. 4.6$$

คอมพิวเตอร์จะคำนวณค่ามุมออกเป็นเรเดียน(radian) ดังนั้นจะต้องเปลี่ยนค่าเป็นองศา(degree)ก่อนเสมอ

เมื่อได้ค่าความชัน (B) และค่ามุม γ นำไปคำนวณหามุมระนาบได้จากสมการ4.4

3. คำนวณหาจุด (X_{n+1}, Y_{n+1}) ซึ่งเส้นตรงระหว่าง (X_n, Y_n)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับ (X_{n+1} , Y_{n+1}) จะทำมุมกันเท่ากับมุมของระนาบที่คำนวณได้

4. ถ้ากำหนดการเปลี่ยนแปลงในแกน Y ให้ถึงที่เท่ากับ S เพราะฉะนั้นได้

$$Y_{n+1} = Y_n + S \qquad .. 4.7$$

และสามารถหาค่า X_{n+1} ได้จาก

$$\tan\Theta = (Y_n - Y_{n+1}) / (X_n - X_{n+1})$$
$$= (-S) / (X_n - X_{n+1})$$

ดังนั้น $$X_{n+1} = X_n + (S / \tan\Theta) \qquad .. 4.8$$

ลากเส้นระหว่าง (X_n , Y_n) กับ (X_{n+1} , Y_{n+1})

5. กลับไปคำนวณตามวิธีตั้งแต่ข้อ 2 ใหม่ โดยกำหนด (X_{n+1} , Y_{n+1}) ที่คำนวณได้มาเป็นจุดเริ่มต้น คำนวณจนกระทั่ง X_{n+1} น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0 จึงเลิก

การออกแบบฮีกซ้าย

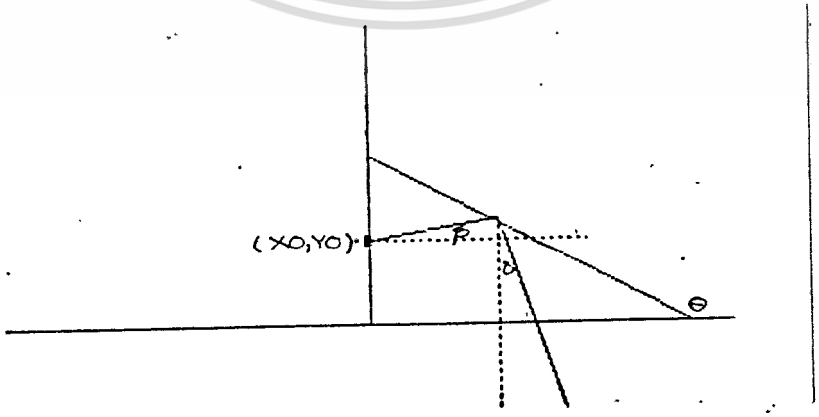
1. คล้ายกับฮีกขวา ต่างกันที่ว่าที่ตำแหน่งแรก $X_n = X_1$ นั้นมีค่าเป็นลบของค่าของครึ่งหนึ่งของความกว้าง

2. ต่อมาก็คำนวณคล้ายกัน แต่ค่า X_n จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นจึงหยุดการทำงานที่ X_n มากกว่าหรือเท่ากับ 0

4.3 ตัวสะท้อนแสงแบบสะท้อนไป

การกำหนดตัวแปรต่างๆก็เป็นเช่นเดียวกับแบบแรกมีเพิ่มขึ้นมาคือความสูงของตัวสะท้อนแสงเหนือแกนบ้างอิง และจุดเริ่มต้นของการออกแบบจะเริ่มที่ตำแหน่งนี้ (0,Y) ไปจนกระทั่งถึงครึ่งหนึ่งของความกว้างของตัวสะท้อนแสง

ค่ามุมระนาบของตัวสะท้อนแสงหาได้ดังนี้



รูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมตกกระทบ = มุมสะท้อน

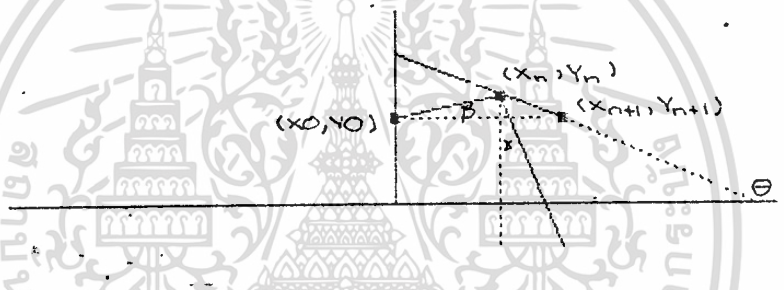
$180 + \beta + \theta = \theta + \gamma - 90$

$\theta_{ขึ้น} = (270 + \beta + \gamma) / 2$ .. 4.9

และวิธีเดียวกันนี้จะได้ $\theta_{ลง} = (\beta - \gamma + 90) / 2$ .. 4.10

การออกแบบขึ้นลงว่า

1. กำหนดจุดเริ่มต้นเป็น (X_n , Y_n) ใดๆ และที่ตำแหน่งแรก $X_n = X_1 = 0$, $Y_n = Y_1$ = ความสูงของตัวสะท้อนแสง



รูปที่ 4.8 การออกแบบช่วงแรกของตัวสะท้อนแสงแบบสะท้อนไป

2. หาความชันของเส้นตกกระทบ (β) จากสมการ 4.9 นำค่า β และค่ามุม γ ที่กำหนดไปคำนวณหามุมระนาบ (θ)

3. กำหนดให้การเปลี่ยนแปลงในแกน X คงที่เท่ากับ S

ดังนั้นจะได้ $X_{n+1} = X_n + S$ .. 4.11

$TAN\ \theta = (Y_n - Y_{n+1}) / (X_n - X_{n+1})$

$Y_{n+1} = Y_n + (S * TAN\ \theta)$ .. 4.12

ลากเส้นระหว่าง (X_n , Y_n) กับ (X_{n+1} , Y_{n+1})

4. กลับไปคำนวณตามวิธีตั้งแต่ข้อ 2 ใหม่ โดยกำหนด (X_{n+1} , Y_{n+1}) ที่คำนวณได้มาเป็นจุดเริ่มต้น คำนวณจนกระทั่ง X_{n+1} มากกว่าหรือเท่ากับครึ่งหนึ่งของความกว้างของตัวสะท้อนแสงจึงหยุดการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบที่เหมาะสม

การออกแบบที่เหมาะสมจะต่างจากแบบแรก ตรงที่ว่า ในแบบที่เหมาะสมนี้ค่าของ λ_n เปลี่ยนไปตลอดเวลา และช่วงนี้ λ_n จะมีค่าเป็น+หรือ- ดังนั้น สมการ 4.11 และ สมการ 4.12 จะเปลี่ยนเป็น

$$\lambda_n = \lambda_n - S \qquad .. 4.15$$

$$\lambda_{n+1} = \lambda_n - (S + TAX\ \theta) \qquad .. 4.16$$

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทสรุป

ผลของการทำงานทั้งหมดจะแสดงออกทางคอมพิวเตอร์ ค่าในการคำนวณจะแม่นยำเสมอ แต่ทั้งนี้ค่าต่างๆที่ใส่ให้กับคอมพิวเตอร์จะต้องถูกต้องเช่นกัน

ในบทที่ 1 และ 2 ของการออกแบบไฟส่องพื้นที่ จุดมุ่งหมายเพื่อช่วยและประหยัดเวลาในการคำนวณ ความละเอียดสามารถกำหนดได้ตามต้องการ แต่ถ้าในระหว่างการทำงานใส่ค่าผิดพลาดลงไป จะต้องกลับไปเริ่มต้นใหม่เสมอทำให้เสียเวลาโดยไม่จำเป็น ดังนั้นในกรณีที่ไม่ต้องการทราบรูปแบบการส่องสว่างที่ละเอียดนัก ก็ควรกำหนดระยะห่างระหว่างจุดให้มากขึ้น การทำงานจะได้เร็วขึ้นและถ้าผิดพลาดก็จะได้ไม่เสียเวลามากนัก

ส่วนของงานต่อมาเป็นช่องการออกแบบตัวสะท้อนแสง ผลที่ได้ออกมายังมิได้ผ่านการทดสอบว่าได้ตรงตามแนวคิดหรือไม่ ทั้งนี้เพราะค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างสูงมากนั่นเอง แต่ถ้าจะมีการนำผลไปจัดสร้างก็ขอแนะนำว่าควรใช้รูปที่เขียนโดย plotter เท่านั้น เพราะภาพจากจอคอมพิวเตอร์ไม่สามารถอ้างอิงได้ เนื่องจากข้อจำกัดของจอภาพ

ท้ายสุดนี้หวังว่าผลงานคงเป็นที่น่าสนใจและจะมีการปรับปรุงแก้ไขต่อไป โดยเฉพาะส่วนของอุปกรณ์ภายในของดวงโคม จนกระทั่งสามารถออกแบบได้อย่างสมบูรณ์

พิศณุ วริวารนันท์

อัครพล ทัศนเศรษฐ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

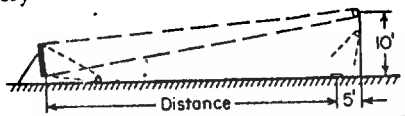
ภาคผนวกที่ 1

รายละเอียดในการติดตั้งไฟส่องพื้นที่ในสนามกีฬาประเภทต่างๆตามมาตรฐานของ IES และ NEMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Archery

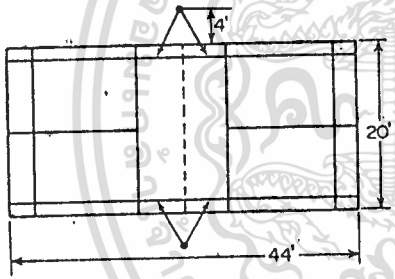
The floodlight provides visibility of the arrow throughout flight.



Floodlights	Per target 1 Type 1, Group A 1 PAR-38 projector flood 2 PAR-38 projector spots (optional)
Lamps	For enclosed floodlight Distance up to 30 yd – 250-watt G-30 bulb 30 to 50 yd – 500-watt G-40 bulb 50 to 100 yd – 1,000-watt G-40 bulb
Mounting height	Enclosed floodlight 10 ft above ground PAR-38 flood on same pole 8 ft above ground PAR-38 spots on ground about 10 feet in front of and on either side of target (optional)
Poles	One per target

Badminton (NEMA Recommendation)

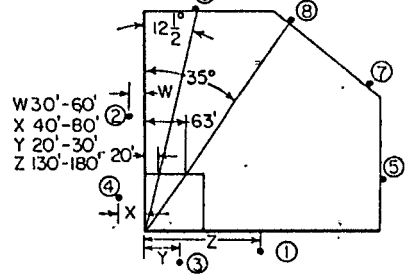
Indoor courts may be lighted with industrial diffusing units along the sidelines.



Class	Floodlights				Lamp watts	Total load, kw
	Type	Group	No. per pole	Total No.		
Recreational	5	A	2	4	750	3
	or 6	C	2	4	1,000	4

Lamps — General-service PS-52 bulb
Mounting height — 20 to 25 ft above court
Poles — 2 per court

More open floodlights than enclosed units are required to produce a given level of illumination.

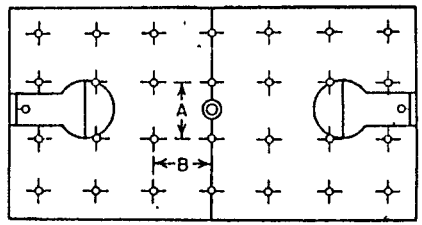


Class	Floodlights			Total load, kw	Min. mtg. height, ft
	Type	Group	Total No.		
Major League	3, 4 or 5	B	1,000	1,740	120
AAA and AA	3, 4 or 5	B	500	870	110
A and B	3, 4 or 5	B	320	560	90
	or 4, 5 or 6	C or D	440	765	
C and D	3, 4 or 5	B	240	420	70
	or 4, 5 or 6	C or D	320	560	
Semipro and municipal	3, 4 or 5	B	160	280	70
	or 4, 5 or 6	C or D	220	380	

Lamps — 1,500-watt general-service PS-52 clear-bulb lamp at 10% overvoltage
Distribution — Approximately 10% of total floodlights on each of poles 3 through 8 and 20% on each of poles 1 and 2

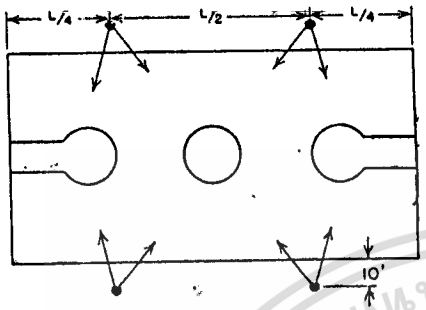
Basketball—Indoor

If ceiling is lower than 20 ft, more units on closer spacing should be used and recessed in the ceiling if possible. Luminaires should be rigidly mounted, and lamps should be protected from the ball.



Class	Fixture	Lamp watts	Spacing, ft	
			A	B
Fluorescent				
College or pro	2-lamp direct[a]	90	8½	[b]
High school	2-lamp direct[a]	90	14	[b]
Recreational	2-lamp direct	40	12	11
Incandescent				
College or pro	Deep bowl reflector	1,000 PS-52 I.F.	12	12
High school	Deep bowl reflector	750 PS-52 I.F.	13	13
Recreational	Deep bowl reflector	300 PS-35 I.F.	13	13

Basketball—Outdoor (NEMA Recommendation)



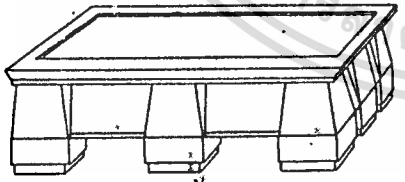
Wide-beam floodlights are required to illuminate the ball when it is a considerable distance above the court.

Class	Floodlights				Total load, kw
	Type	Group	No. per pole	Total No.	
Recreational	5 or 6	B C	2 3	8 12	12 18

Lamps ..... 1,500-watt general-service PS-52 bulb
Mounting height ..... 30 ft above court
Poles ..... 4 per court

Billiards

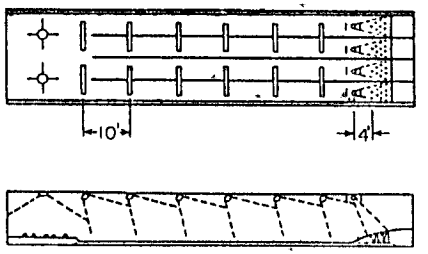
In large commercial parlors where a number of tables are installed, general illumination of high intensity proves more satisfactory than individual luminaires over each table.



Equipment ..... Tournament: 2 two-lamp fluorescent fixtures with louvers
Recreational: 1 two-lamp fluorescent fixture with louvers
Lamps ..... 40-watt T-12 fluorescent
Load ..... 200 or 100 watts
Mounting height ..... 7 ft above floor

Bowling

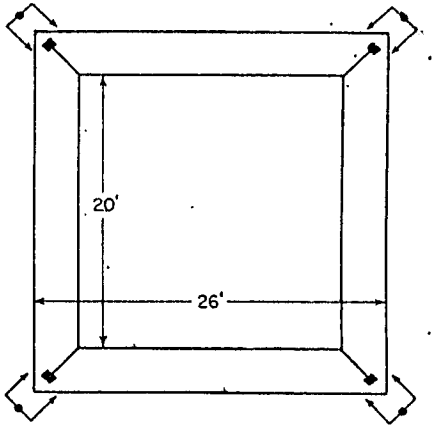
Luminaires should be shielded by false ceiling beams or baffles unless they are of the asymmetric type. They should be positioned so as to provide even illumination along the alley with higher intensity on the pins. Behind the foul line any type of general-area-lighting equipment may be employed.



Equipment ..... 6 two-lamp direct fluorescent fixtures per pair of alleys
2 150-watt PAR-38 projector floods per alley over pins
Lamps ..... 40-watt T-12 fluorescent
150-watt PAR-38 flood
Load ..... 1,200 watts per pair of alleys
Mounting height ..... 9 ft minimum

Boxing (NEMA Recommendation)

The class of bout will determine the level of illumination.



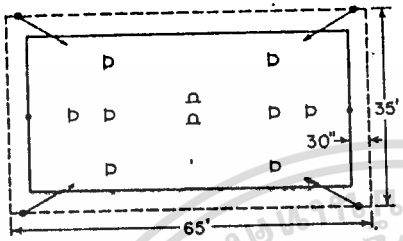
Class	Floodlights				Lamp watts	Total load, kw
	Type	Group	No. per pole	Total No.		
Championship	3	B	4	16	1,740*	28
	or 4	D	8	32	1,740*	56
Professional	4	B	2	8	1,740*	14
	or 4	D	3	12	1,740*	21
Amateur	4	B	2	8	1,000	8
	or 4	D	2	8	1,500	12

* 1,500-watt PS-52 bulb lamp operated at 10 per cent overvoltage.

Lamps ..... General-service PS-52 clear bulb
Mounting height ..... 15 to 20 ft above ring

Croquet (NEMA Recommendation)

To provide comparable levels of illumination higher wattage lamps are required for open floodlights than for enclosed units.

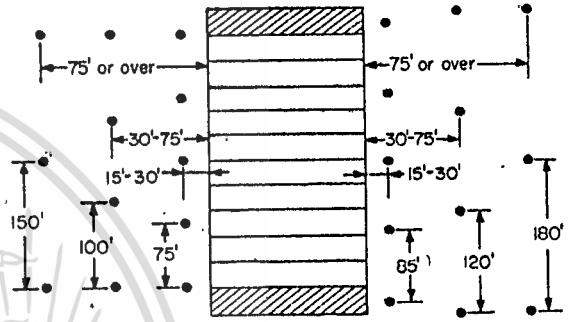


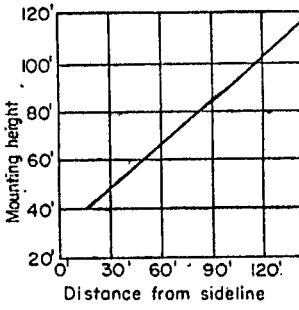
Class	Floodlights				Lamp watts	Total load, kw
	Type	Group	No. per pole	Total No.		
Tournament	5 or 6	B	1	4	1,000	4
		C	1	4	1,500	6
Recreational	5 or 6	A	1	4	500	2
		C	1	4	750	3

Lamps..... General-service PS bulb
Mounting height..... 20 to 25 ft above court
Poles..... 4 per court

Football (NEMA Recommendation)

The distance between the farthest row of spectators and the nearest sideline (see table) determin the lighting requirements, but the seating capacity should also be considered. Either of the p plans shown or any intermediate longitudinal spacing is considered good practice. Local con tions determine the exact pole locations.





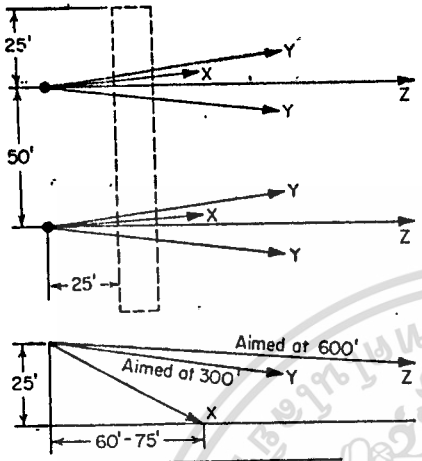
Class	Distance—poles to sideline, ft	No. of poles	Floodlights				Total load, kw
			Type	Group	No. per pole	Total No.	
I	Over 140	6	1 or 2	B	90	540	940
	100–140	6	2 or 3	B	80	480	835
II	75–100	6	3	B	36	216	380
	50–75	8	3	B	24	192	335
III	30–50	8	4	B	16	128	225
IV	15–30	10	5	B	8	80	140
	15–30	10	6	D	12	120	210
	15–30	10	6	C	18	180	315
V	15–30	10	5	B	4	40	70
	15–30	10	6	D	6	60	105
	15–30	10	6	C	8	80	140

Class	Distance farthest spectators to field, ft	Seating capacity
I	Over 100	Over 30,000
II	50–100	10,000–30 000
III	30–50	5,000–10,000
IV	Under 30	5,000
V	No fixed seating facilities	

Lamps..... 1,500-watt general-service PS-52 c bulb lamp at 10% overvoltage.

Golf Driving Range (NEMA Recommendation)

The floodlights should be directed so as to provide illumination on the ball throughout its flight.

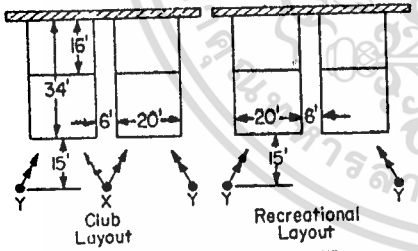


Floodlights				Lamp	Load per pole, kw
Aiming point	Type	Group	No. per pole		
X	5	B	1	1,500-watt PS-52 clear general service	7.5
Y	3	B	2	1,500-watt PS-52 clear general service	
Z	1	A	3	1,000-watt G-40 clear floodlight service	

Mounting height.. ..... 25 to 30 ft above tees
Poles..... One for every 50 ft of range width; minimum – 2 poles

Handball – Outdoor (NEMA Recommendation)

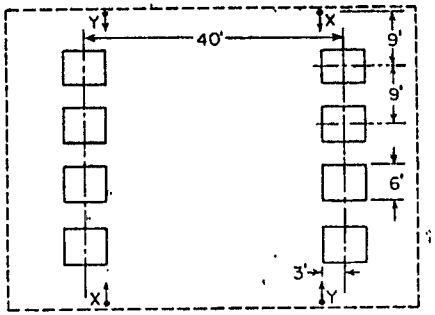
Glare is largely eliminated by locating the floodlights behind the players.



Class	Floodlights				Total No.	Lamp watts	Total load, kw
	Type	Group	No. per pole X	No. per pole Y			
Club	5	B	4	2	8	1,000	8
	or 6	C	4	2	8	1,500	12
Recreational	5	B	...	2	4	1,000	4
	or 6	C	...	2	4	1,500	6

Tennis – Outdoor (NEMA Recommendation)

Floodlights should be directed across courts to prevent direct glare.



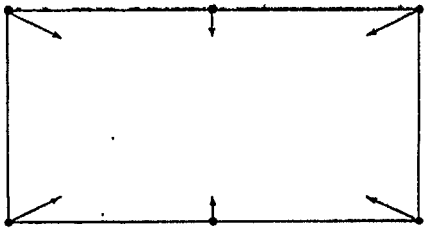
Class	No. of courts	Floodlights				Total No.	Lamp watts	Total load, kw
		Type	Group	No. per pole X	No. per pole Y			
Tournament	4–6	5	B	1	1	4	1,500	6
		or 6	C	2	2	8	1,000	8
	1–3	5	B	1	*	2	1,500	3
		or 6	C	2	*	4	1,000	4
Recreational	4–6	5	B	1	1	4	750	3
		or 6	C	1	1	4	1,000	4
	1–3	5	B	1	*	2	750	1.5
		or 6	C	1	*	2	1,000	2

* For one to three courts no Y poles are required.

Lamps..... General-service PS-52 bulb
Mounting height..... At least 20 ft above court
Poles..... 4 for 4–6 court layout, 2 for 1–3 court layout

Ice Skating – Outdoor (NEMA Recommendation)

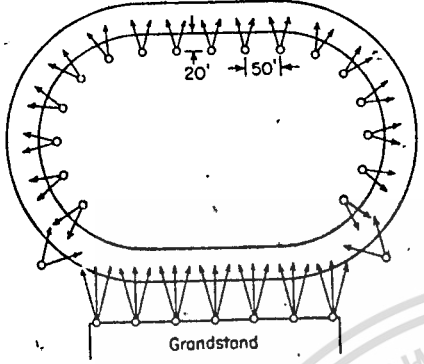
The design suggested produces satisfactory illumination for recreational skating.



Area	Floodlights		Watts per sq ft
	Type	Group	
Rink	5	A or B	0.85
	or 6	C	1.25
Pond	5	A or B	0.17
	or 6	C	0.25

The size of the area determines the number and wattage of the floodlights.

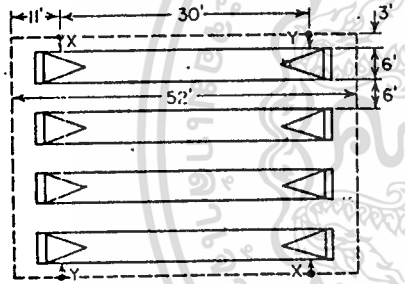
The lighting equipment should be so positioned and directed as to keep glare and shadows at a minimum.



Floodlights ..... Type 2 or 3, Group B with medium elliptical-spread cover glass
Lamps ..... 1,500-watt general-service PS-52 clear bulb
Load ..... Varies with track size
Mounting data ..... 40 ft high and 20 ft inside inner edge of track

Shuffleboard (NEMA Recommendation)

Floodlights should be directed across the court to prevent glare.

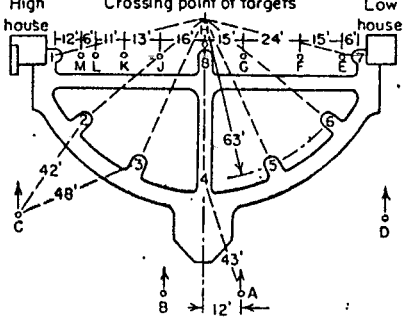


Class	No. of courts	Floodlights					Lamp watts	Total load, kw
		Type	Group	No. per pole		Total No.		
				X	Y			
Tournament	4–6	5	B	1	1	4	1,500	6
		or 6	C	2	2	8	1,000	8
	1–3	5	B	1	*	2	1,500	3
		or 6	C	2	*	4	1,000	4
Recreational	4–6	5	B	1	1	4	750	3
		or 6	C	1	1	4	1,000	4
	1–3	5	B	1	*	2	750	1.5
		or 6	C	1	*	2	1,000	2

*For one to three courts no Y poles are required.

Lamps ..... General-service PS-52 bulb
Mounting height ..... At least 20 ft above court
Poles ..... 4 for 4–6 court layout, 2 for 1–3 court layout

Visor shields should be provided for the sides of floodlights *C* and *D* next to the firing positions. Floodlights *E* to *M* may be shielded by shrubbery.



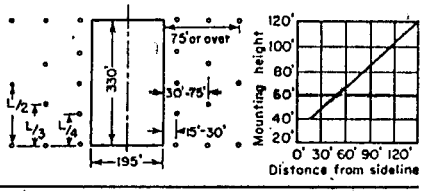
Location	Group	Type	Aiming, deg		Mounting height, ft	Lamp watts
			Direction	Elevation		
A and *B*	B	4, 5, or 6	a	a	24	1,000
C and *D*	B	4, 5, or 6	b	b	24	1,000
E	A	5 or 6	10 left	18 up	On ground	500
F	A	5 or 6	5 left	29 up	On ground	500
G	A	5 or 6	30 right	43 up	On ground	500
HJKL	A	5 or 6	Straight	45 up	On ground	500
M	A	5 or 6	30 left	55 up	On ground	500

[a] *A* and *B* floodlights aimed at point 6 ft to right and left respectively of No. 8 position and slightly below horizontal.
[b] *C* and *D* floodlights aimed toward front and above high house and low house respectively.

Lamps ..... General-service PS clear bulb
Operate at 10% overvoltage
Load ..... 9.3 kw at 10% overvoltage

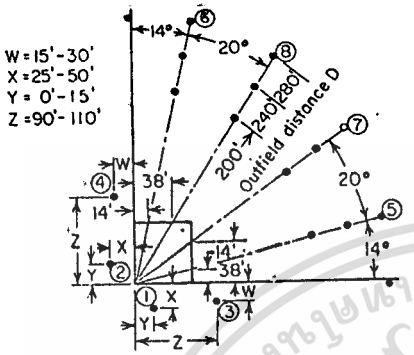
Soccer (NEMA Recommendation)

For larger or smaller fields, the number of floodlights and the pole spacings should be altered in proportion to the area of the field.



Class	Distance poles to sideline, ft	No. of poles	Floodlights				Total load, kw
			Type	Group	No. per pole	Total No.	
Professional and college	Over 140	6	1 or 2	B	30	180	315
	100–140	6	2 or 3	B	28	168	290
	75–100	6	3	B	24	144	250
	50–75	8	3	B	16	128	220
High school	30–50	8	4	B	12	96	165
	15–30	10	5	B	10	100	175
	15–30	10	5 or 6	D	14	140	245
	15–30	10	6	C	20	200	350

Softball—Professional and Industrial League (Drawn from NEMA Recommendation)

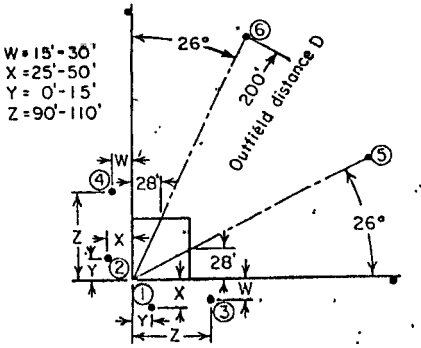


The distance to the poles in the outfield is determined by the size of the field.

Class	Outfield distance D, ft	Layout for Type 3, 4, or 5 Group B floodlights: No. per pole, Poles 1–2	3–4	5–8	Total No.	Layout for Type 6 Group D floodlights: No. per pole, Poles 1–2	3–4	5–8	Total No.	Min mtg. height, ft, Poles 1–4	5–8
Pro and championship	280	14	30	18	160	18	38	27	220	50	60
	240	14	20	13	120	18	30	16	160	50	55
Semipro	280	8	18	14	108	10	28	18	148	40	55
	240	8	14	10	84	10	22	12	112	40	50
Industrial League	280	5	10	7	58	7	14	9	78	35	50
	240	5	7	5	44	7	10	6	58	35	45
	200	5	5	3	32	7	7	4	44	35	40

Lamps..... 1,500-watt general-service PS-52 clear-bulb lamp at 10% overvoltage

Softball—Recreational (Drawn from NEMA Recommendation)



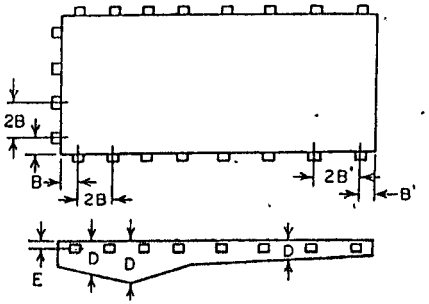
Open floodlights without auxiliary reflectors may also be used for softball lighting installations, but a larger number are required to provide equal illumination.

Class	Outfield distance D, ft	Layout for Type 3, 4, or 5 Group B floodlights: No. per pole, Poles 1–2	3–4	5–6	Total No.	Layout for Type 6 Group D floodlights: No. per pole, Poles 1–2	3–4	5–6	Total No.	Min mtg. height, ft, Poles 1–4	5–6
Recreational	200	2	3	3	16	3	4	4	22	35	40

Lamps..... 1,500-watt general-service PS-52 clear-bulb lamp at 10% overvoltage

Swimming Pool—Underwater Floodlights (NEMA Recommendation)

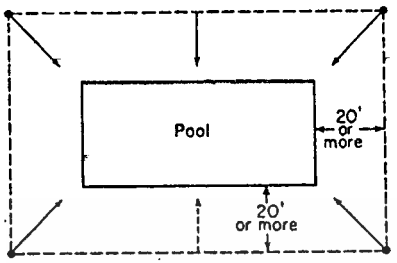
Especially designed equipment is mounted in niches in the walls of the pool.



Location of pool	Watts per sq ft: Good practice	Minimum
Outdoors	3	1.5
Indoors	5	3.0

Lamp watts	B max, ft, where D is over 5 ft	B' max, ft, where D is less than 5 ft	E, in. below water line
250– 400	4	5	18–24
500–1,500	6	7½	

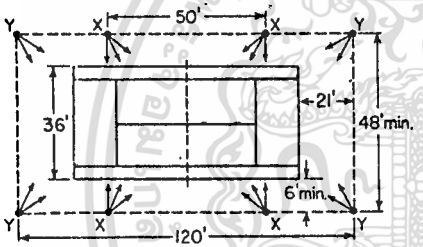
The number of floodlights and the lamp size is determined by the size of the area and the type of equipment.



Floodlights	Type 5, Group A or B, or Type 6, Group C
Lamps	500- to 1,500-watt general-service PS bulb
Load	For Group A or B floodlights, 1.7 watts per sq ft For Group C floodlights, 2.5 watts per sq ft (both pool and surrounding area to be lighted)
Mounting height	At least 20 ft above water
Pole spacing	Not to exceed 4 times mounting height

Tennis—Single Court (NEMA Recommendation)

Floodlights must be directed sufficiently high to provide even illumination on the ball during flight.

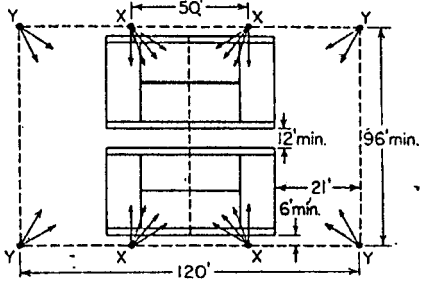


Class	No. of poles	Floodlights					Lamp watts	Total load, kw
		Type	Group	No. per pole X	No. per pole Y	Total No.		
Tournament	8	5 or 6	B C	3 4	2 3	20 28	1,500 1,500	30 42
Club	8	5 or 6	B C	2 3	1 2	12 20	1,500 1,500	18 30
Recreational	4	5 or 6	B C	2 2	* *	8 8	1,000 1,500	8 12

* For recreational play the Y poles are eliminated and the X poles are located 60 instead of 50 ft apart.

Lamps	General-service PS-52 bulb
Mounting height	30 ft above court

Floodlights must be directed sufficiently high to provide even illumination on the ball during flight.

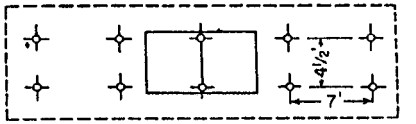


Class	No. of poles	Floodlights					Total load, kw
		Type	Group	No. per pole X	No. per pole Y	Total No.	
Club	8	5 or 6	B C	4 5	2 3	24 32	36 48
Recreational	8 or 4	5 or 6	B C	2 3	1 1	12 16	18 24
		5 or 6	B C	3 4	* *	12 16	18 24

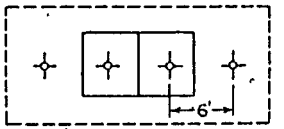
* In the four-pole layout the Y poles are eliminated and the X poles are located 60 instead of 50 ft apart.

Lamps	1,500-watt general-service PS-52 bulb
Mounting height	30 ft above court

Table Tennis



Club and tournament



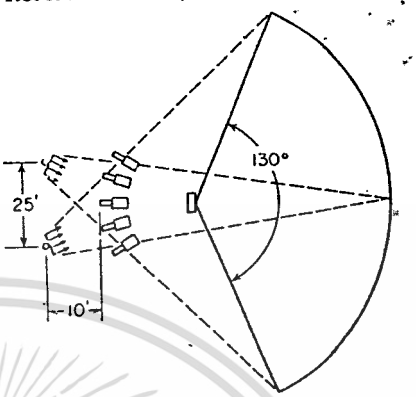
Recreational

Where louvered fluorescent luminaires are used, they may be mounted either lengthwise or crosswise of the table.

Class	Fixtures		Lamp watts	Total load, kw	Mtg. height above table, ft
	No.	Type			
Tournament	10	Deep bowl	200	2.3	6
Club	10	Deep bowl	150	1.6	6
Recreational	2 or 4	Deep bowl	150	0.3 or 0.6	4½

Trapshooting (NEMA Recommendation)

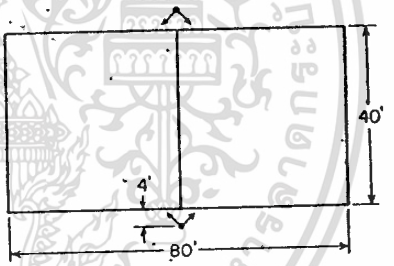
Uniform illumination will prevent apparent variation in bird speed.



Floodlights ..... 8 Type 2, Group B
Lamps ..... 1,500-watt general-service PS-52 clear-bulb lamp at 10% overvoltage
Load ..... 12 kw
Mounting height ..... 20 ft above ground
Poles 2

Volleyball—Outdoor (NEMA Recommendation)

Wide-beam floodlights are necessary to provide uniform illumination.



Class	Floodlights				Total load, kw
	Type	Group	No. per pole	Total No.	
Tournament	5 or 6	B C	3 5	6 10	9 15
Recreational	5 or 6	B C	2 3	4 6	6 9

Lamps ..... 1,500-watt general-service PS-52 bulb
Mounting height ..... 20 to 25 ft above court
Poles ..... 2 per court

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ 2

การเทียบภาพด้วยคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ มีการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณและแสดงผลออกมาเป็นภาพ ทั้ง 2 มิติและ 3 มิติ สำหรับขั้นตอนการเขียนภาพจะอธิบายในภาคผนวกที่ 2 นี้ และเนื่องจากว่าการทำงานจะใช้สมการทางคณิตศาสตร์ทั้งหมดและยากต่อการอธิบายอย่างละเอียด ดังนั้นจึงจะกล่าวแต่หลักการเบื้องต้นพอเข้าใจเท่านั้น

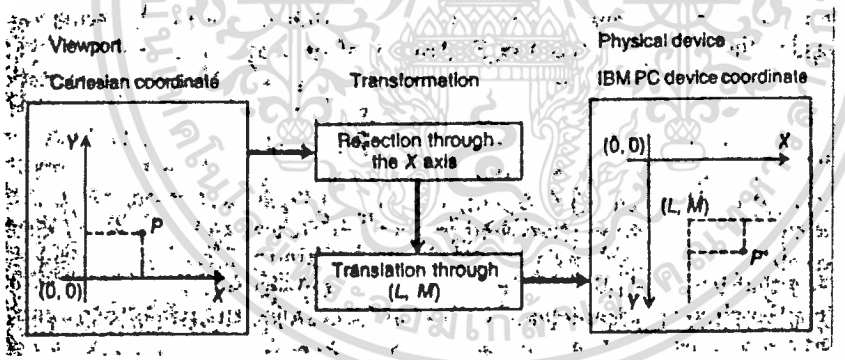
ก่อนจะเริ่มเขียนภาพควรจะศึกษาจอรับภาพของคอมพิวเตอร์ก่อน จอรับภาพนั้นจะมีขนาดความกว้างยาวไม่เท่ากัน ระยะในแกน X จะยาวกว่าระยะในแกน Y จำนวนจุดในแต่ละแกนก็จะไม่เท่ากัน ดังนั้นระยะต่อ 1 หน่วยในแกน X จะต่างจากระยะ 1 หน่วยในแกน Y ทำให้เรากำหนดจุดต่างๆคลาดเคลื่อน เช่นวาดสี่เหลี่ยมจตุรัสจะได้เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแทน เป็นต้น ดังนั้นเราจึงต้องหาค่าอัตราส่วน (screen scaling adjusting factor , SCF) ขึ้นมาเพื่อที่จะได้อ้างถึงแกน retangular ได้อย่างถูกต้อง ดังนี้

H = HORIZONTAL LENGTH / MAXIMUM NUMBER OF HORIZONTAL POINTS

V = VERTICAL LENGTH / MAXIMUM NUMBER OF VERTICAL POINTS

SCF = V / H

นอกจากนี้ แนวแกนอ้างอิงของจอคอมพิวเตอร์ยังแตกต่างจากแกนปกติคือภาพในแนวแกน Y จะชี้ลงมา ดังนั้นการกำหนดจุดในแกน Y จะผิดแปลกออกไป



การเขียนภาพ 2 มิติ

1. กำหนดจุดเริ่มต้นเพื่ออ้างอิง (POINTX,POINTY) เป็นจุดศูนย์กลางในการเขียนภาพ อาจจะกำหนดที่กึ่งกลางของจอภาพก็ได้

2. ต้องการเขียนจุด (X,Y) ใดๆจากแกน retangular ลงบนจอภาพ จะต้องเปลี่ยนค่าเป็นแกนของจอภาพ (screen coordinate) ก่อนเป็น (X_s,Y_s) ดังนี้

$$X_s = POINTX + (X * SCF)$$

$$Y_s = POINTY - Y$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เมื่อเปลี่ยนแปลงแล้วก็ลากเส้นเชื่อมต่อระหว่างจุดได้เลย บางทีค่า (X,Y) อาจจะน้อย ทำให้ภาพเล็กมองไม่ชัดเจน สามารถเพิ่มค่าขึ้นได้อย่างเช่นเพิ่ม 50 เท่า

$$X_s = \text{POINTX} + (50 * X * SCF)$$

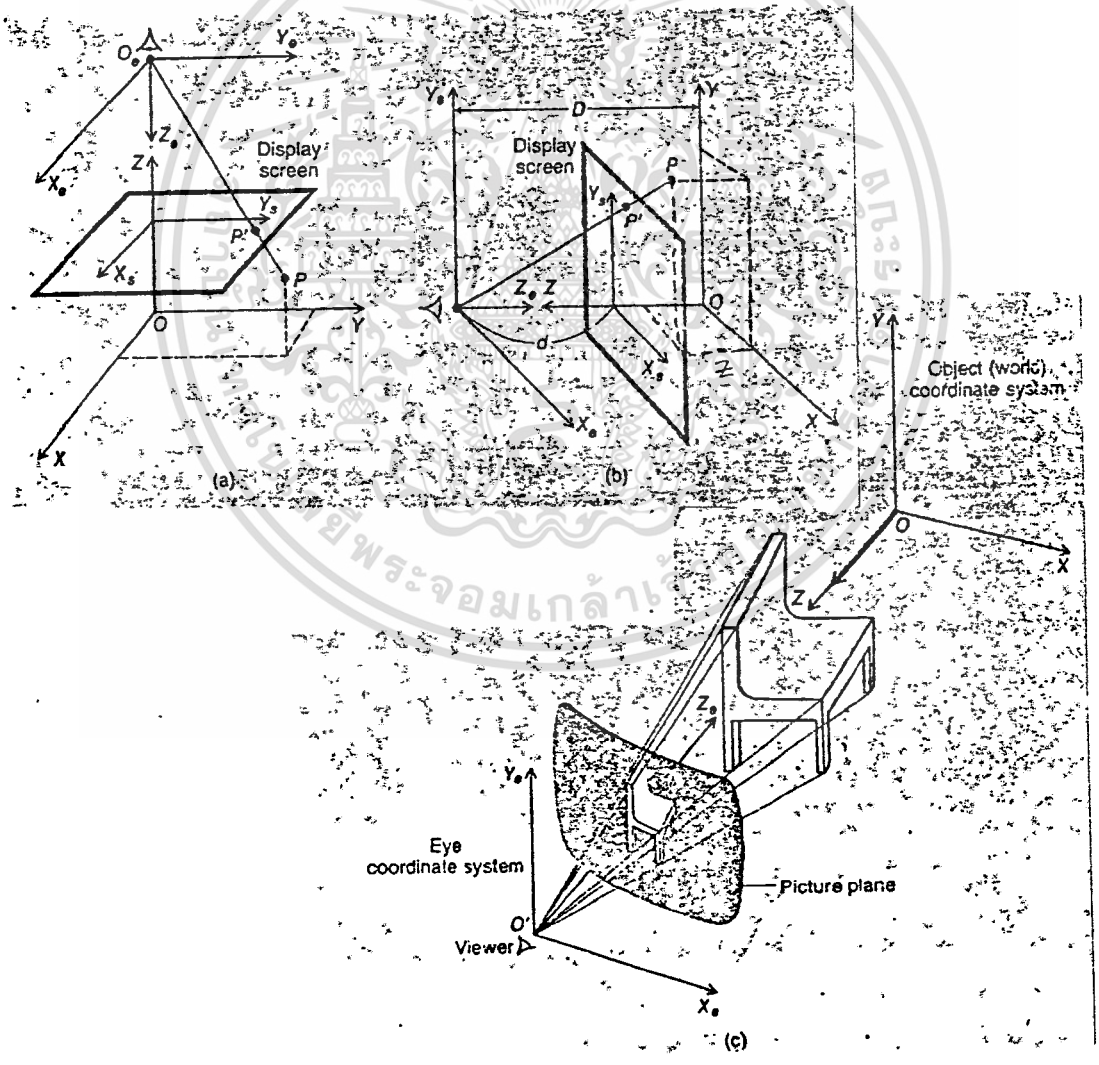
$$Y_s = \text{POINTY} - (Y * 50)$$

การเขียนภาพ 3 มิติ

ภาพ 3 มิติจะมีส่วนความลึกเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยเป็น (X,Y,Z) ดังนั้นก่อนที่จะเปลี่ยนค่าเป็น (X_s,Y_s) จะมีการแปลงค่าเพิ่มขึ้นอีก มีแกนอ้างอิงเพิ่มขึ้นอีกคือ eyes coordinate

เป็น (X_e,Y_e,Z_e)

เมื่อเรามองวัตถุที่จุด P(X,Y,Z) ใดๆ ตาของเราจะรับภาพเป็น (X_e,Y_e,Z_e) เมื่อเราแปลงต่อไปจะเหลือเพียง 2 มิติเป็น (X_s,Y_s) ลักษณะของแกนต่างๆจะเป็นดังรูป



ผ. 2-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

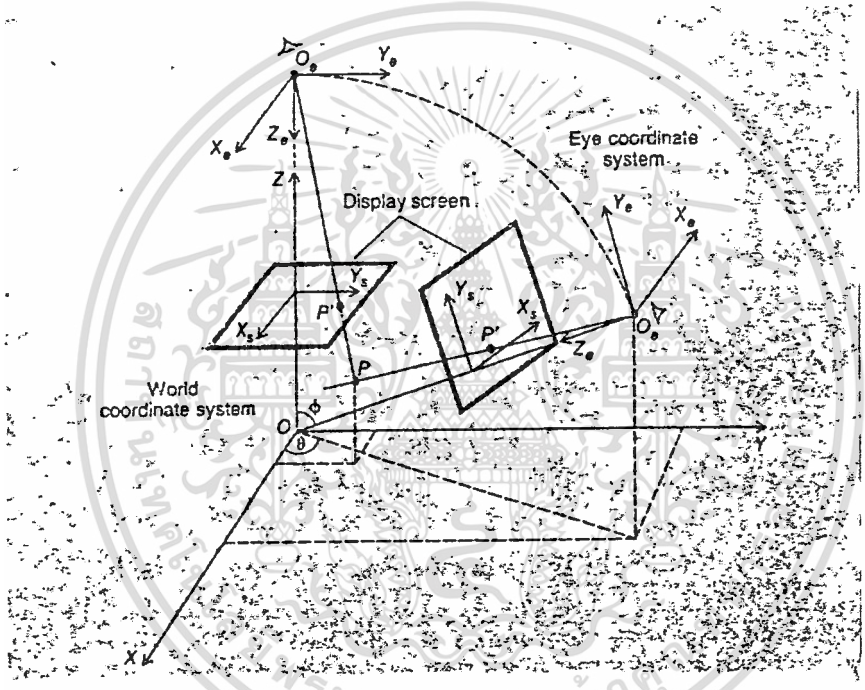
จากรูป b $(X_e, Y_e, Z_e) = (X, Y, D-Z)$

ถ้ามุมมองเปลี่ยนตำแหน่งไป ภาพจะเปลี่ยนไปด้วย ดังนั้นค่าของ (X_e, Y_e, Z_e) ที่สมบูรณ์จะเป็นดังนี้

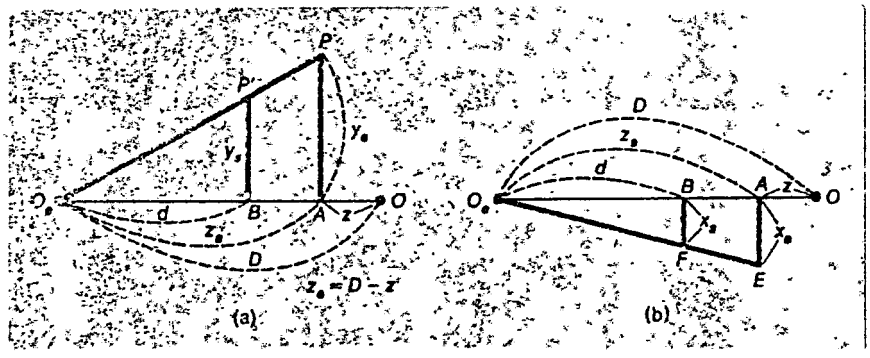
$$X_e = -X\sin\theta + Y\cos\theta$$

$$Y_e = -X\cos\theta\cos\phi - Y\sin\theta\cos\phi + Z\sin\phi$$

$$Z_e = -X\cos\theta\sin\phi - Y\sin\theta\sin\phi - Z\cos\phi + D$$



เมื่อหาค่ามาได้แล้วก็เปลี่ยนค่าเป็น (X_s, Y_s) โดยใช้กฎของสามเหลี่ยมดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกำหนด d เป็นระยะห่างระหว่างจอภาพกับตา

$$Y_s / d = Y_e / Z_e = Y / (D - Z)$$

จะได้ $$Y_s = (d * Y) / (D - Z)$$

และ $$X_s / d = X_e / Z_e = X / (D - Z)$$

จะได้ $$X_s = (d * X) / (D - Z)$$

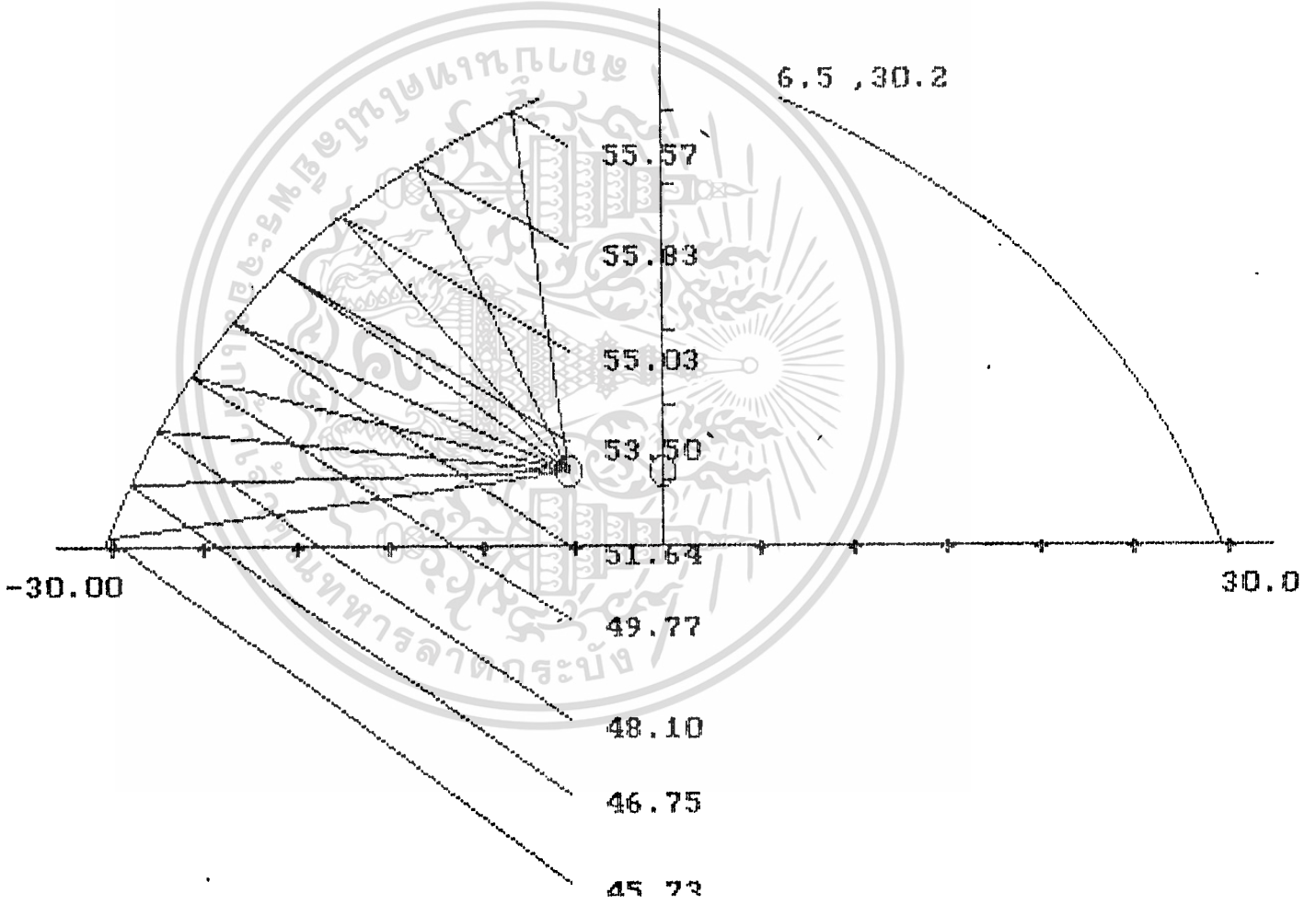
เมื่อได้ค่าออกมาแล้วก็ใช้วิธีเช่นเดียวกับ 2 มิติเชียนภาพต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REFLECTOR SYSTEM (REVERSE)

45 DEGREE
WIDTH OF REFLECTOR = 60
MOUNTING HEIGHT = 400.00

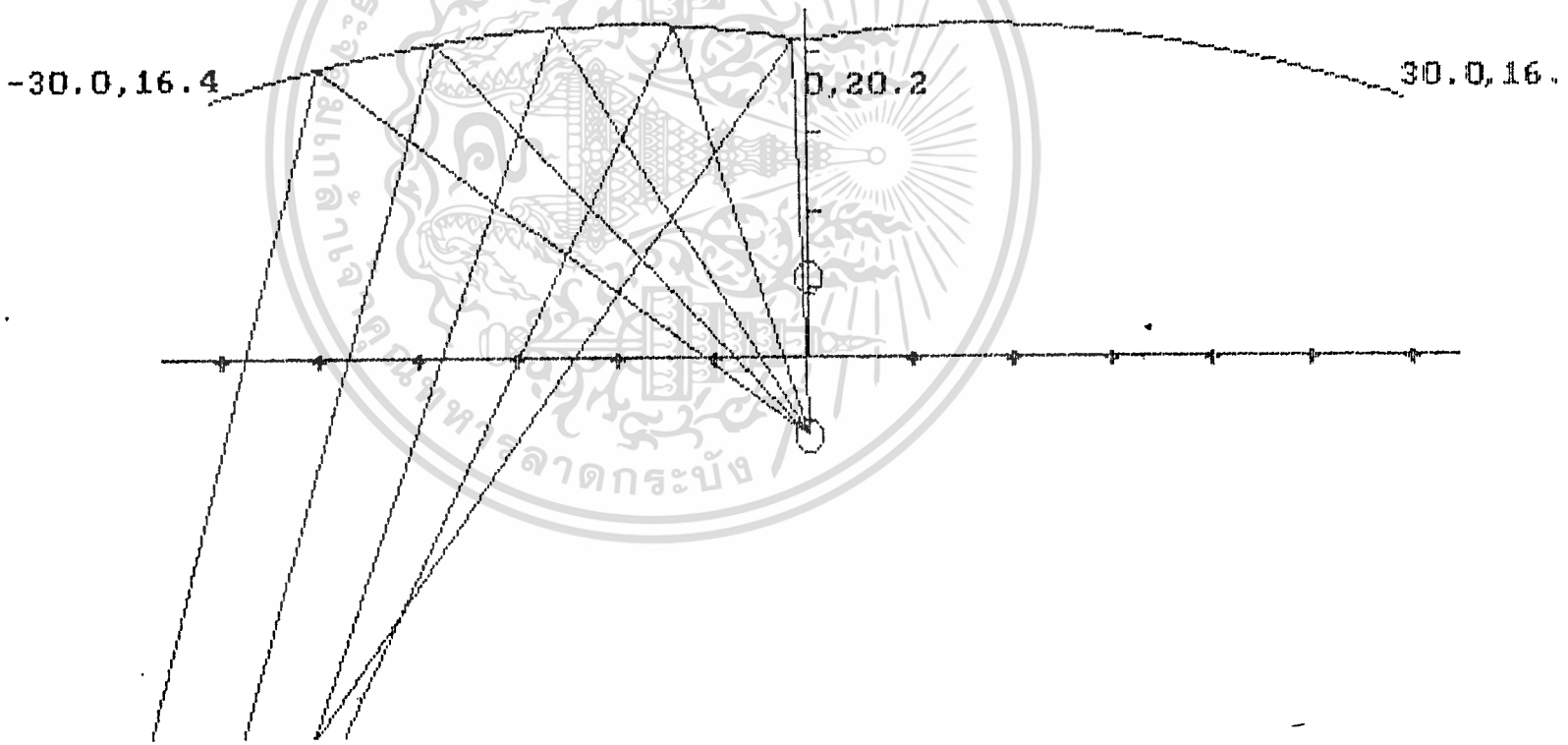
LOCATION OF SOURCE = 0 5
NEW POINT SOURCE = -5 5



REFLECTOR SYSTEM (FORWARD)

30 DEGREE
WIDTH OF REFLECTOR = 60
MOUNTING HEIGHT = 400.00

LOCATION OF SOURCE = 0 5
NEW POINT SOURCE = 0 -5
HEIGHT OF REFLECTOR = 20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

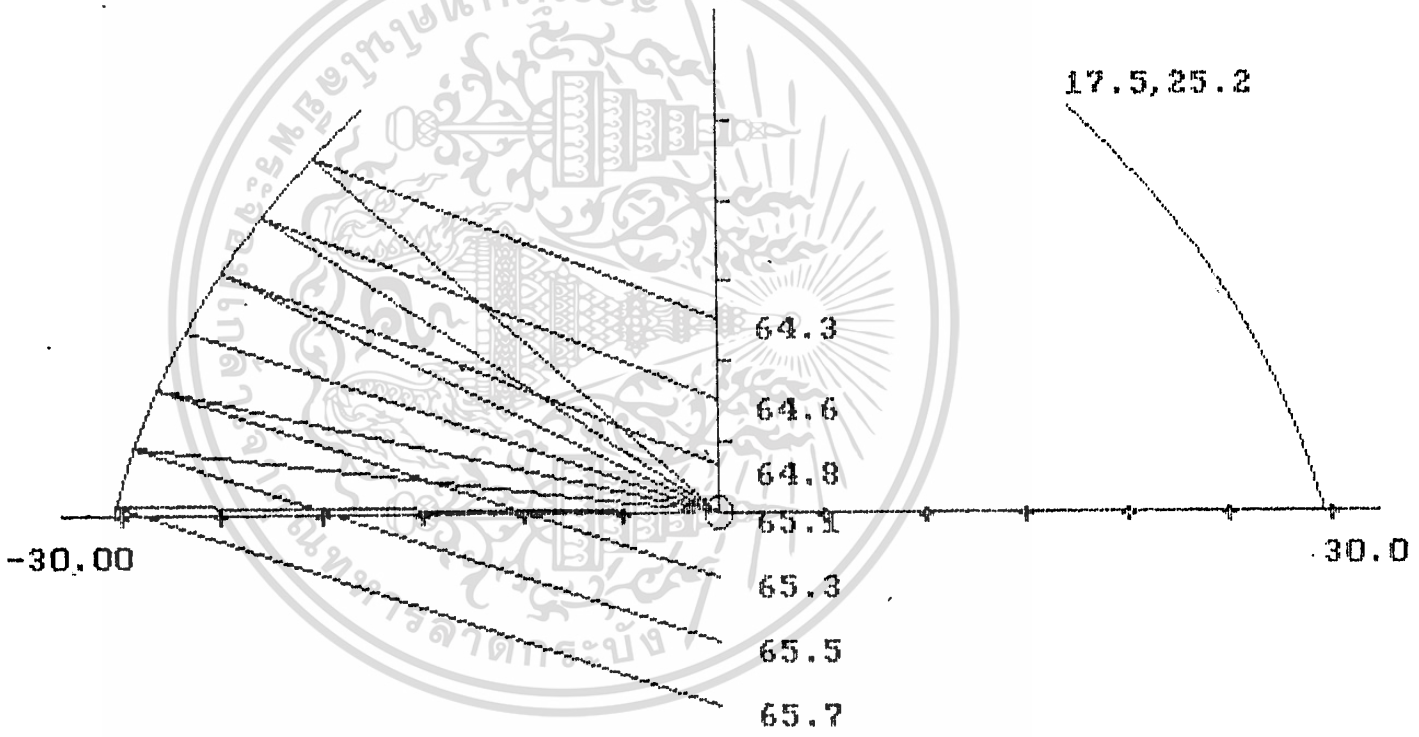
REFLECTOR SYSTEM (REVERSE)

65 DEGREE

LOCATION OF SOURCE = 0 0

WIDTH OF REFLECTOR = 60

MOUNTING HEIGHT = 400.00

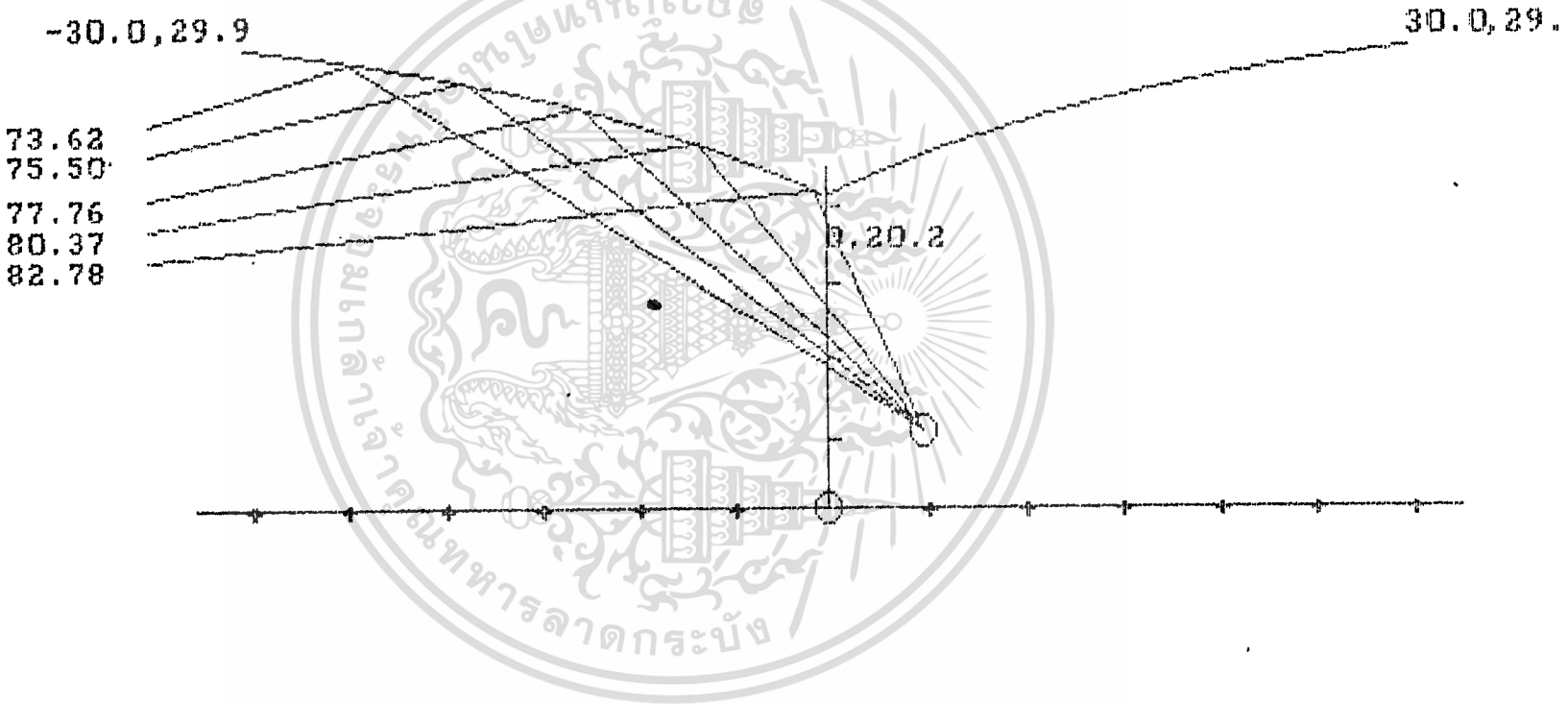


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REFLECTOR SYSTEM (FORWARD)

65 DEGREE
WIDTH OF REFLECTOR = 60
MOUNTING HEIGHT = 400.00

LOCATION OF SOURCE = 0 0
NEW POINT SOURCE = 5 5
HEIGHT OF REFLECTOR = 20



กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ร.ท. ดุลี บรรจงจิตร อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้ความรู้และคำปรึกษาตลอดระยะเวลาการศึกษา และขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคน ตลอดจนรุ่นพี่ และรุ่นน้องที่ได้ช่วยเหลือให้คำแนะนำต่างๆแก่ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ไชยะ แช่มช้อย, "เทคนิคการออกแบบไฟส่องพื้นที่"

2. JOHN H.WATT, "AMERICAN ELECTRICIANS ' HANDBOOK", Ninth Edition.

3. IES LIGHTING HANDBOOK, Reference Volume., New York 1981.

4. IES LIGHTING HANDBOOK, Application Volume.,New York 1981.

5. Joseph B. Murdoc,"Edison's Lamp to the Laser", ILLUMINATION ENGINEERING.

6. Addison-Wesly Publishing Company,"Intractive Microcomputer Graphics Park", Chom s.

7. BEAN & SIMONS , " Lighting Fittings-Performance and Design ", volume 1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้