



การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบดวง โคม  
CAD FOR DESIGN LUMINAIRE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2534

ปริญญาโทปีการศึกษา 2534

ภาควิชาไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบดวงโคม

CAD for Design Luminaire



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบดวงโคม

พรเทพ ชินวัฒน์โชติ 31.1169  
พลสิทธิ์ วีระยิ่งยง 31.1173  
สมศักดิ์ อุดมมณีถาวร 31.1313

ร.ศ.ศุภี บรรจงจิตร อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2534

### บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นเรื่องการออกแบบการกระจายแสงจากดวงโคม โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณให้ได้ทิศทางที่ต้องการ โดยจะแบ่งเนื้อหาออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 เป็นเรื่องของธรรมชาติของแสงและการมองเห็น และในส่วนที่ 2 เป็นเรื่องของดวงโคม และการออกแบบดวงโคม ซึ่งจำเป็นจะต้องเน้นเฉพาะโคมทรงกลมเท่านั้น เพราะโคมทรงกลมจะเสมือนมีแหล่งกำเนิดแสงเพียง 1 จุดเท่านั้น

อนึ่งโปรเจคนี้เป็นโปรเจคต่อเนื่องมาจาก โปรเจคเรื่อง การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบระบบแสงสว่าง เมื่อปีการศึกษา 2532 ซึ่งประกอบด้วยเรื่องการออกแบบไฟส่องพื้นที่ และเรื่องการออกแบบตัวสะท้อนแสง

ดังนั้นในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวเพียงเรื่อง การออกแบบตัวหักเหแสง ซึ่งประกอบด้วย การออกแบบปริซึม และเลนส์ โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ ในการออกแบบนั้นจะนำเอาสมการโค้ตฟอร์หมของอุปกรณ์ที่นำมาทำตัวหักเหแสง มาเขียนโปรแกรมสำหรับการออกแบบ และในส่วนท้ายสุดจะเอาทั้งส่วนของตัวสะท้อนแสง และ ส่วนของตัวหักเหแสง มารวมกันเป็นดวงโคมที่สมบูรณ์

## CAD for Design Luminaire

Pornthep Chinvattanachot 31.1169

Ponsit Werayinyong 31.1173

Somsak Udommunthawon 31.1313

Sulee Banjongit ...Adviser

(Associate Professor)

### Abstract

This thesis is about dispersion of light from luminaire with the use of a computer to help in calculating for desired direction. The thesis is divided into two parts. The first part is about nature of light and sight, and the second is about luminaire and the design of the luminaire.

However, this project is related to the project of Computer Aids for Lighting Design which includes the design of luminaire to shine over area and design of reflectors.

Thus, this thesis will only mention about the design of refractors which consists of prisms and lenses calculated by a computer. We will use the code form equation of materials used in making refractors to write a program for the design. The last part will be combine the reflectors and refractors together for a perfect luminaire.

บทคัดย่อ

บทที่ 1	ธรรมชาติของแสงและการมองเห็น	1
1.1	นิยามของแสง	1
1.2	การกำเนิดของแสง	2
1.3	พฤติกรรมของแสง	2
1.4	การวัดความสว่าง	3
1.5	การส่องสว่าง	5
1.6	ความจ้า	6
1.7	สี	7
1.8	ธรรมชาติของการเห็น	8
1.9	ความสัมพันธ์ของแสงและการเห็น	9
บทที่ 2	การออกแบบแสงสว่าง และ การออกแบบดวงโคม	13
2.1	ชนิดและหน้าที่ของดวงโคม	13
2.2	ส่วนประกอบโดยทั่วไปของดวงโคม	23
2.3	ระบบของตัวสะท้อนแสง	24
2.4	ระบบของตัวหักเหแสง	27

ปัญหาที่พบและวิธีการแก้ปัญหา

สรุปการออกแบบทั้งหมด

บทสรุป

ภาคผนวกที่ 1

ภาคผนวกที่ 2

ภาคผนวกที่ 3

ภาคผนวกที่ 4

กิตติกรรมประกาศ

บรรณานุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูปภาพ

หน้า

## บทที่ 1 อรรถมาชาติของแสงและการมองเห็น

รูปที่ 1.1	The Radiant Energy Spectrum	1
1.2	Candlepower Distribution Curve	4
1.3	Relation between Footcandle Feet Lux and Meters	4
1.4	Flux density decrease inversely as the square of the distance	5
1.5	Difference Between Illumination (footcandles) and Brightness (footlamberts)	6
1.6	Prismatic Effect	6
1.7	Additive Primary Color	8
1.8	Vertical Cross Section of The Eye	8
1.9	Eye Sensitivity Curves for Day and Night Vision	9
1.10	Relationship of PERFORMANCE Speed to Illumination Levels	10
1.11	Seeing Becomes More Difficult as Contrast is Reduced	10
1.12	Effects of Illumination level on Relative Visual Performance when Task Involves Contrast of High and Low Reflectance Backgrounds	11
1.13	Minimum Brightness Values for Typical Tasks	12

## บทที่ 2 การออกแบบแสงสว่าง และ การออกแบบดวงโคม

รูปที่ 2.1	Incandescent, Fluorescent and HID. Luminaires	13
2.2	Recessed and Surface-Mounted Luminaires	14
2.3	Luminaires Classification as Application	14
2.4	Illustration of General Distribution Pattern	15
2.5	Illustration of Direct Lighting	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
2.6 Illustration of Semi-Direct Lighting 16  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7	Comparison of General Diffuse and Direct-Indirect Lighting	16
2.8	Illustration of Semi-Indirect Lighting	17
2.9	Illustration of Indirect Lighting	17
2.10	Candlepower Distribution Curve for Typical Incandescent Fixture	18
2.11	Candlepower Distribution Curve for Typical Fluorescent Fixture	19
2.12	Two Distribution Curves at Equal Lumen Output	19
2.13	Candlepower Data for Indirect Luminaires	20
2.14	Luminaire Maintenance Categories with LDD Charts	22
2.15	อุปกรณ์ภายในดวงโคม	23
2.16	การทำงานของดวงโคม	24
2.17	รูปแบบพื้นฐานของตัวสะท้อนแสง	24
2.18	ความแตกต่างของการกระจายแสง	25
2.19	ตัวสะท้อนแสงแบบพาราโบล่า	26
2.20	ตัวสะท้อนแสงแบบไฮเปอร์โบล่า	26
2.21	ตัวสะท้อนแสงแบบวงรี	27
2.22	การหักเหของแสง	28
2.23	Some common prism forms	29
2.24	จุดมิตของการหักเหของปริซึม	30
2.25	ลักษณะของตัวหักเหแสงแบบปริซึม	30
2.26	ภาพลักษณะการหักเหรังสีของปริซึม	31
2.27	ภาพขยายจากส่วนวงกลมเล็กในรูปที่ 2.26	32
2.28	ภาพการนำไปใช้งานจริง	32
2.29	ภาพทางเดินรังสีที่ผ่านปริซึม	34
2.30	ภาพสำหรับการออกแบบ	34
2.31	Formation of images by thin lenses	36
2.32	ภาพสำหรับการออกแบบ lenses	37

# บทที่ 1 ธรรมชาติของแสงและการมองเห็น

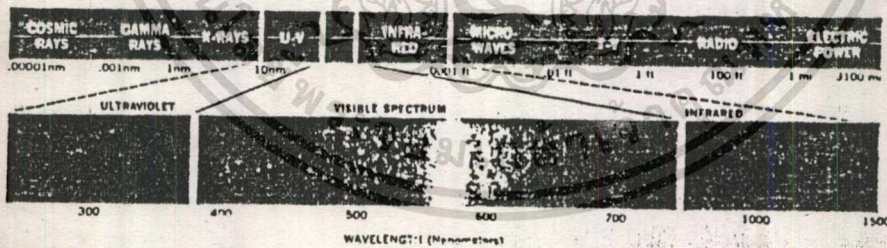
## Nature of Light and Sight

แสงช่วยในการมองเห็นสามารถช่วยให้เราบอกรูปร่าง ขนาด ตลอดจนสีของสิ่งต่าง ๆ ได้ หากปราศจากแสงแล้วเราจะอยู่ในความมืด และไม่สามารถบอกคุณลักษณะของสิ่งต่าง ๆ ได้เลย เราจะศึกษาถึงแสงในเชิงนิยามและพิจารณาว่ามันทำให้เกิดการมองเห็นได้อย่างไร

### 1.1 นิยามของแสง :

แสงเป็นพลังงานรูปหนึ่งเช่นเดียวกับพลังงานความร้อน พลังงานกล พลังงานไฟฟ้า ฯลฯ แต่แตกต่างที่แสงเป็นพลังงานที่เคลื่อนที่ได้ และจะอยู่ในรูปของคลื่น เช่นเดียวกับการเคลื่อนที่ของคลื่นวิทยุ คลื่นโทรทัศน์

พลังงานที่สามารถเคลื่อนที่ในรูปของคลื่นนี้ จะมีความถี่และความยาวคลื่นเฉพาะตัวต่าง ๆ กันออกไป หรืออาจจะกล่าวได้ว่า ชนิดของพลังงานเหล่านี้ถูกกำหนดด้วยความยาวและความถี่ของคลื่น



รูปที่ 1.1 Radiant Energy Spectrum

จากภาพ 1.1 สมมุติว่าเราสามารถนำเอาพลังงานที่เคลื่อนที่ได้ทั้งหมดเหล่านี้มาเรียงกัน จากพลังงานที่มีความยาวคลื่นต่ำสุดมาจนถึงพลังงานที่มีความยาวคลื่นยาวที่สุด เราจะเห็นได้ว่า แสงเป็นเพียงแถบพลังงานเล็ก ๆ แถบหนึ่งซึ่งมีช่วงความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 380 - 760 nanometers พลังงานแสงในช่วงคลื่นดังกล่าวนี้เท่านั้นที่ช่วยทำให้เกิดการเห็น พลังงานอื่น ๆ ที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่า 380 nanometers อันได้แก่ ไม่วากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รังสีอุลตราไวโอเล็ต รังสีเอกซ์ ฯลฯ และพลังงานที่มีความยาวคลื่นยาวกว่า 760 nanometers อันได้แก่ คลื่นวิทยุ คลื่นโทรทัศน์ และพลังงานไฟฟ้า พลังงานเหล่านี้มีได้ ช่วยทำให้เกิดการเห็นเลย

## 1.2 การกำเนิดของแสง :

ถ้าเราเผาแท่งเหล็กแท่งหนึ่งที่มีความร้อนสูงมาก ๆ แท่งเหล็กจะเริ่มร้อนแดงและเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่แท่งเหล็กมากขึ้นอีกเรื่อย ๆ มันจะเปลี่ยนสีออกไปทางส้มและเหลืองจ้าสว่างในที่สุด ในการเผาดังกล่าวนี้นอกจากเราจะได้พลังงานแสงออกมาแล้วยังมีรังสี Ultraviolet และรังสี Infrared ออกมาด้วย แหล่งของพลังงานแสงที่เกิดขึ้นจากการเผาหรือการทำให้ร้อนแก่มันนี้เราเรียกว่า Incandescence หรือแหล่งกำเนิดแสงร้อน (Hot Source) เช่น ถ่านแดง ไส้ของหลอดไฟฟ้า แสงจากการเชื่อมโลหะ ฯลฯ คุณสมบัติประการหนึ่งของแหล่งกำเนิดแสงชนิด Incandescence นี้คือมันจะให้พลังงานของแสงสีแดงมากกว่าพลังงานของแสงสีน้ำเงิน

แหล่งกำเนิดแสงอีกประเภทหนึ่ง ที่มิได้เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานแสงแหล่งกำเนิดแสงจำพวกหลังนี้เราเรียกว่า Luminescence หรือบางทีเราก้เรียกว่าแหล่งกำเนิดแสงเย็น (Cold Source) อันได้แก่แสงจากตัวแมลง แสงอันเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมี แสงอันเกิดจากการเปลี่ยนวงโคจรของอิเล็กตรอน รวมไปถึงแสงอันเกิดจากการ discharge ของก๊าซ เช่น แสงจากหลอด Fluorescent แสงจากหลอดแสงจันทร์และแสงจากหลอดโซเดียม เป็นต้น

## 1.3 พฤติกรรมของแสง :

เมื่อแสงเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสงผ่านออกสู่ตัวกลางชนิดต่าง ๆ นับตั้งแต่อากาศ ของเหลว วัตถุโปร่งแสง จนกระทั่งถึงวัตถุทึบ มันจะมีพฤติกรรมต่าง ๆ กันออกไปกล่าวคือ ทางเดินของแสงจะถูกเปลี่ยนไป เมื่อกระทบตัวกลางเหล่านั้น มันอาจจะหักเห สะท้อน กระจายตัวออกหรือถูกดูดกลืนเข้าไปในตัวกลางนั้นก็ได้

ปรากฏการณ์ต่าง ๆ เหล่านี้ของแสงเป็นเรื่องที่เราต้องคำนึงถึงอย่างรอบคอบเมื่อถึงขั้นตอนของการเลือกใช้ดวงโคม (Light Fixtures) การออกแบบดวงโคม การเลือกใช้หลอดไฟ (Lamp) ตลอดจนถึงขั้นตอนการออกแบบระบบแสงสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (Lighting System)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสะท้อน (Reflection) เป็นพฤติกรรมที่แสงตกกระทบบนตัวกลาง และสะท้อนตัว ออกถ้าผ่านตัวกลางดังกล่าวเป็นผิวเรียบขัดมัน การสะท้อนตัวของแสงจะเป็นไปตามกฎ มุมตกกระทบ = มุมสะท้อน

การหักเห (Refraction) เป็นปรากฏการณ์ที่ลำแสงหักเหออกจากแนวทางเดินของมัน เมื่อผ่านวัตถุโปร่งแสง

การกระจาย (Diffusion) คือ การที่แสงกระจายตัวออกเมื่อกระทบผิวของตัว กลาง เช่น แผ่นพลาสติกใสหรือแผ่นผิวหยาบขัดมัน เราใช้ประโยชน์จากการกระจายตัว ของลำแสงเมื่อกระทบตัวกลางนี้ เช่น ใช้แผ่นพลาสติกใสปิดดวงโคมเพื่อลดความจ้า (Brightness) จากหลอดไฟ

การดูดกลืน (Absorption) เป็นปรากฏการณ์ที่แสงถูกดูดกลืนหายเข้าไปในตัวกลาง เช่น การฉายแสงสียาวลงบนกำแพงสีเขียว แสงสีอื่น ๆ จะถูกดูดกลืนหายเข้าไปในกำ แพง ยกเว้นแสงสีเขียวเท่านั้นที่สะท้อนออกมากกระทบตาเรา โดยทั่วไปเมื่อพลังงาน แสงถูกดูดกลืนหายเข้าไปในวัตถุใด ๆ มันจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน

การทะลุผ่าน (Transmission) คือการที่แสงพุ่งชนตัวกลางแล้วทะลุผ่านออกมาอีกด้าน หนึ่งโดยไม่มีอะไรเปลี่ยนแปลง

#### 1.4 การวัดความสว่าง (Measurement of Light) :

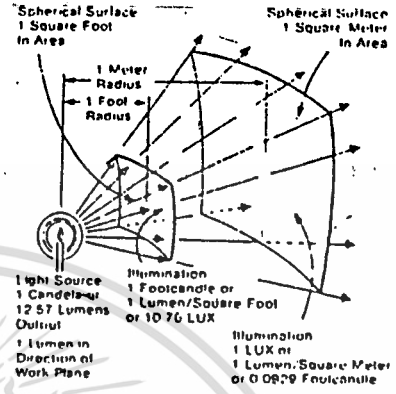
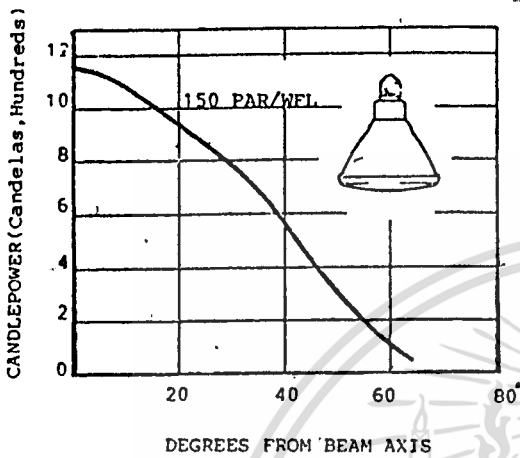
##### Candela

แหล่งกำเนิดแสงก็เช่นเดียวกับแหล่งพลังงานชนิดอื่น ๆ คือสามารถที่จะวัดค่าได้ เราบอกค่าความมากน้อยของพลังงานหรือกำลังของแหล่งกำเนิดแสงใด ๆ ในรูป ของความเข้มแห่งการส่องสว่าง (Luminous Intensity) หรือบางทีเรียกว่ากำลัง ส่องสว่าง (Candelapower) ซึ่งมีหน่วยเป็น Candela

ความเข้มแห่งการส่องสว่าง หรือกำลังส่องสว่าง 1 Candela มีค่าเท่ากับความ เข้มแห่งการส่องสว่างของวัตถุดำ (Blackbody) ที่อุณหภูมิเยือกแข็งของ platinum โดยทั่วไปความเข้มแห่งการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงหนึ่ง ๆ มักมีค่าแปรเปลี่ยนไป ตามที่ทำกับแนวแกนของแหล่งกำเนิดแสงนั้น ๆ แต่อย่างไรก็ตาม มักจะมีค่าเท่ากันและ สมมาตรกันระหว่างแนวแกนของแหล่งกำเนิดแสงนั้นด้วย

โรงงานผู้ผลิตจะจัดทำตารางข้อมูล แสดงค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างของ แหล่งกำเนิดแสงใด ๆ สัมพันธ์กับมุมที่ทำกับแนวแกนของแหล่งกำเนิดแสงนั้น ๆ ดังภาพที่ 2 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพซึ่งเราเรียกว่า Candlepower Distribution Curve และจะเห็นได้ว่า ความเข้มแห่งการส่องสว่างของหลอด 150 PAR/WFL มีค่าเท่ากับ 1150 Candela ณ ตำแหน่งใต้แนวแกนของหลอด และมีค่าเท่ากับ 800 Candela บนแนวที่มุม 30 องศา กับแนวแกนของหลอด



Correlation between English and metric systems of lighting measurement. Same basis (one candela) is used for either method. One lumen uniformly distributed over one sq. ft. produces an illumination of one footcandle.

รูป 1.2 Candlepower Distribution Curve

รูป 1.3 Relation between Foot-candle Feet Lux and Meters

Lumen

อีกแนวความคิดหนึ่ง ในการบอกค่าความมากน้อยของพลังงานหรือกำลังงานของแหล่งกำเนิดแสงใด ๆ ก็คือการบอกในรูปของจำนวนเส้นแรงของปริมาณแสง (Luminous flux) ที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้น ๆ ดังภาพที่ 1.3

เรานำแหล่งกำเนิดแสงหนึ่งซึ่งมีขนาดเล็กมาก ๆ จนเสมือนจุด (Point Source) และมีความเข้มแห่งการส่องสว่างสม่ำเสมอรอบทุกทิศทางเท่ากับ 1 Candela มาวางไว้ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมที่มีรัศมี 1 หน่วย ปริมาณแสงที่พุ่งไปตกลงบนทุก ๆ หนึ่งตารางหน่วยพื้นที่บนพื้นผิวของทรงกลมนี้จะมีค่าเท่ากับ 1 Lumen และเนื่องจากพื้นที่รอบผิวทั้งหมดของทรงกลมนี้มีค่าเท่ากับ 12.57 ตารางหน่วยพื้นที่ ดังนั้นเราจึงสรุปได้ว่า ความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 Candela จะสามารถเปล่งปริมาณเส้นแรงของแสงออกมาได้ 12.57 lumen ดังในรูปที่ 1.3 นั้นเอง

Footcandle

จากรูปที่ 1.3 นี้เราจะเห็นได้ว่า เมื่อเรานำแหล่งกำเนิดแสงที่มีขนาดเล็กมาก ๆ นี้และมีค่าเท่ากับ 1 Candela ไปวางไว้ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมที่มีรัศมี 1 ฟุต ปริ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดแสง 1 Lumen จะไปตกลงบนทุก ๆ หนึ่งตารางฟุตบนพื้นผิวของทรงกลม ปริมาณ  
 แห่งการส่องสว่างที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ 1 Footcandle หรือ 1 Lumen ต่อตาราง  
 ฟุต ในทำนองเดียวกันถ้ารัศมีของทรงกลมดังกล่าว มีค่าเท่ากับ 1 เมตร ปริมาณ  
 แห่งการส่องสว่างที่เกิดขึ้นบนพื้นที่ 1 ตารางเมตรบนพื้นผิวของทรงกลมจะมีค่าเท่ากับ 1  
 Lux หรือ 1 Lumen ต่อตารางเมตร

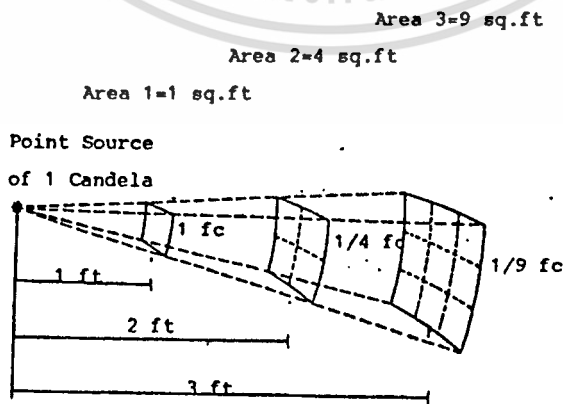
ข้อสังเกต

1. ปริมาณแห่งการส่องสว่าง 1 Footcandle จะมีค่าเท่ากับ 10.76 Lux

2. เมื่อเรากล่าวถึงปริมาณของแหล่งกำเนิดแสงใด ๆ ในรูปของปริมาณเส้นแรง  
 ของแสงที่ไปตกลงบนพื้นที่หนึ่ง ๆ นั้น หรือในรูปของปริมาณ Lumen ต่อตารางหน่วยพื้นที่  
 นั้น เราไม่คำนึงว่าปริมาณแสงดังกล่าวจะพุ่งไปอย่างไร ท้ามุมเท่าไรกับพื้นระนาบนั้น  
 เหมือนเช่นที่เรากล่าวถึงปริมาณของพลังงานของแหล่งกำเนิดแสงนั้น ๆ ในรูปของ  
 Candala

1.5 การส่องสว่าง (Illumination) :

ปริมาณแห่งการส่องสว่างบนพื้นผิวใด ๆ จะแปรตามโดยตรงกับความเข้มแห่ง  
 การส่อง (Illuminous intensity) ของแหล่งกำเนิดแสง และแปรตามอย่างผกผัน  
 กับค่าระยะทางยกกำลังสองระหว่างพื้นผิวนั้นกับแหล่งกำเนิดแสง ดังรูป 1.4 ความสัมพันธ์  
 นี้เราเรียกว่า Inverse Square Law



รูปที่ 1.4 Flux density decrease inversely as

the square of the distance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้วงเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E = cd / D^2$$

เมื่อ E คือ ปริมาณแห่งการส่องสว่างที่เกิดขึ้นบนพื้นงาน (Illumination)

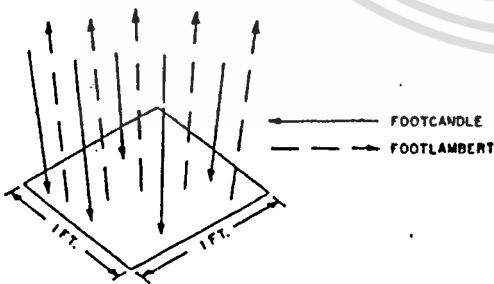
cd คือ ค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างของแหล่งกำเนิด ในทิศทางที่พุ่งไปหาจุดที่พิจารณาบนพื้นงาน

D คือ ระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับจุดที่ต้องการคำนวณหา ค่าปริมาณแห่งการส่องสว่าง

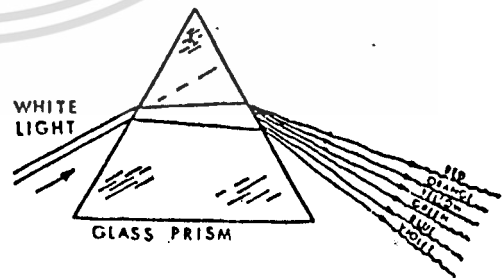
### 1.6 ความจ้า (Brightness) :

ความจ้าเป็นผลซึ่งเกิดจากการที่แสงถูกสะท้อนออกจากผิววัตถุ หรือพุ่งออกจากแหล่งกำเนิดแสงเข้าสู่ตา กล่าวคือ เมื่อแสงตกลงบนพื้นผิวของวัตถุใด ๆ บางส่วนของแสงนั้นจะถูกดูดกลืนเข้าไปในพื้นผิวนั้น แต่บางส่วนของแสงจะถูกสะท้อนออกมา ถ้าแสงที่สะท้อนออกมามีปริมาณมากเรากล่าวว่ามีจ้ามาก เราวัดความจ้าของผิววัตถุใด ๆ ด้วยปริมาณของแสง (Luminous flux) ที่สะท้อนออกมาต่อหน่วยพื้นที่หนึ่งตารางหน่วย และมีหน่วยเป็น footlambert ดังในรูปที่ 1.5

สิ่งหนึ่งที่จะต้องทำความเข้าใจให้ถูกต้องก็คือ สิ่งที่เราเห็นคือความจ้า (Brightness) หรือ footlambert มิใช่ความสว่าง (Illumination) หรือ footcandle ปริมาณความจ้าของวัตถุใด ๆ จะมีค่าเท่ากับผลคูณของปริมาณแห่งการส่องสว่าง (Illumination) กับค่าความสามารถในการสะท้อนแสงของวัตถุนั้น (Reflectance)



รูปที่ 1.5 Difference Between Illumination (footcandles) and Brightness (footlamberts)



รูปที่ 1.6 Prismatic Effect

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.7 สี (Color) :

จากที่ได้กล่าวมาแล้วแสงเป็นพลังงานที่เคลื่อนที่ได้ (Radiant Energy) ชนิดหนึ่ง และเมื่อนำพลังงานที่เคลื่อนที่ได้ทั้งหมดมาเรียงกัน โดยเริ่มตั้งต้นพลังงานที่มีความยาวคลื่นสั้นที่สุด จนถึงพลังงานที่มีความยาวคลื่นยาวที่สุด แสงจะเป็นเพียงแถบพลังงานแถบเล็ก ๆ แถบหนึ่งซึ่งมีช่วงความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 380 - 760 nanometers เท่านั้น และเป็นช่วงที่ตาเราสามารถรับรู้สีได้ ในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวนี้ของแสง ยังประกอบด้วยแสงสีต่าง ๆ อีกมากมาย ซ้อนเรียงกันอยู่ตั้งแต่แสงสีม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด แดง

จากรูปที่ 1.6 จะเห็นได้ว่า เมื่อเราฉายแสงสีขาวเข้าสู่ก้อนปริซึม แสงสีต่าง ๆ ซึ่งซ่อนอยู่ในแสงสีขาวนั้น จะถูกแยกตัวออกมาให้เห็นได้ชัดเจน แสงสีต่าง ๆ เหล่านี้ จะมีความยาวคลื่นเฉพาะตัวต่าง ๆ กันออกไปอย่างเช่น แสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 610 nanometers ขึ้นไป จะให้สีของแสงออกมาเป็นสีแดง ส่วนแสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 440 ถึง 500 nanometers จะให้แสงออกมาเป็นสีน้ำเงิน

เราอาจจะกล่าวได้ว่า สีของแสงเกิดขึ้นจากความไม่สมดุลง่ายของแสงสีขาวนั่นเอง กล่าวคือ สีของแสงใดที่มีพลังงานสูงที่สุด ก็จะมีผลทำให้แสงนั้นปรากฏออกมาเป็นแสงสีดังกล่าว ส่วนสีของวัตถุต่าง ๆ ที่เราเห็นอยู่ในชีวิตประจำวัน เกิดขึ้นจากการที่วัตถุนั้นมีคุณสมบัติในการดูดกลืน (Absorption) แสงสีอื่น ๆ ไว้หมด และสะท้อนสีนั้น ๆ ออกมา เช่น เราเห็นมะเขือเทศมีสีแดงก็เพราะว่า มันดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นช่วงอื่นไว้หมด และสะท้อนแสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 610 - 780 nanometers ซึ่งเป็นแสงสีแดงออกมา กล่าวคือ ตาเราจะไม่สามารถเห็นวัตถุออกมาเป็นสีใดสีหนึ่งโดยเฉพาะเลย ถ้าไม่มีพลังงานของแสงสีนั้นอยู่ในแหล่งกำเนิดแสงดังกล่าว อย่างไรก็ตาม วัตถุนั้น ๆ ก็จะต้องมีคุณสมบัติในการสะท้อนแสงสีนั้น ๆ ออกมาด้วย

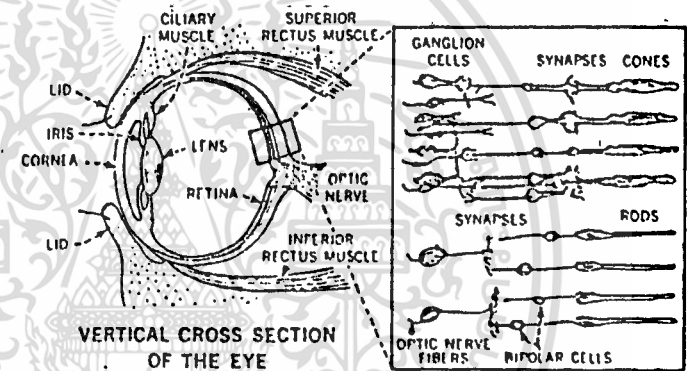
สีของวัตถุใด ๆ อาจจะเพี้ยนไปจากเดิมได้ อย่างเช่น กำแพงซึ่งเคยเป็นสีขาวภายใต้แสงสีขาวเมื่อเราฉายแสงสีเขียวลงไปบนกำแพง กำแพงนั้นก็จะมีปรากฏออกมาเป็นสีเขียวทั้งนี้ก็เพราะว่า มีแต่พลังงานของแสงสีเขียวเท่านั้นที่ตกลงบนกำแพง จึงมีเพียงแสงสีเขียวสะท้อนออกมาเข้าสู่ตาเรา หรืออย่างเช่น เมื่อเราฉายแสงสีเขียวลงบนกำแพงที่ทำด้วยสีแดงเอาไว้ สีมันจะออกคล้ำค่อนข้างไปทางดำ แทนที่จะเป็นสีแดงออกมาเหมือนเราฉายแสงสีขาวหรือสีแดงออกไป

อย่างไรก็ตามยังจะต้องระลึกไว้เสมอว่า เราจะไม่สามารถเห็นวัตถุรอบตัวเรามีไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีออกมาเป็นสีอื่นต่าง ๆ ได้เลย ถ้าไม่มีแสงอยู่รอบ ๆ กล่าวคือ ถ้าไม่มีแสงก็ไม่มีสี

แม่สีของแสงหรือบางครั้งเรียกว่า สีปฐมภูมิ (Primary color) คือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ซึ่งต่างจากแม่สีในวิชาศิลปะ แม่สีของแสงทั้งสามสีนี้ เมื่อนำมาผสมกัน (Additive) โดยการฉายแสงซ้อนกันลงไป เราจะได้แสงชุดที่สองขึ้น เรียกว่า สีทุติยภูมิ (Secondary color) ดังรูปที่ 1.7

จากรูป 1.7 จะเห็นได้ว่าแสงสีเหลืองซึ่งเกิดขึ้นจากการฉายแสงสีแดงลงบนแสงสีเขียว แสงสีม่วงเกิดขึ้นจากการฉายแสงสีแดงลงบนแสงสีน้ำเงิน และแสงสีน้ำเงินแกมเขียวก็เกิดขึ้นจากการฉายแสงสีน้ำเงินลงบนแสงสีเขียว และเมื่อฉายแสงสีชุดที่สองที่เกิดขึ้นพร้อม ๆ กันลงไปไน้อตราส่วนที่เหมาะสมแล้ว เราจะได้แสงออกมาเป็นแสงสีขาว



รูปที่ 1.7 Additive Primary Color

รูปที่ 1.8 Vertical Cross Section of The Eye

1.8 ธรรมชาติของการมองเห็น (Nature of Sight) :

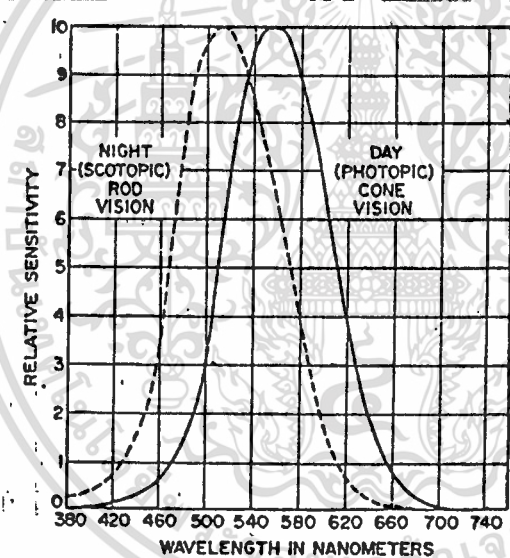
เมื่อแสงตกกระทบที่วัตถุใด ๆ มันจะสะท้อนเข้าสู่กระบอกตา ผ่านแก้วตา (Cornea), ลูกตา (Lens), เรตินา (Retina), ประสาทตา (Nerve) และสมองตามลำดับ กล้ามเนื้อตาจะทำหน้าที่ขยายตัวหรือหดตัว เพื่อโฟกัสให้คลื่นแสงที่มากกระทบแก้วตาและลูกตาไปตกลงบนบริเวณเรตินา นอกจากนี้ยังมีม่านตา (Iris) คอยทำหน้าที่ปิดเปิดกระบอกตาเพื่อควบคุมปริมาณแสงให้เข้าสู่กระบอกตาตามความเหมาะสม บริเวณเรตินายังประกอบด้วยเซลล์ประสาทเป็นจำนวนมาก ดังรูป 1.8

เซลล์ (Cell) จำนวนนับล้าน ๆ เซลล์นี้จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือส่วนที่เรียกว่าเป็น Cones หรือ (ซึ่งจะมีปริมาณใช้ 7 ล้านเซลล์ในกระบอกตาข้างหนึ่ง ๆ) Cones จะไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อยู่ตรงกลางบริเวณ เรตินา รับผิดชอบรับรู้อารมณ์ทางด้านสี และช่วยแยกรายละเอียดของสิ่งต่าง ๆ ที่เราเห็นได้เป็นอย่างดี การเห็นของเราในเวลากลางวันมักจะเกิดขึ้นเพราะการทำงานของ Cones ดังกล่าว เซลล์อีกกลุ่มหนึ่งเรียกว่า Rods (ซึ่งมีอยู่ประมาณ 130 ล้านเซลล์ในกระบอกตาข้างหนึ่ง) ช่วยให้เราสามารถเห็นภาพต่าง ๆ ได้ อย่างหายบ ๆ และ สามารถทำหน้าที่ของมันได้เป็นอย่างดีในเวลากลางคืน Rods จะไม่สามารถตอบสนองทางด้านสีได้เลย

ด้วยความสามารถในการทำงานและตอบสนองได้ต่างกันของ Cones และ Rods นี้ทำให้ตาของคนเราไม่สามารถตอบสนองต่อความยาวคลื่นต่าง ๆ ได้เท่าเทียมกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเห็นในบริเวณที่สลัว ๆ หรือค่อนข้างมืด ความสามารถในการตอบสนองทางด้านสีจะเขียนไป ดังรูปที่ 1.9



รูปที่ 1.9 Eye Sensitivity Curves for Day and Night Vision

1.9 ความสัมพันธ์ของแสงและการมองเห็น :

ในการออกแบบระบบแสงสว่างที่ดี ได้ปริมาณแสงที่เหมาะสมถูกต้องกับการใช้งานจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบต่าง ๆ มากมาย นับตั้งแต่ระยะห่างขึ้นงานกับผู้ปฏิบัติงาน, ขนาดของขึ้นงาน, Contrast ระหว่างขึ้นงานและสิ่งแวดล้อม, Brightness ของขึ้นงานตลอดจนกระทั่งความเร็วในการเคลื่อนที่หรือเคลื่อนไหวของขึ้นงาน ในที่นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

ขนาดของชิ้นงาน :

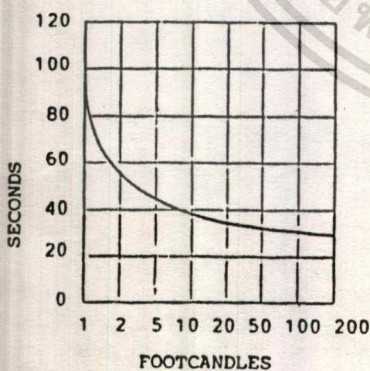
ธรรมชาติตาของคนเราสามารถเห็นวัตถุที่ใหญ่ได้ง่ายกว่าวัตถุที่เล็ก และมีแนวโน้มที่จะเห็นวัตถุชิ้นเดียวกัน มีขนาดเล็กลงในเวลากลางคืนเมื่อเทียบกับเวลากลางวัน

การเพิ่มปริมาณแสงที่เหมาะสมก็คือ การทำให้ตาของคนเรามีความรู้สึกเห็นวัตถุชิ้นเดียวกันนั้นเสมือนขยายใหญ่ขึ้นมาเท่ากับขนาดที่เราเห็นมันในเวลากลางวัน วัตถุยิ่งเล็ก รายละเอียดมาก ปริมาณแสงที่ต้องการก็จะมีมากขึ้นเป็นเงาตามตัว เช่นการอ่านหนังสือ การพิมพ์ดีด การเขียนแบบ ย่อมต้องการปริมาณแสงมากขึ้นเป็นพิเศษ

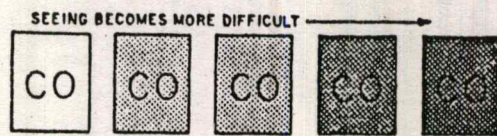
เวลา :

ในที่นี้หมายถึง ช่วงเวลาที่ตาได้มีโอกาสสัมผัสวัตถุที่ต้องการจะเห็น ตามิได้เห็น วัตถุชิ้นทันทีที่วัตถุปรากฏอยู่ตรงหน้าเรา ตาของคนเราต้องการเวลาช่วงหนึ่งในการปรับกล่อมเนื้อตาให้ขยายหรือหดตัว ปริมาณแสงยิ่งน้อย การเห็นก็ยิ่งต้องการเวลามากขึ้น ผู้ออกแบบระบบแสงสว่างจะต้องคำนึงถึงปัญหานี้เป็นพิเศษ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรณีวัตถุเคลื่อนที่ เช่น การเล่นฟุตบอล ปริมาณแสงที่ต้องการจะต้องสูงเพียงพอ

จากรูปที่ 1.10 จะเห็นได้ว่า เมื่อปริมาณแสงเพิ่มมากขึ้นเวลาที่ตาต้องการใช้ในการเห็นจะลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณแสงมากขึ้นจนถึงค่า ๆ หนึ่ง เวลาที่ตาต้องการใช้ในการเห็นจะเริ่มคงที่ เพราะเนื่องจากขีดจำกัดของกล้ามเนื้อตานั่นเอง ผู้ที่ทำงานอยู่ภายใต้แสงที่มีปริมาณมากเพียงพอก็ย่อมสามารถทำงานได้เร็วกว่าและถูกต้องมากกว่า



รูปที่ 1.10 Relationship of PERFORMANCE Speed to Illumination Levels

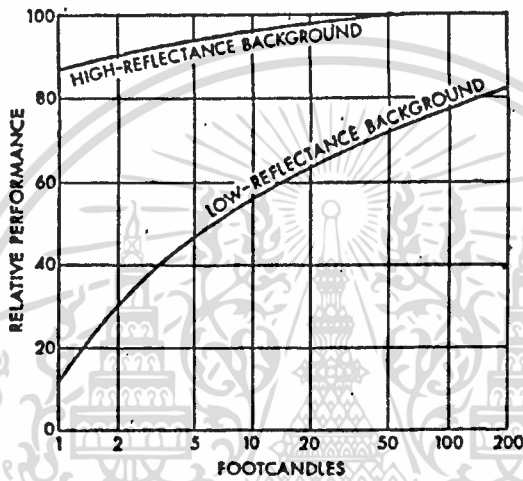


รูปที่ 1.11 Seeing Becomes More Difficult as Contrast is Reduced

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Contrast :

Contrast คือความแตกต่างของความดำขาวระหว่างวัตถุกับสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่รอบ ๆ ตัวมัน จากรูปที่ 1.11 จะเห็นได้ว่าเมื่อ Contrast ยิ่งมาก การมองเห็นก็จะยิ่งทำได้ง่ายขึ้น ความต้องการปริมาณแสงจะมีน้อยลง ยกตัวอย่างเช่น ตัวหนังสือดำบนกระดาษสีขาว ย่อมถูกเห็นได้ง่ายกว่าตัวอักษรดำบนพื้นสีเทา และถ้า Contrast ยิ่งน้อยปริมาณแสงที่ต้องการจะมีมากขึ้น อย่างเช่น การเย็บผ้าดำด้วยด้ายดำ ย่อมต้องการปริมาณแสงเป็นจำนวนมาก เป็นต้น



รูปที่ 1.12 Effects of Illumination level on Relative Visual Performance when Task Involves Contrast of High and Low Reflectance Backgrounds

จากรูป 1.12 จะเห็นได้ว่า สมรรถนะในการเห็นจะตกลงจาก 100 หน่วยมาเป็น 73 หน่วย เมื่อเปลี่ยนไป และปริมาณแสงยังคงรักษาไว้ให้คงที่ที่ 50

Brightness :

เมื่อปริมาณแสงตกกระทบวัตถุ เราเรียกว่า การส่องสว่าง (Illumination) และมีหน่วยวัดเป็น footcandle แต่สิ่งที่ตาเราเห็นคือ Brightness อันเกิดขึ้นจากการสะท้อนของแสงจากวัตถุเข้าสู่ตา และมีหน่วยวัดเป็น footlambert เมื่อเพิ่มปริมาณแสงมากขึ้น Brightness จะเพิ่มขึ้นไปด้วย อย่างไรก็ตาม Brightness ของวัตถุใด ๆ ขึ้นอยู่กับค่าความสามารถในการสะท้อนแสง (Reflectance) ของ

วัตถุนั้น ๆ ด้วย ผู้ออกแบบจะต้องรักษาค่า Brightness ที่เกิดขึ้นให้เหมาะสมไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว อันได้แก่ ขนาดของวัตถุ และ Contrast เป็นสมบัติประจำตัวของวัตถุ และไม่สามารถจะแก้ไขได้ แต่ Brightness เป็นสิ่งที่เราสามารถแก้ไขและควบคุมได้ โดยการปรับค่าปริมาณแห่งการส่องสว่าง รูปที่ 1.13 แสดงให้เห็นถึงค่า Brightness ที่เหมาะสมสำหรับลักษณะของงานประเภทต่าง ๆ

CATEGORY OF SEEING TASKS	GUIDE BRIGHTNESS IN FOOTLAMBERTS
Most difficult	420 up
Very difficult	120-420
Difficult	42-120
Ordinary	18-42
Easy	below 18

รูปที่ 1.13 Minimum Brightness Values for Typical Tasks

นอกจากองค์ประกอบต่าง ๆ นี้แล้ว ยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ อีกมาก ซึ่งจะต้องนำมาร่วมพิจารณาด้วยในการออกแบบระบบแสงสว่างในบางครั้ง อย่างเช่น อายุของผู้ปฏิบัติงานภายใต้แสงสว่าง ผู้สูงอายุย่อมต้องการปริมาณแสงสว่างมากกว่าสำหรับการทำงานอย่างเดียวกัน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 การออกแบบแสงสว่าง และ การออกแบบดวงโคม

### Lighting and Luminaire Design

#### 2.1 ชนิดและหน้าที่ของดวงโคม :

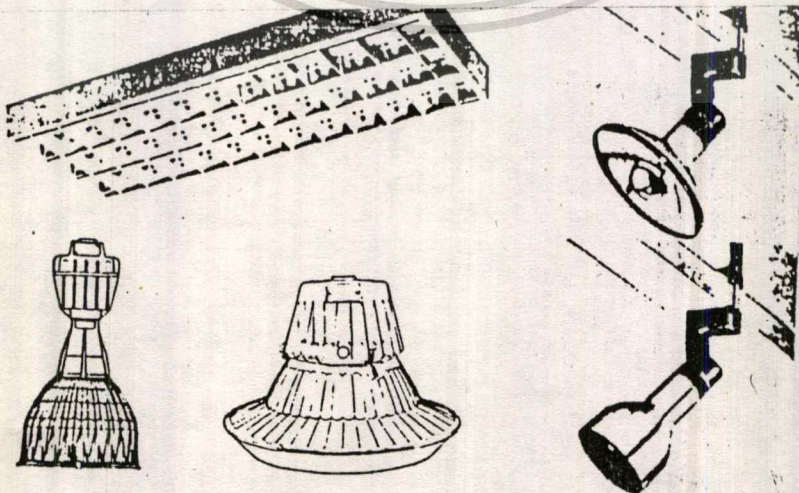
##### Luminaire and Their Functions

เมื่อกล่าวถึงดวงโคม (Luminaires) เราจะหมายความรวมถึงตัวหลอดไฟ (lamp), โคมไฟ (fixtures) และตัวบาลาสต์ ดวงโคม (Luminaire) มีหน้าที่หลักในการควบคุมลำแสงให้กระจายไปตามพื้นที่ที่เราต้องการ นอกจากนี้ยังช่วยรองรับหลอดไฟและช่วยในการต่อวงจร , รักษาอุณหภูมิภายในให้อยู่ในระดับที่ต้องการ, และป้องกันอันตรายใด ๆ อันอาจจะเกิดขึ้นกับหลอดไฟได้อีกด้วย เราสามารถจำแนกชนิดของดวงโคม ออกเป็นชนิดต่าง ๆ ตามชนิดของหลอดไฟที่ใช้ หรือจำแนกชนิดของดวงโคมตามลักษณะการติดตั้ง หรืออาจจำแนกเป็นชนิดต่าง ๆ ตามลักษณะการกระจายแสง (light distribution characteristic) หรือตามลักษณะของการนำไปใช้งานก็ได้

##### 2.1.1 ชนิดของดวงโคม

###### 1. จำแนกตามชนิดของหลอดไฟที่ใช้

ดวงโคมอาจจะจำแนกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ตามชนิดของหลอดไฟที่ใช้ กล่าวคือ ดวงโคมที่ใช้กับหลอด Incandescent ดวงโคมที่ใช้กับหลอด Fluorescent และดวงโคมที่ใช้กับหลอด High Intensity Discharge ดังรูปที่ 2.1



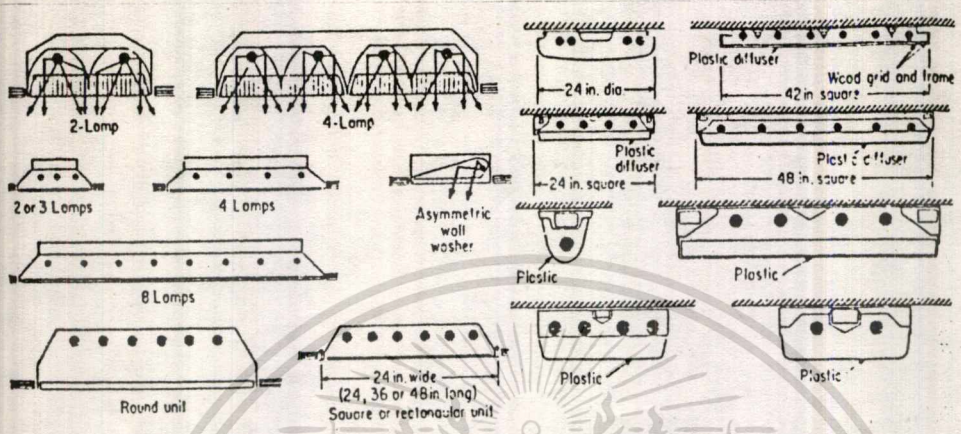
รูป 2.1 Incandescent, Fluorescent and HID. Luminaire

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเอาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. จำแนกตามลักษณะการติดตั้ง

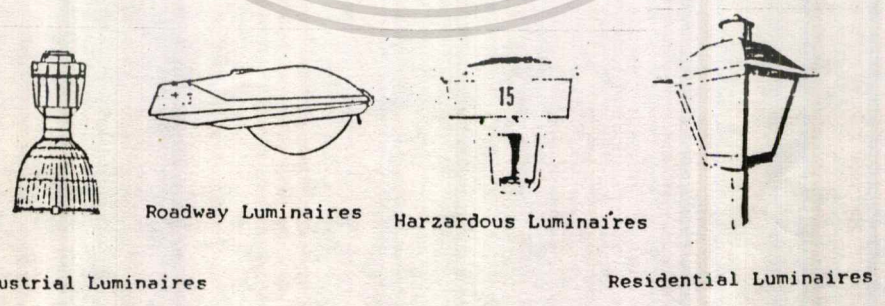
เราสามารถจำแนกชนิดของดวงโคม ตามลักษณะการติดตั้งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ด้วยกันคือ ติดแบบฝังเข้าไปในเพดาน (Recessed) แบบยึดติดกับเพดาน (Surface) หรือแบบห้อย (Pendent) ดังรูป 2.2



รูป 2.2 Recessed and Surface-Mounted Luminaires

## 3. จำแนกตามลักษณะการใช้งาน

บางครั้งเราก็จะจำแนกชนิดของดวงโคมออกตามลักษณะการนำไปใช้งาน อย่างเช่น ดวงโคมสำหรับงานอุตสาหกรรม ดวงโคมสำหรับบ้านพักอาศัย ดวงโคมสำหรับใช้เป็นไฟถนน นอกจากนี้ก็ยังมีดวงโคมที่ออกแบบขึ้นสำหรับงานพิเศษเฉพาะอย่าง เช่น ในสถานที่หรือบรรยากาศที่อาจติดไฟได้ มีความชื้นมาก หรือไอของสารเคมีสูง เป็นต้น ดังแสดงในภาพ 2.3



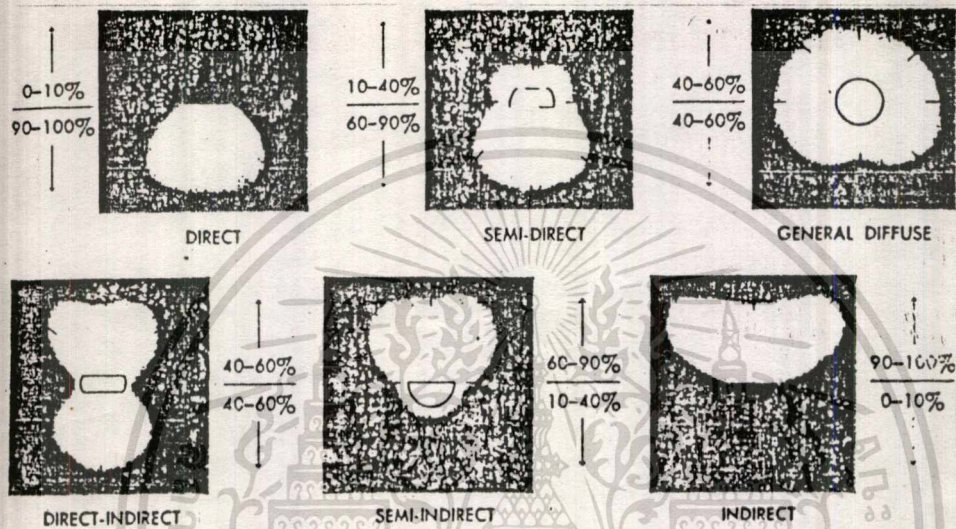
รูป 2.3 Luminaires Classification as Application

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. การจำแนกลักษณะของดวงโคมตามลักษณะการกระจายแสง

(Vertical Light Distribution)

อีกวิธีหนึ่งในการจำแนกชนิดของดวงโคม ก็คือ พิจารณาจากการกระจายแสงในแนวตั้งของดวงโคม (Vertical Light Distribution) กล่าวคือ พิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างปริมาณแสงที่พุ่งจากดวงโคมขึ้นสู่พื้น กับปริมาณแสงที่พุ่งจากดวงโคมขึ้นสู่เพดาน ดังรูป 2.4



รูป 2.4 Illustration of General Distribution Pattern

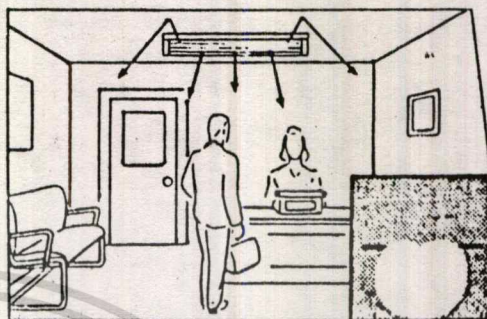
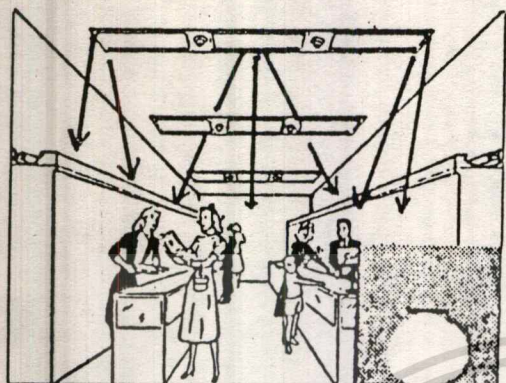
จากรูป 2.4 จะเห็นได้ว่า เราสามารถแบ่งชนิดของดวงโคมออกได้เป็น 5 ประเภทใหญ่ ๆ ด้วยกันตามลักษณะการกระจายแสงของมัน คือ Direct, Semi-Direct, General Diffuse, Semi-Indirect และ Indirect

Direct Luminaire ดวงโคมประเภทนี้แสงส่วนใหญ่จากดวงโคมประมาณ 90 - 100 % จะกระจายลงสู่เบื้องล่างดังรูป 2.5 ข้อดีของลักษณะดวงโคมประเภทนี้คือเราสามารถที่จะควบคุมทิศทางของลำแสง ให้ไปตกบนพื้นที่ที่เราต้องการได้โดยง่าย อย่างไรก็ตาม สิ่งที่จะต้องพิถีพิถันเป็นพิเศษก็คือ ความแตกต่างของความจ้า (Brightness) ระหว่างผนัง เพดาน กับตัวดวงโคมเอง ซึ่งอาจจะแก้ไขได้โดยทาสีห้อง หรือใช้วัสดุต่าง ๆ ตลอดจนเฟอร์นิเจอร์ที่มีเปอร์เซ็นต์ในการสะท้อนแสงสูงเข้าช่วย

Semi-Direct Luminaire ดวงโคมประเภทนี้จะกระจายแสงลงสู่เบื้องล่างประมาณ 60 - 90 % และปล่อยให้แสงกระจายขึ้นสู่เพดานประมาณ 10 - 40 %

วิธีนี้เราสามารถที่จะลดความแตกต่างของความจ้า (Brightness) ระหว่างดวงโคมไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

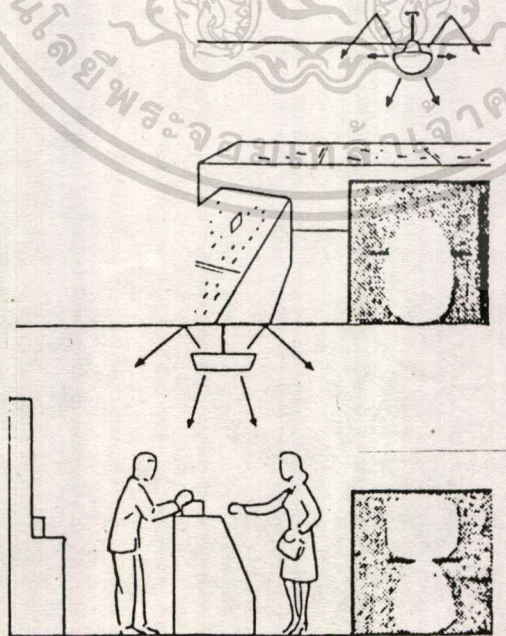
และเพดานได้อย่างดีที่เดียวดังรูป 2.6 ข้อเสียของดวงโคมประเภทนี้และดวงโคมชนิด Direct Luminaire ก็คือว่าอาจจะเกิดเงาขึ้นบนพื้นงานได้โดยง่าย ถ้าระยะห่างระหว่างดวงโคมอยู่ห่างกันมากเกินไป



รูปที่ 2.5 Illustration of Direct Lighting

รูปที่ 2.6 Illustration of Semi-Direct Lighting

General Diffuse หรือ Direct-Indirect Luminaire ลักษณะของดวงโคมประเภทนี้มักจะกระจายแสงลงสู่พื้นและกระจายแสงพุ่งขึ้นสู่เพดานพอ ๆ กัน ข้อแตกต่างของลักษณะการกระจายแสงแบบ General Diffuse และแบบ Direct-Indirect ก็คือว่าการกระจายแสงแบบ General Diffuse จะมีแสงบางส่วนพุ่ง

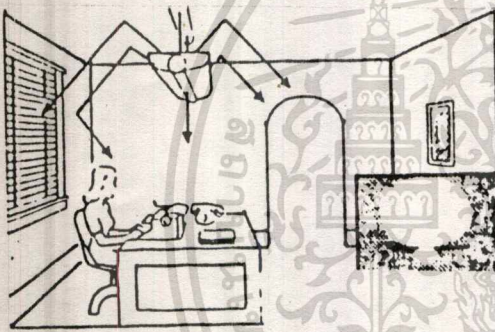


รูปที่ 2.7 Comparison of General Diffuse and Direct-Indirect Lighting

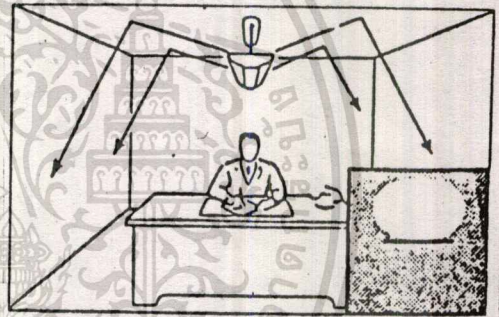
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกมาในแนวระดับด้วย ดังรูป 2.7 การควบคุมการกระจายแสงของดวงโคมประเภทนี้ให้ไปตกบนพื้นที่ที่เราต้องการทำได้ยาก กล่าวคือ Coefficient of Utilization ของดวงโคมประเภทนี้จะมีค่าต่ำกว่าดวงโคม 2 ประเภทแรก แต่ดวงโคมประเภทนี้จะให้ค่า brightness ทั้งพื้นผิวห้องดูสม่ำเสมอและสบายตา

Semi-Indirect Luminaire ปริมาณแสงส่วนใหญ่ประมาณ 60 - 90 % จากดวงโคมชนิดนี้จะกระจายขึ้นสู่เพดาน และปล่อยให้แสงส่วนที่เหลือกระจายลงสู่พื้น เพดานจึงทำหน้าที่คล้ายกับแหล่งกำเนิดแสงแผ่นใหญ่แผ่นหนึ่ง ซึ่งจะสะท้อนแสงลงสู่เบื้องล่าง ฉะนั้นความสามารถในการสะท้อนแสง (Reflectance) ของเพดานจะต้องสูงมาก ลักษณะการกระจายแสงเช่นนี้ ความจ้า (Brightness) ระหว่างตัวดวงโคมกับเพดานจะไม่แตกต่างกันมากนัก เรามักจะใช้ดวงโคมประเภทนี้ในสถานที่ที่มีปัญหาเกี่ยวกับเรื่องการที่แสงแยงตา (glare) มาก ๆ ดังรูป 2.8



รูปที่ 2.8 Illustration of Semi-Indirect Lighting



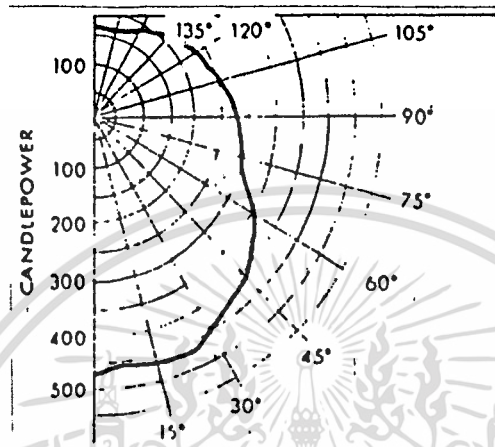
รูปที่ 2.9 Illustration of Indirect Lighting

Indirect Luminaire ปริมาณแสงจากดวงโคมเกือบทั้งหมด ประมาณ 90 - 100 % จะกระจายขึ้นสู่เพดานและส่วนบนของผนังแล้วจึงสะท้อนสู่พื้นงาน ดังรูป 2.9 Brightness ทั่วบริเวณห้องจะดูสม่ำเสมอจนเกือบเท่ากันหมด ถ้าระยะที่ห้อยดวงโคมจากเพดานมีค่ามากพอ ข้อเสียของดวงโคมประเภทนี้ก็คือว่ามันจะมีค่า Coefficient of Utilization ต่ำที่สุด

### 2.1.2 Candlepower Distribution Curve

หน้าที่หลักของดวงโคมก็คือ การควบคุมให้แสงกระจายออกไปในทิศทางหรือบริเวณที่ต้องการ ลักษณะของการกระจายแสงของดวงโคมแต่ละชนิดจะไม่เหมือนกัน เราไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถบอกลักษณะการกระจายแสงของดวงโคมใด ๆ ก็ได้ โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ กล่าวคือเราจะวัดค่ากำลังแห่งการส่องสว่าง (Candlepower) ของดวงโคมนั้น ๆ ที่มุมต่าง ๆ รอบดวงโคมแล้วนำมาบันทึกลงในกระดาษกราฟ ในระบบ Polar Coordinate ดังรูป 2.10 ซึ่งเป็นลักษณะการกระจายแสง (Candlepower Distribution Curve) ของดวงโคมของหลอด Incandescent ขนาด 20 Watt



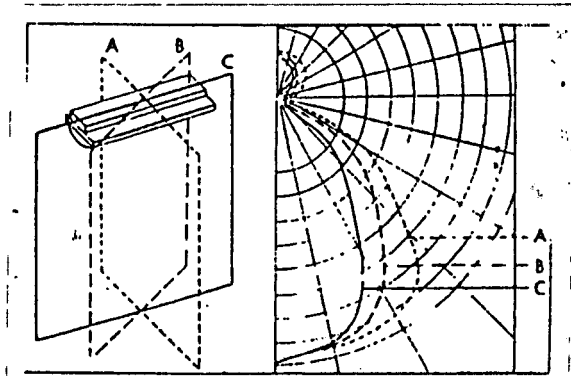
รูปที่ 2.10 Candlepower Distribution Curve for Typical Incandescent Fixture

จากรูปแสดงให้เห็นถึงค่า Candlepower ของดวงโคมในระนาบตั้งระนาบหนึ่ง และเนื่องจากดวงโคมของหลอด Incandescent จะสมมาตรกับแนวแกนของตัวเอง ดังนั้นลักษณะการกระจายแสง (Candlepower Distribution Curve) ของดวงโคมในระนาบตั้งระนาบอื่น ๆ ก็จะมีลักษณะเหมือนกัน

แต่สำหรับโคมไฟสำหรับหลอด Fluorescent จะแตกต่างออกไป ทั้งนี้เนื่องจากโคมของมันมักจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า โรงงานผู้ผลิตจะจัดทำตารางแสดงลักษณะการกระจายแสง (Candlepower Distribution Curve) ของโคม Fluorescent ได้ 2 ระนาบหรือบางครั้ง 3 ระนาบ กล่าวคือระนาบในแนวตั้งตามความยาวของดวงโคม ดังรูป 2.11 คือระนาบ C และระนาบในแนวตั้งตั้งฉากกับความยาวของดวงโคม คือระนาบ A ในรูป และบางครั้งจะมีระนาบที่ 3 ซึ่งเป็นระนาบในแนวตั้งที่ทำมุม 45 องศา กับความยาวของดวงโคม คือระนาบ B ซึ่งโดยทั่วไปแล้วระนาบ A จะให้ลักษณะการกระจายแสงกว้างกว่าระนาบ B และ C ตามลำดับ

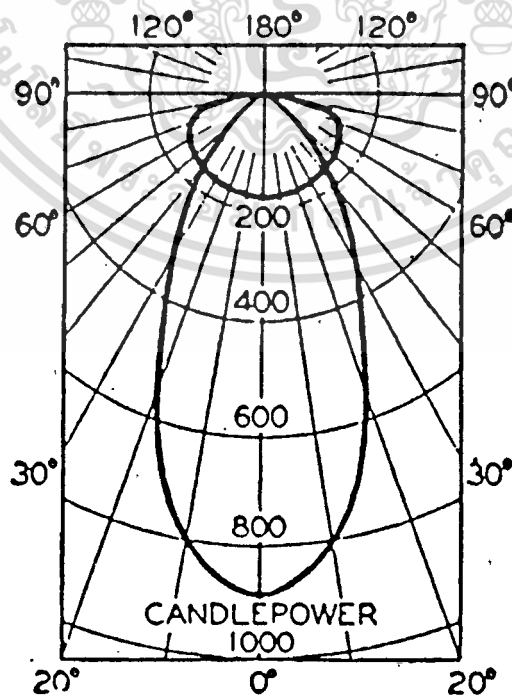
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 Candlepower Distribution Curve for  
Typical Fluorescent Luminaire

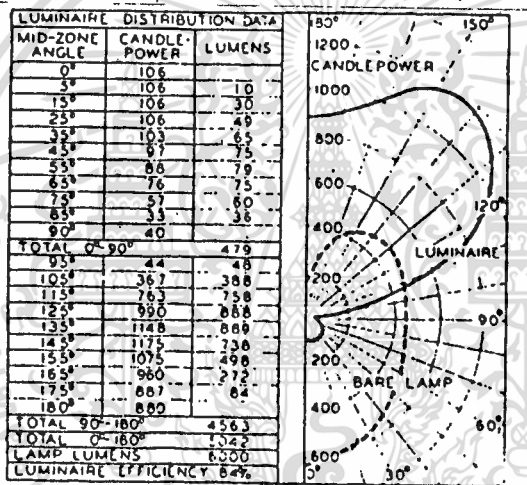
ลักษณะการกระจายแสงของดวงโคมจะช่วยให้เราสามารถเลือกใช้ชนิดของดวงโคม  
ได้ตามความเหมาะสมกับประเภทของงานที่ใช้ อย่างไรก็ตามก็จะต้องไม่ลืมว่าค่า  
Candlepower ที่อ่านได้จากตาราง มีใช้ตัวที่บอกให้เรารู้ถึงระดับความสว่างโดย  
เฉลี่ยทั่วพื้นผิวของห้อง ดวงโคม 2 ชุดที่ให้ค่า lumen output เท่ากันอาจจะมีลักษณะ  
การกระจายแสงที่ต่างกันก็ได้ ดังรูป 2.12



รูปที่ 2.12 Two Distribution Curves of Equal Lumen Output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากจะแสดงลักษณะการกระจายแสงของดวงโคมในรูปของกราฟแล้ว บางครั้ง  
 โรงงานผู้ผลิตก็จะจัดทำตารางแสดงการกระจายของแสง ในรูปของตารางแจก  
 (Luminaire Distribution Data) อีกด้วย ดังรูป 2.13 ซึ่งแสดงตารางการกระจาย  
 กระจายแสงของดวงโคม (Luminaire Distribution Data) ของหลอด Incandescent  
 ขนาด 300 Watt โดยเริ่มตั้งแต่มุม 0 องศา ซึ่งอยู่ที่ใต้ดวงโคม จนกระทั่งถึงมุม 180  
 องศา ซึ่งอยู่เหนือดวงโคมในแนวตั้ง นอกจากนี้ยังแสดงค่า lumen output ตั้ง  
 แต่มุม 0 องศา จนถึงมุม 90 องศา มีค่าเท่ากับ 479 lumen และมีค่าเท่ากับ 4563  
 lumen ตั้งแต่มุม 90 องศาจนถึงมุม 180 องศา ซึ่งเป็นปริมาณแสงที่พุ่งขึ้น เหนือ  
 ระดับดวงโคม



รูปที่ 2.13 Candlepower Data for Indirect Incandescent Luminaire

ผลรวมของค่า lumen output ทั้งสองคือปริมาณแสงทั้งหมด ที่ออกมาจากดวงโคม  
 ซึ่งค่าเท่ากับ 5042 lumen จากตัวเลขดังกล่าว เราจึงสรุปได้ว่าดวงโคมชนิดนี้เป็น  
 ชนิด Indirect Luminaire เพราะว่า  $479/5042 = 9.5\%$  ของปริมาณแสงทั้งหมด  
 จากดวงโคมจะกระจายออกทางด้านล่าง และ  $4563/5042 = 90.5\%$  ของปริมาณ  
 แสงทั้งหมดจากดวงโคมจะกระจายออกทางด้านบนของดวงโคม นอกจากนี้เราสามารถ  
 ที่จะหาประสิทธิภาพของดวงโคม (Luminaire Efficiency) ได้จากอัตรา  
 ส่วนระหว่างผลรวมของปริมาณแสงที่ออกมาจากดวงโคมทั้งด้านบนและด้านล่าง ต่อปริมาณ  
 แสงที่ออกมาจากตัวหลอดไฟเอง ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $5042/6000$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3 Coefficient of Utilization (CU)

Coefficient of Utilization คืออัตราส่วนระหว่าง lumen ที่ไปตกถึงพื้นงานที่เราต้องการ ต่อ lumen ที่ออกมาจากดวงโคม ค่า Coefficient of Utilization ไม่ได้ขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายแสงของโคมเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับความสูงและสัดส่วนของห้อง ตลอดจนความสามารถในการกระจายแสง (Reflectance) ของเพดานผนังและพื้นอีกด้วย ผู้ออกแบบระบบแสงสว่างสามารถที่จะหาค่า CU ของดวงโคมใด ๆ ได้จากตารางที่โรงงานผู้ผลิตดวงโคมนั้นจัดทำขึ้น

### 2.1.4 Luminaire Efficiency

ประสิทธิภาพของดวงโคม เราได้ทราบมาแล้วว่าเราสามารถหาประสิทธิภาพของดวงโคมจากสูตรประสิทธิภาพของดวงโคม = (lumen output ของดวงโคม) หารด้วย (lumen output ของหลอดไฟ), ตัวเลขดังกล่าวบอกให้เราเห็นว่า lumen output ที่ออกมาจากหลอดไฟจะหายไปมากน้อยเพียงใด แต่อย่างไรก็ตามดวงโคมที่มีประสิทธิภาพสูง มิได้หมายความว่า ดวงโคมนั้นจะดีกว่าดวงโคมที่มีประสิทธิภาพต่ำเสมอไป ทั้งนี้เพราะว่าดวงโคมที่มีประสิทธิภาพสูงอาจจะเป็นดวงโคมที่มี CU ต่ำก็ได้ แต่หากเรามีดวงโคม 2 ชุด ที่มีค่า CU เท่ากัน ดวงโคมที่มีประสิทธิภาพสูงย่อมจะต้องดีกว่าดวงโคมที่มีประสิทธิภาพต่ำ

### 2.1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของดวงโคมกับความสูงของดวงโคม

(Spacing to Mounting Height Ratio)

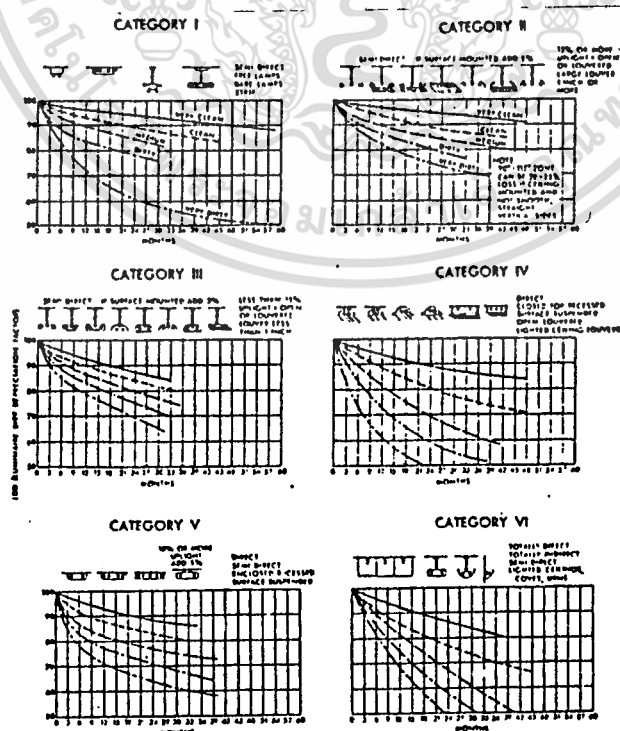
การออกแบบระบบแสงสว่างที่ดี ไม่เพียงแต่จะต้องได้ปริมาณแสงเฉลี่ยทั่วพื้นที่ผิวของงานตามค่าที่กำหนดไว้เท่านั้นแต่จะต้องพยายามไม่ให้ปริมาณแสงบนพื้นงานที่จุดต่างๆ มีค่าแตกต่างกันมากเกินไปอีกด้วย ค่าของปริมาณแห่งการส่องสว่างที่มากที่สุดและน้อยที่สุด ณ ตำแหน่งใดๆบนพื้นงานไม่ควรเกิน 1/6 ของค่าปริมาณแห่งการส่องสว่างเฉลี่ยบนพื้นงานนั้น โรงงานผู้ผลิตมักจะกำหนดค่ามากที่สุดของระยะห่างระหว่างดวงโคมมาให้ ในรูปของความสูงของดวงโคมจากพื้นงานซึ่งเราเรียกว่า Spacing per Mounting Height Ratio

### 2.1.6 Light Loss Factor

เมื่ออายุงานของหลอดเพิ่มขึ้น lumen output ก็จะลดน้อยลงและในการออกแบบระบบแสงใดๆ จะต้องคำนึงถึงค่าความเสื่อมของหลอดไฟ Lamp Lumen Depreciation ด้วย สำหรับดวงโคมก็เช่นกัน เมื่อมันถูกใช้งานไปนาน ๆ เข้าความสามารถในการสะท้อนแสงของดวงโคมจะเริ่มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการสะสมของฝุ่นละอองจากบรรยากาศ ถ้าดวงโคมติดตั้งอยู่ในสถานที่ที่มีฝุ่นละอองในบรรยากาศสูง ก็จำเป็นที่จะต้องหมั่นทำความสะอาดไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาดดวงโคมบ่ยขึ้น มีและนั้นความสามารถในการสะท้อนแสงของดวงโคมก็จะลดลงอย่างรวดเร็ว ความสามารถในการสะท้อนแสงที่ลดลงของดวงโคมอันเนื่องมาจากการสะสมของฝุ่นละอองในบรรยากาศรอบตัวมันนั้น เราเรียกว่า Luminaire Dirt Depreciation

Luminaire Dirt Depreciation ของดวงโคมแต่ละประเภทจะลดลงมากหรือน้อย ช้าหรือเร็ว ไม่เพียงแต่จะขึ้นอยู่กับ ลักษณะของดวงโคมตลอดจนลักษณะการติดตั้งของดวงโคมเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับปริมาณฝุ่นละอองที่มีอยู่ในบรรยากาศรอบ ๆ ดวงโคมนั้น และความสม่ำเสมอในการทำทำความสะอาดดวงโคมนั้นอีกด้วย ดังรูป 2.14 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงลักษณะของ Luminaire Dirt Depreciation ของดวงโคมแต่ละประเภทกล่าวคือ เราจะแบ่งดวงโคมออกเป็น 6 ประเภทใหญ่ ๆ ตามลักษณะของการสะสมฝุ่นละอองของมัน และจำแนกลักษณะบรรยากาศของสถานที่ที่ดวงโคมนั้น ๆ ถูกติดตั้งอยู่ ออกเป็น 5 ระดับด้วยกันคือ บรรยากาศที่สะอาดมาก สะอาด ปานกลาง สกปรก และสกปรกมาก ค่า Luminaire Dirt Depreciation จากรูป 2.14 สามารถที่จะหาได้ เมื่อเรารู้จักลักษณะของดวงโคมระดับความสะอาดของบรรยากาศที่ดวงโคมนั้น ถูกติดตั้งอยู่ ตลอดจนความสม่ำเสมอในการทำทำความสะอาดดวงโคมดังกล่าว และเมื่อฝุ่นละอองมาจับที่ดวงโคมมากขึ้น ไม่เพียงแต่ประสิทธิภาพของดวงโคมจะลดลงเท่านั้นลักษณะการกระจายแสง (Lumen Distribution Characteristic) ก็จะไปเปลี่ยนไปด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 2.14 Luminaire Maintenance Categories with LDD Charts  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ส่วนประกอบโดยทั่วไปของดวงโคม :

### 2.2.1 ลูเวอร์ (Louver)

ลูเวอร์ ทำหน้าที่บังหลอดไฟจากการจ้องมองโดยตรง และ บังแสงไม่ให้กระจายไปในส่วนที่ไม่ต้องการ โดยมากแล้วจะทำขึ้นจากวัสดุซึ่งแพร่กระจายแสงดี เช่น โลหะเคลือบ, อลูมิเนียม, อะคริลิก (Acrylic) สีขาว, พลาสติกเคลือบโลหะ

### 2.2.2 ตัวสะท้อนแสง (Reflector)

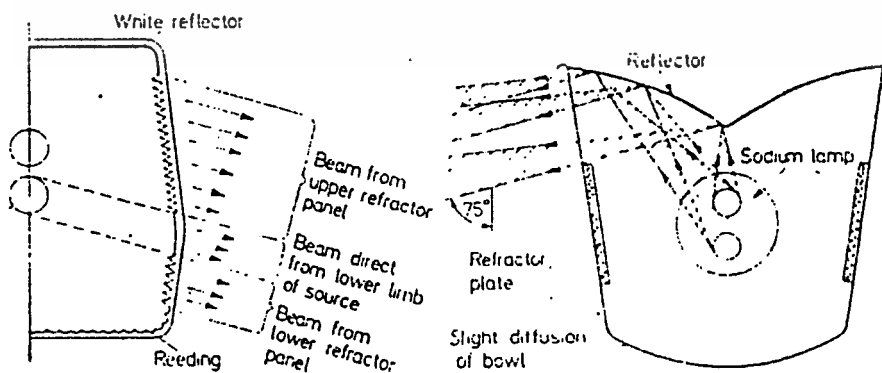
ตัวสะท้อนแสง ทำหน้าที่สะท้อนแสงไปตามทิศทางต่าง ๆ ตามต้องการตามแต่ลักษณะของตัวมัน ตัวสะท้อนแสงส่วนใหญ่จะสร้างขึ้นจาก

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	

Material ที่นำมาทำ Reflector

### 2.2.3 ดิฟฟิวเซอร์ (Diffuser) หรือ ตัวหักเหแสง (Refractor)

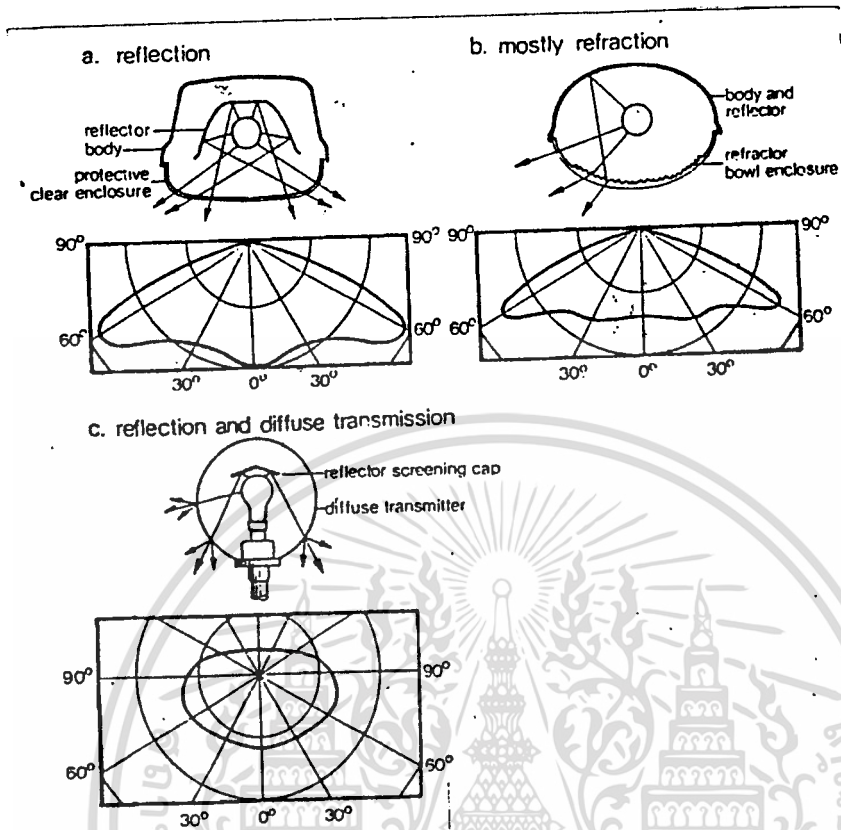
ดิฟฟิวเซอร์ หรือ ตัวหักเหแสง ทำหน้าที่เบี่ยงเบนแสงและลดความสว่างในทิศทางที่มีแกลล์สูง จะสร้างขึ้นจากแก้วหรืออะคริลิก



รูปที่ 2.15 อุปกรณ์ภายในดวงโคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

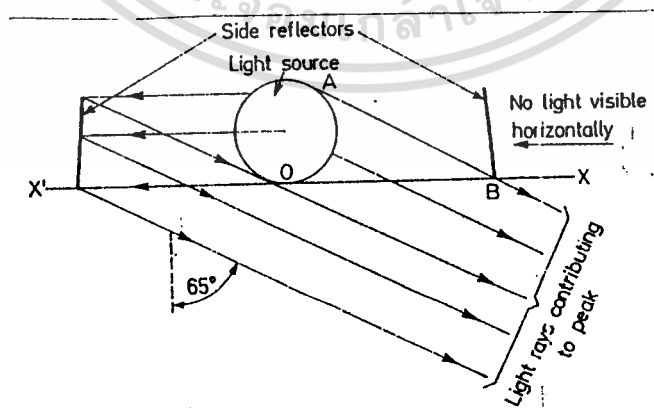
ส่วนประกอบบางอย่างอาจจะไม่มีก็ได้ แต่จะทำให้รูปแบบการกระจายแสงเปลี่ยนแปลงไป การทำงานอาจจะใช้ส่วนใดส่วนหนึ่งเป็นหลัก หรือทำงานทั้ง 3 ส่วนก็ได้



รูปที่ 2.16 การทำงานของดวงโคม

### 2.3 ระบบของตัวสะท้อนแสง (Reflector System) :

รูปแบบเบื้องต้นของตัวสะท้อนแสงซึ่งจะใช้เป็นแนวทางในปรับปรุงต่อไปเป็นดังนี้



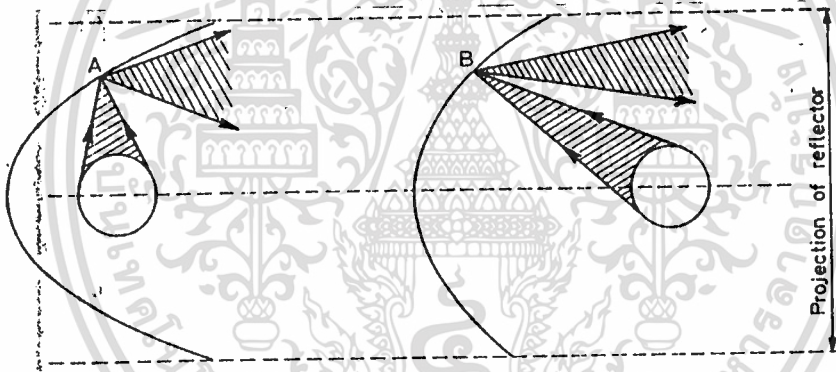
รูป 2.17 รูปแบบพื้นฐานของตัวสะท้อนแสง

แสดงถึงภาพตัดของหลอดไฟและการสะท้อนแสงของหลอดไฟจาก ตัวสะท้อนแสง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ประโยชน์ด้านการค้า ตำแหน่งของตัวสะท้อนแสงนั้นควรจะมีระยะห่างจากหลอดไฟอย่างน้อยที่จุด B ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดบังเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความเข้มของแสงจะไม่ขึ้นอยู่กับตัวสะท้อนแสง ไม่ว่าจะเปลี่ยนแปลงขนาดแบบใดก็ตาม ถ้าต้องการให้ความเข้มเพิ่มขึ้นต้องเพิ่มขนาดความสว่างของหลอดไฟเท่านั้น แต่ตัวสะท้อนแสง จะมีผลต่อตำแหน่งของความเข้มสูงสุดของแสง กำหนดได้โดยมุมของระนาบของมัน

ในบางกรณีหลอดไฟจะอยู่ต่ำกว่าตัวสะท้อนแสง แสงสะท้อนอาจจะไปตกกระทบตัวสะท้อนแสง อีกด้านหนึ่งลักษณะแบบนี้จะทำให้เกิดความเข้มสูงสุดเสมือนขึ้นและจะเกิดที่มุมต่ำกว่าค่าจริงเสมอ

รูปแบบของตัวสะท้อนแสงกับตำแหน่งของหลอดไฟก็จะมีผลต่อการกระจายแสงเช่นกัน ยกตัวอย่าง จากรูป 2.18 แสดงถึงตัวสะท้อนแสง A และ B แบบ A นั้นจะมีจุดไฟที่สโกลักกว่าแบบ B และถ้าวางตำแหน่งของหลอดไฟที่จุดไฟสโกล การกระจายแสงของ A จะเป็นมุมกว้างกว่าแบบ B

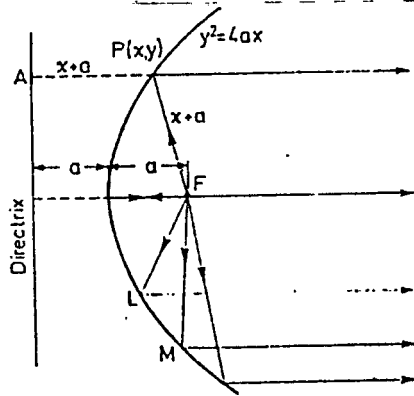


รูป 2.18 ความแตกต่างของการกระจายแสง

แสงที่ออกจากแหล่งกำเนิดจะมีลักษณะกระจายไปทั่ว ถ้าต้องการออกแบบให้ตัวสะท้อนแสงสะท้อนแสงไปตกยังจุดที่ต้องการ จะต้องออกแบบให้มีระนาบที่เปลี่ยนไปตลอดตามมุมตกกระทบของแสง ดังนั้นลักษณะโดยทั่วไปจึงมีลักษณะโค้ง ลักษณะต่าง ๆ ต่อไปนี้เป็นสิ่งที่ต้องศึกษาเพื่อช่วยในการออกแบบต่อไป

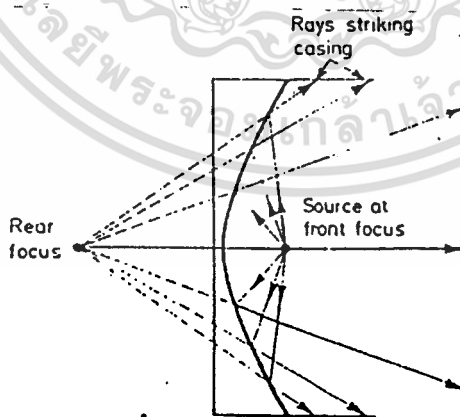
1. พาราโบลา (Parabola) ถ้าหลอดอยู่ที่จุดไฟสโกล การสะท้อนจะตั้งฉากกับเส้นไดเรกตริกซ์ (directrix) ของพาราโบลา ดังนั้นพื้นที่ใต้ตัวสะท้อนแสงจะมีความเข้มสูงสุด ถ้าไม่ต้องการก็ไม่ควรใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบจุดหรืออย่างวางที่ตำแหน่งไฟสโกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.19 ตัวสะท้อนแสงแบบพาราโบลา

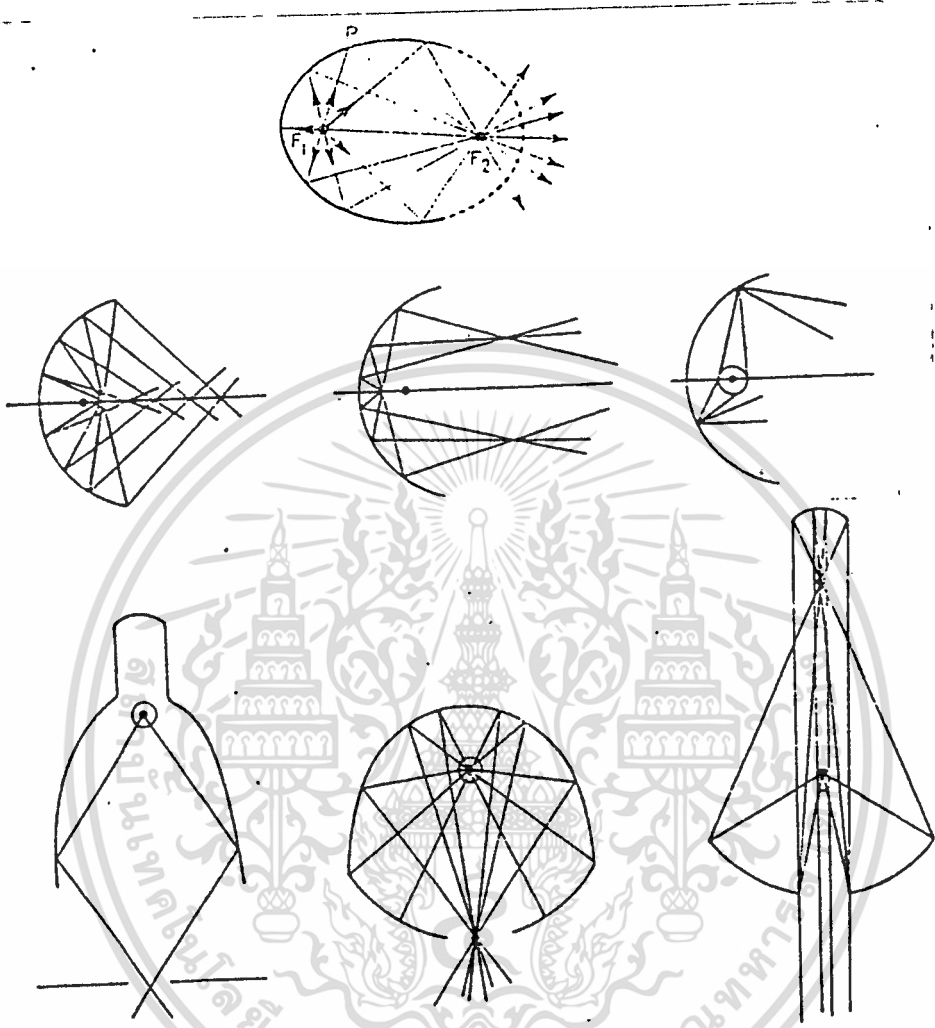
2. ไฮเพอร์โบลา (Hyperbola) มีจุดโฟกัส 2 จุดเช่นกัน แต่จุดโฟกัสจะอยู่ตรงข้ามกันดังรูป



รูป 2.20 ตัวสะท้อนแสงแบบไฮเพอร์โบลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วงรี (Ellipse) มีจุดโฟกัส 2 จุด ถ้าวางหลอดไฟไว้ที่จุดโฟกัสจุดใดจุดหนึ่ง แสงสะท้อนจะต้องไปผ่านอีกจุดโฟกัสหนึ่งเสมอ ลักษณะแบบนี้จะเป็นการกระจายแสงแบบพิเศษเหมาะกับการส่องสว่างในกรณีเป็นช่องเล็ก ๆ



รูป 2.21 ตัวสะท้อนแสงแบบวงรี

#### 2.4 ระบบของตัวหักเหแสง (Refractor System) :

การออกแบบระบบตัวหักเหแสง เพื่อควบคุมทิศทางเดินของแสง อันเนื่องมาจากแสงที่เดินผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่น (Optical Density) ต่างกัน มุมหักเหของแสงสามารถหาได้จากสมการ

$$\sin i = \mu \sin r$$

โดยที่  $i$  - มุมตกกระทบ

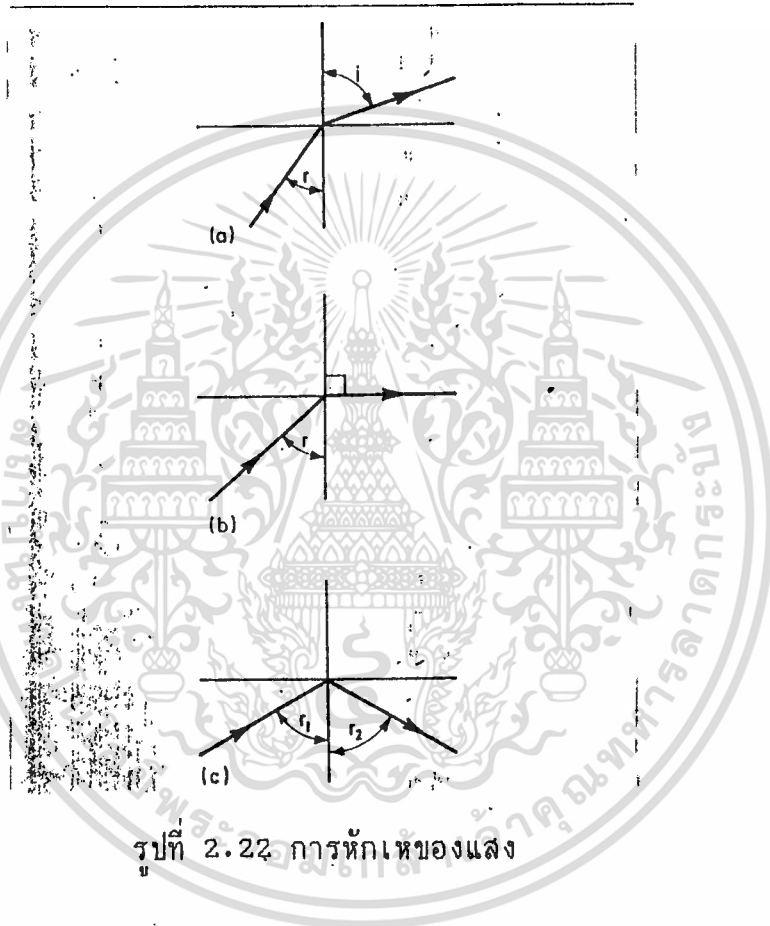
$r$  - มุมหักเห

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อผู้อื่น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Substance	Refractive Index	Critical angle (Degrees)
Water	1.33	49
Acrylic	1.49	42
Soda glass	1.52	41
Polystyrene	1.59	39
Flint glass	1.62	38

ตาราง Refractive Indices of some Transparent Media



รูปที่ 2.22 การหักเหของแสง

### Internal Reflection & Critical Angle

หากมุมตกกระทบที่รังสีตกกระทบทำมุมตกกระทบกับเส้นปกติ มีค่ามากขึ้นเรื่อย ๆ จนทำให้รังสีหักเห หักเหไปตามผิวรอยต่อ ในกรณีนี้เราเรียกว่า เกิดมุมวิกฤต (Critical Angle) ซึ่งแสดงดังภาพ 2.22b และมีสูตรดังนี้

$$\text{critical angle} = \sin^{-1} (1/\mu)$$

และถ้าเพิ่มมุมตกกระทบมากขึ้นไปอีก ก็จะทำให้เกิดการสะท้อนกลับหมด

(total internal reflection) ดังในภาพ 2.22c และเราก็สามารถไขกฎ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การสะท้อนแสงได้ในกรณีเช่นนี้ (มุมตกกระทบ = มุมสะท้อน)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

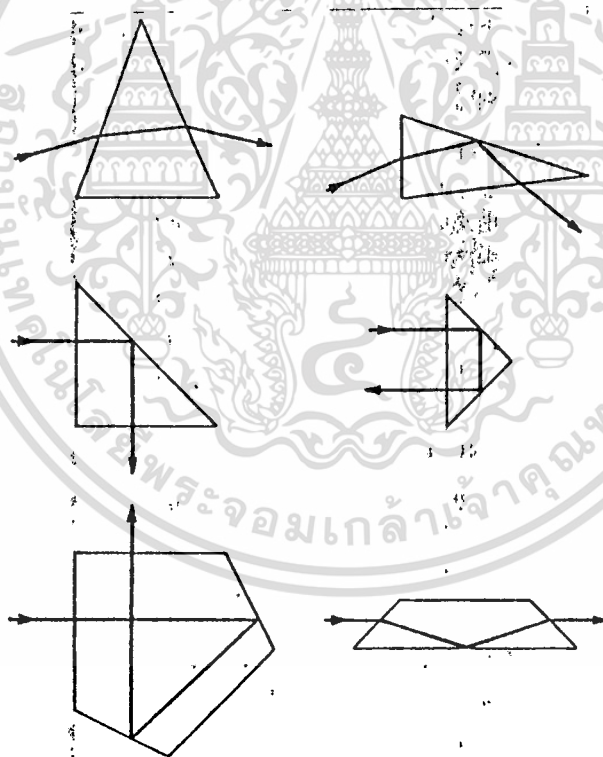
## Deviation Boundary

ในการคำนวณหามุมของ prism สามารถเปลี่ยนค่ามุม  $(i-r)$  เป็นมุม  $i$  โดยที่

$$\begin{aligned}\sin i &= \mu \cdot \sin r \\ &= \mu \cdot \sin [i - (i-r)] \\ &= \mu \cdot [\sin i \cdot \cos (i-r) - \sin (i-r) \cdot \cos i] , \\ \tan i &= \mu \cdot [\tan i \cdot \cos (i-r) - \sin (i-r)] ; \\ \tan i &= [\mu \cdot \sin (i-r)] / [\mu \cdot \cos (i-r) - 1]\end{aligned}$$

### 2.4.1 Prism System

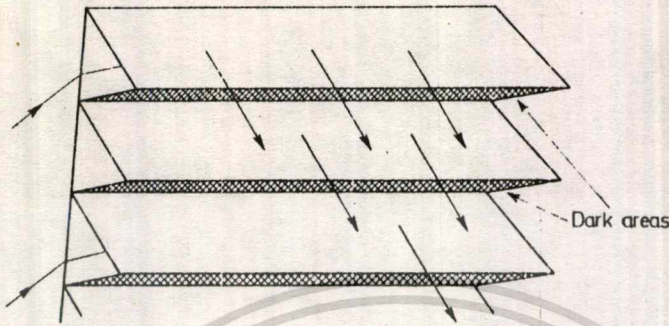
ตัวสะท้อนแสงส่วนใหญ่แล้วจะเป็นปริซึม ซึ่งมีการหักเหได้หลายแบบตามแต่ลักษณะของปริซึม และเส้นทางของแสง ตามรูปตัวอย่าง common form ดังภาพ



รูปที่ 2.23 Some common prism forms.

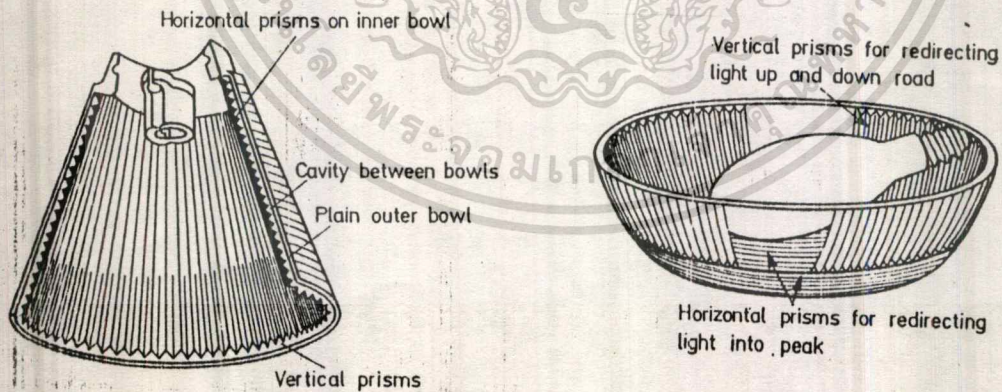
ปริซึมจะติดตั้งไว้ภายในหรือภายนอกดวงโคมก็ได้ แต่ถ้าติดตั้งไว้ภายนอกจะมีปัญหาเกี่ยวกับความสกรปรกและความสะอาด นอกจากนี้ยังมีปัญหาเกี่ยวกับการสะท้อนแสงอีก คือ การหักเหของแสงจะไม่เกิดขึ้นตลอดพื้นที่ บางแห่งจะไม่สามารถหักเหได้และเกิดเป็นไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดมืดขึ้นจากปัญหาต่าง ๆ จึงนิยมติดตั้งปริซึมไว้ภายในดวงโคม โดยอาจจะแยกเป็นส่วนต่างหากติดเข้าไปดังภาพ 2.24 การติดตั้งแบบนี้จะทำให้การหักเหแสงเกือบสมบูรณ์ บริเวณของเงามืดแสงจะหักเหขึ้นบนและสูญเสียไป



รูปที่ 2.24 จุดมืดของการหักเหของปริซึม

ปริซึมยังแบ่งการติดตั้งได้อีก 2 แบบคือ ในแนวราบและในแนวตั้ง ปริซึมในแนวราบจะมีผลต่อการหักเหแสงในการเกิดค่าความเข้มสูงสุด ปริซึมในแนวตั้งจะทำให้แสงหักเหขึ้นลงตามแนวของการส่องสว่าง

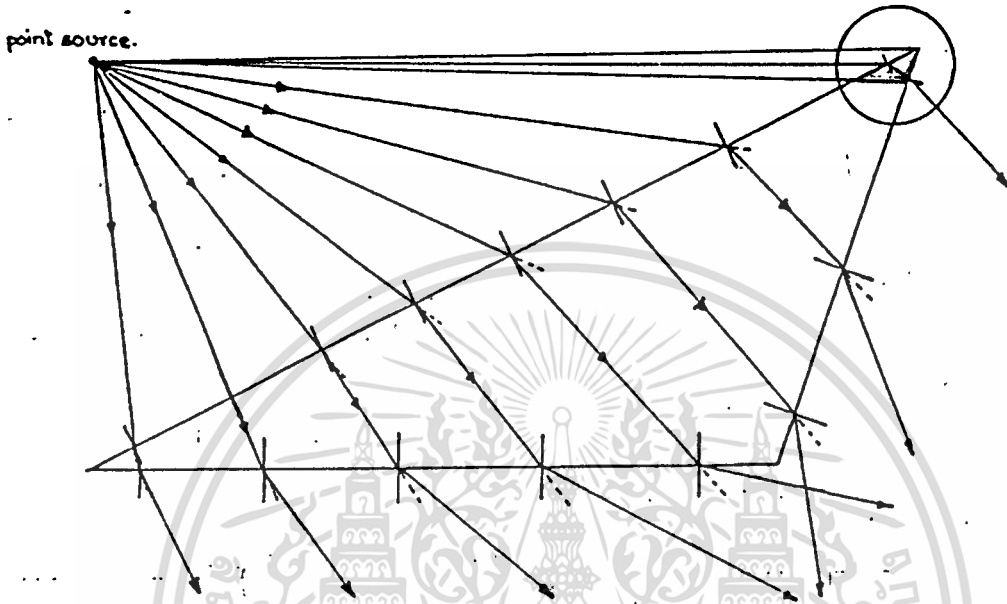


รูปที่ 2.25 ลักษณะของตัวหักเหแสงแบบปริซึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**\*\* การออกแบบการกระจายแสงโดยใช้ prism \*\***

PRISM มีความสามารถในการหักเหและสะท้อนแสง โดยขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของมัน (i) แต่ใน project นี้เราจะใช้เพียงคุณสมบัติการหักเหเท่านั้น เพื่อที่จะควบคุมรังสีหักเหให้อยู่ในช่วงมุมที่ต้องการ



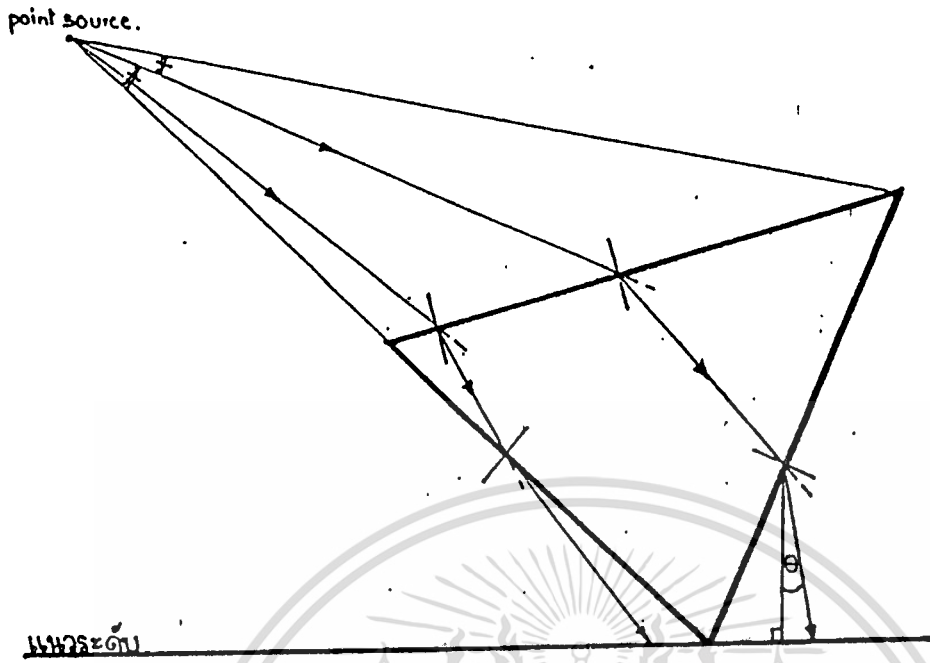
รูปที่ 2.26 ภาพลักษณะการหักเหรังสีของ PRISM

ภาพลักษณะการหักเหรังสีของ prism ที่ใช้ในเรื่องนี้แสดงดังรูปที่ 2.26 ในขั้นแรกจะขอสมมุติว่าแหล่งกำเนิดแสงเป็นแบบ point source ที่แผ่รังสีทุกทิศทาง (แต่ในทางปฏิบัติแล้วแหล่งกำเนิดแสงมิได้เป็น point source เสมอไป ซึ่งอาจจะมาจากตัวสะท้อนแสงภายในดวงโคเมทก็ได้) จากภาพเราจะเห็นได้ว่าแสงที่หักเหออกมาจาก

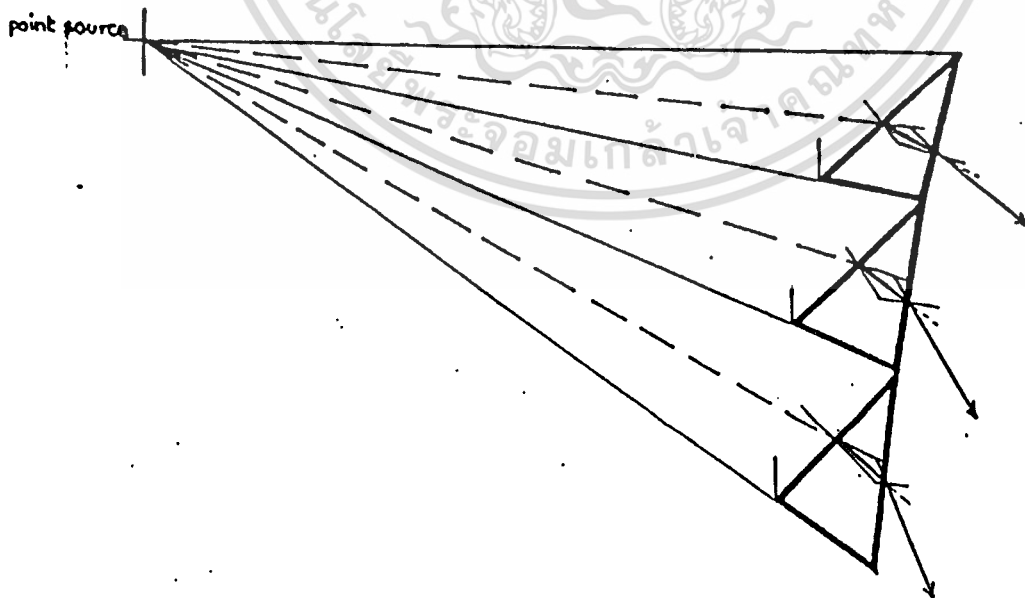
prism นั้นมีจำนวนมาก คือมีทั้งส่วนที่ต้องการใช้และไม่ต้องการใช้ วิธีหนึ่งที่จะสามารถควบคุมรังสีหักเหเพื่อที่จะได้มุมหักเหตามต้องการนั้นก็คือ ตัดฐาน prism ให้อยู่บนเส้นรังสีของ point source และเพื่อความสะดวกในการคำนวณเราจะทำ prism ให้มีขนาดเล็กเพื่อที่จะได้ประมาณว่า แสงที่ตกกระทบบตรงกลาง prism นั้นจะเป็นแสงทั้งหมดที่ตกกระทบบ prism และผลที่ได้จากแสงที่ตกกระทบบตรงกลาง prism นั้นเป็นผลที่ได้จากแสงทั้งหมดที่ตกกระทบบ prism ซึ่งแสดงไว้ในภาพที่ 2.27 จากนั้นเราก็นำ prism ดังภาพที่ 2.27 มาต่อ ๆ กันเป็นดังภาพที่ 2.28 ส่วนดีอีกข้อหนึ่งของการที่ทำให้

prism มีขนาดเล็กหลาย ๆ อันมาต่อกันนั้นคือ ความประหยัด กล่าวคือทางด้านวัสดุที่ใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ทำ prism ขนาดของโคเม วัสดุประกอบการติดตั้งจะเล็กลง และราคาการติดตั้งจะถูกลง

เมื่อกรณิใด ๆ ฟังสน อีกทั้งห้ามมิให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้



รูปที่ 2.27 ภาพขยายจากส่วนวงกลมเล็กในรูปที่ 2.26



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 2.28 ภาพการนำไปใช้งานจริง  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หลักการหักเหแสงของ PRISM

ดังภาพที่ 2.29 กำหนดตัวแปรต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

$P$  = มุมของรังสีตกกระทบจากแหล่งกำเนิดแสงวัดเทียบกับแนวตั้ง

$Q$  = มุมของรังสีหักเหจาก prism วัดเทียบกับแนวตั้ง

$A, B, C$  = มุมของ PRISM ดังภาพ

$i$  = มุมตกกระทบ (วัดจากอากาศเข้าไปใน PRISM)

$r$  = มุมหักเห (วัดจากอากาศเข้าไปใน PRISM)

$i'$  = มุมตกกระทบ (วัดจาก PRISM ออกสู่อากาศ)

$r'$  = มุมหักเห (วัดจาก PRISM ออกสู่อากาศ)

$D$  = มุมหักเห (วัดระหว่างรังสีตกกระทบและรังสีหักเห)

$\mu$  = ค่าดัชนีหักเห

$\mu_2$  = ค่าดัชนีหักเหของ PRISM

$\mu_1$  = ค่าดัชนีหักเหของอากาศ = 1

$\mu = \mu_2 / \mu_1$

$= \mu_2 / 1$

$\mu = \mu_2$

CODE FORM หรือ สูตรการคำนวณ

1)  $D = [i-r] + [i'-r']$

2)  $D = 180 - [P+Q]$

3)  $A = B - C$

4)  $A = r + r'$

5)  $i' = 90 - C - Q$

6)  $i = 90 + B - P$

7)  $e = Q$

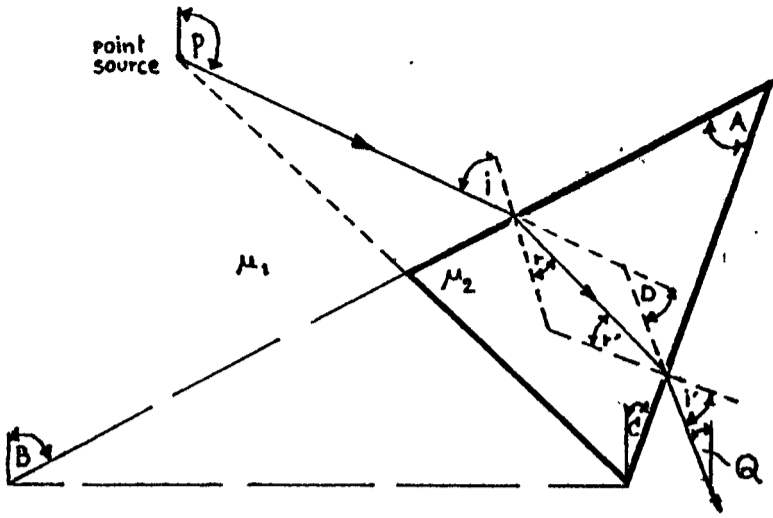
8)  $\sin i = \mu \sin r$

9)  $\sin i' = \mu \sin r'$

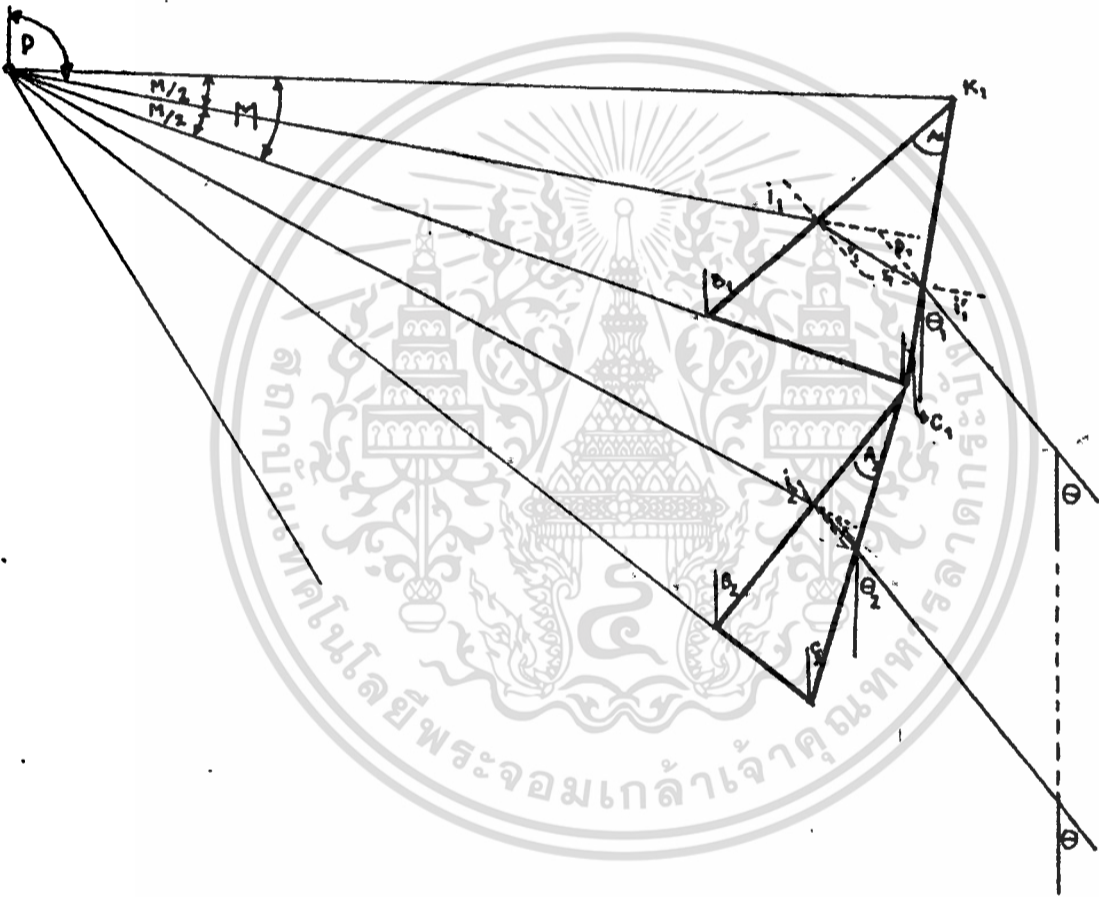
10)  $i' = \arctan \frac{\mu \sin (D+r-i)}{\mu \cos (D+r-i) + 1}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 ภาพทางเดินรังสีที่ผ่าน PRISM



รูปที่ 2.30 ภาพสำหรับการออกแบบ

At focus	 Image at infinity	 Image virtual upright
Between focus and lens	 Image virtual upright	 Image virtual upright

รูปที่ 2.31 Formation of images by thin lenses for rays near the axis.

**\*\* การออกแบบการกระจายแสงโดยใช้ lenses \*\***

พิจารณาที่เลนส์นูนจะเห็นว่า เมื่อวัตถุอยู่ในระยะห่างจากเลนส์มากกว่าจุดโฟกัส ภาพของวัตถุที่ออกมาจะเป็นภาพจริงหัวกลับที่มีขนาดเล็กกว่าวัตถุ (อัตราขยาย  $m = v/u$  มีค่าน้อยกว่า 1) เนื่องจากภาพของวัตถุในกรณีนี้จะเป็นภาพจริงจึงไม่เหมาะสมในการที่จะออกแบบในการใช้งาน

แต่ถ้าวัตถุอยู่ระหว่างจุดโฟกัสกับเลนส์ ภาพของวัตถุจะเกิดเป็นภาพเสมือนอยู่ด้านหลังวัตถุเป็นภาพเสมือนหัวตั้ง (อัตราขยาย  $m = v/u$  มีค่ามากกว่า 1) ซึ่งแนวของรังสีที่ทำให้เกิดภาพเสมือนนี้จะเป็แนวรังสีที่เราจะใช้ในการออกแบบ

ในการออกแบบนี้ จะเป็นการออกแบบเลนส์สำหรับทำให้เกิดการหักเหแสงให้มีมุม  $\theta$  ตามที่ต้องการ เพื่อให้ได้ทิศทางของ beam สอดคล้องกับค่ามุม  $\theta$  โดยการกำหนดมุม  $\theta$  มีค่าตั้งแต่ 65 -75 องศา เพื่อมิให้เกิดแกลร์

สมการหลักที่ใช้ในการคำนวณ

1.  $1/u + 1/v = 1/f$

2.  $1/f_1 + 1/f_2 = 1/f$

3.  $(\mu - 1)(1/r_1 + 1/r_2) = 1/f$

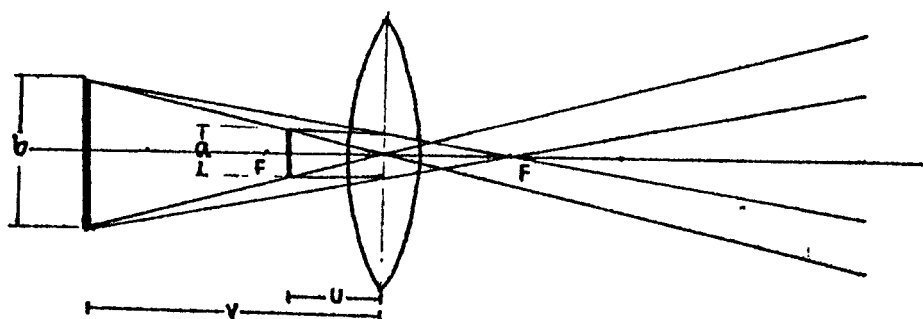
เมื่อ  $u$  คือ ระยะจาก source ถึง lens

$v$  คือ ระยะจากภาพถึง lens

$f$  คือ ระยะโฟกัสของ lens

$\mu$  คือ ค่าดัชนีหักเหของ lens

$r_1, r_2$  คือ รัศมีตามโค้งของ lens



รูป 2.32 สำหรับการออกแบบ lenses

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า จากรูป  $\tan \theta = [(b/2) / v] = [(a/2) / u]$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนการออกแบบ

- 1) กำหนดขนาดของ source =  $a$
- 2) หารยะของ source โดยใช้สมการ  $\tan \theta = [(a/2) / u]$
- 3) กำหนดรัศมีของเลนส์เพื่อหา  $f$  โดยให้  $u < f$  และ  $r > a/2$
- 4) หารยะ  $v$  จากสมการ  $1/u + 1/v = 1/f$
- 5) จากนั้นหาขนาดของภาพเสมือนโดยที่  $\tan \theta = [(b/2) / v]$
- 6) ทำการ plot source, lens และขนาดของภาพเพื่อหาแนวรังสีที่ต้องการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## PROBLEMS

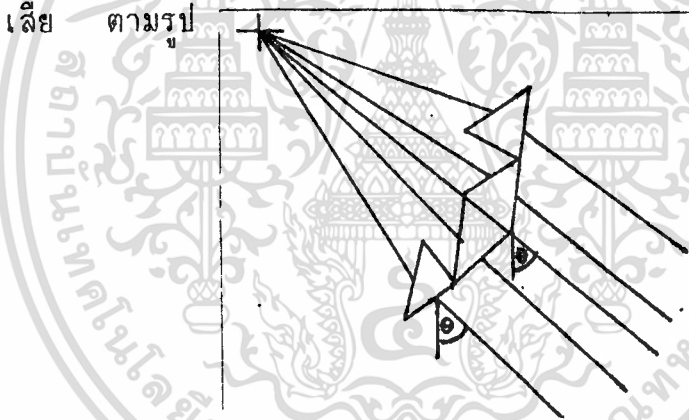
### ปัญหาที่พบและวิธีการแก้ปัญหา :

1) รังสีของแสงที่ตกกระทบบน prism มีหลายรังสีทำให้เกิดการหักเหของแสงไปทิศทางที่ไม่ต้องการ แก้ปัญหาโดยการ

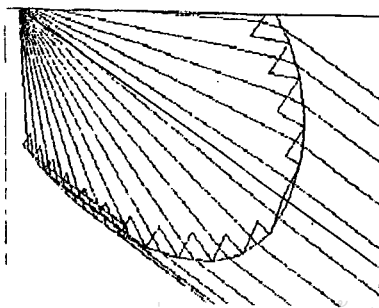
1. ลดขนาดของ prism ให้เล็กลงเพื่อให้เกิดรังสีที่ไม่ต้องการน้อยลง
2. จัดให้ฐานของ prism แต่ละอันตั้งอยู่บนรังสีของแสง

2) รังสีของแสงที่ตกลงบน prism จะพยายามหักเหเข้าสู่ฐานของมัน ทำให้รังสีของแสงที่มีค่าต่ำกว่าค่ามุม  $\theta$  ที่ต้องการจะยิ่งหักเหแล้วได้ค่ามุม  $\theta$  ออกมามีค่าต่ำลงไปอีก แก้ปัญหาโดยการ ออกแบบออกเป็น 2 ข้าง คือ

1. ช่วงของรังสีแสงที่ออกจาก source  $> \theta$  ที่ต้องการโดยการวาง prism ตามปกติ
2. ช่วงของรังสีแสงที่ออกจาก source  $< \theta$  ที่ต้องการกลับฐานของ prism เสีย ตามรูป



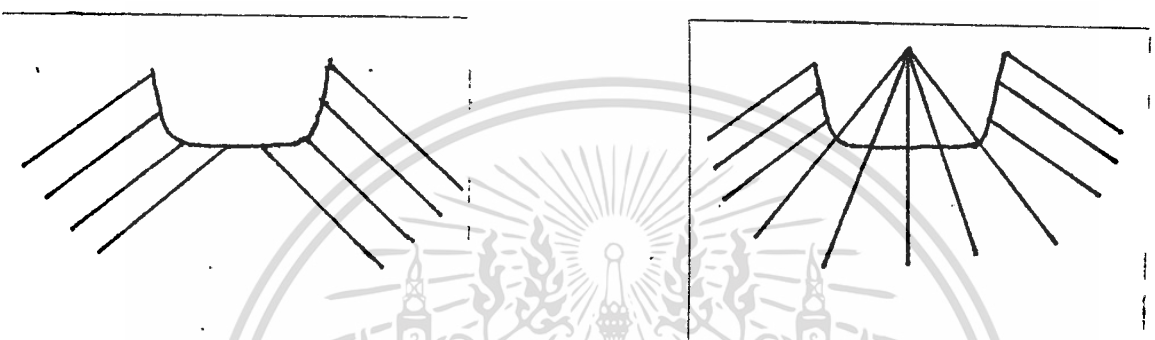
3) เนื่องจากการออกแบบเป็นการออกแบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ design ให้อย่างอัตโนมัติเพื่อความรวดเร็ว เพียงแต่ให้ผู้ใช้ป้อนเพียงค่าเริ่มต้นเท่านั้น ที่เหลือ computer จะคำนวณค่าที่เหมาะสมให้เอง แล้ววาดรูปแสดงผลออกมาทางจอ ทำให้บางครั้งได้รูปที่ไม่ต้องการ เช่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแก้ปัญหา เขียน program ให้ผู้ใช้เลือก ที่จะให้ computer ออกแบบแบบ auto หรือแบบ manual ทีละ step คือคอยรับค่าจากผู้ใช้งาน

- 4) การกระจายของแสงเป็นระเบียบมากเกินไป ทำให้ทุรังสีที่ออกมามีมุมเท่ากับ ๑ จึงทำให้เกิดจุดมืดขึ้น การแก้ปัญหา เราต้องย้อนกลับไปดูถึงวัตถุประสงค์หลักของการออกแบบ refractor คือเพื่อ
- ก. ลดขนาดและน้ำหนักของโคมไฟ
  - ข. เพื่อไม่ให้เกิดแกลร์ต่อการใช้งาน
  - ค. เพิ่มประสิทธิภาพของโคมไฟ

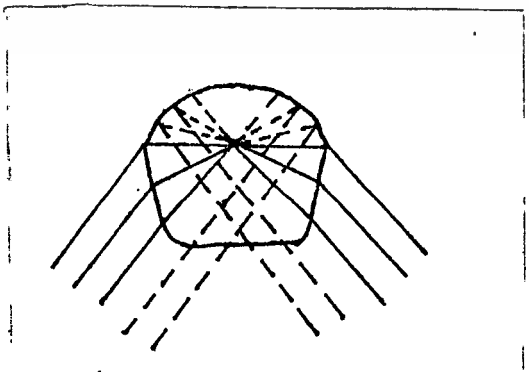


ภาพปัญหาที่เกิดขึ้น

ภาพสำหรับการแก้ปัญหา

ดังนั้นเราจึงสามารถให้ในช่วงของแสงที่ไม่ทำให้เกิดแกลร์แล้ว สามารถที่จะเป็นแสงที่ไม่มีระเบียบได้ โดยเราจะทำการแก้ไขการ design ในช่วงของรังสีแสงที่มีค่าน้อยกว่าการเกิดแกลร์ คือ เปลี่ยนจากตัว refractor เป็นตัว transmitter

- 5) ประสิทธิภาพของโคมต่ำ เนื่องจากรังสีของแสงจาก source ด้านบนไม่ได้ใช้ประโยชน์ วิธีการแก้ปัญหา สามารถแก้ได้โดยการใช้ตัว reflector ช่วยสะท้อนแสงลงมาด้านล่าง แต่ต้องบังคับลำแสงที่สะท้อนลงมานี้ จะต้องไม่ทำให้เกิดรังสีของแสงในลักษณะที่ไม่ต้องการด้วย

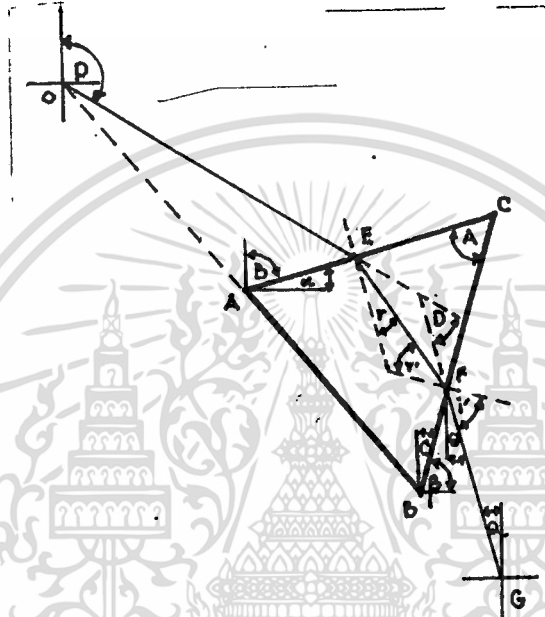


6) ในการออกแบบเลนส์อาจทำให้เกิดภาพจริงทำให้เกิดแสงจ้า แก้ปัญหาโดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การออกแบบให้แหล่งกำเนิดแสงมีระยะห่างจาก เลนส์น้อยกว่าระยะ โฟกัสของ เลนส์ ไม่วารณใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดแปงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

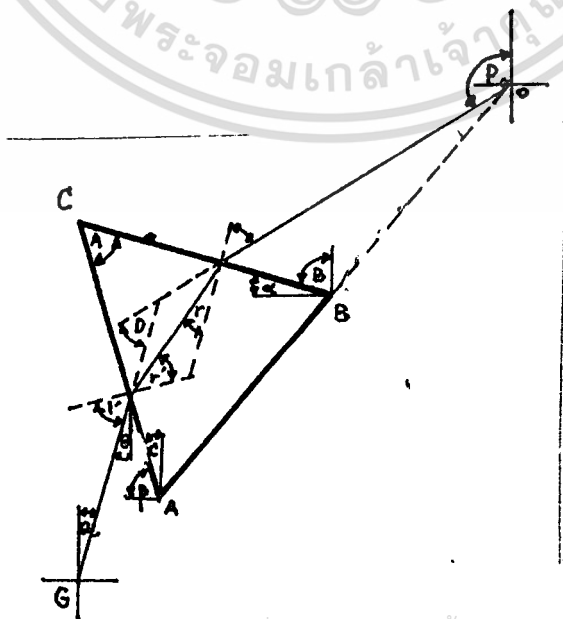
## สรุปการออกแบบทั้งหมด :

### 1) การออกแบบตัวหักเหแสง

ในการออกแบบนี้เราจะออกแบบดวงโคมที่ละซีก คือซีกขวาและซีกซ้าย โดยจะพยายามยึดหลักเอาไว้ว่า จะ design ให้ลำแสงที่กระจายออกมาอยู่ในช่วงที่ทำให้ไม่เกิดแกลร์ และไม่ให้เกิดรังสีที่ไม่พึงปรารถนาขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องออกแบบให้ฐานของ prism ตั้งอยู่บนรังสี และมีขนาดเล็ก ๆ เรียงต่อกันไป โดยการปรับค่ามุมหักเห  $D$  ของแต่ละอันเพื่อบังคับให้ได้แสงตามต้องการ ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น



ภาพการออกแบบตัวหักเหแสงโดยใช้ปริซึมซีกขวา



ภาพการออกแบบตัวหักเหแสงโดยใช้ปริซึมซีกซ้าย

สำหรับสมการ code form ที่ใช้จะเป็นดังนี้

- 1)  $\sin i = \mu \cdot \sin r \quad \& \quad i > r$
- 2)  $\sin i' = \mu \cdot \sin r' \quad \& \quad i' > r'$
- 3)  $D = [(i - r) + (i' - r')]$
- 4)  $D = 180 - (P + Q)$
- 5)  $A = B - C$
- 6)  $A = r + r'$
- 7)  $\phi = Q$
- 8)  $i' = 90 - (C + Q)$
- 9)  $i = 90 - P + B$
- 10)  $r' = \tan^{-1} \left[ \frac{\sin (D+r-i)}{\mu - \cos (D+r-i)} \right]$



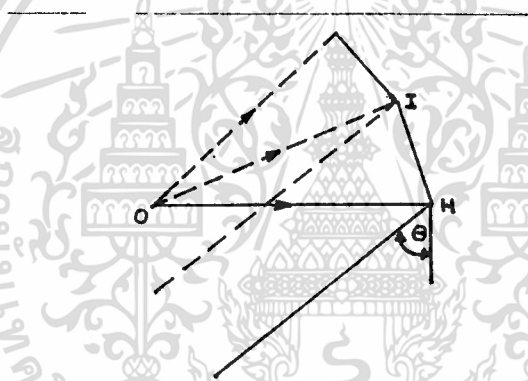
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2) การออกแบบตัวสะท้อนแสง

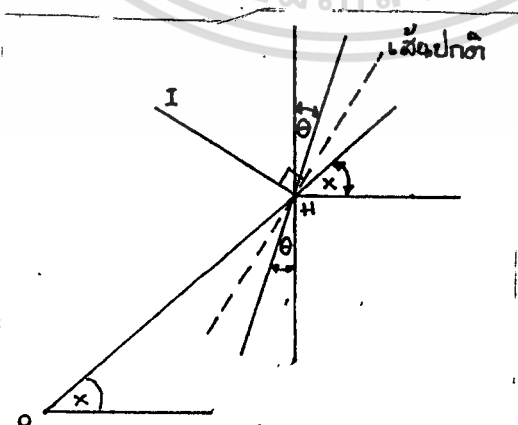
ในการออกแบบตัวสะท้อนแสง เราจะเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องบังคับให้แสงที่เกิดจากการสะท้อนนี้ไม่ไปตกบน prism ในทิศทางที่จะทำให้การหักเหแสงในทิศทางที่ไม่ต้องการ คือการเกิดแกลร์ขึ้นนั่นเอง ในที่นี้เราจะทำการแบ่งช่วงของตัว reflector ออกเป็น 2 ซีกคือ ซีกซ้ายและซีกขวา นอกจากนี้ในแต่ละซีกยังจำเป็นที่จะต้องแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ

1. ช่วงที่ให้รังสีออกมาเท่ากับรังสีที่ออกมาจาก prism
2. ช่วงที่ให้รังสีกระจายออกมาทุกองศา แต่ไม่เกิดแกลร์

ช่วงที่ 1 : การสะท้อนจะเป็นแบบสะท้อนกลับ เพื่อป้องกันไม่ให้ลำแสงที่สะท้อนนี้ไปตกกระทบลงบนตัว prism และนอกจากนี้ยังช่วยบังคับให้ลำแสงที่ได้มีมุมตามต้องการด้วย



การออกแบบจะพิจารณาจากคุณสมบัติของการสะท้อน คือ มุมตกกระทบ = มุมสะท้อน



เมื่อ X คือ มุมจายรังสีจาก source

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สุพรรณไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

• คือ มุมแสงที่ต้องการ

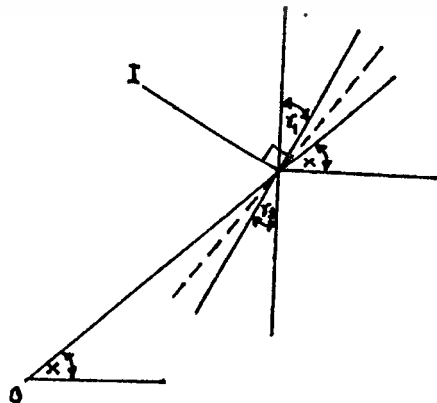
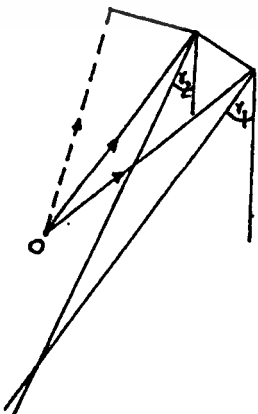
ไม่ว่ากรรมใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

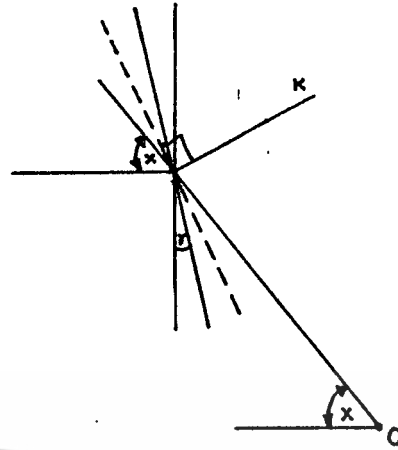
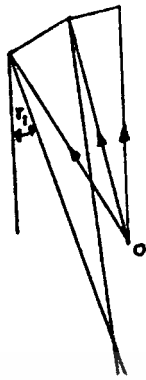
เราจะได้ว่ามุมของเส้นปกติ (normal line angle) =  $x + [(\pi/2) - \theta - x]/2$   
 และเราจะได้ระนาบของตัวสะท้อนตั้งฉากกับเส้นปกติมีมุม = มุมเส้นปกติ +  $(\pi/2)$ , ใน  
 ที่นี้เพื่อให้ได้รังสีที่สะท้อนออกมามีความถูกต้องมากที่สุด เราจะพยายามออกแบบให้ตัวสะท้อน  
 ที่มีขนาดเล็ก ๆ หลาย ๆ ช่วงต่อ ๆ กันไป จนกว่ารังสีที่สะท้อนนั้นไปบรรจบกัน prism  
 ทางซีกซ้ายจะหยุด หลังจากนั้นก็จะเข้าสู่การสะท้อนช่วงที่ 2 ต่อไป  $\epsilon$  ซึ่งในขณะนั้น  
 มุมรังสีจาก source  $(x) = [(\pi/2) - \theta]$  พอดี }

สำหรับการสะท้อนทางซีกซ้ายก็จะเหมือนกับของซีกขวาทุกประการ



ช่วงที่ 2 : ในช่วงที่ 2 นี้จะเป็นการกระจายลำแสงออกไปโดยที่มีมุมเป็นมุม  $\delta$  โดย  
 ที่มีมุม  $\delta$  มีค่าน้อยกว่ามุม  $\theta$  โดยเป็นส่วนเล็กน้อยกับค่ามุมจาก source ด้วยคือ เมื่อมุมรังสี  
 จาก source เพิ่มมากขึ้น มุม  $\delta$  จะมีค่าลดลงจากมุม  $\theta$  ไปตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้ก็  
 เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการให้รังสีไปตกบนตัว prism อันอาจจะทำให้เกิดผลที่ไม่ต้องการ  
 และยังเป็นการเพิ่มความสม่ำเสมอของความสว่างด้วย ซึ่งในการออกแบบก็จะอาศัย  
 หลักของการสะท้อนแสงอีกเช่นกันคือ มุมตกกระทบ = มุมสะท้อน





หลังจากเสร็จสิ้นการ design ตัว reflector และ refractor ดวง  
โคมก็เกือบจะสมบูรณ์ จะเหลือเฉพาะช่วงตัวสำหรับปิดด้านล่างของดวงโคม เพื่อป้องกันตัว  
source ซึ่งอาจจะเลือกใช้ให้เป็นตัว transmitter หรืออาจจะใช้ตัวเลนส์ผสมเข้า  
ไปเพื่อช่วยกระจายแสงให้ได้ตามลักษณะที่ต้องการใช้งานจริง

## บทสรุป

ผลของการทำงานทั้งหมดจะแสดงออกทางคอมพิวเตอร์ ค่าในการคำนวณจะแม่นยำ แต่ทั้งนี้ค่าต่าง ๆ ที่ใส่ให้กับคอมพิวเตอร์จะต้องถูกต้องเช่นกัน

สำหรับการออกแบบตัวหักเหแสง และตัวสะท้อนแสง ผลที่ได้ออกมาทั้งมิได้ผ่านการทดสอบว่าได้ตรงตามแนวคิดหรือไม่ ทั้งนี้เพราะค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างสูงมากนั่นเอง แต่ถ้าจะมีการนำผลไปจัดสร้างก็ขอแนะนำว่าควรใช้รูปที่เขียนโดย plotter เท่านั้น เพราะภาพจากจอคอมพิวเตอร์ไม่สามารถอ้างอิงได้ เนื่องจากข้อจำกัดของจอภาพ

ท้ายสุดนี้หวังว่าผลงานคงเป็นที่น่าสนใจและจะมีการปรับปรุงแก้ไขต่อไป จนกระทั่งโปรแกรมนี้สามารถออกแบบได้อย่างสมบูรณ์

พรเทพ ชินวัสนโชติ  
พลสิทธิ์ วีระยิ่งยง  
สมศักดิ์ อุดมมันถาวร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คู่มือการใช้งานโปรแกรม Luminaire

ในการใช้งานโปรแกรม Luminaire เมื่อต้องการใช้งานให้ทำการเรียกโดยพิมพ์คำสั่ง DESIGN หลังจากนั้นกด ENTER โปรแกรมจะถูกลoad มาใช้งานจะมีการแสดงผลออกมาทางหน้าจอภาพดังที่แสดงใน result ในภาคผนวกซึ่งในส่วนแรกจะเป็นการออกแบบตัวหักเหแสงโดยใช้ปริซึม

please key value of parameter

refractor index (depend on material of prism):

เป็นการบอกให้ผู้ใช้ทำการป้อนค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นให้กับคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการคำนวณออกแบบโดยค่าแรกที่ใช้ต้องทำการป้อนค่าคือ "ค่าดัชนีหักเห" ซึ่งจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะใช้ทำเป็นปริซึม โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1.2-1.8

distance between light-source and refractor(mm)

ให้ทำการป้อนค่าระยะห่างระหว่าง light-source กับตัวหักเหแสงมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

magnitude of angle B:

ทำการป้อนมุม B ซึ่งเป็นมุมในปริซึม ค่า B เปลี่ยนไปจะทำให้การหักเหแสงเปลี่ยนไป แต่ในโปรแกรมนี้หากค่าที่ป้อนให้ไปมีค่าไม่เหมาะสม จะมีการปรับค่าให้โดยอัตโนมัติให้เป็นค่าที่เหมาะสม

size of prism in degree:

ป้อนค่าขนาดของปริซึมที่ต้องการในส่วนluminaireที่เป็นวงกลม(360 องศา) อาจจะให้มีขนาดเป็นกึ่งองศา(ถ้าองศามาก จะมีส่วนที่เป็นปริซึมในดวงโคมกว้างกว่า) ไม่ว่าจะพิมพ์โดยวิธีใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

light distribute angle in degree (65-75):

ป้อนค่าที่ต้องการให้แสงมีมุมหักเหออกมา ระหว่าง 65-75 องศา เพื่อมิให้เกิดแกลร์ .

เมื่อทำการป้อนค่าต่างๆ เรียบร้อยแล้วให้ทำการกด ENTER เพื่อให้โปรแกรมทำการวาด DISPLAY ออกมาโดยส่วนแรกที่จะทำการ DISPLAY ออกมาคือส่วนที่เป็นตัวหักเหแสงในดวงโคม ทำการกด ENTER เพื่อที่จะแสดงผลส่วนที่ 2 ออกมาคือส่วนของตัวสะท้อนแสง และทำการกด ENTER อีกครั้งหนึ่งซึ่งจะแสดงผลส่วนของตัวสะท้อนแสงส่วนสุดท้ายก็จะได้ดวงโคมที่ต้องการ

หลังจากนี้จะเป็นการออกแบบส่วนเลนส์

LEN index

ทำการป้อนค่าดัชนีหักเหของวัสดุที่ใช้ทำเลนส์

size of light-source

ทำการป้อนค่าขนาดของ light-source ในหน่วยมิลลิเมตร

radius of len

ทำการป้อนค่ารัศมีของ เลนส์ที่ต้องการ (มีค่ามากกว่ารัศมีของ light-source) ยิ่งรัศมีมีค่ามาก ส่วนของเลนส์จะยิ่งมีขนาดบาง

หลังจากนั้นทำการกด ENTER เพื่อให้โปรแกรมทำการ DISPLAY

เลนส์และทิศทางการหักเหแสงออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

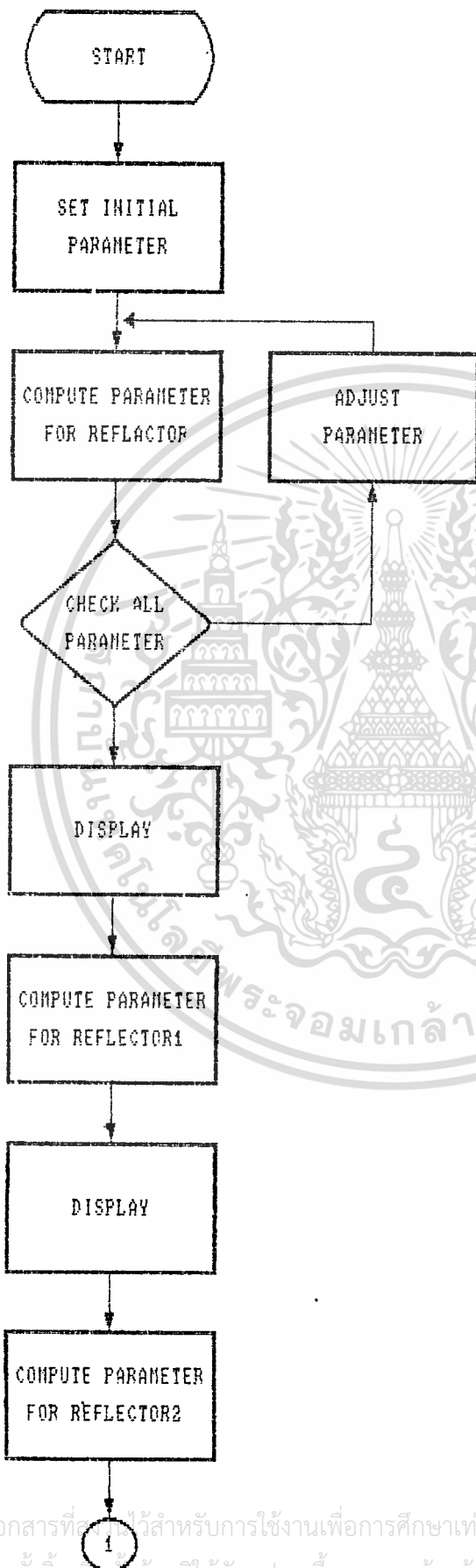
หมายเหตุ            ในการเขียนโปรแกรมนี้ทางผู้เขียนได้ทำการเน้นส่วนที่หักเหแสงที่เป็นปริซึมเพราะจะพบในการใช้งานดวงโคมต่างๆไป ส่วนเลนส์จะพบเป็นส่วนน้อยมากดังนั้นในส่วนของเลนส์จึงแสดงเฉพาะพื้นฐานในการใช้งาน            มิได้นำมาประยุกต์ใช้งานในส่วนดวงโคมจริงๆ



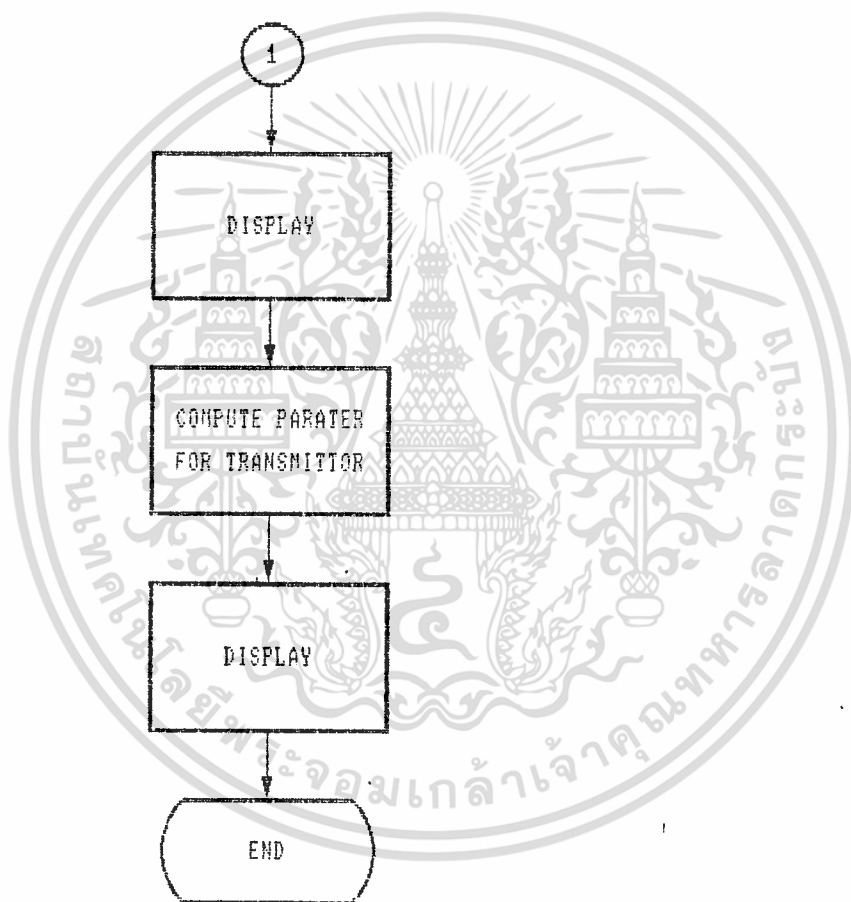
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



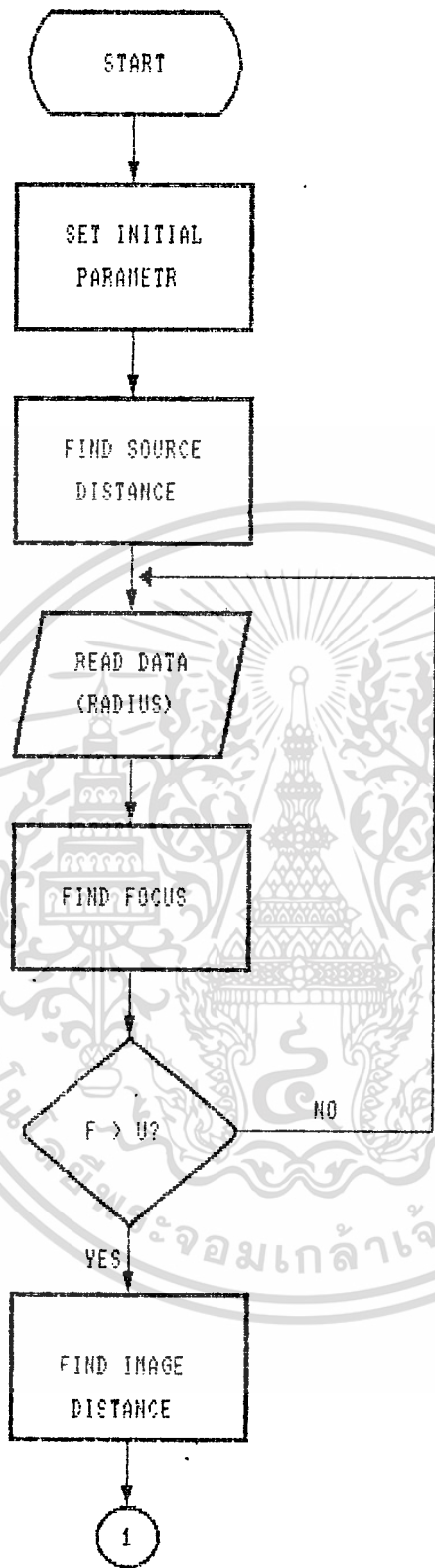
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



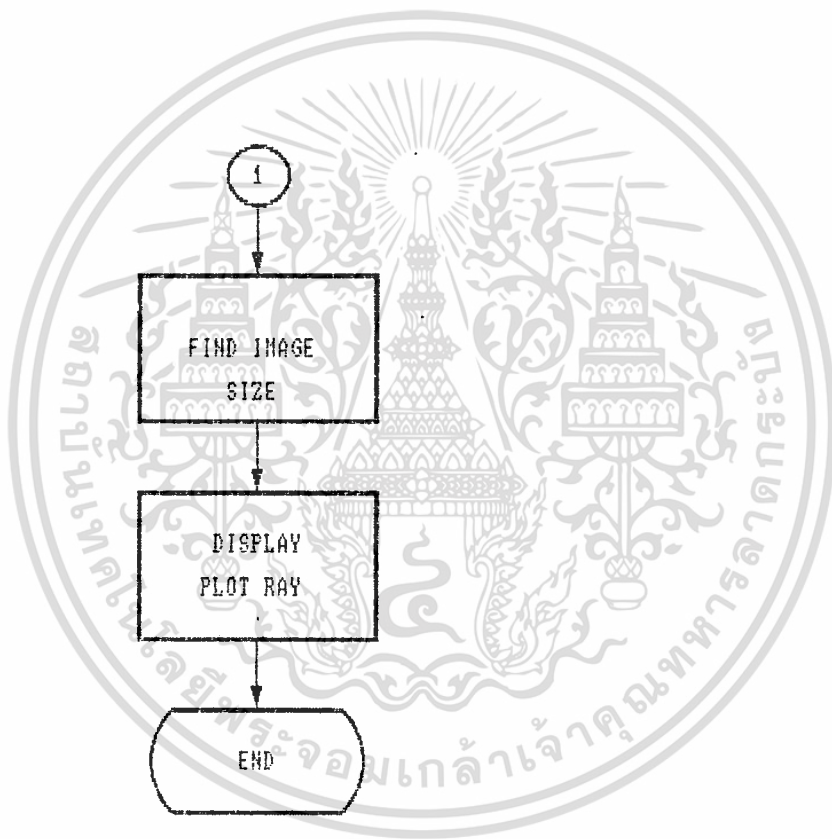
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LENSE PROGRAM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
program LUMINARE_DESIGN(input,output);
```

```
uses Crt,Graph;
```

```
type pointrecord = record
```

```
x : integer;
```

```
y : integer;
```

```
end;
```

```
var GraphDriver,GraphMode:integer;
```

```
num : integer; index,angleB,Result,size,stop:real;
```

```
Qangle,Bangle,Baseangle:real;
```

```
Pangle,Cangle,contAC,slopAC,Aangle:real;
```

```
alphaangle,riangle,contBC,slopBC,OCangle:real;
```

```
pointO,pointB,pointC,pointE,pointF : pointrecord;
```

```
pointA,pointG:pointrecord;
```

```
XX,YY:real;
```

```
count:real;
```

```
INCangle,NORlineangle,slopHM:real;
```

```
contHM,slopOI,contOI,slopHJ,contHJ:real;
```

```
pointH,pointI,pointJ,pointS,pointM,pointN:pointrecord;
```

```
GRAMMAangle,lightsource:real; pointL,pointK:pointrecord;
```

```
INTangle:real;Ax,Ay,Bx,By:integer;
```

```
p1,p2,p3:pointer;
```

```
big1,big2,big3:word;
```

```
DD:string;
```

```
procedure previwe;
```

```
var x1,y1,x2,y2:integer;
```

```
begin
```

```
x1:=round(getmaxX/2);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

y1:=round(0);
x2:=round(getmaxX);
y2:=round(getmaxY/2);
line(x1,y1,x2,y2);
x1:=round((3/4)*getmaxX);
y1:=round(getmaxY/4);
x2:=round((15/16)*getmaxX);
y2:=round(getmaxY/8);
line(x1,y1,x2,y2);
x1:=round((7/8)*getmaxX);
y1:=round(getmaxY*(3/8));
x2:=round((15/16)*getmaxX);
y2:=round(getmaxY/8);
line(x1,y1,x2,y2);
x1:=round(getmaxX/2);
y1:=round(0);
x2:=round((27/32)*getmaxX);
y2:=round(getmaxY*3/16);
line(x1,y1,x2,y2);
x1:=round(getmaxX*27/32);
y1:=round(getmaxY*3/16);
x2:=round((29/32)*getmaxX);
y2:=round(getmaxY/4);
line(x1,y1,x2,y2);
x1:=round(getmaxX);
y1:=round(getmaxY*3/8);
x2:=round((29/32)*getmaxX);
y2:=round(getmaxY/4);
line(x1,y1,x2,y2);

```



```

x1:=round(29/32*getmaxX);
y1:=round(getmaxY/4);
x2:=round((29/32)*getmaxX);
y2:=round(getmaxY/4+20);
line(x1,y1,x2,y2);
x1:=round(getmaxX*3/4);
y1:=round(getmaxY/4);
x2:=round(3/4*getmaxX);
y2:=round(getmaxY/4-20);
line(x1,y1,x2,y2);
x1:=round(getmaxX*7/8);
y1:=round(getmaxY*3/8);
x2:=round(7/8*getmaxX);
y2:=round(getmaxY*3/8-20);
line(x1,y1,x2,y2);
x1:=round(getmaxX/2-5);
y1:=round(0);
x2:=round(getmaxX/2-5);
y2:=round(getmaxY);
line(x1,y1,x2,y2);
x1:=round(getmaxX/2);
y1:=0;
outtextxy(x1,y1,'0');
x1:=round(getmaxX*3/4);
y1:=round(getmaxY/4+10);
outtextxy(x1,y1,'A');
x1:=round(getmaxX*7/8);

```

```

x1:=round(getmaxX*15/16);
y1:=round(getmaxY/8-10);
outtextxy(x1,y1,'C');
x1:=round(getmaxX*3/4);
y1:=round(getmaxY/4-10);
outtextxy(x1,y1,'^b');
x1:=round(getmaxX*7/8);
y1:=round(getmaxY*3/8-10);
outtextxy(x1,y1,'^c');
x1:=round(getmaxX*15/16-10);
y1:=round(getmaxY/8+10);
outtextxy(x1,y1,'^a');
x1:=round((29/32)*getmaxX+5);
y1:=round(getmaxY/4+10);
outtextxy(x1,y1,'^Q');
x1:=round(getmaxX/2+30);
y1:=round(getmaxY/2+50);
outtextxy(x1,y1,'OB = distance between light-source');
x1:=round(getmaxX/2+60);
y1:=round(getmaxY/2+60);
outtextxy(x1,y1,' and refractor');
x1:=round(getmaxX/2+30);
y1:=round(getmaxY/2+70);
outtextxy(x1,y1,'BC = size of prism in degree');
x1:=round(getmaxX/2+30);
y1:=round(getmaxY/2+80);
outtextxy(x1,y1,'^a = angle between ACB');
x1:=round(getmaxX/2+30);
y1:=round(getmaxY/2+90);

```

```
outtextxy(x1,y1,'^b = angle between vertical line');
```

```
x1:=round(getmaxX/2+60);
```

```
y1:=round(getmaxY/2+100);
```

```
outtextxy(x1,y1,' and AC');
```

```
x1:=round(getmaxX/2+30);
```

```
y1:=round(getmaxY/2+110);
```

```
outtextxy(x1,y1,'^c = angle between vertical line ');
```

```
x1:=round(getmaxX/2+60);
```

```
y1:=round(getmaxY/2+120);
```

```
outtextxy(x1,y1,' and BC');
```

```
x1:=round(getmaxX/2+30);
```

```
y1:=round(getmaxY/2+130);
```

```
outtextxy(x1,y1,'^Q = light distribute angle');
```

```
end;
```

```
procedure inputvalue(var index,angleB,Bangle,size,result:real;
```

```
var point0,pointB : pointrecord);
```

```
vardistance,n : real;
```

```
dd,astr:string;
```

```
l,x,y : integer;
```

```
Procedure Readstring(var astr : string;var l,x,y : integer);
```

```
const cr = #13;
```

```
var ch : char;
```

```
dele : char;
```

```
nx,ny : integer;
```

```
d : integer;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Begin

```
l := 0;
```

```
astr := '';
```

```
dele := #48;
```

```
moveto(x,y);
```

```
nx := textwidth(dele);
```

```
ny := textheight(dele);
```

```
repeat
```

```
  ch := readkey;
```

```
  l := l+1;
```

```
  if ch <> cr then
```

```
    if (ch >#45) and (ch <#58) then
```

```
      begin outtext(ch); astr := concat(astr,ch); end;
```

```
    d:=length(astr);
```

```
    if ch = #8 then
```

```
      if d>0 then
```

```
        begin moverel(-nx,0);
```

```
          rectangle(getx,gety,getx+nx,gety+ny);
```

```
          setfillstyle(0,0);
```

```
          bar(getx,gety,getx+nx,gety+ny);
```

```
          delete(astr,d,1);
```

```
        end;
```

```
  until ch = cr;
```

```
End;
```

```
Procedure Readinteger(var n : real;var x,y : integer);
```

```
var istr : string;
```

```
  res,l : integer;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Begin

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

readstring(istr,l,x,y);

val(istr,n,res);

End;

begin

outtextxy(10,10,'please key value of parameter');

outtextxy(10,20,'refractor index (depend on material of prism): ');

x:=10; y:=30;

readinteger(index,x,y);

outtextxy(10,40,'distance betwee light-source and refractor (mm): ');

x:=10; y:=50;

readinteger(distance,x,y);

outtextxy(10,60,'magnitude of angle B :');

x:=10; y:=70;

readinteger(angleB,x,y);

outtextxy(10,80,'size of prism in degree :');

x:=10; y:=90;

readinteger(size,x,y);

outtextxy(10,100,'light distribute angle in degree (65-75) :');

x:=10; y:=110;

readinteger(result,x,y);

outtextxy(10,130,'If which parameter is unsuitable, ');

outtextxy(10,140,'this program will selec suitable by itself. ');

outtextxy(10,200,'press anykey to continue:');

dd:=readkey;

pointO.X := 0;

pointO.Y := 0;

pointB.y :=-round(distance*sin((pi)/2-result*((pi)/180)));

pointB.x :=round(distance*cos((pi)/2-result*((pi)/180)));

end;

```

```

procedure findvalue( var result,size,angleB,index,Pangle,
    Cangle,Bangle,Qangle :real;
var Rangle,Aangle:real; num:integer);
    var Dangle : real;
    l1angle,l2angle,R2angle : real;

    begin
    Qangle:=result*(pi/180);
    Pangle:=(180-result-(size/2)-num*(size))*(pi/180);
    Bangle:=angleB*(pi/180);
    repeat
    repeat
    repeat
    repeat
    l1angle:=(pi/2)+Bangle-Pangle;
    if l1angle<0 then
        Bangle:=Bangle+((pi/180)*5);
    until l1angle>=0;
    Rangle:=arctan((sin(l1angle)/index)/
sqrt(1-((sin(l1angle))*(sin(l1angle))/(index*index))));
    Dangle :=(pi)-(Pangle+Qangle);
    R2angle:=arctan(sin(Dangle+Rangle-l1angle)/
(index-cos(Dangle+Rangle-l1angle)));
    if R2angle<0 then
        Bangle:=Bangle-((pi/180)*1);
    until R2angle>=0;
    l2angle:=Dangle+Rangle+R2angle-l1angle;

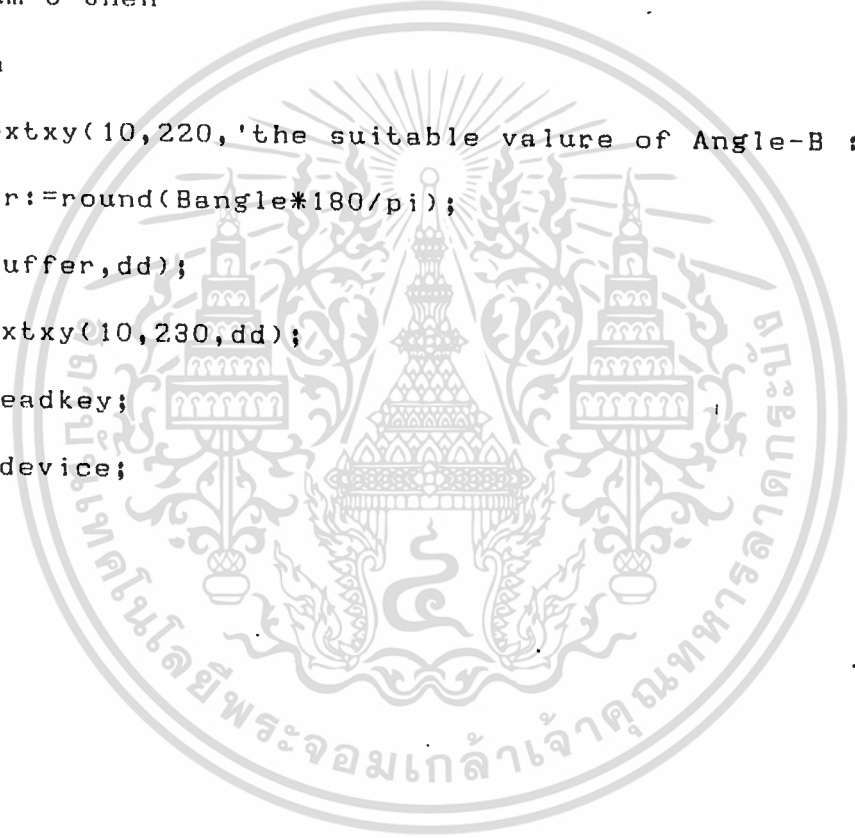
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไป l2angle := Dangle + Rangle + R2angle - l1angle; ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if I2angle<0 then
Bangle:=Bangle-((pi/180)*1);
  until I2angle>=0;
Cangle:=(pi/2)-Qangle-I2angle;
if Cangle>Bangle then
  Bangle:=Bangle-(pi/180)*5;
  until Cangle<Bangle;
Angle:=Bangle-Cangle;
  if num=0 then
  begin
    outtextxy(10,220,'the suitable value of Angle-B :');
    buffer:=round(Bangle*180/pi);
    str(buffer,dd);
    outtextxy(10,230,dd);
    dd:=readkey;
    cleardevice;
  end;
end;

```



```

procedure findpointC(Cangle,Qangle:real; num:integer; size:real;
  var Bangle:real;var contBC,slopBC,OCangle:real;
  var pointO,pointB,pointC:pointrecord);
var Betaangle,contOC:real;
  baseangle,slopOC:real;
  dd:integer;

```

gin เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Betaangle:=(pi/2)-Cangle;
slopBC:=sin(Betaangle)/cos(Betaangle);
pointC.x:=pointB.x;
pointc.y:=pointB.y;
contBC:=pointc.y-slopBC*pointc.x;
Baseangle:=((3/2)*(pi))+Qangle+(num*size*(pi/180));
OCangle:=Baseangle+size*(pi/180);
slopOC:=sin(OCangle)/cos(OCangle);
pointc.x:=pointO.x;
pointc.y:=pointO.y;
contOC:=pointc.y-slopOC*pointc.x;
pointc.x:=round((contOC-contBC)/(slopBC-slopOC));
pointc.y:=round(slopBC*pointc.x+contBC);
end;

procedure findpointA(var contAC,slopAC,Qangle:real; num:integer;
size:real; var Bangle,alphaangle:real;
varpointC,pointA:pointrecord; var baseangle:real);
var slopOA,contOA:real;
dd:integer;
begin
Baseangle:=((3/2)*(pi))+Qangle+(num*size*(pi/180));
slopOA:=sin(baseangle)/cos(baseangle);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่วากรณ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

pointa.y:=0;
contOA:=pointa.y-slopOA*pointA.x;
alphaangle:=((pi)/2)-Bangle;
slopAC:=sin(alphaangle)/cos(alphaangle);
pointa.x:=pointc.x;
pointa.y:=pointc.y;
contAC:=pointa.y-slopAC*pointa.x;
pointa.x:=round((contAC-contOA)/(slopOA-slopAC));
pointa.y:=round(slopAC*pointa.x+contAC);

end;

```

```

procedure findpointE(Baseangle,contAC,slopAC,size:real; num:integer;
var pointE:pointrecord);
var Rayangle,slopOE,contOE:real;
dd:real;
begin
rayangle:=Baseangle+((size/2))*((pi)/180);
slopOE:=sin(rayangle)/cos(rayangle);
pointE.x:=0;
pointE.y:=0;
contOE:=pointE.y-slopOE*pointE.x;
pointE.x:=round((contOE-contAC)/(slopAC-slopOE));
pointE.y:=round(slopOE*pointE.x+contOE);
end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**procedure findpointF(alphaangle,rangle,contBC,slopBC:real;**  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

var pointE,pointF:pointrecord);
var EFangle,slopEF,contEF:real;

begin
    EFangle:=((3/2)*(pi))+alphaangle+r1angle;
    slopEF:=sin(EFangle)/cos(EFangle);
    pointF.x:=pointE.x;
    pointF.y:=pointE.y;
    contEF:=pointF.y-slopEF*pointF.x;
    pointF.x:=round((contEF-contBC)/(slopBC-slopEF));
    pointF.y:=round(slopEF*pointF.x+contEF);
end;

procedure findpointG(Qangle:real; var pointF,pointG:pointrecord);
var FGangle,slopFG,contFG:real;

begin
    FGangle:=((3/2)*pi)+Qangle;
    slopFG:=sin(FGangle)/cos(FGangle);
    pointG.x:=pointF.x;
    pointG.y:=pointF.y;
    contFG:=pointG.y-slopFG*pointG.x;
    pointG.x:=pointF.x+100;
    pointG.y:=round(slopFG*pointG.x+contFG);
end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**procedure drawingscal;**  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

var    x,y:integer;

begin

line(5,0,5,getmaxY);

line(0,getmaxY-5,getmaxX,getmaxY-5);

x:=5;

y:=round(getmaxY/2);

line(0,y,x,y);

outtextxy(x,y,'0');

x:=5;

y:=y-50;

line(0,y,x,y);

outtextxy(x,y,'50');

x:=5;

y:=y-50;

line(0,y,x,y);

outtextxy(x,y,'100');

x:=5;

y:=y-50;

line(0,y,x,y);

outtextxy(x,y,'150');

x:=5;

y:=y-50;

line(0,y,x,y);

outtextxy(x,y,'200');

x:=5;

y:=round(getmaxY/2+50);

line(0,y,x,y);

outtextxy(x,y,' -50');

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

y:=y+50;
line(0,y,x,y);
outtextxy(x,y,' -100');
x:=5;
y:=y+50;
line(0,y,x,y);
outtextxy(x,y,' -150');
x:=5;
y:=y+50;
line(0,y,x,y);
outtextxy(x,y,' -200');
y:=round(getmaxY-20);
x:=round(getmaxX/2);
line(x,getmaxY,x,y);
outtextxy(x,y,'0');
x:=x-50;
line(x,getmaxY,x,y);
outtextxy(x,y,'-50');
x:=x-50;
line(x,getmaxY,x,y);
outtextxy(x,y,'-100');
x:=x-50;
line(x,getmaxY,x,y);
outtextxy(x,y,'-150');
x:=x-50;
line(x,getmaxY,x,y);
outtextxy(x,y,'-200');
x:=round(getmaxX/2+50);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**line(x,getmaxY,x,y);**  
 ไม่ว่าจะผิดที่ผิดทาง อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    outtextxy(x,y,'50');
    x:=x+50;
    line(x,getmaxY,x,y);
    outtextxy(x,y,'100');
    x:=x+50;
    line(x,getmaxY,x,y);
    outtextxy(x,y,'150');
    x:=x+50;
    line(x,getmaxY,x,y);
    outtextxy(x,y,'200');
end;

```

```

procedure drawing(pointA:pointrecord; pointB:pointrecord;
pointC,pointE,pointF,pointG,pointO:pointrecord);
var ddd,point:string;
begin
    setbkcolor(7);
    pointO.x:=round(pointO.x+XX);
    pointO.y:=-round(pointO.y-YY);
    pointA.x:=round(pointA.x+XX);
    pointA.y:=-round(pointA.y-YY);
    pointB.x:=round(pointB.x+XX);
    pointB.y:=-round(pointB.y-YY);
    pointC.x:=round(pointC.x+XX);
    pointC.y:=-round(pointC.y-YY);
    pointE.x:=round(pointE.x+XX);
    pointE.y:=-round(pointE.y-YY);
    pointF.x:=round(pointF.x+XX);
    pointF.y:=-round(pointF.y-YY);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

pointG.x:=round(pointG.x+XX);
pointG.y:=-round(pointG.y-YY);
setcolor(5);
line(pointA.x,pointA.y,pointB.x,pointB.y);
setcolor(5);
line(pointB.x,pointB.y,pointC.x,pointC.y);
setcolor(5);
line(pointA.x,pointA.y,pointC.x,pointC.y);
setcolor(6);
line(pointO.x,pointO.y,pointE.x,pointE.y);
setcolor(1);
line(pointE.x,pointE.y,pointF.x,pointF.y);
setcolor(9);
line(pointF.x,pointF.y,pointG.x,pointG.y);
end;

procedure drawing2(pointA:pointrecord; pointB:pointrecord;
pointC,pointE,pointF,pointG,pointO:pointrecord);
var ddd,point:string;
Ax,Ay,Bx,By:integer;

begin
Ax:=round(pointB.x+XX);
Ay:=-round(pointB.y-YY);
pointO.x:=round(-pointO.x+XX);
pointO.y:=-round(pointO.y-YY);
pointA.x:=round(-pointA.x+XX);
pointA.y:=-round(pointA.y-YY);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
end;
```

```
end;
```

```
procedure reflect (Qangle,OCangle,size:real; pointC,pointO:pointrecord
```

```
var count:real;
```

```
var INCangle,NORlineangle,slopHM:real;
```

```
var contHM,slopOI,contOI,slopHJ,contHJ:real;
```

```
var pointH,pointI,pointJ,pointS,pointM:pointrecord);
```

```
var A,B,C,RADIAN,D,E,F,slopOH :real;
```

```
begin
```

```
{step1}
```

```
{find pointM}
```

```
NORlineangle:=INCangle+((pi/2)-Qangle-INCangle)/2;
```

```
slopHM:=sin(NORlineangle)/cos(NORlineangle);
```

```
contHM:=pointH.y-slopHM*pointH.x;
```

```
pointM.x:=0;
```

```
pointM.y:=round(slopHM*pointM.x+contHM);
```

```
{find pointI}
```

```
E:=(pointH.x-pointM.x);
```

```
F:=(pointH.y-pointM.y);
```

```
D:=(E*E)+(F*F);
```

```
RADIAN:= sqrt(D);
```

```
slopOH:=pointH.y/pointH.x;
```

ไม่ว่าการณ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

INCangle:=INCangle+(size/2)*(pi/180);
slop0I:=sin(INCangle)/cos(INCangle);
cont0I:=point0.y-slop0I*point0.x;
A:=(1+(slop0I)*(slop0I));
B:=(2*cont0I*slop0I)-(2*pointM.y*slop0I);
C:=(cont0I*cont0I)-(2*cont0I*pointM.y)+(pointM.y*pointM.y)-(radian*radian);
pointI.x:=round((-B+sqrt((B*B)-(4*A*C)))/(2*A));
pointI.y:=round(slop0I*pointI.x+cont0I);

```

```

{find pointJ}
slopHJ:=sin((3/2)*pi-Qangle)/cos((3/2)*pi-Qangle);
contHJ:=pointH.y-slopHJ*pointH.x;
pointJ.x:=-300;
pointJ.y:=round(slopHJ*pointJ.x+contHJ);

```

```

{find points}
if count=0 then
begin
pointS.x:=0;
points.y:=round(slopHJ*points.x+contHJ);
end;

```

```
end;
```

```
pointJ:pointrecord);
```

```
begin
```

```
point0.x:=round(point0.x+XX);
```

```
point0.y:=-round(point0.y-YY);
```

```
pointH.x:=round(pointH.x+XX);
```

```
pointH.y:=-round(pointH.y-YY);
```

```
pointI.x:=round(pointI.x+XX);
```

```
pointI.y:=-round(pointI.y-YY);
```

```
pointJ.x:=round(pointJ.x+XX);
```

```
pointJ.y:=-round(pointJ.y-YY);
```

```
setcolor(6);
```

```
line(point0.x,point0.y,pointH.x,pointH.y);
```

```
setcolor(9);
```

```
line(pointH.x,pointH.y,pointJ.x,pointJ.y);
```

```
setcolor(10);
```

```
line(pointH.x,pointH.y,pointI.x,pointI.y);
```

```
end;
```

```
procedure drawingreflec11(XX,YY:real;point0,pointI,
```

```
pointH,pointJ:pointrecord);
```

```
begin
```

```
point0.x:=round(-point0.x+XX);
```

```
point0.y:=-round(point0.y-YY);
```

```
pointH.x:=round(-pointH.x+XX);
```

```
pointH.y:=-round(pointH.y-YY);
```

```
pointI.x:=round(-pointI.x+XX);
```

```
pointI.y:=-round(pointI.y-YY);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

pointI.y:=-round(pointI.y-YY);
pointJ.x:=round(-pointJ.x+XX);
pointJ.y:=-round(pointJ.y-YY);
setcolor(6);
line(pointO.x,pointO.y,pointH.x,pointH.y);
setcolor(9);
line(pointH.x,pointH.y,pointJ.x,pointJ.y);
setcolor(10);
line(pointH.x,pointH.y,pointI.x,pointI.y);
end;

```

```

procedure reflec2( var GRAMMAangle:real;
var pointO,pointI,pointL,pointK,
pointS,pointN:pointrecord;
varQangle,count,size,INTangle:real);
var slopIS,contIS,NORlineangle:real;
IKangle,slopIN,contIN,slopIK,contIK :real;
OKangle,slopOK,contOK :real;
A,B,C,RADIAN,D,E,F:real;
begin
{find pointL}
slopIS:=(pointI.y-pointS.y)/(pointI.x-pointS.x);
contIS:=pointI.y-slopIS*pointI.x;
pointL.x:=round(-300);
pointL.y:=round(slopIS*pointL.x+contIS);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 {find pointN}  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

GRAMMAngle:=(pi/2)-arctan(slopIS);
NORlineangle:=(INTangle+((pi/2)-GRAMMAngle-INTangle)/2;
slopIN:=sin(NORlineangle)/cos(NORlineangle);
contIN:=pointI.y-slopIN*pointI.x;
pointN.x:=0;
pointN.y:=round(slopIN*pointN.x+contIN);

```

```
{find pointK}
```

```

E:=(pointI.x-pointN.x);
F:=(pointI.y-pointN.y);
D:=(E*E)+(F*F);
RADIAN:= sqrt(D);
INTangle:=INTangle+(size)*(pi/180);
OKangle:=INTangle;
slopOK:=sin(OKangle)/cos(OKangle);
contOK:=pointO.y-slopOK*pointO.x;
A:=(1+(slopOK)*(slopOK));
B:=(2*contOK*slopOK)-(2*pointN.y*slopOK);
C:=(contOK*contOK)-(2*contOK*pointN.y)
+(pointN.y*pointN.y)-(radian*radian);
pointK.x:=round((-B+sqrt((B*B)-(4*A*C)))/(2*A));
pointK.y:=round(slopOK*pointK.x+contOK);
end;

```

```

procedure drawingreflec2(XX,YY:real;pointO,pointI,
pointK,pointL:pointrecord);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

begin
point0.x:=round(point0.x+XX);
point0.y:=-round(point0.y-YY);
point1.x:=round(point1.x+XX);
point1.y:=-round(point1.y-YY);
pointL.x:=round(pointL.x+XX);
pointL.y:=-round(pointL.y-YY);
pointK.x:=round(pointK.x+XX);
pointK.y:=-round(pointK.y-YY);
setcolor(6);
line(point0.x,point0.y,point1.x,point1.y);
setcolor(9);
line(point1.x,point1.y,pointL.x,pointL.y);
setcolor(10);
line(point1.x,point1.y,pointK.x,pointK.y);
end;

procedure drawingreflec22(XX,YY:real;point0,point1,
pointK,pointL:pointrecord);

```

```

begin
point0.x:=round(-point0.x+XX);
point0.y:=-round(point0.y-YY);
point1.x:=round(-point1.x+XX);
point1.y:=-round(point1.y-YY);
pointL.x:=round(-pointL.x+XX);
pointL.y:=-round(pointL.y-YY);
pointK.x:=round(-pointK.x+XX);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

pointK.y:=-round(pointK.y-YY);
setcolor(6);
line(pointO.x,pointO.y,pointI.x,pointI.y);
setcolor(9);
line(pointI.x,pointI.y,pointL.x,pointL.y);
setcolor(10);
line(pointI.x,pointI.y,pointK.x,pointK.y);
end;

```

```

procedure designLEN(var Qangle,lightsource:real; pointO,pointS:pointrecord;
type pointrecord = record
x : integer;
y : integer;
end;
var pointA1,pointA2,pointB1,pointB2,pointB3,pointC1,
pointC2,pointC3,pointD1,pointE1,pointE2,pointF1,
pointF2,pointcent1,pointcent2 :pointrecord;
distance,n,indexlen : real;
dd,astr:string;
l,x,y : integer;
rr,focus,Udistance :real;
Ddistance,Vdistance,multi :real;
image,slopBF1,contBF1,slopBF2 :real;
contBF2,slopBD1,contBD1,slopBD2 :real;
contBD2 ,A,B,C,H,K1,K2:real;
degree1,degree11,degree2,degree22,RRR:integer;

```

```

Procedure Readstring(var astr : string;var l,x,y : integer);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
const cr = #13;  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

var ch : char;

dele : char;

nx,ny : integer;

d :integer;

Begin

l := 0;

astr := '';

dele := #48;

moveto(x,y);

nx := textwidth(dele);

ny := textheight(dele);

repeat

ch := readkey;

l := l+1;

if ch <> cr then

if (ch >#45) and (ch <#58) then

begin

outtext(ch); astr := concat(astr,ch);

end;

d:=length(astr);

if ch = #8 then

if d>0 then

begin

moverel(-nx,0);

rectangle(getx,gety,getx+nx,gety+ny);

setfillstyle(0,0);

bar(getx,gety,getx+nx,gety+ny);

delete(astr,d,1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 end;  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
until ch = cr;
```

```
End;
```

```
Procedure Readinteger(var n : real;var x,y : integer);
```

```
var istr : string;
```

```
res,l : integer;
```

```
Begin
```

```
readstring(istr,l,x,y);
```

```
val(istr,n,res);
```

```
End;
```

```
begin
```

```
cleardevice;
```

```
{input value}
```

```
outtextxy(10,10,'Now we will design the luminair by len');
```

```
outtextxy(10,20,'please key value of parameter');
```

```
outtextxy(10,30,'LEN index (depend on material of LEN): ');
```

```
x:=10; y:=40;
```

```
readinteger(indexlen,x,y);
```

```
outtextxy(10,50,'size of light-source (mm): ');
```

```
x:=10; y:=60;
```

```
readinteger(lightsource,x,y);
```

```
outtextxy(10,70,'radius of len (must more than half of light-source):');
```

```
x:=10; y:=80;
```

```
readinteger(rr,x,y);
```

```
outtextxy(10,100,'COMMENT : because of this program has emphasize');
```

```
outtextxy(10,110,' designing the luminaire which has the ');
```

```
outtextxy(10,120,' refractor is prism . SO we just show only ');
```

```
outtextxy(10,130,' the basic how to design the luminaire by ');
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

outtextxy(10,140,'          LEN,then we do not combine it with reflector.
outtextxy(10,160,'          Press any key to continue');
dd:=readkey;

{find value}
focus:=1/((indexlen-1)*((1/rr)+(1/rr)));
Udistance:=(lightsource/2)/(sin(Qangle)/cos(Qangle));
Odistance:=sqrt(((point0.x-pointS.x)*(point0.x-pointS.x))
+((point0.y-pointS.y)*(point0.y-pointS.y)));
Vdistance:=1/((1/focus)-(1/Udistance));
multi:=Vdistance/Udistance;
image:=multi*lightsource;

{find point}
pointA1.x:=round(point0.x-(lightsource/2));
pointA1.y:=point0.y;
pointA2.x:=round(point0.x+(lightsource/2));
pointA2.y:=point0.y;
pointB3.x:=round(point0.x);
pointB3.y:=round(point0.y-Udistance);
pointB1.x:=round(pointB3.x-(lightsource/2));
pointB1.y:=round(pointB3.y);
pointB2.x:=round(pointB3.x+(lightsource/2));
pointB2.y:=round(pointB3.y);
pointC3.x:=round(point0.x);
pointC3.y:=round(pointB3.y-Vdistance);
pointC1.x:=round(pointC3.x-abs(image/2));
pointC1.y:=round(pointC3.y);

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่วางกรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

pointC2.x:=round(pointC3.x+abs(image/2));
pointC2.y:=round(pointC3.y);
pointD1.x:=round(pointB3.x);
pointD1.y:=round(pointB3.y-focus);
slopBF1:=(pointB3.y-pointC2.y)/(pointB3.x-pointC2.x);
contBF1:=pointB3.y-slopBF1*pointB3.x;
pointF1.x:=-100;
pointF1.y:=round(slopBF1*pointF1.x+contBF1);
slopBF2:=(pointB3.y-pointC1.y)/(pointB3.x-pointC1.x);
contBF2:=pointB3.y-slopBF2*pointB3.x;
pointF2.x:=+100;
pointF2.y:=round(slopBF2*pointF2.x+contBF2);
slopBD1:=(pointB2.y-pointD1.y)/(pointB2.x-pointD1.x);
contBD1:=pointB2.y-slopBD1*pointB2.x;
pointE1.x:=-50;
pointE1.y:=round(slopBD1*pointE1.x+contBD1);
slopBD2:=(pointB1.y-pointD1.y)/(pointB1.x-pointD1.x);
contBD2:=pointB1.y-slopBD2*pointB1.x;
pointE2.x:=50;
pointE2.y:=round(slopBD2*pointE2.x+contBD2);

```

```

}find centres of len}

```

```

H:=(pointB2.x+pointB1.x);

```

```

A:=1;

```

```

B:=-(2*pointB1.y);

```

```

C:=(pointB1.y*pointB1.y)-(RR*RR)+(pointB1.x*pointB1.x);

```

```

K1:=(-B+sqrt((B*B)-(4*A*C)))/(2*A);

```

```

K2:=(-B-sqrt((B*B)-(4*A*C)))/(2*A);

```

```

pointcent1.x:=round(H);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

pointcent1.y:=round(K1);
pointcent2.x:=round(H);
pointcent2.y:=round(K2);
degree1:=round(arctan((pointcent1.y-pointB1.y)/(pointcent1.x-pointB1.x)
*180/pi+180);
degree11:=round(arctan((pointcent1.y-pointB2.y)/(pointcent1.x-pointB2.x)
*180/pi +360);
degree22:=round(arctan((pointcent2.y-pointB1.y)/(pointcent2.x-pointB1.x)
*180/pi+180);
degree2:=round(arctan((pointcent2.y-pointB2.y)/(pointcent2.x-pointB2.x)
*180/pi);
{drawing LEN}
cleardevice;
setbkcolor(7);
point0.x:=round(point0.x+XX);
point0.y:=-round(point0.y-YY);
pointA1.x:=round(pointA1.x+XX);
pointA1.y:=-round(pointA1.y-YY);
pointB1.x:=round(pointB1.x+XX);
pointB1.y:=-round(pointB1.y-YY);
pointA2.x:=round(pointA2.x+XX);
pointA2.y:=-round(pointA2.y-YY);
pointB2.x:=round(pointB2.x+XX);
pointB2.y:=-round(pointB2.y-YY);
pointB3.x:=round(pointB3.x+XX);
pointB3.y:=-round(pointB3.y-YY);
pointC1.x:=round(pointC1.x+XX);

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

pointC1.y:=-round(pointC1.y-YY);
pointC2.x:=round(pointC2.x+XX);
pointC2.y:=-round(pointC2.y-YY);
pointC3.x:=round(pointC3.x+XX);
pointC3.y:=-round(pointC3.y-YY);
pointD1.x:=round(pointD1.x+XX);
pointD1.y:=-round(pointD1.y-YY);
pointE1.x:=round(pointE1.x+XX);
pointE1.y:=-round(pointE1.y-YY);
pointE2.x:=round(pointE2.x+XX);
pointE2.y:=-round(pointE2.y-YY);
pointF1.x:=round(pointF1.x+XX);
pointF1.y:=-round(pointF1.y-YY);
pointF2.x:=round(pointF2.x+XX);
pointF2.y:=-round(pointF2.y-YY);
pointcent1.x:=round(pointcent1.x+XX);
pointcent1.y:=-round(pointcent1.y-YY);
pointcent2.x:=round(pointcent2.x+XX);
pointcent2.y:=-round(pointcent2.y-YY);
RRR:=round(rr);
setcolor(9);
arc(pointcent1.x,pointcent1.y,degree1,degree11,RRR);
arc(pointcent2.x,pointcent2.y,degree2,degree22,RRR);
{RRR:=round(lightsource/2);
arc(point0.x,point0.y,0,360,RRR);}
setcolor(5);
line(pointA1.x,pointA1.y,pointA2.x,pointA2.y);
setcolor(5);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ณาการณเตุทงสน อกทงทามมเทตตบสลงเนอทั และตองอย นองเงงเจาซองเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

setcolor(5);

line(pointA2.x,pointA2.y,pointB2.x,pointB2.y);

setcolor(5);

line(pointC2.x,pointC2.y,pointF1.x,pointF1.y);

setcolor(5);

line(pointC1.x,pointC1.y,pointF2.x,pointF2.y);

setcolor(5);

line(pointB2.x,pointB2.y,pointE1.x,pointE1.y);

    setcolor(5);

line(pointB1.x,pointB1.y,pointE2.x,pointE2.y);

    setcolor(5);

line(pointC1.x,pointC1.y,pointC2.x,pointC2.y);

end:

begin:main}

{part:1}

    GraphDriver:=Detect;

InitGraph(GraphDriver,GraphMode,'');

num:=0;

    XX:=(getmaxX/2);

    YY:=(getmaxY/2);

previwe;

inputvalue( index.angleB,Bangle,size,result,pointO,pointB );

repeat,

    findvalue(result,size,angleB,index,Pangle,

Cangle,Bangle,Qangle,Rangle,Aangle,num);

    findpointC(Cangle,Qangle,num,size,Bangle,contBC,

slopeBC,OCangle,pointO,pointB,pointC);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

findpointA(contAC,slopAC,Qangle,num,size,Bangle,
  alphaangle,pointC,pointA,Baseangle);
findpointE(Baseangle,contAC,slopAC,size,num,pointE);
findpointF(alphaangle,rangle,contBC,slopBC,pointE,pointF);
findpointG(Qangle,pointF,pointG);

  if num=0 then drawingscal;
drawing(pointA,pointB,pointC,pointE,pointF,pointG,pointO);
drawing2(pointA,pointB,pointC,pointE,pointF,pointG,pointO);
num:=num+1;
pointH.x:=pointC.x;
pointH.y:=pointC.y;
slop:=Pangle-(size*(pi/180));
until slop<(pi/180)*90;
dd:=readkey;

(part2)
count:=0;
INCangle:=OCangle-2*pi;
pointH.x:=pointc.x;
pointH.y:=pointc.y;
REPEAT
  reflect(Qangle,OCangle,size,pointC,pointO,count,INCangle,
  NORlineangle,slopHM,contHM,slopO1,contO1,
  slopHJ,contHJ,pointH,pointI,pointJ,pointS,pointM);
drawingreflect1(XX,YY,pointO,pointI,pointH,pointJ);
drawingreflect1(XX,YY,pointO,pointI,pointH,pointJ);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 {set, nextloop of reflect}  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

```
pointH.x:=pointI.x;
```

```
pointH.y:=pointI.y;
```

```
count:=count+1;
```

```
UNTIL
```

```
INCangle > ((pi/2)-Qangle);
```

```
dd:=readkey;
```

```
{part3}
```

```
count:=1;
```

```
INTangle:=INCangle;
```

```
REPEAT
```

```
reflec2(GRAMMAangle,pointO,pointI,pointL,pointK,  
pointS,pointM,Qangle,count,size,INTangle);
```

```
drawingreflec2(XX,YY,pointO,pointI,pointK,pointL);
```

```
drawingreflec22(XX,YY,pointO,pointI,pointK,pointL);
```

```
count:=count+1;
```

```
pointI.x:=pointK.x;
```

```
pointI.y:=pointK.y;
```

```
stop:=GRAMMAangle-size*(pi/180);
```

```
UNTIL
```

```
stop<=0;
```

```
big1:=imagesize(0,0,getmaxX,getmaxY);
```

```
getmem(p1,big1);
```

```
getimage(0,0,getmaxX,getmaxY,p1^);
```

```
dd:=readkey;
```

```
cleardevice;
```

```
{part 4}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
designLEN(Qangle,lightsource,point0,pointS);
```

```
drawingscal;
```

```
dd:=readkey;
```

```
putimage(0,0,P1^,xorput);
```

```
DD:=readkey;
```

```
closegraph;
```

```
writeln('good bye');
```

```
DD:=readkey;
```

```
end.
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

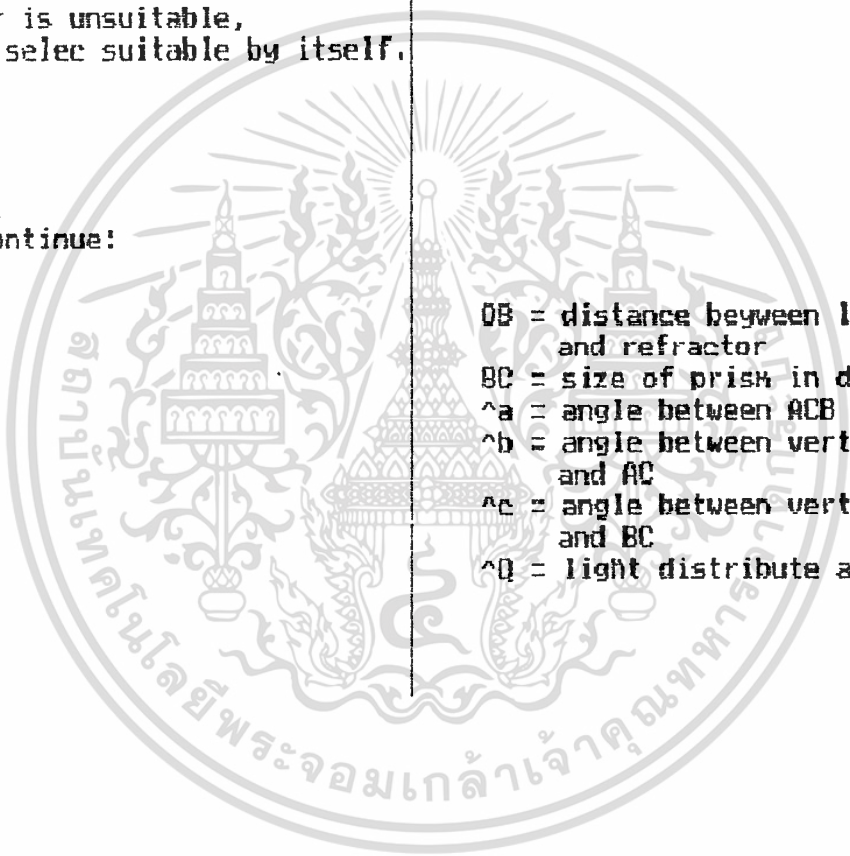
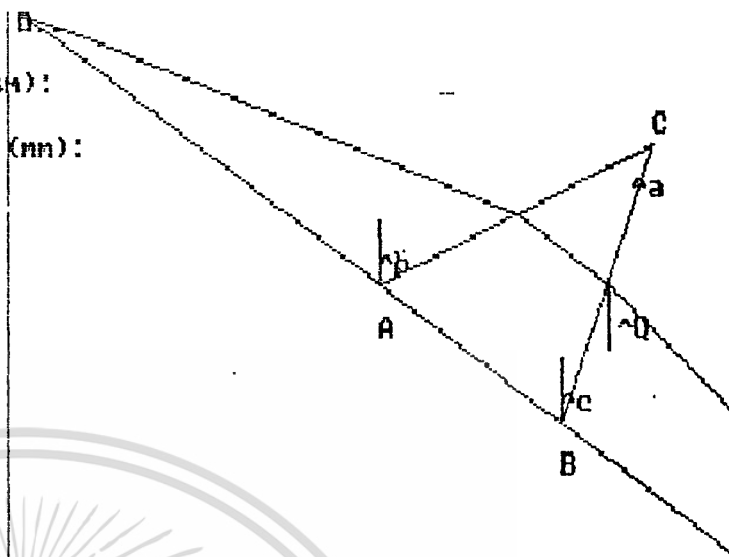


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

please key value of parameter  
 refractor index (depend on material of prism):  
 1.5  
 distance between light-source and refractor (mm):  
 200  
 magnitude of angle B :  
 55  
 size of prism in degree :  
 5  
 light distribute angle in degree (65-75) :  
 75

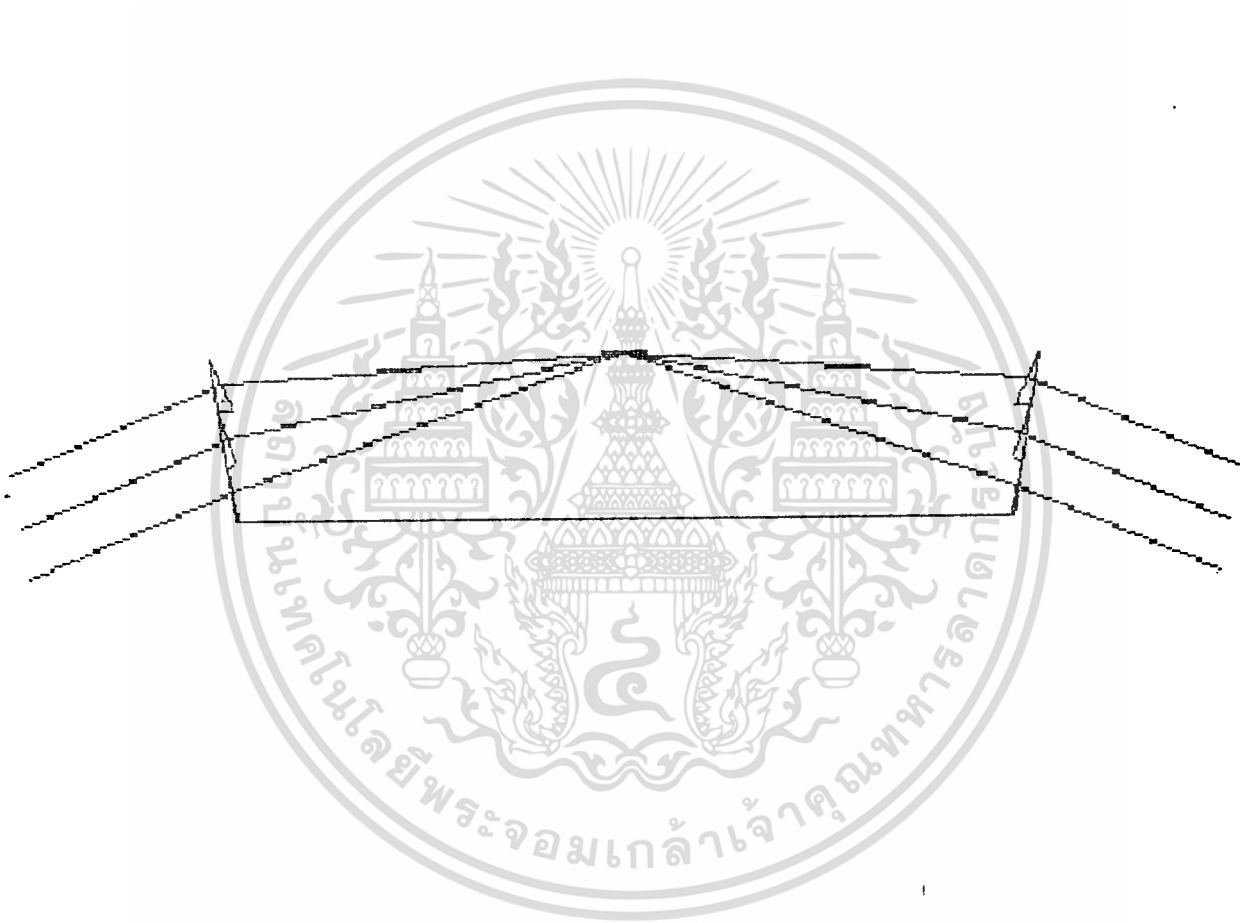
If which parameter is unsuitable,  
 this program will select suitable by itself.

press anykey to continue:



DB = distance between light-source  
 and refractor  
 BC = size of prism in degree  
 $\angle a$  = angle between ACB  
 $\angle b$  = angle between vertical line  
 and AC  
 $\angle c$  = angle between vertical line  
 and BC  
 $\angle Q$  = light distribute angle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



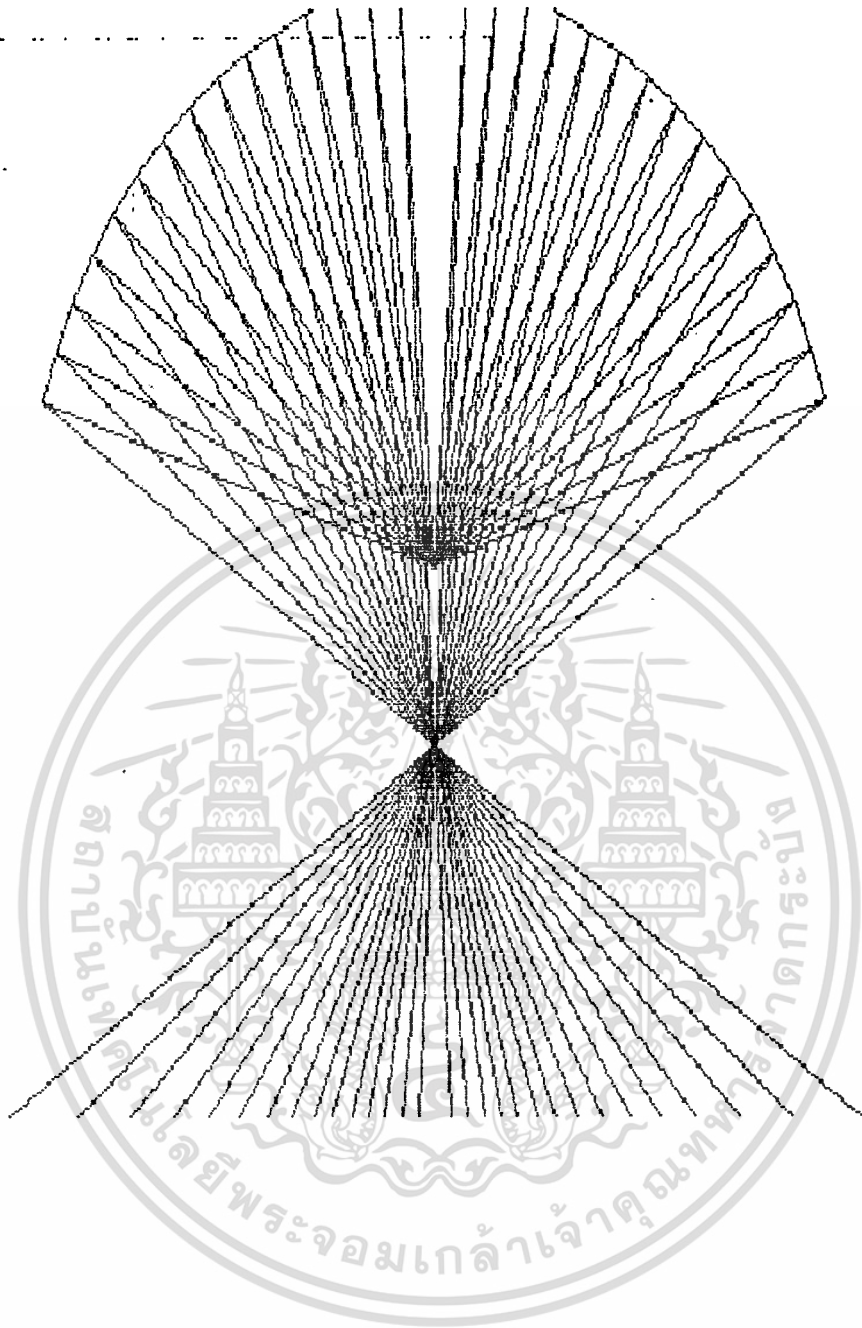
**แสดงผลส่วนหัวทักเทแสง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



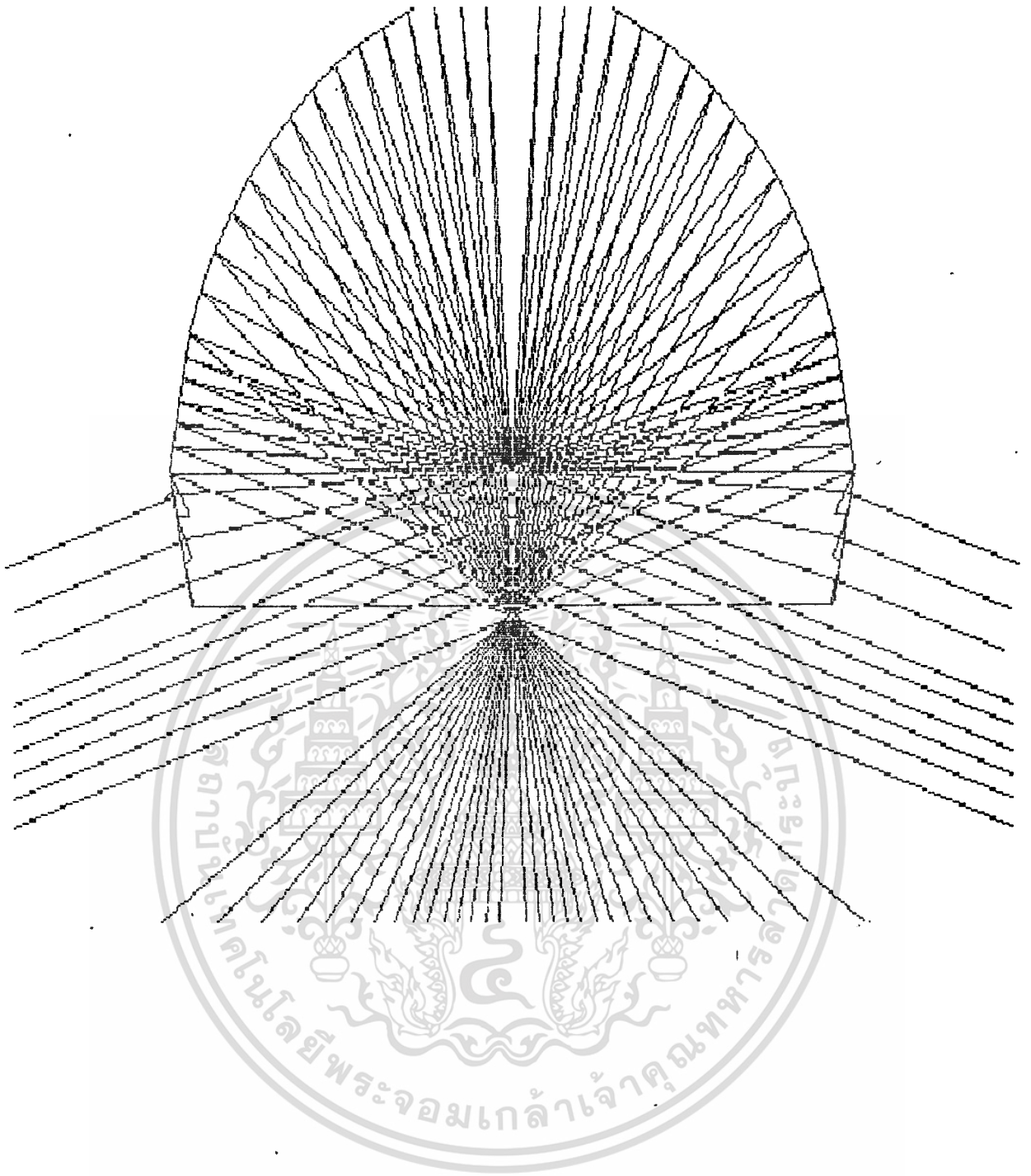
**แสดงผลส่วนตัวสะท้อนแสงส่วนที่ 1**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**แสดงผลส่วนหัวสะท้อนแสงส่วนที่ 2**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**แสดงผลทั้งส่วนตัวหักเหแสงและตัวสะท้อนแสง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ร.ศ.ศลิ บรรจงจิตร อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้ความรู้  
และคำปรึกษาตลอดระยะเวลาการศึกษา และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคน ตลอดจนรุ่นพี่  
ที่ได้ช่วยเหลือให้คำแนะนำต่าง ๆ แก่ผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

1. เทคนิคการออกแบบไฟส่องพื้นที่, ไชยะ ไช้มีชัย
2. การออกแบบระบบแสงสว่าง, ฟิลิปส์ ดินสุตม
3. Lighting Fittings-Performance and Design, BEAN & SIMONS
4. Lighting manual, Philips
5. Fundamentals of Commercial and Industrial Lighting,  
The Lighting Committee of The Electrification Council, USA
6. IES Lighting Handbook, Reference Volume., New York 1981
7. IES Lighting Handbook, Application Volume., New York 1981
8. Interactive Microcomputer Graphics Park, Com s.  
Addison-Wesly Publishing Company